



Université
de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)

Discipline ou spécialité :

Informatique

Présentée et soutenue par : **Ahed ALBOODY**

Le 25 Mars 2011

Titre :

Réception des données spatiales et leurs traitements : Analyse d'images satellites pour la mise à jour des SIG par enrichissement du système de raisonnement spatial RCC8

JURY

Florence SEDES, Professeur, Université Paul SABATIER -Toulouse III, Directrice de thèse
Nicole VINCENT, Professeur, Université de Paris DESCARTES, Rapporteur
Christophe CLARAMUNT, Professeur, Institut de Recherche de l'École Navale, Rapporteur
Pierre GANCARSKI, Maître de Conférences HDR, Université de Strasbourg, Examineur
Abdelkader HAMEURLAIN, Professeur, Université Paul SABATIER -Toulouse III, Examineur
Jean-Marc OGIER, Professeur, Université de La Rochelle, Examineur
Jordi INGLADA, Ingénieur, Centre National d'Études Spatiales (CNES)-Toulouse, Examineur

Ecole doctorale :

Mathématiques Informatique Télécommunications (MITT)

Unité de recherche :

IRIT - Equipe SIG

Directeur(s) de Thèse :

Pr. Florence SEDES

Rapporteurs :

Pr. Christophe CLARAMUNT et Pr. Nicole VINCENT

Résumé

De nos jours, la résolution des images satellites et le volume des bases de données géographiques disponibles sont en constante augmentation. Les images de télédétection à haute résolution représentent des sources de données hétérogènes de plus en plus nécessaires et difficiles à exploiter. Ces images sont considérées comme des sources très riches et utiles pour la mise à jour des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Afin de mettre à jour ces bases de données, une étape de détection de changements est nécessaire.

Cette thèse s'attache à l'étude de l'analyse d'images satellites par enrichissement du système de raisonnement spatial RCC8 (Region Connection Calculus) pour la détection des changements topologiques dans le but de mettre à jour des SIG. L'objectif à terme de cette étude est d'exploiter, de détailler et d'enrichir les relations topologiques du système RCC8. L'intérêt de l'enrichissement, l'exploitation et la description détaillée des relations du système RCC8 réside dans le fait qu'elles permettent de détecter automatiquement les différents niveaux de détails topologiques et les changements topologiques entre des régions géographiques représentées sur des cartes numériques (CN) et dans des images satellitaires.

Dans cette thèse, nous proposons et développons une extension du modèle topologique d'Intersection et Différence (ID) par des invariants topologiques qui sont : le nombre de séparations, le voisinage et le type des éléments spatiaux. Cette extension vient enrichir et détailler les relations du système RCC8 à deux niveaux de détail. Au premier niveau, l'enrichissement du système RCC8 est fait par l'invariant topologique du nombre de séparations, et le nouveau système est appelé "système RCC-16 au niveau-1". Pour éviter des problèmes de confusion entre les relations de ce nouveau système, au deuxième niveau, l'enrichissement du "RCC-16 au niveau-1" est fait par l'invariant topologique du type d'éléments spatiaux et le nouveau système est appelé "système RCC-16 au niveau-2".

Ces deux systèmes RCC-16 (au niveau-1 et au niveau-2) seront appliqués pour l'analyse d'images satellites, la détection de changements et l'analyse spatiale dans des SIG. Nous proposons à partir de cela une nouvelle méthode de détection de changements entre une nouvelle image satellite et une ancienne carte numérique des SIG qui intègre l'analyse topologique par le système RCC-16 afin de détecter et d'identifier les changements entre deux images satellites, ou entre deux cartes vectorielles produites à différentes dates.

Dans cette étude de l'enrichissement du système RCC8, les régions spatiales ont de simples représentations spatiales. Cependant, la représentation spatiale et les relations topologiques entre régions dans des images satellites et des données des SIG sont plus complexes, floues et incertaines. Dans l'objectif d'étudier les relations topologiques entre régions floues, un modèle appelé le modèle topologique Flou d'Intersection et Différence (FID) pour la description des relations topologiques entre régions floues sera proposé et développé. 152 relations topologiques peuvent être extraites à l'aide de ce modèle FID. Ces 152 relations sont regroupées dans huit clusters qualitatifs du système RCC8 : Disjoint (Déconnexion), Meets (Connexion Extérieure), Overlaps (Chevauchement), CoveredBy (Inclusion Tangentielle), Inside (Inclusion Non-Tangentielle), Covers (Inclusion Tangentielle Inverse), Contains (Inclusion Non-Tangentielle Inverse), et Equal (Égalité). Ces relations seront évaluées et extraites à partir des images satellites pour donner des exemples de leur intérêt dans le domaine de l'analyse d'image et dans des SIG.

La contribution de cette thèse est marquée par l'enrichissement du système RCC8 donnant lieu à un nouveau système, RCC-16, mettant en oeuvre une nouvelle méthode de détection de changements, le modèle FID, et regroupant les 152 relations topologiques floues dans les huit clusters qualitatifs du système RCC8.

Mots-clés : Système de Raisonnement Spatial RCC8, Analyse d'Imagerie Satellitaire, SIG, Détection de Changements, Modèle Topologique, Relations Topologiques, Régions Spatiales Simples et Floues

Abstract

Nowadays, the resolution of satellite images and the volume of available geographic databases are constantly growing. Images of high resolution remote sensing represent sources of heterogeneous data increasingly necessary and difficult to exploit. These images are considered very rich and useful sources for updating Geographic Information Systems (GIS). To update these databases, a step of change detection is necessary and required.

This thesis focuses on the study of satellite image analysis by enriching the spatial reasoning system RCC8 (Region Connection Calculus) for the detection of topological changes in order to update GIS databases. The ultimate goal of this study is to exploit and enrich the topological relations of the system RCC8. The interest of the enrichment and detailed description of RCC8 system relations lies in the fact that they can automatically detect the different levels of topological details and topological changes between geographical regions represented on GIS digital maps and satellite images.

In this thesis, we propose and develop an extension of the Intersection and Difference (ID) topological model by using topological invariants which are : the separation number, the neighborhood and the spatial element type. This extension enriches and details the relations of the system RCC8 at two levels of detail. At the first level, the enrichment of the system RCC8 is made by using the topological invariant of the separation number and the new system is called "system RCC-16 at level-1". To avoid confusion problems between the topological relations of this new system, the second level by enriching the "system RCC-16 at level-1" is done by using the topological invariant of the spatial element type and the new system is called "system RCC-16 at level-2".

These two systems RCC-16 (at two levels : level-1 and level-2) will be applied to satellite image analysis, change detection and spatial analysis in GIS. We propose a new method for detecting changes between a new satellite image and a GIS old digital map. This method integrates the topological analysis of the system RCC-16 to detect and identify changes between two satellite images, or between two vector maps produced at different dates.

In this study of the enrichment of the system RCC8, spatial regions have simple spatial representations. However, the spatial and topological relations between regions in satellite images and GIS data are more complex, vague and uncertain. With the aim of studying the topological relations between fuzzy regions, a model called the Fuzzy topological model of Intersection and Difference (FID) for the description of topological relations between fuzzy regions is proposed and developed. 152 topological relations can be extracted using this model FID. These 152 relations are grouped into eight clusters of the qualitative relations of the system RCC8 : Disjoint (Disconnected), Meets (Externally Connected), Overlaps (Partially Overlapping), CoveredBy (Tangential Proper Part), Inside (Non-Tangential Proper Part), Covers (Tangential Proper Part Inverse), Contains (Non-Tangential Proper Part Inverse), and Equal. These relations will be evaluated and extracted from satellite images to give examples of their interest in the image analysis field and GIS.

The contribution of this thesis is marked by enriching the qualitative spatial reasoning system RCC8 giving rise to a new system, RCC-16, implementing a new method of change detection, the model FID, and clustering the 152 fuzzy topological relations in eight qualitative clusters of the system RCC8.

Key-Words : Spatial Reasoning System RCC8, Satellite Imagery Analysis, GIS, Change Detection, Topological Model, Topological Relations, Simple and Fuzzy Spatial Regions

Remerciements

Pour l'équipe, mes plus vifs remerciements et toute ma reconnaissance s'adressent à Florence SEDES professeure à l'Université Paul SABATIER (UPS) - Toulouse III et à Jordi INGLADA Ingénieur au CNES (Centre Nationale d'Études Spatiales-Toulouse) sans qui cette thèse ne serait pas ce qu'elle est.

Je les remercie pour m'avoir montré ce qu'était le monde de la recherche et pour les nombreuses contributions qu'ils ont apportées par leurs directives, leurs précieux conseils, leurs encouragements, leurs remarques et suggestions qui m'ont toujours poussé à m'améliorer.

J'adresse mes sincères remerciements aux Professeurs Christophe CLARAMUNT et Nicole VINCENT pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant d'être les rapporteurs de ma thèse.

Je tiens aussi à remercier les Professeurs Abdelkader HAMEURLAIN, Jean-Marc OGIER, et Pierre GANCARSKI, membres du jury, pour le travail et le temps consacrés à l'examen de ma thèse.

Je remercie les autres membres de l'équipe SIG pour la bonne ambiance que nous avons partagée durant ma thèse.

Je remercie Madame Martine Labruyère qui m'a toujours accueilli avec le sourire pour répondre patiemment à mes questions.

Je remercie beaucoup toutes les personnes qui m'ont aidé durant mon séjour dans la ville rose Toulouse que j'aime beaucoup. Notamment, Madame Françoise Lavaux et tout les personnels du CROUS de Toulouse.

Je remercie également mes amis et leurs familles, surtout Samer Rabih, Sam Alahmad, Safwan Saker, Mohamad Darbouli, Mohamad Mohamad, Rami Amoun, Nizar Darwich, Bassel Darwich et Wassim Mahfouz pour leur aide et leur humanité.

Je remercie vivement les membres de ma famille et mes proches à l'étranger en Syrie pour leur soutien tout au long de cette thèse.

J'adresse un grand et spécial merci à ma femme Kholoud, sans elle je n'aurais certainement pas pu réaliser cette thèse. Sa patience, son aide, son encouragement, son amour et son humanité m'ont beaucoup aidé à dépasser des moments très difficiles durant ces années de ma thèse.

A mes parents, mes sources de tendresse inépuisable, l'origine de mes valeurs dans la vie

A ma famille,

A ma femme Kholoud, mon âme sœur : hier, aujourd'hui et demain, l'amour éternel

A mon petit ange, mon fils Yousseuf (Joseph)

A Yabya (Jean) ou Mariam (Marie) que j'attends avec impatience en 2011,

Mes espoirs de la vie, l'avenir

Je dédie à tous ce modeste travail de recherche

أهدي إليكم جميعا هذا البحث المتواضع

Abed

Sommaire

Chapitre 1

Introduction Générale	1
1.1. Introduction	1
1.2. Généralités	2
1.1.1. Définitions des Systèmes d'Information Géographique (SIG)	2
1.1.2. Méthodes de Mise à Jour	4
1.1.3. Méthodes de Détection des Changements	5
1.3. Rôle des Relations Topologiques et du Système de Raisonnement Spatial RCC8 (Region Connection Calculus)	11
1.2.1. Topologie et Relations Topologiques	11
1.2.2. Système de Raisonnement Spatial RCC8	13
1.2.3. Applications	15
1.4. Motivation	16
1.5. Problématique	17
1.6. Objectifs de la Thèse	18
1.7. Organisation du Manuscrit	19

Chapitre 2

Modélisation des Relations Topologiques	21
2.1. Introduction	21
2.2. Topologie Générale d'un Ensemble Spatial de Points	24
2.3. Modèles et Relations Topologiques	25
2.3.1. Modèles et Relations Topologiques au Niveau sans Détail	26
2.3.2. Modèles et Relations Topologiques au Niveau Détaillé	34
2.4. Nos Choix de Modèles Topologiques	46
2.5. Invariants Topologiques et Extension du Modèle Topologique d'Intersection et Différence (ID) au Niveau Détaillé	48

2.5.1. Concept d'Ensemble Spatial	48
2.5.2. Invariant Topologique de Type 1 : Le Nombre de Séparations	49
2.5.3. Invariant Topologique de Type 2 : Les Voisinages d'un Élément Spatial	50
2.5.4. Invariant Topologique de Type 3 : Le Type d'un Élément Spatial	50
2.5.5. Extension du Modèle d'Intersection et Différence (ID) au Niveau Détaillé	51
2.6. Conclusion	54

Chapitre 3

Relations Topologiques du Système RCC8 Enrichies au Niveau-1 Basées sur le Nombre de Séparations 55

3.1. Introduction	55
3.2. Enrichissement des Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-1	56
3.2.1. Enrichissement de la Relation Topologique EC au Niveau-1	57
3.2.2. Enrichissement de la Relation Topologique PO au Niveau-1	62
3.2.3. Enrichissement de la Relation Topologique TPP au Niveau-1	64
3.2.4. Enrichissement de la Relation Topologique TPPi au Niveau-1	66
3.3. Résumé au Niveau-1	67
3.3.1. Nouveau Système de Raisonnement Spatial RCC-16	67
3.3.2. Avantages et Inconvénients du Nouveau Système	68
3.4. Applications et Résultats	72
3.4.1. Détection de Changements par Analyse Topologique du Système RCC-16 entre Images Satellitaires et Données des SIG	72
3.4.1.1. Exemple d'Application 1 : Détection de Changements entre Deux Cartes Vectorielles des SIG de la Base CORINE Land Cover (CLC).	84
3.4.1.2. Exemple d'Application 2 : Détection de Changements entre Deux Images Satellites Acquisées à Dates Différentes	91
3.4.1.3. Classification des Types de Changements : Changements de Base et Complexes	98
3.5. Conclusion	106

Chapitre 4

Relations Topologiques Enrichies du Système RCC8 au Niveau-2 Basées sur les Types des Éléments Spatiaux . .107

4.1.	Introduction	107
4.2.	Définitions des Types des Éléments Spatiaux	108
4.2.1.	Définitions des Types des Points	109
4.2.2.	Définitions des Types des Lignes	111
4.3.	Généralisation et Enrichissement des Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-2	115
4.4.	Résumé au Niveau-2	118
4.4.1.	Système RCC-16 au Niveau-2	118
4.4.2.	Relations Topologiques Multi - Niveaux	119
4.4.3.	Avantages et Inconvénients	121
4.5.	Applications et Résultats	127
4.5.1.	Détection de Changements par Analyse Topologique du Système RCC-16 au Niveau-2 entre Images Satellitaires et Données des SIG	127
4.5.1.1.	Exemple d'Application 1 : Détection de Changements entre Deux Images Satellites Acquisées à Dates Différentes.	130
4.5.1.2.	Exemple d'Application 2 : Détection de Changements entre Deux Cartes Vectorielles de la Base CLC	133
4.6.	Conclusion	135
4.7.	Perspectives & Futurs Travaux	135

Chapitre 5

Modélisation des Relations Topologiques du Système RCC8 entre Régions Spatiales Floues 139

5.1.	Introduction	140
5.2.	État de l'art : Modèles Topologiques Flous et Régions Spatiales Floues . .	141
5.3.	Problématique	147
5.4.	Objectif & Motivation	147
5.5.	Rappel : Espace Topologique Flou Simple	149

5.6.	Nouvelle Définition et Génération des Régions Floues Simples	149
5.6.1.	Définition des Régions Floues Simples	149
5.6.2.	Propriétés de la Frontière Floue	151
5.6.3.	Génération et Extraction des Régions Floues des Images Satellites	151
5.7.	Contribution I : Nouveau Modèle I_{4*4} de 4*4 - Intersections	160
5.7.1.	Nouvelle Matrice de 4*4 - Intersections	160
5.7.2.	Identification des 152 Relations Topologiques par le Modèle I_{4*4}	160
5.7.3.	Avantages et Inconvénients du Modèle I_{4*4}	162
5.8.	Contribution II : Modèle Topologique Flou d'Intersection et Différence (FID)	162
5.8.1.	Modèle FID	162
5.8.2.	Identification des 152 Relations Topologiques par le Modèle FID	164
5.8.3.	Avantages et Inconvénients du Modèle FID	165
5.9.	Comparaison des deux Modèles I_{4*4} et FID avec les autres Modèles	165
5.10.	Étude des Propriétés des 152 Relations Topologiques du Modèle FID	166
5.10.1.	Complexité Topologique	166
5.10.2.	Distance Topologique	169
5.10.3.	Graphe Conceptuel de Voisinage	173
5.11.	Système RCC8 et Regroupement des 152 Relations du Modèle FID	176
5.12.	Arbre de Décision	181
5.13.	Applications et Discussions	185
5.14.	Conclusion & Perspectives	189

Chapitre 6

Conclusion Générale & Perspectives191

6.1.	Contributions	191
6.2.	Bilan	192
6.3.	Perspectives	193

Annexes	195
Annexe. A. Contribution I : Cent cinquante deux (152) Relations Topologiques Floues entre Deux Régions Spatiales Floues Identifiées par le Modèle Topologique Flou I_{4*4} de 4*4-Intersections	197
Annexe. B. Contribution II : Cent cinquante deux (152) Relations Topologiques entre Deux Régions Spatiales Floues Identifiées par le Modèle Topologique Flou d'Intersection et de Différence (FID)	203
Annexe. C. Pour la Contribution II : Regroupement des cent cinquante deux 152 Relations Topologiques Qualitatives entre Deux Régions Spatiales Floues Identifiées par le Modèle Topologique Flou d'Intersection et de Différence FID dans Huit Clusters des Relations Qualitatives de Base du Système RCC8	209
Table des Figures	223
Liste des Tableaux229
Bibliographie233
Localisation Des Images Satellites253

Chapitre 1

Introduction Générale

Sommaire

1.1. Introduction	1
1.2. Généralités	2
1.2.1. Définitions des Systèmes d'Information Géographique (SIG)	2
1.2.2. Méthodes de Mise à Jour	4
1.2.3. Méthodes de Détection des Changements	5
1.3. Rôle des Relations Topologiques et du Système de Raisonnement Spatial RCC8 (Region Connection Calculus)	11
1.3.1. Topologie et Relations Topologiques	11
1.3.2. Système de Raisonnement Spatial RCC8	13
1.3.3. Applications	15
1.4. Motivation	16
1.5. Problématique	17
1.6. Objectifs de la Thèse	18
1.7. Organisation du Manuscrit	19

1.1. Introduction

Le contexte général de cette thèse est l'analyse d'images pour la détection des changements dans le but de mettre à jour des bases de données de Systèmes d'Information Géographique (SIG) par une méthode d'analyse topologique d'un système de raisonnement spatial. L'objectif principal de ce premier chapitre est de présenter ce contexte avec la problématique et l'objectif de notre travail de recherche.

Dans un premier temps, nous résumons rapidement dans la section 1.2.1 les définitions des SIG et dans la section 1.2.2 les méthodes de mise à jour de leurs bases de données. En général, une étape de détection de changements est nécessaire pour ces méthodes. Pour cela, nous présentons dans la section 1.2.3 les méthodes de détection de changements étudiées dans la littérature.

Dans un deuxième temps, nous étudions dans la section 1.3 l'importance du concept de la topologie dans des SIG et les relations topologiques du système du raisonnement spatial RCC8 (Region Connection Calculus). Un intérêt tout particulier est porté à exploiter ce système RCC8 dans des applications comme l'analyse d'images satellites, l'analyse spatiale, la détection des changements pour la mise à jour des SIG.

Ensuite, la motivation, la problématique abordée et l'objectif dans le cadre de cette thèse sont présentés dans les sections 1.4, 1.5, et 1.6, respectivement. Il s'agit de la détection des changements d'images satellites pour mettre à jour des SIG.

La résolution de cette problématique est d'utiliser et d'enrichir le système de raisonnement spatial RCC8 afin de détecter et d'identifier des changements topologiques plutôt que géométriques ou thématiques dans des images de télédétection et des SIG.

Dans l'objectif de resituer les insuffisances des modèles topologiques et des méthodes de détection des changements existants, nos contributions dans cette étude seront l'enrichissement du système du raisonnement spatial RCC8, et l'application du système RCC8 pour la détection des changements dans un processus de mettre à jour des SIG et l'analyse spatiale dans des SIG.

Enfin, la structure de ce manuscrit de thèse sera présentée dans la section 1.7.

1.2. Généralités

1.2.1. Définitions des Systèmes d'Information Géographique (SIG)

De nombreuses définitions d'un Système d'Information Géographique (SIG) existent. Parmi celles-ci, nous pouvons nous référer aux quatre définitions suivantes :

- 1) La définition française est due à l'économiste Michel Didier (1990), dans une étude réalisée à la demande du Conseil National de l'Information Géographique (CNIG) : « Un SIG est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision ».
- 2) Selon le Comité Fédéral de Coordination Inter-agences pour la Cartographie Numérique aux États-Unis (1988), la version américaine de la définition est : « Un SIG est un système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçu pour permettre : la collection, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, l'affichage des données à référence spatiale, afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion ».
- 3) Selon la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection : « Un SIG est un système informatique qui permet à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace ».
- 4) « Un SIG, dans une définition étroite, est un système informatique pour la saisie, la manipulation, le stockage et la visualisation des données spatiales numériques. Dans une définition plus large, il est un système numérique d'acquisition, de gestion, d'analyse, de modélisation et de visualisation de données spatiales aux fins de la planification, l'administration et le contrôle de l'environnement naturel et aux applications socio-économiques » [Konecny 2003].

Plusieurs définitions d'un SIG sont citées dans le travail de Bartelme [Bartelme 2010]. De notre point de vue, un SIG est un ensemble de données numériques, localisées géographiquement sur la surface de la Terre et structurées à l'intérieur d'un système de traitement informatique comprenant des modules fonctionnels permettant de construire, de modifier, de modéliser, d'interroger, de représenter la base de données géographiques selon des critères spatiaux et sémantiques. Un SIG a pour but principal d'informer sur la géographie d'un espace donné. Il s'appuie donc sur un certain nombre de bases de données géographiques, qu'il permet de modéliser, de gérer, de traiter et de représenter sous forme de cartes numériques (représentation vecteur) et de représentations maillées (raster).

Les objets géographiques sont traités selon trois niveaux qui forment le socle d'un SIG :

- 1) **Niveau Géométrique** : Chaque objet est défini par une représentation géométrique : un point (bornes, entreprises, etc.), un arc ou une ligne (routes, voies ferrées, etc.), un polygone ou une surface (communes, bâtiments, champs, etc.). Il est systématiquement géo-référencé par des coordonnées géographiques (latitude, longitude) ou par des coordonnées planes dans un système de projection ;
- 2) **Niveau Topologique** : Les relations de voisinage entre les objets constituent le niveau topologique, la topologie étant la branche des mathématiques qui étudie, dans l'espace réel, les propriétés liées au concept de voisinage ;
- 3) **Niveau Attributaire, Thématique ou Sémantique** : Chaque objet contient des informations et des attributs de type alphanumérique (nom de la commune, nombre de voies d'une route, type de bâtiment, type de champ agricole, etc.).

Les objets gérés sont visualisés par des couches thématiques où chaque couche contient des objets de même type (bâtiment, routes, etc.) et ils peuvent être sous multiple représentations et multiple résolutions [Spaccapietra 2000] [Spaccapietra et al. 2000] [Skogan 2001].

Une gamme de logiciels libres et d'outils gratuits (Quantum GIS QGIS², Geographic Resources Analysis Support System GIS (GRASS³), OrbisGIS⁴, gvSIG⁵, GeoTools⁶, SavGIS⁷, etc.) sont disponibles¹.

Les SIG sont de plus en plus développés et utilisés dans de nombreuses applications [Zeiler 1999] [Longley et al. 2005a & 2005b]. Pour comprendre leur importance, il est aussi utile de connaître la diversité de leurs applications [Shamsi 2005] [Seelig et al. 2007] [Domínguez et al. 2009] : la cartographie, la topographie, l'occupation du sol, la planification urbaine, la gestion des événements d'urbanisme, la gestion des risques, la connaissance et la prospective du tissu agricole, la gestion des sources d'eau, etc. Leurs apports sont difficiles à évaluer et à quantifier [Konecny 2003] [Longley et al. 2005a & 2005b] [Shamsi 2005]. Présents dans de nombreux domaines scientifiques, le volume des produits géographiques numériques est en constante augmentation. Les utilisateurs ont des besoins spécifiques pour maintenir leurs bases de données spatiales « fraîches » à faible coût et à haute fréquence. Ce point est l'un des plus grands problèmes et obstacles à l'application et à la promotion des SIG [Beyen et al. 1998] [Ramirez 1998] [Shi et al. 2000] [Walter et al. 2000].

Or pour mettre à jour les SIG, les images satellites et aériennes sont des sources de données très riches, utiles et attractives [Walter 1998] [Busch 1998] [Petzold et al. 1999] [Walter et al. 2000] [Bailloeuil et al. 2003] [Champion 2007] [Heipke et al. 2008] [Poulain et al. 2009]. Dans le processus de mise à jour de ces bases de données, la détection des changements entre une carte numérique (CN) et une image satellite, ou entre deux images satellites prises à des dates différentes est considérée comme une étape très importante, indispensable et nécessaire [Walter et al. 2000] [Zhang et al. 2004] [Frauman et al. 2006] [Lacroix et al. 2006] [Feranec et al. 2007] [Champion 2007] [Gao 2009a].

¹ http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_logiciels_SIG

² <http://qgis.org/>

³ <http://grass.itc.it/>

⁴ <http://brehat.ec-nantes.fr/orbisgis/doku.php>

⁵ <http://www.gvsig.gva.es/gvsig-desktop/>

⁶ <http://geotools.org/>

⁷ <http://www.savgis.org/>

Dans ce contexte, nous abordons les raisons pour lesquelles la mise à jour des bases de données géographiques est difficile et quels types de problèmes existent dans ce processus.

Puis, nous présentons une classification des différentes méthodes de détection des changements étudiées dans la littérature selon certains critères (par exemple : technique des méthodes, type des changements, contenu des changements (géométrique, topologique et thématique), automatisation, etc.).

1.2.2. Méthodes de Mise à Jour

Il existe deux approches pour la mise à jour des bases de données géographiques. La première consiste à établir et reconstruire progressivement une nouvelle base de données qui remplace l'ancienne base. Cette approche est lente en temps de mise en œuvre. Elle est adaptée à la construction d'une nouvelle base de données pour la nouvelle zone géographique. La deuxième approche consiste seulement à détecter, identifier et mettre à jour les changements afin de gérer et apporter de nouvelles modifications aux bases de données. Elle est plus rapide et beaucoup mieux adaptée à l'existence et à la gestion de ces bases de données.

Traditionnellement, la mise à jour des données géographiques a été considérée comme une extension de la production d'une carte numérique des SIG. La plupart des travaux existants se basent sur des méthodes en plusieurs étapes en utilisant des images satellites ou aériennes. Il n'existe pas dans la littérature une méthode générique automatique pour de telles mises à jour. Par la suite, nous résumons les étapes de certaines de ces méthodes.

Généralement, la mise à jour d'une base de données spatiales se réfère à la tâche de comparer deux ou plusieurs ensembles de données spatiales (l'un représentant l'état actuel d'une base de données, les autres représentant les données acquises plus récemment) dans le but de détecter et saisir des changements, et d'importer ces modifications dans la base de données, tout en maintenant les nouvelles données logiquement cohérentes avec les données existantes.

Nous allons citer deux exemples concrets de procédures de mise à jour. Le premier processus de mise à jour des données peut être divisé en trois étapes majeures [Walter 1998] [Petzold et al. 1999] [Walter et al. 2000]. La première étape est la détection des changements du paysage. Cette étape est insuffisamment automatisée. La deuxième étape est l'utilisation de plusieurs sources des données (images satellites : multi-résolutions, panchromatiques et multi-spectrales ; et avec des données vectorielles des SIG). Ces diverses sources de données doivent être employées pour rajouter d'autres attributs qui ne peuvent pas être détectés dans des images satellites. La troisième étape est la mise à jour à proprement parler. Ici, les changements détectés et toute information additionnelle doivent être mémorisés et stockés dans des bases de données. L'automatisation de cette étape est partielle. Ces étapes sont appliquées pour la mise à jour des bases de données d'ATKIS (Amtlich Topographisch-Kartographisches Informations System (Authoritative Topographic Cartographic Information System)) [Petzold et al. 1999] [Walter et al. 2000]. Les étapes peuvent être insuffisamment [Walter et al. 1998] [Walter 2000] ou au moins partiellement automatisées [Heipke et al. 2008]. A noter qu'un opérateur humain en phase finale procède à la vérification de données résultantes pour la détection des changements et la classification [Walter 2000] [Heipke et al. 2008].

L'auteur de [Ramirez 1998] a développé un processus de mise à jour des bases des données géographiques en six étapes suivantes : (1) Étude du temps (l'époque de la dernière mise à jour, les dates d'images prises, etc.) ; (2) Étude de la surface représentée (la région d'intérêt) ; (3) Détection des changements qui peuvent se produire sur cette surface ; (4) Utilisation des sources des données (cartes numériques, modèles numériques du terrain, etc.) afin d'identifier et

d'enregistrer les changements ; (5) Étude des techniques utilisées pour mettre à jour des données géographiques ; (6) Intégration des objets (Insérer de nouveaux objets, Éliminer des objets introuvables) dans une représentation cohérente.

En résumé, nous pouvons dire que trois étapes sont essentiellement accomplies au cours de la mise à jour [Heipke et al. 2008] : (1) dans une étape de vérification des données existantes dans la base de données par rapport aux nouvelles données de la base pour l'exactitude et la précision géométrique ; (2) dans l'étape suivante où une méthode de détection des changements est appliquée, puis les données saisies, et de nouveaux objets et des objets modifiés sont ajoutés à la base de données ; (3) dans l'étape finale où le nouvel état de la base de données doit être vérifié pour la cohérence logique.

L'étape de vérification des données dans des SIG est manuelle dans ces travaux [Walter et al. 1998] [Busch et al. 2004] [Busch et al. 2006] [Heipke et al. 2008], et l'étape de détection des changements reste insuffisamment automatisée.

Les problèmes de mise à jour des bases de données des SIG sont analysés à partir des trois points de vue suivants [Shi et al. 2000] : (1) Choix des sources de données (Images satellites, aériennes, etc.) ; (2) Choix des méthodes d'extraction automatique d'objets ; (3) Choix des méthodes de détection des changements.

De toute évidence, le problème de la détection automatique des changements reste l'étape la plus difficile. Beaucoup d'efforts et de travaux ont été menés pour la réalisation de cet objectif [Walter 2000] [Walter et al. 2000] [Li et al. 2002] [Wang et al. 2009].

Enfin, la gestion de mise à jour des bases de données géographiques au sein des SIG spatio-temporel représente un intérêt globale pour faciliter la tâche de mise à jour [Lu et al. 2002] [Zhang et al. 2005] [Helmholz et al. 2007].

Dans la section suivante, nous allons présenter une enquête sur des méthodes de détection de changements étudiées dans la littérature. Ces méthodes sont qualifiées en plusieurs catégories : au niveau de la technique utilisée (algébrique, classification, transformation, interprétation visuelle, etc.) ; au niveau du type et de la nature des changements détectés ; au niveau de l'automatisation de la méthode (non-automatique, semi-automatique, et automatique).

1.2.3. Méthodes de Détection des Changements

Le but de cette section est de trouver des points communs entre les méthodes de détection des changements étudiées dans plusieurs travaux [Deer 1998] [Walter 1999] [Bruzzone et al. 2000] [Willhauck 2000] [Olsen et al. 2002] [Hall et al. 2003] [Coppin et al. 2004] [Lu et al. 2004] [Olsen 2004] [Champion 2007] [Feranec et al. 2007] [Nussbaum et al. 2007] [Jianya et al. 2008a] [Jianya et al. 2008b] [Niemeyer et al. 2008] [Sui et al. 2008] [Gao 2009a] [Wang et al. 2009] [Dekker et al. 2009] [OTB 2010].

D'après Singh [Singh 1989], la définition de la détection des changements est le processus d'identification et quantification des différences temporelles dans l'état d'un objet ou d'un phénomène existant sur la surface de la Terre en l'observant à des dates différentes.

Généralement, l'analyse du changement est une comparaison spatiale, spectrale, thématique et temporelle de deux images satellites prises à des dates différentes, ou d'une image satellite et une carte numérique, ou de deux ou plus couvertures des terres de la même zone géographique produites à partir des données de télédétection qui sont prises à des moments différents [Li et al. 2002].

Par exemple, des images de télédétection sont employées dans le programme américain "Land-Cover and Land-Use Change (LCLUC)" de la NASA¹ et dans le projet européen de la base CORINE Land Cover (CLC)^{2,3,4,5,6} pour étudier l'occupation et l'utilisation du sol et la détection de changements.

Une grande variété de méthodes numériques et de techniques de détection des changements a été développée au cours de ces trois dernières décennies. Ces méthodes tentent de détecter et de localiser les zones qui ont subi des changements entre deux (ou plus) observations de la même scène. Ces changements peuvent être de types différents, d'origines différentes et de longueurs temporelles différentes [Coppin et al. 1996] [Lu et al. 2004] [Coppin et al. 2004] [Feranec et al. 2007] [Sui et al. 2008] [Gao 2009a] [Dekker et al. 2009] [OTB 2010].

Dans la Figure 1.1, nous présentons une classification de cette grande variété de méthodes de détection des changements selon huit critères différents : (1) la technique des méthodes ; (2) la notion (pixel, primitive, objet) appliquée à l'analyse d'images ; (3) le contenu des changements ; (4) le type et la nature des changements ; (5) l'automatisation des méthodes ; (6) les données utilisées pour la détection ; (7) la dimension des changements ; (8) l'échelle temporelle des changements. Cette classification permet de choisir ou de développer une méthode hybride automatique et précise de détection de changements.

Fondamentalement, les méthodes de détection de changements étudiées dans la littérature sont regroupés au niveau de la technique appliquée en sept catégories principales [Coppin et al. 1996] [Mas 1999] [Lu et al. 2004] [Alberti et al. 2004] [Sui et al. 2008] [Jianya et al. 2008b] [Gao 2009a] : (1) Algébrique, quantitative et statistique (méthode de la différence, du rapport, de la régression, de l'analyse vectorielle des changements (CVA), etc.) ; (2) Transformation (analyse en composantes principales (PCA), Khi-carré, etc.) ; (3) Classification (comparaison de post-classification, analyse par classification multi-temporelle spectrale, classification orientée objet, etc.) ; (4) Modèles avancés (modèle de mixage spectral, modèle de Li-Strahler, etc.) ; (5) Approches des SIG (intégration des SIG et des données de télédétection, et des données topographiques) ; (6) Analyse et interprétation visuelle qualitative (superposition visuelle d'images et composition d'images) ; et (7) Autres approches et méthodes hybrides (méthode de combinaison de trois indicateurs : indices de végétation, de température de surface, et de structure spatiale ; méthode basée sur les statistiques spatiales, etc.).

Les objets géographiques sont représentés selon trois niveaux dans des SIG : (1) géométrique, (2) topologique, (3) attributaire, thématique ou sémantique. Les changements que les objets géographiques ont subis, sont de quatre catégories au niveau de leur contenu : (1) géométrique, (2) topologique, (3) thématique, (4) hybride (géométrique et topologique, topologique et thématique, géométrique et thématique, ou les trois ensembles) [Sui et al. 2008] [Wang et al. 2009].

¹ NASA Land-Cover and Land-Use Change (LCLUC) Program : <http://lcluc.umd.edu/>

² Agence Européenne de l'Environnement, CORINE Land Cover Project : <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

³ Image 2000 & CORINE Land Cover 2000 Project (I & CLC2000) : <http://image2000.jrc.ec.europa.eu/>

⁴ Image 2006 : <http://eopi.esa.int/esa/esa?cmd=aodetail&aoname=IMAGE2006>

⁵ CORINE Land Cover Changes (from CLC1990 to CLC2000) : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-changes-clc1990-clc2000-100-m-version-12-2009>

⁶ CORINE Land Cover Changes (from CLC2000 to CLC2006) : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-changes-clc2000-clc2006-100-m-version-12-2009>

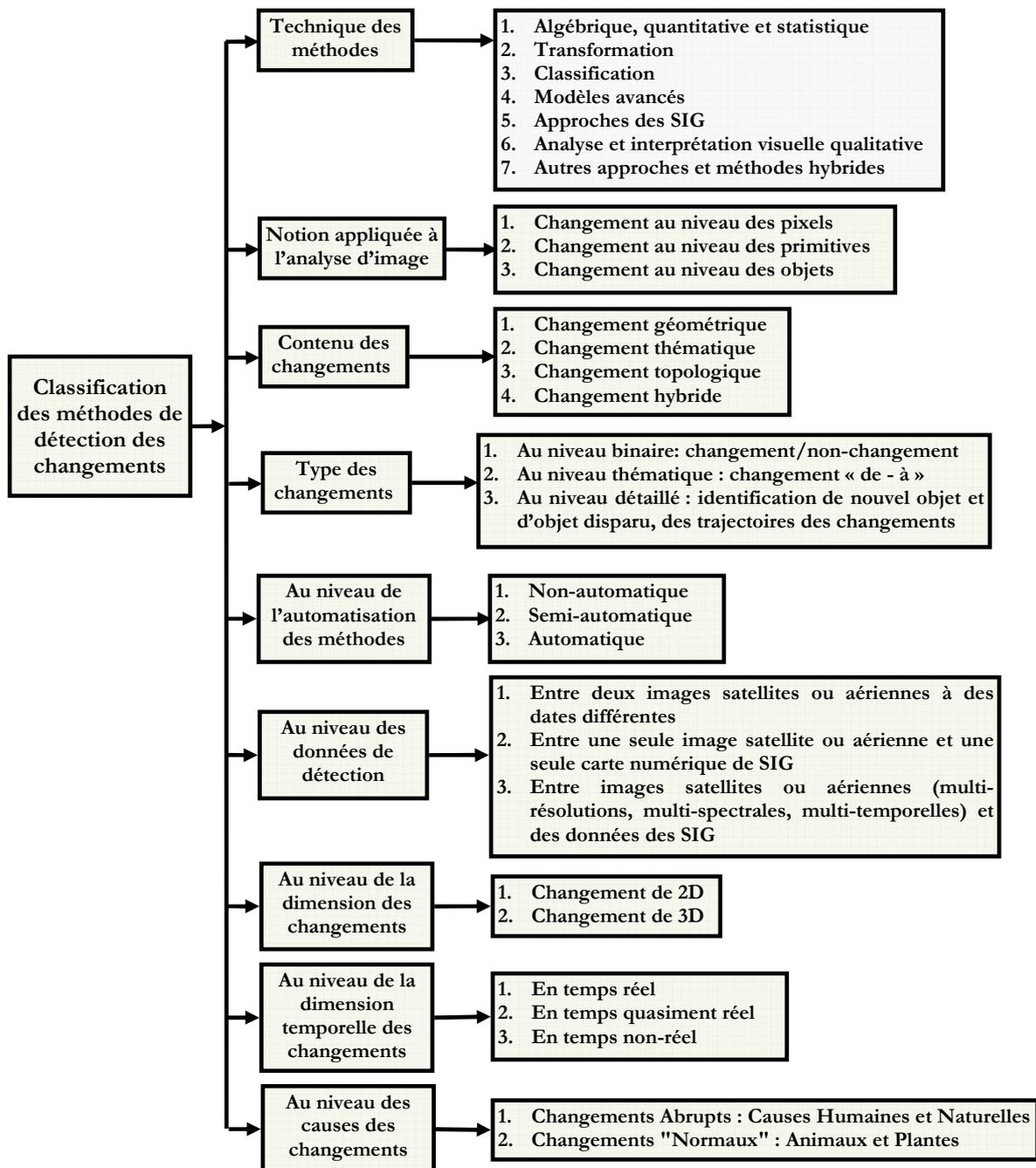


Fig. 1.1 : Classification des méthodes de détection des changements d'après les travaux suivants : [Coppin et al. 1996] [Deer 1998] [Walter 1999] [Bruzzone et al. 2000] [Walter 2000] [Walter 2004a] [Walter 2004b] [Willhauck 2000] [Olsen et al. 2002] [Hall et al. 2003] [Coppin et al. 2004] [Lu et al. 2004] [Olsen 2004] [Champion 2007] [Feranec et al. 2007] [Nussbaum et al. 2007] [Jianya et al. 2008a] [Jianya et al. 2008b] [Niemeyer et al. 2008] [Sui et al. 2008] [Gao 2009a] [Wang et al. 2009] [Dekker et al. 2009] [OTB 2010]

Ces méthodes sont aussi regroupées au niveau de la notion appliquée à l'analyse d'image en trois catégories principales [Deer 1998] [Hall et al. 2003] [Nussbaum et al. 2007] [Niemeyer et al. 2008] [Jianya et al. 2008a] : (1) Au niveau des pixels se réfère à des valeurs numériques de chaque bande spectrale ou à des calculs entre deux bandes spectrales d'images (par exemple : différence

d'images, rapport d'images, Analyse Vectorielle des Changements (CVA), etc.) ; (2) Au niveau des primitives (forme, texture, etc.) consiste à transformer les propriétés spectrales ou spatiales d'images (par exemple : différence d'indices de végétation NDVI, PCA, etc.) ; (3) Au niveau des objets, le niveau le plus haut pour le traitement d'image (par exemple : comparaison de post-classification, classification multi-temporelle, classification orientée objet etc.) [Willhauck 2000] [Walter 2002] [Walter 2004a] [Walter 2004b] [Matikainen et al. 2004] [Walter 2005] [Al-Khudhairi et al. 2005] [Blaschke 2005] [Niemeyer et al. 2008] [Wang et al. 2009a]. Ce troisième niveau (niveau des objets) est le plus important et intéressant à développer parce qu'il regroupe les trois points de vue (géométrique, topologique, attributaire ou sémantique) d'un objet géographique dans les SIG.

En général, ces techniques de détection de changements peuvent être regroupées au niveau du type et de la nature des changements détectés en trois catégories majeures [Mas 1999] [Lu et al. 2004] [Sui et al. 2008] [Gao 2009a] : (1) Au niveau binaire : celles qui indiquent les changements détectés par une information binaire [Frauman et al. 2006] [Im et al. 2007] [Nussbaum et al. 2007] : changement ou non-changement, par exemple, en fait, il s'agit d'une prise de décision binaire (seuillage) sur ces détecteurs : différence d'images, rapport d'images, différence d'indices de végétation NDVI et PCA, etc. ; (2) Au niveau thématique : celles qui détaillent les changements en : changement « de - à », par exemple [Al-Khudhairi et al. 2005] [Ouma et al. 2008] : comparaison de post-classification, CVA et les méthodes hybrides, etc. ; et (3) Au niveau détaillé : celles qui identifient en détail les changements spatiaux en nouvel objet et objet disparu [Armenakis et al. 2002] [Zhang et al. 2004], ou les trajectoires des changements [Zhou et al. 2008]. Ce type de changements au niveau détaillé est placé au plus haut niveau des types des changements parce qu'il est le plus difficile à détecter et il nécessite des algorithmes de détection de changement plus efficaces et des sources des données (images et données des SIG) plus complètes. Dans le cas de la détection de changements détaillés au niveau thématique : changement « de - à », le point dur est de créer des images précises de classification thématique [Al-Khudhairi et al. 2005].

En prenant les causes et les impacts des changements sur la surface de la Terre, nous pouvons identifier les changements au niveau des causes en deux catégories principales [Sui et al. 2008] par : (1) Changements abrupts qui sont provoqués par deux causes principales : des activités humaines (construction de zones bâties et routes, déforestation, etc.) et des forces et catastrophes naturelles (tempête, inondation, etc.) ; (2) Changements "Normaux" qui sont provoqués par des animaux et des plantes (dommages causés à la végétation par des animaux ou autres, différentes phases et saisons de croissance du riz ou du blé, etc.). De plus, dix aspects des applications des méthodes de détection de changements utilisant des images de télédétection sont résumés dans ces travaux [Mas 1999] [Adams et al. 2004] [Lu et al. 2004] [Sui et al. 2008] [Jianya et al. 2008a] [Gao 2009a] : (1) Détection des changements de l'occupation et l'utilisation du sol ; (2) Détection des changements de la forêt ou de la végétation ; (3) Pour l'évaluation des dommages en cas des catastrophes, la mortalité de la forêt, etc. ; (4) Déforestation ; (5) Changement des zones humides ; (6) Incendies des forêts ; (7) Changement du paysage ; (8) Changement des zones urbaines ; (9) Changement de l'environnement ; (10) Autres applications telles que : surveillance des cultures et changements dans l'équilibre de masse des glaciers, etc.

Dans certaines de ces applications [Hall et al. 2003] [Coppin et al. 2004] [Lu et al. 2004] [Sui et al. 2008] [Gao 2009a], des méthodes de détection de changements sont capables de détecter de changements en trois dimensions temporelles différentes selon la nécessité et la disponibilité des données : (1) En temps réel pour observer en direct des objets en mouvement avec leurs trajectoires (par exemple : le cyclone Katrina, la tempête Xynthia, etc.) ; (2) En temps quasiment

réel dans des applications des services d'urgence (par exemple : détecter des changements en cas d'incendies de forêts, ou d'inondations, etc.) ; (3) En temps non-réel (par exemple : pour détecter les changements de la forêt, de la végétation, ou des zones urbaines, etc.). La détection de changements en temps non-réel est la plus fréquente et la plus commune.

Au niveau de la dimension des changements, la détection de changements par les méthodes peut être divisée en deux catégories principales [Hall et al. 2003] [Lu et al. 2004] [Sui et al. 2008] [Gao 2009a] : (1) Changement de deux dimensions (2D) (par exemple : détection de changement des bâtiments, des routes et champs agricoles entre deux images satellites, ou entre une image et une carte, etc.) ; (2) Changement de trois dimensions (3D) (par exemple : reconstruction des paysages ou des bâtiments 3D par des images LIDAR, RADAR, multi-spectrales, etc.). La détection de changements de deux dimensions (2D) est la plus fréquente et la plus commune dans la plupart des travaux.

Au niveau des données comme sources pour la détection de changements, les méthodes peuvent être regroupées en trois catégories générales [Li et al. 2002] [Lu et al. 2004] [Sui et al. 2008] [Gao 2009a] : (1) Entre deux images satellites ou aériennes à des dates différentes ; (2) Entre une seule image satellite ou aérienne et une seule carte numérique ; (3) Entre des images satellites ou aériennes (multi-résolutions, multi-spectrales, multi-temporelles) et des données de SIG (vectorielle ou raster, MNT, etc.). Cette troisième catégorie est prise comme l'union de ces deux premières catégories.

Au niveau de l'automatisation des méthodes de détection de changements, elles sont regroupées en trois catégories : (1) Non-automatique : par interprétation visuelle d'images (par exemple, cette technique est utilisée récemment pour la génération et la détection de changements dans la base CORINE Land Cover (CLC2000) sur des images satellites LANDSAT ETM [Feranec et al. 2007]) ; (2) Semi-automatique : par exemple, une comparaison interactive avec une méthode d'extraction semi-automatique des primitives entre des images satellites LANDSAT ETM et des données topographiques [Armenakis et al. 2002], par une classification orientée objet [Nussbaum et al. 2007] ; et (3) Automatique : par exemple, une méthode de classification orientée objet ou supervisée en appliquant une méthode d'extraction automatique des échantillons d'apprentissages des données des SIG pour éviter l'intervention d'un opérateur humain [Walter 1999] [Walter 2000] [Walter 2004b], ou par une analyse spatiale des relations topologiques entre deux objets géographiques d'images satellites et d'une carte numérique [Wang et al. 2009].

Toutefois, la détection de changements n'est pas toujours réalisable pour tous les cas étudiés sans l'intervention d'un opérateur humain [Samadzadegan et al. 2004]. Pour détecter automatiquement des changements, beaucoup de difficultés doivent être surmontées [Li et al. 2002]. Parmi ces difficultés, nous citons les suivantes [Dowman 1998] [Li et al. 2002] : l'extraction et la reconnaissance automatique d'objets à partir des images satellites ; la correction géométrique et radiométrique ; le recalage automatique ; et l'intégration de données multi-sources (images de télédétection, données des SIG, etc.).

Dans ce contexte, la détection automatique du changement reste un sujet de recherche très actif et de nouvelles techniques continueront à être développées [Li et al. 2002] [Olsen et al. 2002] [Hall et al. 2003] [Samadzadegan et al. 2004] [Qiu et al. 2004] [Gautama et al. 2006] [Lacroix et al. 2006] [Frauman et al. 2006] [Feranec et al. 2007] [Niemeyer et al. 2008] [Wang et al. 2009].

Pour développer une nouvelle technique de détection automatique de changements, il est important d'être en mesure de la mettre en œuvre facilement et de fournir des résultats précis sur le type, le contenu et la nature des changements (nouvel objet, objet disparu, fusion d'objets,

décomposition et scission d'objet, changement de la classe thématique d'un objet, etc.) associés aux trajectoires spatio-temporelles [Li et al. 2002] [Zhou et al. 2004] [Zhou et al. 2008].

Bien qu'une grande variété de techniques de détection des changements aient été développées, il est toujours difficile de développer, de choisir ou de mettre en œuvre une méthode automatique et précise de détection des changements pour des fins spécifiques de recherche dans une zone géographique d'intérêt.

Cependant, certains changements sur la surface de la Terre ne peuvent pas être détectés par des données de télédétection parce que ces données sont limitées par les résolutions (spatiale, temporelle, spectrale et radiométrique).

De nombreuses informations, telles que les changements qui sont de très petite taille, spatialement indétectables, courts dans le temps (temporellement indétectables) et similaires dans la signature spectrale (spectralement indétectables) ne peuvent être facilement détectés ni identifiés. Il est clair que des changements, pour être détectés par des images satellites, doivent satisfaire aux exigences de la résolution spatiale, spectrale et temporelle, les résolutions des satellites ne cessant pas de s'améliorer [Lacroix et al. 2006] [Moeller et al. 2006] [Frauman et al. 2006] [Niemeyer et al. 2008].

En dépit des nombreux facteurs influant sur le choix des méthodes appropriées de détection du changement, les méthodes les plus communes et courantes sont la différence d'images, PCA, CVA et la comparaison post-classification [Lu et al. 2004] [Gao 2009a]. Dans la pratique, cette dernière est la procédure la plus précise et elle présente l'avantage d'indiquer le type et la nature du changement ; cependant, elle nécessite un effort considérable pour mettre en œuvre une méthode fiable de classification.

Les SIG sont aussi des outils très utiles dans de nombreuses applications de détection des changements, en particulier lorsque des données multi-sources, multi-résolutions et multi-temporelles sont utilisées [Petit et al. 2001] [Lu et al. 2004] [Zhou et al. 2004] [Sui et al. 2008]. Dans une méthode hybride automatique de détection des changements, nous pouvons intégrer la méthode d'analyse topologique détaillée du système du raisonnement spatial RCC8 [Wang et al. 2009] avec la méthode de la comparaison de post-classification [Lu et al. 2004] [Gao 2009a] afin de détecter et d'identifier les quatre types de changements possibles (géométrique, topologique, thématique et hybride).

Dans la section suivante, nous allons étudier le rôle important des relations topologiques du système RCC8 pour notre travail de recherche.

La notion de la topologie et la description des relations topologiques par le système RCC8 seront présentées afin de découvrir et d'exploiter leur utilité dans des applications telles que : l'analyse d'images satellites, la détection des changements et l'analyse spatiale dans des SIG.

1.3. Rôle des Relations Topologiques et du Système de Raisonnement Spatial RCC8 (Region Connection Calculus)

« Everything is related to everything else,
but near things are more related
than distant things »

Tobler's First Law of Geography [Tobler 1970]

Les relations topologiques entre objets spatiaux jouent un rôle très important pour le raisonnement spatial, l'analyse spatiale, et les requêtes spatiales dans des bases de données spatiales telles que les SIG et des bases de données d'images qui sont souvent fondées sur la description de ces relations [Clementini et al. 1993b] [Clementini et al. 1994] [Lopez-Ornelas et al. 2005a&b] [Schultz et al. 2006].

L'analyse topologique par le système RCC8 reste aussi un thème de recherche très actif pour l'analyse et l'interprétation des images satellites, la détection des changements et la mise à jour des SIG [Lopez-Ornelas et al. 2005a&b] [Inglada et al. 2009] [Wang et al. 2009].

Dans cette section, nous allons présenter la définition de la topologie et la description des relations topologiques par des modèles topologiques. Les relations topologiques peuvent décrire un type d'information spatiale qualitative entre les objets spatiaux. Ensuite, nous allons voir le rôle du système du raisonnement spatial RCC8 qui permet de décrire et distinguer huit relations topologiques entre deux régions spatiales dans un espace à deux dimensions. Grâce à l'utilisation de la table de composition, ce système RCC8 a aussi la capacité de raisonner et de trouver les relations topologiques possibles entre deux objets A et C si les relations topologiques entre A et B, et entre B et C sont connues. Enfin, nous citons les applications de ce système RCC8 qui nous intéressent dans notre travail de recherche.

1.3.1. Topologie et Relations Topologiques

La topologie est un des multiples aspects de l'arrangement spatial des objets dans l'espace. Elle concerne les objets de dimension supérieure ou égale à zéro (un point de (zéro) 0-dimension (0D), une ligne ou une courbe de 1-dimension (1D), un polygone ou une région de 2-dimensions (2D), une sphère ou un cube de 3-dimensions (3D)) et elle s'intéresse à la position relative des frontières de ces objets. L'utilisation d'une représentation topologique permet de modéliser les relations spatiales entre les objets spatiaux en fonction de leur proximité, adjacence, connectivité et confinement (« un objet est à l'intérieur d'un autre objet »). Les propriétés des formes géométriques et les relations géométriques entre les objets géographiques invariants par homomorphismes telles que la translation, la rotation et la mise à l'échelle sont respectivement les propriétés topologiques et les relations topologiques [Egenhofer et al. 1991a] [Billen et al. 2009]. La topologie est parfois appelé la "géométrie de feuille de caoutchouc" (ou dite « rubber-sheet »), parce que du point de vue topologique, nous pouvons voir des figures géométriques comme si elles étaient établies sur des feuilles de caoutchouc infiniment extensibles. En d'autres termes, les propriétés topologiques d'un dessin sont conservées lorsque la feuille de caoutchouc se déforme en fonction des transformations (étirement, flexion, torsion ou compression).

Il faut distinguer la topologie au sens mathématique et l'utilisation qui en est faite dans les logiciels de SIG. Du point de vue d'ESRI [ESRI 2010], une topologie dans des SIG (ArcGIS ESRI) [ESRI 2005] est un ensemble de règles et de comportements pour savoir comment les

points, les lignes, les régions et les polygones de modélisation se partagent la géométrie. Par exemple, des régions adjacentes, telles que deux régions administratives, se partageront une ou plusieurs frontières communes. La topologie de voisinage permet à partir des arcs constituant le polygone de connaître les voisins de chaque surface ou région géographique. La topologie permet aussi de garantir un niveau de qualité lors de la création des données spatiales. L'autre avantage de la topologie réside dans le fait qu'elle permet d'éditer, de valider, de créer et de maintenir la cohérence topologique dans des bases de données géographiques (selon la définition dans ArcGIS d'ESRI Version 9.3 : une base de données géographiques est appelée Géodatabase), et lors d'une modification ou d'un changement géométrique d'un objet spatial qui modifie aussi la forme de ses voisins spatiaux. La topologie dans ArcGIS d'ESRI permet de modéliser les relations spatiales entre des classes d'entités stockées dans un même jeu de classes. Les règles de topologie (voir Figure 1.2) [ESRI France 2004] permettent de définir les relations entre les entités d'une même classe d'entités ou entre les entités de deux classes ou sous-types. Elles permettent ainsi de définir les relations spatiales requises par un modèle de données de l'utilisateur. Les erreurs de topologie sont les violations de ces règles que l'utilisateur peut manuellement identifier et gérer en utilisant les outils de mise à jour des données d'ArcMap [ESRI 2003] [ESRI France 2004]. Les inconvénients de cette notion de la topologie sont : (1) cela demande plus de temps et de rigueur dans la création et la mise à jour des données géographiques, et (2) l'application de règles topologiques risque de créer et générer de nouvelles erreurs qu'il faudra gérer à leur tour.

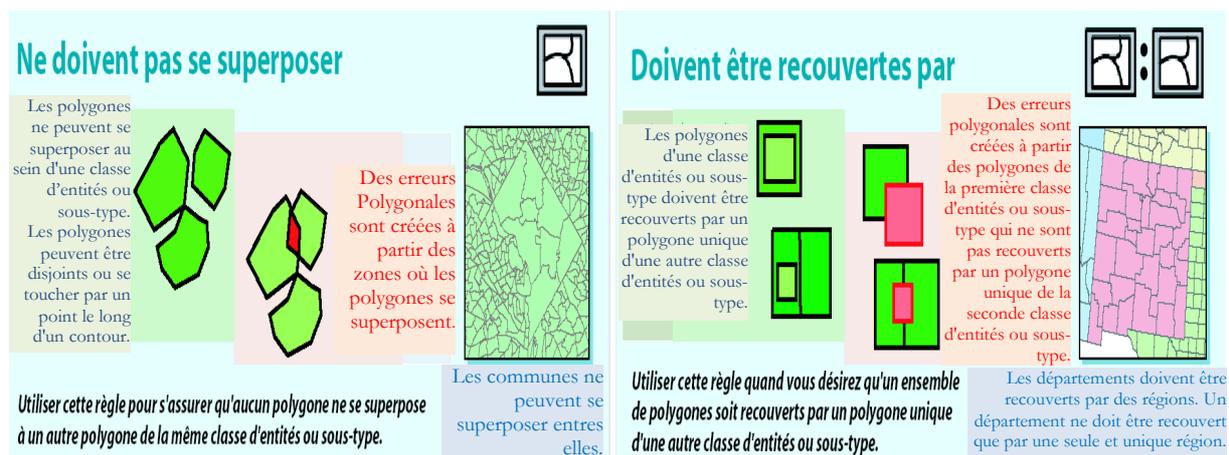


Fig. 1.2 : Quelques règles topologiques polygonales tirées de [ESRI France 2004]

La topologie désigne aussi l'expression des relations entre des objets spatiaux. De ce fait, pour représenter, décrire et extraire les informations topologiques, plusieurs modèles topologiques (4-Intersections (I4) [Egenhofer 1989] [Egenhofer et al. 1991a] [Egenhofer et al. 1993b], 9-Intersections (I9) [Egenhofer et al. 1991b] [Egenhofer et al. 1993a] [Egenhofer et al. 1993b], Region Connection Calculus (RCC) [Randell et al. 1992] [Cui et al. 1993] [Cohn et al. 1997a], Dimension Extended Model (DEM) et Calculus-Based Model (CBM) [Clementini et al. 1993a] [Clementini et al. 1995] avec les modèles des combinaisons de DEM avec I4 (ou avec I9) par exemple : Dimension Extended 4-Intersections (DE-4IM), Voronoi-Based 9-Intersections (VI9) [Chen et al. 1998] [Chen et al. 2001], Intersection et Différence (ID) [Deng et al. 2007a], etc.) ont été proposés et étudiés dans la littérature, permettant de décrire un type d'information spatiale qualitative entre les objets.

En termes de type d'objets spatiaux dans un espace à deux dimensions, les relations topologiques peuvent être subdivisées en six groupes fondamentaux [Egenhofer et al. 1991b] [Egenhofer et al. 1993b] [Clementini et al. 1995] [Deng et al. 2007a] [Deng et al. 2007b] [Deng

2008] : point-point, point-ligne, point-région, ligne-ligne, ligne-région, et région-région. Parmi ces six groupes, il y a souvent une concentration spécifique de recherche sur les modèles de description des relations topologiques du groupe région-région (entre deux régions spatiales) qui sont couramment les plus utilisées dans la littérature en comparaison avec d'autres groupes (par exemple, ligne-ligne ou ligne-région) [Egenhofer et al. 1993b] [Deng 2008].

Ces modèles (I4, I9, RCC, DEM, CBM, VI9, ID etc.) peuvent généralement distinguer et décrire huit relations topologiques différentes entre deux régions spatiales [Egenhofer et al. 1991a] [Egenhofer et al. 1993a] [Clementini et al. 1995] [Deng et al. 2007a]. Ces huit relations font le cœur de la théorie du système du raisonnement spatial RCC8 (Region Connection Calculus) [Randell et al. 1992] [Cui et al. 1993] [Cohn et al. 1997a] et elles sont caractérisées par les noms topologiques qualitatifs suivants [Egenhofer et al. 1991a] [Egenhofer et al. 1993a] [Deng et al. 2007a] : Déconnexion (Disjoint), Adjacence (Meets), Chevauchement (Overlaps), Inclusion Non-Tangentielle ou Être à l'intérieur (Inside (Inclusion Non-Tangentielle) et Contains (Inclusion Non-Tangentielle Inverse)), Inclusion Tangentielle (Covers (Inclusion Tangentielle Inverse) et CoveredBy (Inclusion Tangentielle)), Égalité (Equal). L'intérêt de cette description qualitative réside dans le fait qu'elle permet de comprendre les relations entre objets géographiques dans une image satellite, une carte numérique, par exemple, une route peut être en relation d'adjacence ou de déconnexion avec un bâtiment ou un jardin. Il est intéressant de voir comment deux objets géographiques se connectent entre eux [Egenhofer et al. 1993a] [Deng et al. 2007a]. Par exemple, la relation de déconnexion (dite "non-connexion"), dans la méthode de détection de changement [Wang et al. 2009], permet de distinguer les nouveaux objets et les objets disparus dans des images satellites et données des SIG.

Dans la section suivante, nous allons présenter en détail la théorie du système de raisonnement spatial RCC8.

1.3.2. Système de Raisonnement Spatial RCC8

La théorie du système RCC8 a été développée ces dernières années par une équipe de chercheurs de Leeds [Randell et al. 1992] [Cui et al. 1993] [Cohn et al. 1997a] [Cohn et al. 1997b]. Elle est née du besoin d'avoir une représentation spatiale qualitative par opposition aux modélisations métriques habituelles. RCC (Region Connection Calculus) est une tentative dans le domaine du raisonnement spatial pour s'affranchir des aspects quantitatifs et pour rester plus proche du raisonnement humain, de même que la théorie d'Allen (Allen's Interval Algebra) [Allen 1983] dans le domaine du raisonnement temporel.

L'idée essentielle de base est une relation binaire primitive entre deux entités spatiales qui dit comment une entité se connecte avec l'autre entité, et qui est définie par des entités ou des régions non-vides. En utilisant la relation primitive, un ensemble de huit relations a été élaboré [Randell et al. 1992] [Cui et al. 1993] [Cohn et al. 1997a], ce qui donne la naissance du système de raisonnement spatial RCC8.

Ces huit relations topologiques du système RCC8 peuvent décrire différents degrés de connexion entre les régions spatiales et elles sont très connues généralement sous la forme écrite classique (voir Figure 1.3) : (1) Disconnected (DC), (2) Externally Connected (EC), (3) Partially Overlapping (PO), (4) Tangential Proper Part (TPP), (5) Non-Tangential Proper Part (NTPP), (6) Tangential Proper Part inverse (TPPi), (7) Non-Tangential Proper Part inverse (NTPPi), (8) Equal (EQ) ; ou avec les noms des relations topologiques qualitatives à savoir : (1) Disjoint (DC), (2) Meets (EC), (3) Overlaps (PO), (4) CoveredBy (TPP), (5) ContainedBy (Inside) (NTPP), (6) Covers (TPPi), (7) Contains (NTPPi), (8) Equal (EQ) [Egenhofer 1989] [Egenhofer et al. 1991a]

[Egenhofer et al. 1993a] [Randell et al. 1992] [Cui et al. 1993] [Clementini et al. 1993a] [Deng et al. 2007a].

Le système RCC8 sert au raisonnement spatial qualitatif et à la représentation spatiale dans les SIG. Il peut être utilisé pour raisonner sur des changements des configurations spatiales [Egenhofer et al. 1992].

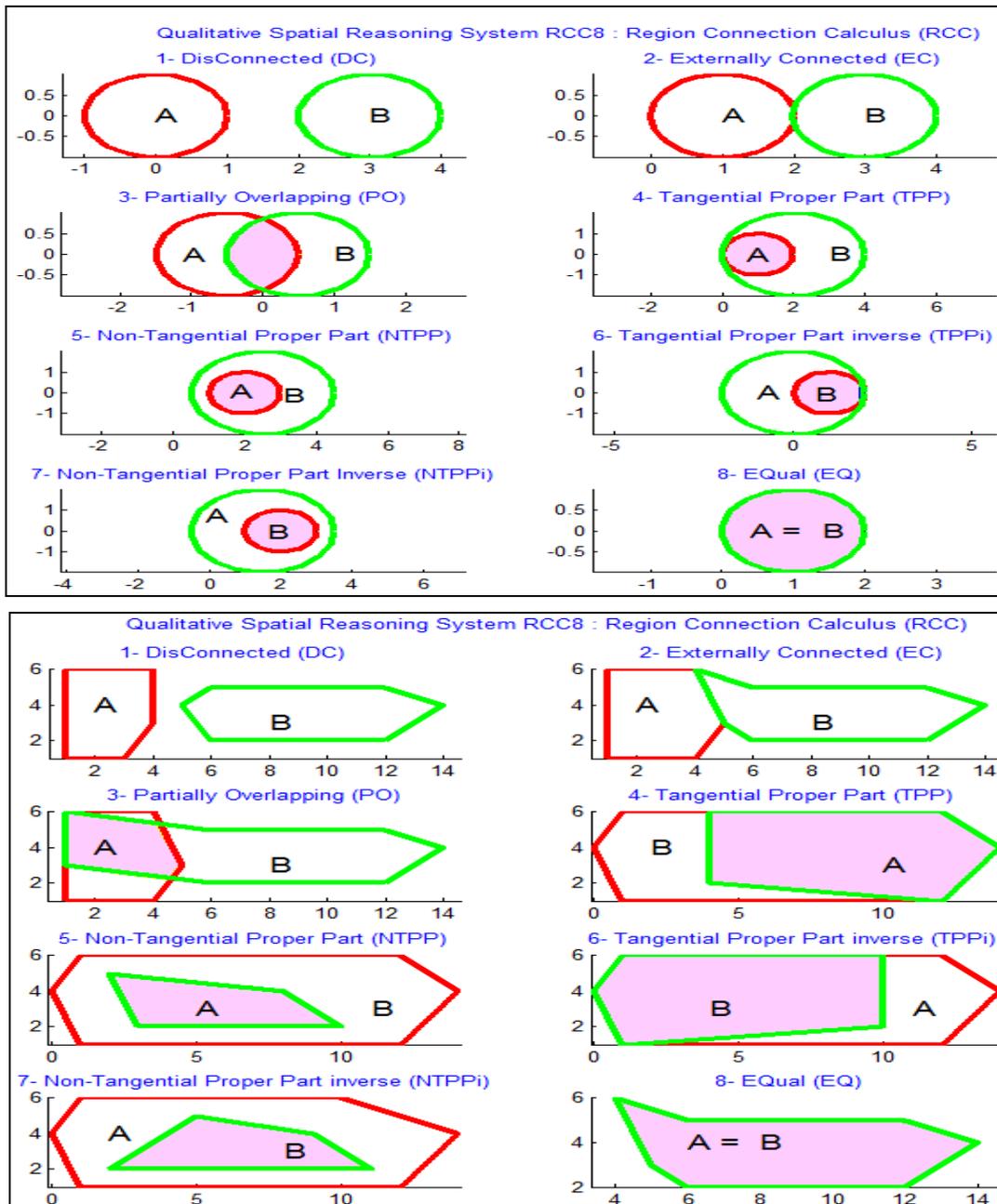


Fig. 1.3 : Représentations graphiques multiples ((1.3-a) circulaire, et (1.3-b) polygonale) pour les huit relations topologiques de base du système de raisonnement spatial RCC8

Dans le chapitre 2, nous allons revenir sur ces relations afin de les étudier en détail car du point de vue topologique, ces relations de même type (EC ou PO, etc.) ont des invariants topologiques (par exemple : la dimension, le nombre de séparations et le type des composants spatiaux aux frontières entre deux régions spatiales, etc.) [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al.

1995] [Deng et al. 2007a]. Ces invariants permettent de décrire différemment les relations topologiques en détail et de les distinguer. Par exemple, la relation topologique EC dans la représentation circulaire (Figure 1.3-a), peut être déterminée par un point (de dimension 0D) de connexion extérieure, alors que, dans la représentation polygonale (Figure 1.3-b), elle peut être déterminée par une ligne (de dimension 1D) de connexion extérieure. Dans les travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a], cet invariant topologique appelé la dimension a été appliqué pour détailler les relations entre régions spatiales.

Ce système RCC8 peut être réduit à cinq relations topologiques au lieu de huit en ignorant la connexion à la frontière entre régions spatiales et le système RCC5 contient les cinq relations suivantes [Cohn et al. 1997a] [Cohn et al. 1997b] [Renz 2002] : (1) Disjoint (DC) et Meets (EC) appelé DR, (2) Overlaps (PO), (3) CoveredBy (TPP) et ContainedBy (Inside) (NTPP) appelé PP, (4) Covers (TPPi) et Contains (NTPPi) appelé PPi, (5) Equal (EQ).

Dans la section suivante, nous allons voir les applications de l'analyse topologique par l'utilisation des relations topologiques et du système RCC8.

1.3.3. Applications

Les applications de la description qualitative des relations topologiques et du système RCC8 sont nombreuses dans divers domaines tels que les SIG, les bases de données spatiales, les systèmes CAD/CAM, les bases de données d'images, l'analyse spatiale, l'interprétation d'image satellite, la vision par ordinateur, l'intelligence artificielle (AI), la robotique [Egenhofer et al. 1991b] [Cui et al. 1993] [Seixas et al. 1994] [Li et al. 1998] [Brennan et al. 1998] [Duckham et al. 2006] [Hodé et al. 2007] [Podestà et al. 2007] [Nedas et al. 2008] [Farah et al. 2008] [Blaschke et al. 2008] [Inglada et al. 2009].

Dans cette thèse, nous nous intéressons aux applications des relations topologiques et du système RCC8 pour l'analyse spatiale et la détection des changements topologiques dans des images satellites afin de les intégrer dans un processus de mise à jour des données des SIG.

Dans ce contexte, nous avons mené des recherches sur les travaux existants concernant ces applications. Dans l'objectif d'interpréter des images satellites [Seixas et al. 1994] ou aériennes [Brennan et al. 1998] et de mettre à jour des cartes numériques [Brennan et al. 1998], des relations topologiques ont été l'objet d'une approche qualitative du raisonnement spatial. Plus récemment, les relations topologiques et le système RCC8 ont été utilisés pour la détection d'objet, l'analyse et l'interprétation des images de télédétection de haute résolution [Inglada et al. 2009]. Les relations topologiques ont été aussi intégrées dans une approche de raisonnement sur la similarité des scènes spatiales et des requêtes de scène spatiale (par exemple : une carte numérique des SIG) [Bruns et al. 1996] [Nedas et al. 2008]. Dans un processus d'analyse d'image orienté-objet (Object-Based Image Analysis) [Liu et al. 2008], les relations topologiques ont été employées pour créer et construire des règles afin de classifier et de raffiner les résultats de classification des objets dans des images satellites à haute résolution. L'analyse de la topologie des scènes urbaines (image LiDAR et données des SIG) par la théorie des graphes pour la représentation de plusieurs niveaux de la relation topologique d'adjacence (représentation par une matrice et des listes d'adjacence) a été abordée [Almeida et al. 2007].

Dans l'objectif de détecter des changements topologiques qu'un objet de structures topologiques complexes peut subir dans le temps, les relations topologiques du modèle de 9-intersections ont été utilisées [Jiang 2009]. Puis deux modèles de classification des changements topologiques ont été aussi développés [Jiang 2009]. Cinq types des changements topologiques de base ont été définis : Insertion (Insert), Division (Split), Fusion (Merge), Suppression (Delete), et

Non-Changement ; des changements topologiques complexes sont définis comme une série de changements topologiques de base. Cet objet de structures topologiques complexes peut être une scène d'image satellite à très haute résolution où la complexité topologique des objets est présente de façon très forte.

La description des relations topologiques du système RCC8 par le modèle de 4-intersections entre deux objets d'une image satellite (SPOT) et d'une carte numérique permet de détecter automatiquement des changements topologiques des zones résidentielles [Wang et al. 2009]. Par conséquent, il est possible de définir six types de changements d'objet : disparition complète, apparition, extension, "en partie" disparu, "en partie" disparu et "en partie" apparu (combinaison de deux types de changements), non-changement [Wang et al. 2009].

La classification des types de changements sera étudiée dans la section 3.4.1.3 du chapitre 3.

Dans ce chapitre 1, nous avons mené ces investigations sur les méthodes de mise à jour des SIG, les méthodes de détection des changements, et les domaines d'application des relations topologiques et du système RCC8 afin de bien orienter et concentrer notre recherche sur la détection des changements topologiques pour la mise à jour des données des SIG par une analyse topologique du système RCC8. Par la suite, nous allons présenter notre motivation pour mener ce travail à ses objectifs majeurs.

1.4. Motivation

Les travaux anciens [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer et al. 1997] et récents [Liu et al. 2007] [Deng et al. 2007a] montrent la nécessité d'approches topologiques permettant le raisonnement spatial tel que le système RCC8 pour être utilisé au niveau détaillé. Plus importants encore sont les besoins d'utiliser des modèles topologiques qui sont capables de différencier non seulement les huit relations topologiques de base du système RCC8, mais également avec plus de détails topologiques [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] nécessaires dans certaines applications de détection des changements d'images satellites et d'analyse spatiale dans des SIG [Egenhofer et al. 1992] [Deng et al. 2007a] [Wang et al. 2009].

Les données géographiques sont disponibles en plusieurs formats différents qui contiennent des informations de différents niveaux de détails (la grossièreté et la structure générale). Par exemple, pour les utilisateurs des SIG à des fins d'analyse spatiale, des questions telles que : « Combien de fois deux régions administratives se touchent ? » et « Quelles sont les éléments spatiaux de connexion (points, lignes ou les deux ensembles) entre deux régions spatiales ? » ou des requêtes spatiales sont nécessaires et indispensables. Ces questions concernent des détails topologiques de la relation entre deux régions administratives ou spatiales. Ces détails ne peuvent pas être identifiés en détail par le système RCC8.

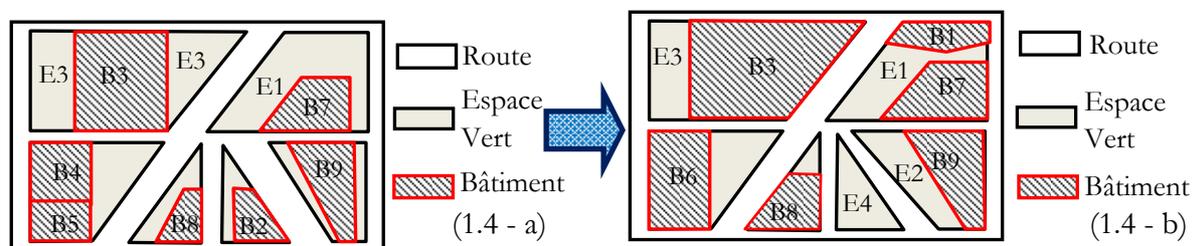


Fig. 1.4 : Plusieurs changements : géométrique, topologique et thématique

Nous prenons un exemple de démonstration (Figure 1.4) à partir de deux parties de deux cartes numériques. Nous observons des changements dans la géométrie des objets géographiques

« Bâtiment » et « Espace Vert », qui, pouvant être causés par des changements réels dans le temps, peuvent mener par la suite à des changements topologiques et thématiques. Or, la connaissance du détail des nouvelles modifications thématiques et des changements topologiques est nécessaire à certains utilisateurs. Par exemple, la détection d'un nouvel objet (B1), la disparition d'un autre (B2), la fusion d'objets (B4 et B5 donnent l'objet B6), l'extension d'objet (B3), etc., sont considérées comme des changements qui peuvent être détectés par une méthode d'analyse topologique. Cette méthode peut être basée sur l'extraction et la description des relations topologiques par le système RCC8.

Autre exemple : une nouvelle relation topologique entre le nouvel objet B1 et l'objet E1 est établie pour ce nouvel objet B1. Cela permet de détecter ce nouvel objet B1. D'autres changements topologiques peuvent aussi être générés. Par exemple, la relation topologique détaillée entre les deux objets B3 et E3 n'est pas la même, car dans la Figure 1.4-a l'objet B3 est à l'intérieur de l'objet E3 avec deux lignes de connexion alors que dans la Figure 1.4-b l'objet B3 est à l'intérieur de l'objet E3 avec trois lignes de connexion. Par contre, par le système RCC8, les deux relations sont les mêmes, données par la relation TPP ou TPPi. Ce changement est considéré comme changement topologique de haut niveau en détails.

Notre motivation dans ce travail est un intérêt tout particulier porté à exploiter, détailler et enrichir le système RCC8 pour détecter ces changements topologiques en détails pour la mise à jour des SIG, dans des applications comme l'analyse des images satellites.

1.5. Problématique

Une problématique récurrente de l'imagerie satellitaire est la détection de changements entre des paires d'images d'une même scène, ou entre une image et une carte numérique [Bruzzone et al. 2000] [Jinghui et al. 2005] [Frauman et al. 2006] [Wang et al. 2009a]. Cette problématique intervient pour la mise à jour de bases de données géographiques [Walter 1998] [Petzold et al. 1999] [Baillouel et al. 2003] [Champion 2007] [Heipke et al. 2008] [Poulain et al. 2009].

Malgré l'amélioration notable de la résolution d'images satellites ces dernières années et le développement d'une grande variété de méthodes de détection de changements (quantitative, qualitative et thématique, etc.) [Coppin et al. 1996] [Mas 1999] [Lu et al. 2004] [Alberti et al. 2004] [Sui et al. 2008] [Jianya et al. 2008b] [Gao 2009a] [Wang et al. 2009], le problème de la détection de changements reste difficile et mobilise encore de nombreuses équipes.

Parmi les méthodes de détection de changements, les méthodes qualitatives sont peu étudiées. Elles peuvent être considérées comme des méthodes d'extraction, d'identification et de détermination des caractéristiques spatiales et topologiques de haut niveau par des méthodes d'analyse topologique et de raisonnement spatial [Wang et al. 2009] [Jiang 2009] [Inglada et al. 2009] [Liu et al. 2008] [Sui et al. 2008]. Ces méthodes d'analyse topologique sont basées en principe sur l'identification des relations topologiques du système de raisonnement spatial RCC8 [Egenhofer 1989] [Egenhofer et al. 1991b] [Cui et al. 1993], [Clementini et al. 1995] [Chen et al. 1998] [Chen et al. 2001] [Deng et al. 2007a].

Les relations du système RCC8 jouent un rôle important pour le raisonnement et l'analyse spatiale, l'analyse et la similarité topologique des scènes d'images satellites, et la mise à jour de bases de données des SIG [Clementini et al. 1994] [Bruns et al. 1996] [Lopez-Ornelas et al. 2005a] [Schultz et al. 2006] [Nedas et al. 2008] [Jiang 2009] [Wang et al. 2009] [Inglada et al. 2009].

L'amélioration de méthodes d'analyse d'images satellites et de détection de changements qualitatifs amène à exploiter la richesse du système RCC8 à tous niveaux de détails topologiques [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a].

L'intérêt particulier de l'exploitation du système RCC8 est qu'elle permet de détecter automatiquement les différents niveaux de détails de changements topologiques entre des régions géographiques représentées sur une carte numérique ou dans des images satellitaires [Nedas et al. 2008] [Deng et al. 2007a], où des changements dans la structure géométrique d'une scène ou d'un objet géographique peuvent provoquer des changements topologiques.

Dans ce contexte, nous nous intéressons à l'étude des relations topologiques du système RCC8 à plusieurs niveaux de détails topologiques.

1.6. Objectifs de la Thèse

Dans cette étude, nous consacrons notre travail de recherche à l'enrichissement du système de raisonnement spatial RCC8 pour l'analyse topologique et la détection des changements topologiques entre des images satellites et des données des SIG. Nous nous concentrons sur les deux objectifs majeurs suivants.

Notre premier objectif est d'enrichir et de décrire les relations topologiques du système RCC8 à multiples niveaux de détails. Afin de surmonter l'insuffisance des modèles topologiques existants [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a], l'extension du modèle d'Intersection et Différence (ID) a la capacité de décrire en détails les relations du système RCC8.

Par cette extension du modèle ID, nous pouvons extraire tous les détails nécessaires pour distinguer et identifier des relations entre deux régions spatiales. L'opérateur d'intersection du modèle ID entre deux frontières de deux régions spatiales permet d'obtenir des invariants topologiques. Ces invariants topologiques sont le nombre de séparations et le type des éléments spatiaux de l'opérateur d'intersection frontière-frontière. Ces invariants sont déterminés par la valeur non-vide d'intersection frontière-frontière.

L'invariant topologique du nombre de séparations est défini par le nombre des éléments spatiaux (points et lignes) de l'intersection. Quant à l'invariant topologique du type des éléments spatiaux, il est défini par les voisinages spatiaux de chaque élément spatial de l'intersection. Nous concentrons notre travail sur les quatre relations (EC, PO, TPP, TPPi) du système RCC8 parce que l'opérateur d'intersection de frontière-frontière pour ces relations a toujours une valeur non-vide.

En se basant sur ces deux invariants, le système RCC8 sera enrichi et détaillé à deux niveaux (niveau-1 et niveau-2) et le nouveau système appelé RCC-16 composé de seize relations topologiques au lieu de huit. La première contribution de ce travail réside dans les nouvelles relations topologiques du système RCC-16 à deux niveaux de détails qui nous permettent de détecter et d'identifier l'incohérence et les changements topologiques avec beaucoup d'information qualitative topologique détaillée. Nous allons proposer une méthode de détection des changements topologiques fondée sur l'analyse topologique et le raisonnement spatial par ce système RCC-16 au niveau-1.

Notre deuxième objectif est de proposer et développer un modèle topologique flou pour la description des relations topologiques entre deux régions spatiales floues. Ce nouveau modèle appelé modèle topologique Flou d'Intersection et Différence (FID) est une extension du modèle d'Intersection et Différence (ID) pour la modélisation des relations topologiques entre régions spatiales floues. 152 relations topologiques peuvent être extraites à l'aide de ce modèle FID.

Ces 152 relations topologiques seront regroupées dans huit clusters qualitatifs du système RCC8 : Disjoint, Meets, Overlaps, CoveredBy, Inside, Covers, Contains, et Equal.

Nous étudions aussi la complexité et la distance topologiques, la construction de graphes conceptuels de voisinage, la construction d'arbres de décision pour les requêtes spatiales de ces 152 relations topologiques.

La contribution de cette thèse se situe dans :

- l'enrichissement du système du raisonnement spatial RCC8 pour détailler les relations topologiques dans le but d'ajouter de nouvelles informations à leur description,
- l'application du système RCC8 pour la détection des changements dans un processus de mise à jour des SIG,
- un cas particulier d'étude qui concerne l'extension et l'enrichissement du système RCC8 pour l'identification des relations topologiques entre deux régions floues.

1.7. Organisation du Manuscrit

La suite de ce manuscrit s'organise en 5 chapitres.

Le chapitre 2 présente la modélisation des relations topologiques entre régions spatiales simples par le système RCC8 et les modèles topologiques existants. Dans ce chapitre, l'extension du modèle topologique d'Intersection et Différence (ID) par des invariants topologiques (le nombre de séparations, le voisinage et le type d'un élément spatial) est définie.

Dans **le chapitre 3**, nous allons enrichir et détailler quatre relations topologiques du système RCC8 par l'invariant topologique du nombre de séparations des éléments spatiaux au niveau-1. Le nouveau système de raisonnement spatial sera nommé RCC-16 au niveau-1. Les nouvelles relations du système RCC-16 seront appliquées afin de détecter des changements topologiques dans des images satellites.

Dans **le chapitre 4**, pour des problèmes de confusion entre des relations topologiques du système RCC-16, nous allons enrichir les relations topologiques du système RCC-16 par l'invariant topologique du type des éléments spatiaux au niveau-2. Le nouveau système de raisonnement spatial sera nommé aussi le système RCC-16 au niveau-2. Afin de valider les nouvelles relations de ce système RCC-16, nous allons tester et appliquer ce nouveau système afin de détecter des changements topologiques dans des images satellites.

Dans **le chapitre 5**, nous allons proposer et développer un modèle topologique flou pour la description des relations topologiques entre deux régions spatiales floues. Ce nouveau modèle appelé Modèle Flou d'Intersection et Différence (FID) est considéré dans notre étude comme un cas particulier de l'enrichissement du système RCC8 pour des régions floues. Les propriétés (la complexité et la distance topologiques, la construction de graphes conceptuels de voisinage, la construction d'arbres) des 152 relations topologiques extraites à l'aide de ce modèle FID seront étudiées. Les 152 relations seront regroupées dans huit clusters qualitatifs. Nous concluons ce chapitre avec des discussions et les applications envisagées du modèle FID.

Enfin, nous concluons ce travail de thèse en rappelant nos contributions majeures, les apports principaux et l'originalité de notre travail. Le bilan général aborde les points forts et faibles de ces contributions dans le domaine de l'analyse d'image satellite par enrichissement du système RCC8 et en précisant ses limites et les perspectives de recherche envisageables pour la suite.

Chapitre 2

Modélisation des Relations Topologiques

« Cette seconde section du quatrième climat comprend une partie de la mer Méditerranée, ses nombreuses îles...et une partie des pays chrétiens de l'intérieur. Au nombre des principales îles comprises dans la présente section, il faut ranger les îles de Sardaigne, Corse et Sicile. Parmi les îles qui avoisinent le continent, il y a celle d'Elbe, à un jour de navigation de la Corse. »

« La présente cinquième section du quatrième climat contient la description de la partie de la mer de la Syrie où se trouvent les îles de Rhodes et de Chypre ... »

Al-Idrisi, Géographe Arabe au XII^e Siècle [Al-Idrisi 1154]

Sommaire

2.1. Introduction	21
2.2. Topologie Générale d'un Ensemble Spatial de Points	24
2.3. Modèles et Relations Topologiques	25
2.3.1. Modèles et Relations Topologiques au Niveau sans Détail	26
2.3.2. Modèles et Relations Topologiques au Niveau Détaillé	34
2.4. Nos Choix de Modèles Topologiques	46
2.5. Invariants Topologiques et Extension du Modèle Topologique d'Intersection et Différence (ID) au Niveau Détaillé	48
2.5.1. Concept d'Ensemble Spatial	48
2.5.2. Invariant Topologique de Type 1 : Le Nombre de Séparations	49
2.5.3. Invariant Topologique de Type 2 : Les Voisinages d'un Élément Spatial	50
2.5.4. Invariant Topologique de Type 3 : Le Type d'un Élément Spatial	50
2.5.5. Extension du Modèle d'Intersection et Différence (ID) au Niveau Détaillé	51
2.6. Conclusion	54

2.1. Introduction

Dans le chapitre 1, nous avons présenté l'importance du système RCC8 et ses huit relations topologiques pour des applications comme l'analyse d'images satellites et l'analyse spatiale dans les SIG. Les modèles topologiques existants (4-Intersections (I4) [Egenhofer 1989], 9-Intersections (I9) [Egenhofer et al. 1991b], Dimension Extended Model (DEM) [Clementini et al.

1993], Voronoi-Based 9-Intersections (VI9) [Chen et al. 1998], Intersection et Différence (ID) [Deng et al. 2007a], etc.) permettent d'extraire et de déterminer les relations du système RCC8 à deux niveaux (sans détail et détaillé). Le contexte général de ce chapitre est l'étude de la modélisation des relations topologiques du système RCC8 par ces modèles avec leurs inconvénients et leurs avantages, et le choix d'un modèle à étendre et à développer. Les objectifs généraux en sont :

- 1) Savoir comment modéliser, décrire et détailler les relations topologiques du système RCC8,
- 2) Connaître les descriptions générales détaillées des relations du système RCC8 dans la littérature,
- 3) Savoir quelles sont les relations du système RCC8 les plus étudiées,
- 4) Connaître les inconvénients et les avantages des modèles topologiques étudiés dans la littérature afin de choisir un modèle topologique de départ pour développer et étendre le modèle choisi dans le but d'enrichir les relations du système RCC8,
- 5) Démontrer que les détails supplémentaires des relations topologiques du système RCC8 peuvent fournir des informations cruciales. Ces informations permettent de spécifier la sémantique des relations topologiques dans les langages de requêtes des SIG,
- 6) Développer et proposer un modèle topologique pour décrire les relations du système RCC8 dans des descriptions générales détaillées à deux niveaux supplémentaires de détail (niveau-1 et niveau-2).

La plupart des modèles topologiques se basent sur la notion de topologie d'un ensemble de points pour représenter un objet spatial dans un espace à deux dimensions afin d'extraire les relations topologiques entre deux objets. Tout d'abord, nous allons présenter cette notion de topologie dans la section 2.2. Puis, nous étudierons tous les modèles topologiques [Egenhofer 1989] [Egenhofer et al. 1991b] [Clementini et al. 1993a] [Chen et al. 1998] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] [Billen et al. 2008] qui permettent de décrire et modéliser les relations topologiques du système RCC8.

Dans la section 2.3 de ce chapitre, nous distinguons deux niveaux de détail pour les relations du système RCC8. Le premier niveau est le niveau sans détail où les relations du système RCC8 sont au nombre de huit : DC, EC, PO, TPP, NTPP, TPPi, NTPPi, EQ. Outre ces huit relations de base, toute simple configuration dérivée de ces relations obtenues par des modèles [Clementini et al. 1995] [Bruns et al. 1996] [Chen et al. 2001] et des matrices [Liu et al. 2007] est considérée comme relation au niveau sans détail. Le nombre de relations identifiées à ce niveau dans les travaux présentés est très limité (autour de 13 relations dans le meilleur des cas étudiés [Chen et al. 2001]). Dans la section 2.3.1, nous allons étudier les modèles et les relations au niveau sans détail.

Parmi les modèles existants, certains ont la capacité de donner une description détaillée des relations topologiques, d'autres pas. Les problèmes abordés dans ces modèles et leurs descriptions détaillées sont concentrés sur les questions de :

- 1) Savoir combien de fois deux régions géographiques se connectent,
- 2) Connaître le type de connexion en dimension (0D pour un point ou 1D pour une ligne) entre deux régions géographiques,
- 3) Savoir comment pouvoir décrire la similarité et l'équivalence des relations topologiques.

Le deuxième niveau est le niveau détaillé des relations du système RCC8. Contrairement au niveau sans détail, le niveau détaillé est défini par le niveau avec l'intégration des invariants topologiques (nombre de séparations, dimension d'éléments, type, ordre d'occurrence, etc.) permettant de distinguer deux mêmes relations de base (i.e. EC ou PO). Le nombre de relations distinguées à ce niveau détaillé est très large et les relations sont beaucoup mieux décrites et plus détaillées que le niveau sans détail [Deng et al. 2007a]. Dans la section 2.3.2, nous allons étudier les modèles et les relations au niveau détaillé.

Dans la Figure 2.1, nous présentons un exemple sur les configurations des relations du système RCC8 à deux niveaux de détail : sans détail et détaillé. Au niveau sans détail, les relations topologiques de ces configurations sont données par : EC pour (Figure 2.1-a), PO pour (Figure 2.1-b), TPP pour (Figure 2.1-c), TPP_i pour (la Figure 2.1-d) [Egenhofer et al. 1990] [Randell et al. 1992] [Cui et al. 1993] [Clementini et al. 1993a] [Deng et al. 2007a]. En revanche, ces relations au niveau détaillé [Egenhofer 1993] [Li et al. 2002a] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] sont écrites dans la littérature sous plusieurs formes descriptives détaillées différentes de celles présentées au niveau sans détail. Par exemple, les relations dans [Egenhofer 1993] sont écrites sous les formes : 1D-#2-Meets pour (Figure 2.1-a), 0D-#4-Overlaps pour (Figure 2.1-b), 0D-#1-CoveredBy pour (Figure 2.1-c), 1D-#3-Covers pour (Figure 2.1-d), où (#1, #2, #3, et #4) indiquent le nombre d'éléments spatiaux de l'intersection frontière-frontière de A et B, 0D (la dimension pour un point) et 1D (la dimension pour une ligne) indiquent la dimension maximale d'éléments spatiaux de cette intersection.

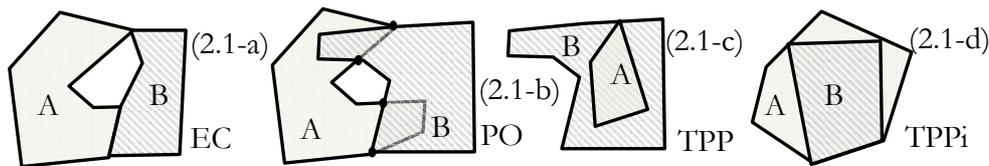


Fig. 2.1 : Exemple : Configurations des relations du système RCC8

Nous nous intéressons dans ce chapitre à étudier aussi les descriptions détaillées des relations topologiques du système RCC8 car elles sont très utiles pour l'analyse spatiale et l'interrogation de bases de données, la détection des changements, l'évaluation de la similarité des scènes, la détection automatique d'incohérence spatiale [Egenhofer et al. 1992] [Bruns et al. 1996] [Duckham et al. 2006] [Ghazal et al. 2010 & 2009].

Par exemple, les relations topologiques détaillées à plusieurs niveaux sont nécessaires pour détecter et éliminer automatiquement l'incohérence spatiale [Deng et al. 2007a] entre les rivières et les routes, les bâtiments et les rivières, entre bâtiments, qui peuvent avoir été créés au cours du processus de mise à jour des données géographiques ou dans des bases de données géographiques de multiples représentations. Un autre domaine important où les relations topologiques sont utilisées est le contrôle de la qualité des données spatiales et la vérification de l'incohérence logique et topologique des éléments (points, linéaires, polygones) de base des SIG [Bedel 2009].

Dans les sections 2.3.1 et 2.3.2, une comparaison entre ces modèles et les relations topologiques du système RCC8 à ces deux niveaux (sans détail et détaillé) sera l'objet de l'état de l'art afin d'en déterminer les inconvénients et avantages, et de savoir comment détailler les relations du système RCC8 par ces modèles. En se basant sur cette étude de comparaison, nous choisirons, dans la section 2.4, un modèle de départ pour le modèle d'Intersection et Différence (ID) dans la description détaillée des relations topologiques du système RCC8.

Ensuite, des invariants topologiques (nombre de séparations, type, etc.) dans la section 2.5 seront étudiés afin d'étendre le modèle ID. L'extension du modèle ID donne lieu à deux nouveaux modèles développés dans la section 2.5.5. Enfin, une conclusion sera présentée dans la section 2.6 sur les modèles et les relations topologiques étudiés dans ce chapitre.

2.2. Topologie Générale d'un Ensemble Spatial de Points

Le but de cette section est de rappeler rapidement la notion de topologie au sens mathématique et son utilisation pour la description des relations topologiques entre objets.

La définition de la topologie générale d'un ensemble de points [Armstrong 1983] [Bredon 1983] [Egenhofer et al. 1991a] [Liu et al. 2008] est donnée par : soit X un ensemble quelconque, une topologie sur X est une famille A de sous-ensembles de X qui satisfait et vérifie les conditions suivantes :

- i) L'ensemble vide (\emptyset) et X appartiennent à A ,
- ii) A est fermée sous un nombre fini d'intersections. Si Y et Z appartiennent à A alors leur intersection $X \cap Y$ appartient à A , et
- iii) A est fermée sous un nombre arbitraire de réunions. Si on considère une famille de sous-ensembles de X appartenant à A alors la réunion de tous ces sous-ensembles appartient encore à A .

Par conséquent, on dit que X est un espace topologique si on peut définir une topologie A sur X . Autrement dit, si on a un ensemble A de sous-ensembles de X vérifiant les trois propriétés i), ii), iii) ci-dessus, un élément de la topologie (i.e. un sous-ensemble de X appartenant à A) est appelé un ensemble ouvert de X . Un sous-ensemble de X est dit fermé s'il est le complémentaire d'un ouvert de X , i.e. G est un fermé de X signifie qu'il existe B appartenant à A tel que G soit formé des éléments de X n'appartenant pas à B . En termes d'ensembles ouverts, une topologie signifie :

- i) L'ensemble vide et X sont des ensembles ouverts,
- ii) Une intersection finie d'ensembles ouverts est un ensemble ouvert,
- iii) Une réunion quelconque d'ensembles ouverts est un ensemble ouvert.

En se basant sur cette définition de la topologie, les définitions de l'intérieur, la fermeture, le complémentaire, l'extérieur et la frontière d'un ensemble spatial de points sont développées et utilisées pour la description des relations topologiques entre objets dans la plupart des travaux [Egenhofer et al. 1991a] [Clementini et al. 1995] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2008].

Pour un sous-ensemble Y de l'espace topologique X avec $Y \subset X$ et Y considéré comme un objet spatial, les définitions de l'intérieur, la fermeture, le complément, l'extérieur et la frontière sont les suivantes (voir Figure 2.2) : (1) l'intérieur de Y est défini comme: le plus grand ensemble ouvert contenu dans X et il est désigné par Y° (de 2-Dimensions) ; et (2) la fermeture de Y est définie comme: le plus petit ensemble fermé contenant Y et elle est désignée par \bar{Y} (de 2-Dimensions) ; (3) l'ensemble des éléments de X mais pas de Y s'appelle le Complément (Complémentaire), noté Y^c (de 2-Dimensions) ; (4) le Complément de la Fermeture de Y est appelé l'Extérieur de Y noté Y^- ; (5) Enfin, la définition de la frontière de Y est donnée par l'intersection de la fermeture (\bar{Y}) de Y et la fermeture ($\overline{Y^c}$) du complément (Y^c) de Y , la Frontière de Y est notée par $\partial Y = \bar{Y} \cap \overline{Y^c}$ (de 1-Dimension).

Certaines propriétés de ces définitions sont indispensables pour le développement et la construction des modèles topologiques [Egenhofer et al. 1991a] [Clementini et al. 1995] [Deng et al. 2007a]. Par exemple, l'intersection ($\partial Y \cap Y^\circ = \emptyset$) de la frontière ∂Y et l'intérieur Y° doit toujours être un ensemble vide (\emptyset) [Egenhofer et al. 1991a].

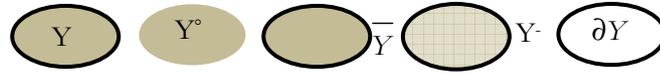


Fig. 2.2 : Définitions : Intérieur, Fermeture, Extérieur, Frontière

La topologie a été appliquée pour la représentation vectorielle des données spatiales des SIG [Egenhofer et al. 1991a] [Clementini et al. 1995] [Deng et al. 2007a]. Dans la topologie pour la représentation vectorielle, la définition de la frontière est toujours de 1-dimension. En revanche, pour la représentation raster, la définition de la frontière est de 2-dimensions et elle ne peut donc être de 1-dimension. Dans ce contexte, de multiples conditions et contraintes ont été développées [Egenhofer et al. 1993a] afin de trouver des discriminations des relations entre la frontière, l'intérieur et l'extérieur d'une région spatiale pour la représentation raster. Le problème de la frontière de 2-dimensions vient du fait qu'elle a été développée [Winter 1998] [Winter et al. 2000] en : (1) omettant et ignorant toute frontière, (2) remplaçant la frontière par des éléments spatiaux de raster, (3) mettant en place la définition des frontières implicites.

Le système RCC8 représente la description qualitative des huit relations topologiques entre deux régions spatiales vectorielles, et la plupart des logiciels et des outils de SIG^{1, 2, 3} utilisent et représentent des données spatiales en vecteur. Nous nous intéressons donc à l'étude des objets dans la représentation vectorielle plutôt que dans la représentation raster. Dans ce cadre, nous concentrons, dans cette étude, notre recherche sur les relations du système RCC8 et les modèles topologiques pour la représentation vectorielle. Les définitions présentées ici pour l'intérieur, la fermeture, le complément, l'extérieur et la frontière sont fondamentales pour la description des relations topologiques que nous allons voir et étudier dans la prochaine section.

2.3. Modèles et Relations Topologiques

Dans cette section, nous allons donner un aperçu et présenter l'état de l'art sur les modèles topologiques qui se basent partiellement ou intégralement sur les notions d'intérieur, frontière, extérieur, fermeture et complément d'un ensemble spatial de points. Dans un espace à deux dimensions, la plupart des modèles topologiques existants peuvent distinguer les huit relations topologiques de base du système RCC8. L'objectif de cette section est de donner une comparaison entre les modèles topologiques en fonction de leur capacité, simplicité et facilité à définir et décrire les huit relations du système RCC8. Cette comparaison est faite dans l'objectif de déterminer et définir nos choix de modèle à prendre en compte afin de décrire, représenter et modéliser les relations du système RCC8 dans la prochaine section (2.4).

En premier lieu, les modèles topologiques qui peuvent distinguer et décrire les huit relations du système RCC8 sans détail seront étudiés et comparés (4-Intersections (I4), 9-Intersections (I9), Dimension Extended Model (DEM) et Calculus-Based Model (CBM) avec les deux modèles des combinaisons de DEM : I4 qui donne le modèle Dimension Extended 4-Intersections (DE-4IM) et I9 qui donne le modèle Dimension Extended 9-Intersections (DE-9IM), Voronoi-Based 9-Intersections (VI9), Intersection et Différence (ID), etc.

¹ ESRI, The GIS Software Leader : <http://www.esri.com/>

² Quantum GIS, QGIS : <http://qgis.org/>

³ GRASS : <http://grass.itc.it/>

Ensuite, certaines des relations topologiques peuvent être détaillées par certains modèles en intégrant des invariants topologiques (dimension, nombre de séparations, etc.). Nous allons étudier et comparer ces modèles et les relations topologiques au niveau détaillé où à ce niveau les relations peuvent être décrites pour donner un peu plus de détails par : 1D-#2-Meets, 0D-#2-Overlaps, etc.

Enfin, nous concluons cette section avec des remarques sur les modèles les plus intéressants et les relations topologiques du système RCC8 les plus détaillées.

2.3.1. Modèles et Relations Topologiques au Niveau sans Détail

Dans cette section, nous allons étudier la plupart des modèles topologiques existants qui peuvent distinguer les huit relations topologiques de base du système du raisonnement spatial RCC8 entre deux régions spatiales A et B dans un espace à deux dimensions (\mathbb{R}^2).

Les relations topologiques du système RCC8 au niveau sans détail sont connues sous la forme classique [Randell et al. 1992] [Cui et al. 1993] : DC (Déconnexion), EC (Connexion Extérieure), PO (Chevauchement), TPP (Partie Tangentielle Propre), NTPP (Partie Non-Tangentielle Propre), TPPi (Inverse de Partie Tangentielle Propre), NTPPi (Inverse de Partie Non-Tangentielle Propre), EQ (Égalité) (voir aussi Figure 1.3 du chapitre 1) ; ou avec les noms qualitatifs [Egenhofer et al. 1990] [Clementini et al. 1993a] [Deng et al. 2007a] : Disjoint (Déconnexion), Meets (Connexion Extérieure), Overlaps (Chevauchement), CoveredBy (Inclusion Tangentielle), Inside (Inclusion Non-Tangentielle), Covers (Inclusion Tangentielle Inverse), Contains (Inclusion Non-Tangentielle Inverse), et Equal (Égalité).

Dans le modèle 4-Intersections (I4) [Egenhofer 1989], une région spatiale est définie par son intérieur et sa frontière, quatre ensembles d'intersections sont inclus et définis pour construire ce modèle. Ce modèle I4 peut différencier les huit relations topologiques du système RCC8 pour deux régions A et B.

Le modèle 4-Intersections (I4) est donné par la matrice suivante de 2*2 éléments :

$$I_4(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B \end{bmatrix} = [A^\circ \cap B^\circ, A^\circ \cap \partial B, \partial A \cap B^\circ, \partial A \cap \partial B]$$

Par exemple, la relation topologique Overlaps (Partially Overlapping (PO)) du système RCC8 est définie par la matrice suivante du modèle I4 :

$$I_4(A, B) = \begin{bmatrix} \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix}$$

où le contenu de chaque intersection dans la matrice est désigné par le symbole \emptyset pour un ensemble vide et le symbole $\neg \emptyset$ pour un ensemble non-vide de l'intersection.

En raison du fait que le modèle 4-intersections peut conduire à une certaine confusion dans la description des relations entre deux lignes, ou entre une ligne et une région [Egenhofer et al. 1993b], ce modèle I4 est élargi au modèle 9-Intersections (I9) en introduisant l'extérieur d'un objet spatial [Egenhofer et al. 1991b].

Le modèle 4-intersections (I4) est étendu au modèle 9-intersections (I9) [Egenhofer et al. 1993a] [Egenhofer et al. 1993b], qui est défini et donné par une matrice de 3*3 éléments comme suit :

$$I_9(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B^- \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^\circ & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{bmatrix}$$

où A° est l'extérieur de A, et B^- l'extérieur de B [Egenhofer et al. 1991b] [Egenhofer et al. 1993a]. Par exemple, la relation topologique Meets (Externally Connected (EC)) du système

RCC8 est définie par la matrice suivante du modèle I9 : $I_9(A, B) = \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$

Ce modèle I9 a été développé et élargi pour la représentation raster des données spatiales dans les travaux de [Egenhofer et al. 1993a] [Winter et al. 2000].

Toutefois, par rapport au modèle 4-intersections, le modèle 9-intersections n'a pas de raffinement dans la différenciation des relations région-région, car il peut seulement différencier les huit relations du système RCC8, les mêmes que dans le modèle 4-intersections. Or, ce modèle 9-intersections permet d'identifier et de fournir plus de détails que le modèle 4-intersections, sur les relations topologiques entre une ligne et une région, ou entre deux lignes. Ces détails supplémentaires sont indispensables pour déterminer les relations spatiales dans ces cas. En effet, l'opérateur d'intersection (\cap) est peut-être le plus coûteux en termes de temps de calcul. Donc, le modèle I9 avec ses 9 intersections est plus coûteux que le modèle I4 avec 4 intersections.

Les notions de frontière et d'intérieur sont aussi utilisées dans le modèle Dimension Extended Model (DEM) [Clementini et al. 1993a] avec la combinaison de DEM avec le modèle I4 donnant le nouveau modèle Dimension Extended 4-Intersections (DE-4IM) [Clementini et al. 1993a] [Clementini et al. 1995].

Ce modèle (DE-4IM) est basé sur l'invariant topologique de la dimension de chaque intersection dans le modèle I4 au lieu de prendre l'ensemble vide ou non-vide de chaque intersection dans la matrice I4. Quatre valeurs sont définies pour cet invariant de la dimension de l'ensemble de l'intersection (l'ensemble est noté S et la dimension est notée $\dim(S)$) [Clementini et al. 1993a] :

$$\dim(S) = \begin{cases} - \text{ ou } (-1) ; \text{ pour un ensemble } S \text{ vide } (\emptyset) \\ 0 \text{ ou } (0D) ; \text{ pour un ensemble } S \text{ qui contient au moins un point et pas du tout de lignes ou régions} \\ 1 \text{ ou } (1D) ; \text{ pour un ensemble } S \text{ qui contient au moins une ligne et pas du tout de régions} \\ 2 \text{ ou } (2D) ; \text{ pour un ensemble } S \text{ qui contient au moins une région} \end{cases}$$

La combinaison de ce modèle DEM avec le modèle I4 donne la construction du modèle (DE-4IM) [Clementini et al. 1993a] par la matrice de 2*2 éléments suivante :

$$DE-4IM(A, B) = \begin{bmatrix} \dim(A^\circ \cap B^\circ) & \dim(A^\circ \cap \partial B) \\ \dim(\partial A \cap B^\circ) & \dim(\partial A \cap \partial B) \end{bmatrix}$$

Une autre combinaison de ce modèle DEM avec le modèle I9 donne la construction du modèle Dimensionally Extended Nine-Intersection Model (DE-9IM) [Clementini et al. 1995] [Strobl 2008] par la matrice de 3*3 éléments suivante :

$$DE-9IM(A, B) = \begin{bmatrix} \dim(A^\circ \cap B^\circ) & \dim(A^\circ \cap \partial B) & \dim(A^\circ \cap B^-) \\ \dim(\partial A \cap B^\circ) & \dim(\partial A \cap \partial B) & \dim(\partial A \cap B^-) \\ \dim(A^- \cap B^\circ) & \dim(A^- \cap \partial B) & \dim(A^- \cap B^-) \end{bmatrix}$$

Les huit relations topologiques du système RCC8 sont identifiées par ces deux modèles DE-4IM et DE-9IM dans [Clementini et al. 1993a] [Clementini et al. 1995]. Ces huit relations sont réduites à six relations qui sont : Disjoint (Déconnexion), Touches ou Meets (Connexion Extérieure), Overlaps (Chevauchement), In (Inside (Inclusion Non-Tangentielle) et Contains (Inclusion Non-Tangentielle Inverse)), Covers (CoveredBy (Inclusion Tangentielle) et Covers (Inclusion Tangentielle Inverse)) et Equal (Égalité) en regroupant les deux relations : CoveredBy (TPP) et Covers (TPPi) en Covers (une seule relation), et les deux relations : Inside (NTPP) et Contains (NTPPi) en In (une seule relation) [Clementini et al. 1995] [Strobl 2008].

La méthode de Calculus-Based Model (CBM) [Clementini et al. 1995] est suffisamment expressive pour représenter et décrire toutes les relations et les situations topologiques (région-région, ligne-région, ligne-ligne, etc.) du modèle DEM, du modèle DE-4IM et du modèle DE-9IM [Clementini et al. 1995].

Le modèle DE-9IM a été reconnu et appliqué par l'Open GIS Consortium [OGC 1999] [OGC 2005] [Strobl 2008]. Un prédicat de la relation topologique, qui prend en entrée la matrice représentant l'ensemble des valeurs acceptables pour le DE-9IM, a été introduit [OGC 2005] [Strobl 2008]. Par exemple, la matrice de DE-9IM entre deux régions spatiales A et B peut être donnée par les neuf valeurs de la dimension pour chaque élément de la matrice :

$$DE-9IM(A, B) = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Le prédicat topologique P est considéré comme la valeur possible pour chaque élément de la matrice du modèle DE-9IM. Les valeurs possibles de ce prédicat P sont les suivantes {T, F, *, 0, 1, 2} avec un exemple de la relation "Equal" [OGC 2005] [Strobl 2008] :

$$P = \left. \begin{array}{l} T ; \text{ si } \dim(S) \in \{0,1,2\} \text{ ou } S \text{ n'est pas vide } (\neg \phi) (S \neq \phi) \\ F ; \text{ si } \dim(S) = -1 \text{ ou } S \text{ est vide } (\phi) (S = \phi) \\ * ; \text{ si } \dim(S) \in \{-1,0,1,2\} \text{ ou } S \text{ peut être vide } (\phi) \text{ ou non } (\neg \phi) \\ 0 ; \text{ si } \dim(S) = 0 \\ 1 ; \text{ si } \dim(S) = 1 \\ 2 ; \text{ si } \dim(S) = 2 \end{array} \right\} A.Equals(B) = \begin{bmatrix} T & * & F \\ * & * & F \\ F & F & * \end{bmatrix}$$

En intégrant les valeurs de ce prédicat topologique P dans la matrice du modèle DE-9IM, neuf relations topologiques peuvent être identifiées qui sont les suivantes : Disjoint (Déconnexion), Touches (Connexion Extérieure), Overlaps (Chevauchement), Intersects (Recoupage et Intersection avec), Within (Inclusion Non-Tangentielle Être à l'Intérieur), Contains (Contient et Inclusion Non-Tangentielle Inverse), Crosses (Croisement avec), Equal

(Égalité), et la relation *Relates* qui est définie en relation entre deux géométries (région, ligne et point) exprimée par la matrice d'intersection à l'aide des concepts d'intérieur, de frontière et d'extérieur [OGC 1999] [OGC 2005] [Strobl 2008]. L'intérêt général de ce modèle DE-9IM est qu'il permet de décrire les relations topologiques entre toutes les situations topologiques (région-région, ligne-région, ligne-ligne, etc.). Pour deux régions spatiales, six relations (Disjoint (Déconnexion), Touches (Connexion Extérieure), Overlaps (Chevauchement), Within (Inclusion Non-Tangentielle ou Être à l'Intérieur), Contains (Inclusion Non-Tangentielle Inverse), Equal (Égalité)) de ces neuf relations sont considérées équivalentes aux huit relations topologiques du système RCC8. Autrement dit, le nombre des relations de système RCC8 est réduit de huit à six.

Le modèle topologique Voronoi-Based 9-Intersections (VI9) a été développé dans les travaux de [Chen et al. 1998] [Chen et al. 2001] pour surmonter deux problèmes d'imperfection du modèle I9, liées à : (1) la définition de l'extérieur prise comme un complément de l'objet de sorte que l'intérieur, la frontière et l'extérieur sont linéairement dépendants ; (2) la définition d'une ligne de 1-dimension dans un espace de 2-dimensions (\mathbb{R}^2) qui provoque une incohérence de la propriété topologique d'une ligne en \mathbb{R}^1 et \mathbb{R}^2 , à savoir que la frontière d'une ligne ne sépare pas l'intérieur de l'extérieur en \mathbb{R}^2 .

Pour traiter ces imperfections dans les travaux de [Chen et al. 1998] [Chen et al. 2001], la région de Voronoi a été adoptée comme solution alternative pour la définition de l'extérieur d'un objet. Dans [Chen et al. 1998], une région de Voronoi est définie par « une région d'influence » ou « une proximité spatiale » pour chaque point spatial.

Le modèle Voronoi-Based 9-Intersections (VI9) est construit à partir du modèle I9 en remplaçant l'extérieur de chaque objet par la région de Voronoi et la matrice de ce modèle VI9 [Chen et al. 1998] est donnée par :

$$VI_9(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B^V \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^V \\ A^V \cap B^\circ & A^V \cap \partial B & A^V \cap B^V \end{bmatrix}$$

où A^V est la région Voronoi pour A, et B^V est la région Voronoi pour B.

En ce qui nous concerne, et en lien avec le système RCC8, treize relations topologiques entre deux régions spatiales sont possibles et identifiées par ce modèle VI9.

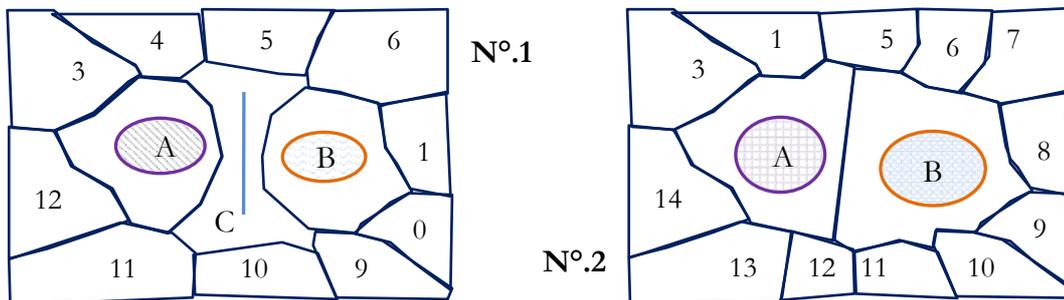


Fig. 2.3 : Relation topologique DC (N°.1 et N°.2) du système RCC8 se distinguant par le modèle VI9 (d'après [Chen et al. 2001])

Ces treize relations du modèle VI9 n'ont pas de noms topologiques signifiés [Chen et al. 2001] mais elles sont les mêmes que les huit relations du système RCC8 avec leurs équivalences (du point de vue topologique général, voir [Chen et al. 2001] : DC (N°.1 et 2), EC (N°.11), PO

(N°.12), TPP (N°.7), NTPP (N°. 3, 5 et 9), TPPi (N°.8), NTPPi (N°.4, 6 et 10), EQ (N°.13)). La notation "N°." (de 1 à 13) est utilisée par [Chen et al. 2001] pour indiquer le numéro de chaque relation au lieu d'exprimer les relations par des noms topologiques. La seule différence qui compte dans la description de ces relations est la détermination de différentes régions de Voronoi pour chaque relation [Chen et al. 2001]. Par exemple, pour la relation Disjoint (DC), elle peut avoir deux résolutions ou représentations différentes (N°.1 et N°.2 présentées dans la Figure 2.3) correspondant à deux régions différentes de Voronoi avec le modèle VI9 [Chen et al. 2001].

Un autre modèle dimensionnel appelé « Dimensional Model (DM) » a été l'objet de ces travaux [Billen et al. 2002] [Billen et al. 2008] où la géométrie projective a été adoptée pour représenter, classifier et définir les relations topologiques. Ce modèle DM introduit le concept d'ordre de chaque point d'un ensemble convexe (ordre 0 (0D), ordre 1 (1D), ordre 2 (2D), ordre 3 (3D)) afin de procéder à la segmentation des objets spatiaux. De nouvelles relations binaires entre deux objets spatiaux, appelées les relations dimensionnelles, ont été définies sur la base des éléments dimensionnels de connectivité entre des objets. Trois types de relations ont été définis : Relation Totale, Relation Partielle, et Relation Inexistante, au lieu de présence ou absence d'intersections. La combinaison du concept de l'ordre (0D, 1D, 2D) avec les trois types de relations (Totale, Partielle, et Inexistante) donne les relations dimensionnelles de base notées par R_nD_m où la notation R est pour les types de relations, et la notation n et m est pour l'ordre (0D, 1D, 2D) des éléments dimensionnels de l'objet A et l'objet B (Figure 2.4). Ces relations dimensionnelles n'ont pas de signification topologique ou de noms topologiques [Billen et al. 2008]. Enfin, les relations du système RCC8 ne sont pas identifiées par ce modèle parce que les relations extraites sont des relations dimensionnelles [Billen et al. 2002].



Fig. 2.4 : Exemples de relations dimensionnelles (d'après [Billen et al. 2002])

Plus récemment, un modèle topologique appelé le modèle 9^+ -Intersections ($I9^+$), qui est une extension du modèle 9-intersections ($I9$), a été développé et conçu surtout pour supporter et représenter les relations topologiques entre ligne-région, entre deux lignes ou entre deux points dans les travaux [Kurata 2008] [Billen et al. 2008]. En conclusion, pour les relations topologiques entre deux régions spatiales, ce modèle $I9^+$ représente essentiellement la même matrice que le modèle $I9$ et les huit relations du système RCC8 peuvent être identifiées par ce modèle $I9^+$ [Kurata 2008]. Le modèle DM a été reformulé et intégré avec le modèle $I9^+$ avec pour but de raffiner et distinguer les relations topologiques entre régions. Nous allons étudier dans la section suivante cette reformulation du modèle DM avec le modèle $I9^+$ parce qu'il est considéré comme modèle topologique pour la description des relations topologiques au niveau détaillé [Billen et al. 2008].

Dans le modèle d'Intersection et Différence (ID) [Deng et al. 2007a] [Deng et al. 2007b], une région est définie par son intérieur et sa frontière, deux ensembles d'intersections sont $A^\circ \cap B^\circ$ et $\partial A \cap \partial B$ qui représentent l'intersection entre l'intérieur de A (A°) et l'intérieur de B (B°), et entre la frontière de A (∂A) et la frontière de B (∂B), respectivement, et deux différences, A-B et B-A, qui représentent les différences (soustraction) entre les deux régions A et B.

La différence est égale à la soustraction entre deux nombres. Ces deux ensembles d'intersections $A^\circ \cap B^\circ$ et $\partial A \cap \partial B$, et deux différences A-B et B-A constituent le cœur du

modèle ID pour la description des relations topologiques entre régions spatiales dans des SIG [Deng et al. 2007a]. Ce modèle ID est représenté par la matrice suivante de 2*2 éléments :

$$ID(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A - B \\ B - A & \partial A \cap \partial B \end{bmatrix} = [A^\circ \cap B^\circ, A - B, B - A, \partial A \cap \partial B]$$

La principale différence entre le modèle 4-intersections et le modèle d'Intersection et Différence (ID) est que les deux ensembles d'intersections $A^\circ \cap \partial B$ et $\partial A \cap B^\circ$ du modèle 4-intersections sont remplacés par les deux différences $A - B$ et $B - A$. Ce changement a deux avantages [Deng et al. 2007a] : nous permet de réduire la complexité des calculs en évitant les opérations spatiales topologiques entre composants avec différentes dimensions, par exemple, les deux intersections $A^\circ \cap \partial B$ et $\partial A \cap B^\circ$, avec l'intérieur de A et B : A°, B° en 2-dimensions (2D) et la frontière de A et B : $\partial A, \partial B$ en 1-dimension (1D) ; et nous permet de réduire les coûts de calcul puisque deux intersections seulement sont évaluées dans le modèle ID au lieu de quatre dans le modèle I4 où, en effet, l'opérateur d'intersection (\cap) est plus coûteux en termes de calcul que l'opérateur de différence (-).

Ce modèle ID peut aussi distinguer les huit relations topologiques entre deux régions spatiales [Deng et al. 2007a]. Ces huit relations sont décrites et désignées par les noms topologiques suivants : Disjoint (Déconnexion), Meets (Connexion Extérieure), Overlaps (Chevauchement), CoveredBy (Inclusion Tangentielle), Inside (Inclusion Non-Tangentielle), Contains (Inclusion Tangentielle Inverse), Covers (Inclusion Non-Tangentielle Inverse), et Equal (Égalité). Enfin, ce modèle d'Intersection et Différence (ID) est équivalent au système RCC8 en termes d'identification des relations topologiques.

Dans une matrice de 2*2 éléments $M_{2 \times 2}$ [Liu et al. 2007] qui est presque équivalente au modèle ID, les relations topologiques peuvent être identifiées entre deux ensembles spatiaux considérés comme régions A et B par deux ensembles d'intersections et deux différences algébriques. Les deux ensembles d'intersections sont $A^\circ \cap B^\circ$ et $\partial A \cap \partial B$ qui représentent l'intersection entre l'intérieur de A (A°) et l'intérieur de B (B°), et entre la frontière de A (∂A) et la frontière de B (∂B), respectivement. Les deux différences algébriques sont $A^\circ \setminus B$ et $B^\circ \setminus A$ qui représentent les différences entre les deux ensembles A° et B, et entre les deux ensembles B° et A des régions spatiales A et B. Cette matrice dans [Liu et al. 2007] est donnée :

$$M_{2 \times 2}(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \setminus B \\ B^\circ \setminus A & \partial A \cap \partial B \end{bmatrix}$$

Cette matrice a été spécifiquement développée pour construire un modèle topologique afin d'étudier les relations topologiques au niveau détaillé [Liu et al. 2007]. Pour cette raison, nous allons revenir dans la section suivante sur ce modèle afin de l'étudier en détail.

Dans les Tables 2.1 et 2.2, nous présentons une comparaison des modèles topologiques étudiés au niveau sans détail.

Dans la Table. 2.1, la comparaison est basée sur les concepts de topologie et région, les invariants topologiques introduits, et les opérateurs de la matrice du modèle (intersection et différence).

Nous trouvons que la plupart des modèles topologiques utilisent l'opérateur d'intersection, la définition de l'intérieur et la frontière dans leurs matrices.

Deux modèles seulement utilisent l'opérateur de différence dans deux sens différents : soustraction et algébrique. Les inconvénients et les avantages de ces modèles sont présentés et donnés dans la Table 2.2.

Cette comparaison est faite dans l'objectif de déterminer et définir nos choix de modèle afin de décrire, représenter et modéliser les relations topologiques du système RCC8 dans la prochaine section (2.4).

Modèle Topologique au Niveau sans Détail	Concept de la Topologie			Invariant Topologique			Région		Opérateur de la Matrice du Modèle		
	Intérieur \circ	Frontière ∂	Extérieur $-$	Dimension dim	Ordre	Contenu	Région	Voronoi	Intersection \cap	Différence Soustraction $-$	Différence Algébrique $ $
I4	X	X				X			X		
I9	X	X	X			X			X		
DEM	DE-4IM	X	X		X	X			X		
	DE-9IM	X	X	X	X	X			X		
CBM	X	X	X	X			X		X		
VI9	X	X				X		X	X		
DM				X	X		X		X		
I9*	X	X	X	X	X	X			X		
ID	X	X				X	X		X	X	
M _{2*2}	X	X				X	X		X		X

Table. 2.1 : Comparaison des modèles topologiques au niveau sans détail

En conclusion sur cette étude des modèles et relations topologiques au niveau sans détail, nous trouvons que le modèle ID est le plus intéressant pour étudier et décrire les relations du système RCC8. Il est aisé de définir les relations du système RCC8 par ce modèle ID.

Nous pouvons constater que, sur le plan des relations région-région du système RCC8, le modèle d'Intersection et Différence (ID) a des avantages sur tous les autres modèles.

Ce modèle ID est très peu coûteux en termes de calcul : deux intersections au lieu de quatre dans le modèle I4, différence entre éléments de même dimension (entre 1D ou 2D) au lieu de différence entre éléments de différentes dimensions (entre 1D et 2D) dans la matrice M_{2*2} , et au lieu d'intersection entre éléments de différentes dimensions (entre 1D et 2D) dans le modèle I4. Nous pouvons facilement extraire et décrire les huit relations du système RCC8.

L'analyse spatiale des SIG concerne la détection de changements topologiques et d'incohérences topologiques, la similarité et l'équivalence topologique qui impliquent de détailler les relations topologiques et de les décrire à de multiples niveaux de détail [Egenhofer et al. 1995] [Bruns et al. 1996] [Guo et al. 2003] [Liu et al. 2007] [Deng et al. 2007a].

Il est également démontré que les détails supplémentaires des relations peuvent fournir des informations cruciales pour spécifier la sémantique des relations topologiques dans les langages de requêtes des SIG [Bruns et al. 1996] [Egenhofer 1997] [Guo et al. 2003] [Liu et al. 2007] [Deng et al. 2007a].

Dans la section 2.3.2, les modèles et les relations topologiques du système RCC8 au niveau détaillé feront l'objet d'étude afin de comparer les modèles parmi ceux étudiés dans cette section qui permettent de donner des descriptions détaillées.

Modèle Topologique	Avantages	Inconvénients	Relations du Système RCC8 au Niveau sans Détail
<i>I4</i>	- Moins coûteux en termes de calcul : quatre intersections par rapport aux modèles I9, VI9, DE-9IM, I9+	- Coûteux en termes de calcul : quatre intersections, et intersections entre éléments de différentes dimensions (<i>1D et 2D</i>) par rapport au modèle ID - Confusion pour identifier les relations entre deux lignes, une ligne et une région	- Peut distinguer les huit relations du système RCC8 - Simple pour décrire les relations du système RCC8 mais difficile de les extraire
<i>I9</i>	- Capable d'identifier les relations entre deux lignes, ou une ligne et une région	- Coûteux en termes de calcul par rapport aux modèles : I4, ID, DE-4IM, M_{2*2} - Imperfections liées à la définition de l'extérieur	- Peut distinguer les huit relations du système RCC8 - Simple pour décrire les relations du système RCC8 mais difficile de les extraire
<i>DEM</i>	<i>DE-4IM</i>	- Moins coûteux en termes de calcul que DE-9IM, I9+ - Capable d'identifier les relations entre deux lignes, ou une ligne et une région	- Les huit relations du système RCC8 sont réduites à six - Difficile de décrire les relations et difficile de les extraire
	<i>DE-9IM</i>	- Capable d'identifier les relations entre deux lignes, ou une ligne et une région, une ligne et un point, etc.	- Neuf relations sont identifiées dont six sont des relations du système RCC8 - Difficile de décrire les relations et difficile de les extraire
<i>CBM</i>	- Expressions qualitatives pour décrire les relations des deux modèles de DEM : DE-4IM et DE-9IM	- Coûteux en termes de calcul par rapport aux modèles : I4, ID, I9, VI9, DE-4IM, DM, M_{2*2}	- Les huit relations du système RCC8 sont réduites à six - Difficile de décrire les relations et difficile de les extraire
<i>VI9</i>	- Traiter les imperfections liées à la définition de l'extérieur dans le modèle I9 par l'introduction de la région de Voronoi - Treize relations topologiques identifiées	- Coûteux en termes de calcul par rapport aux modèles : I4, ID, I9, DE-4IM, M_{2*2}	- Treize relations topologiques sont les mêmes huit relations du système RCC8 - Simple pour décrire les relations mais difficile de les extraire
<i>DM</i>	- Les relations extraites par ce modèle sont des relations dimensionnelles - Ce modèle est presque équivalent au modèle DEM	- Trop coûteux en termes de calcul par rapport aux modèles : I4, ID, I9, VI9, DE-4IM, M_{2*2} - Manque de description topologique pour les relations dimensionnelles	- Les relations du système RCC8 ne sont pas identifiées par ce modèle
<i>I9+</i>	- Capable d'identifier les relations entre deux lignes, ou une ligne et une région, deux points, etc.	- Trop coûteux en termes de calcul par rapport à tous les autres modèles : I4, ID, I9, VI9, DE-4IM, DE-9IM, CBM, DM, M_{2*2} - Manque de description topologique pour les relations dimensionnelles	- Peut distinguer les huit relations du système RCC8 - Difficile de décrire les relations et difficile de les extraire
<i>ID</i>	- Très peu coûteux en termes de calcul en raison de deux intersections et deux différences, et de l'intersection et la différence entre éléments de mêmes dimensions (<i>1D ou 2D</i>) - Capable d'identifier les relations entre deux lignes, ou une ligne et une région	- Nous n'avons pas trouvé d'inconvénients pour ce modèle à ce niveau sans détail	- Peut distinguer les huit relations du système RCC8 - Simple pour décrire les relations et pour les extraire
<i>M_{2*2}</i>	- Moins coûteux en termes de calcul en raison de deux intersections par rapport aux modèles I4, I9, VI9, DE-9IM, I9+	- Coûteux en termes de calcul par rapport au modèle ID	- Peut distinguer les huit relations du système RCC8 - Simple pour décrire les relations mais difficile de les extraire

Table. 2.2 : Comparaison des modèles et relations topologiques au niveau sans détail

2.3.2. Modèles et Relations Topologiques au Niveau Détaillé

L'objectif de cette section est de donner une comparaison entre les modèles topologiques qui peuvent donner une description détaillée des relations topologiques du système RCC8. Les modèles étudiés dans cette section sont les suivants : I4 avec les invariants topologiques de la dimension, du nombre de séparations et la séquence [Egenhofer 1993], F avec ses trois modèles : f_C , f_D , f_C [Li et al. 2002a], ID avec ses trois modèles : SD, TN, SC [Deng et al. 2007a], $M_{2 \times 2}$ avec ses trois matrices : H, L, R [Liu et al. 2007], et $M^+(DM+I9^+)$ [Billen et al. 2008].

Pour définir les relations topologiques du système RCC8 au niveau sans détail, les modèles topologiques dans leurs matrices dépendent de (voir Table 2.1) : le contenu de l'intersection (vide ou non-vide pour les modèles : I4, I9, VI9, ID, $M_{2 \times 2}$), la dimension du contenu de l'intersection (-1, 0D, 1D, 2D pour les modèles : DE-4IM, DE-9IM), ou l'ordre des éléments de l'intersection (0D, 1D, 2D pour le modèle I9⁺). Le contenu, la dimension et l'ordre sont des invariants topologiques de l'intersection frontière-frontière. Dans plusieurs travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Bruns et al. 1996] [Guo et al. 2003] [Liu et al. 2007] [Deng et al. 2007a], certains modèles peuvent aussi extraire beaucoup de détails sur les relations topologiques en intégrant ces invariants topologiques dans leurs matrices. En parallèle, ces modèles intègrent d'autres invariants topologiques (nombre de séparations, type, etc.) pour donner plus d'information et détails [Egenhofer 1993] [Liu et al. 2007] [Deng et al. 2007a].

Dans ce contexte, le premier travail mené dans l'objectif de créer un modèle topologique afin de détailler les relations topologiques entre deux régions spatiales est le travail de [Egenhofer 1993]. Ce modèle a utilisé la notion de dimension et du nombre de séparations afin de raffiner les invariants du modèle 4-intersections, de sorte que les configurations spatiales avec différentes dimensions et différents nombres de composantes de connexions situées à l'ensemble d'intersection ($\partial A \cap \partial B$) entre les frontières de deux régions peuvent être discriminées. La distinction des intersections vides et non-vides appelée le contenu invariant est une propriété topologique du modèle 4-intersections. Le modèle I4 avec l'invariant de la dimension est donné par la matrice du modèle $I_{4, \dim}$ [Egenhofer 1993] :

$$I_{4, \dim}(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B \\ & \dim(\partial A \cap \partial B) \end{bmatrix}$$

où $\dim(\partial A \cap \partial B)$ est la dimension la plus grande en valeur des éléments spatiaux de l'ensemble S spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ avec :

la dimension pour un point est $\dim(\text{Point}) = 0D$

la dimension pour une ligne est $\dim(\text{Ligne}) = 1D$

Par exemple, si l'ensemble de l'intersection $S = \partial A \cap \partial B$ est composé de deux points ($\dim(\text{Point}) = 0D$) et une ligne ($\dim(\text{Ligne}) = 1D$), la dimension de S notée par :

$$(\dim(\partial A \cap \partial B) = \max(\dim(\text{Point}) = 0D, \dim(\text{Ligne}) = 1D) = 1D) \text{ est égale à } 1D$$

Quatre relations topologiques du système RCC8 sont détaillées par cet invariant de la dimension [Egenhofer 1993]. Ces quatre relations sont : Meets (DC), Overlaps (PO), CoveredBy (TPP) et Covers (TPPi) et leurs descriptions détaillées sont écrites sous les formes suivantes : 0D-Meets, 1D-Meets, 0D-Covers, 1D-Covers, 0D-CoveredBy, 1D-CoveredBy, 0D-Overlaps, et 1D-Overlaps, où 0D et 1D se réfèrent à « 0 » et « 1 » dimensions de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ [Egenhofer

1993]. Le problème de cette description est qu'elle ne peut pas distinguer deux relations Meets ou 1D-Meets si l'ensemble de l'intersection $S=\partial A \cap \partial B$ pour la première est composé de deux points et une ligne, et pour la deuxième S est composé d'une seule ligne. Le raffinement de ces relations Meets, Overlaps, CoveredBy et Covers peut être fait par l'intégration d'un nouvel invariant topologique appelé nombre de séparations (#). Le nombre de séparations noté x dans la matrice est défini par la caractéristique d'Euler-Poincaré pour les intersections non-vide du modèle I4 [Egenhofer 1993]. Les auteurs [Egenhofer 1993] de cette description n'ont pas donné un modèle général pour le nombre de séparations. Des matrices pour chacune de ces quatre relations ont été développées. Par exemple, la matrice du modèle $I_{4,x}$ pour la relation Overlaps est donnée par [Egenhofer 1993] :

$$I_{4,x}(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ = \neg\phi & A^\circ \cap \partial B = \neg\phi \\ x(A^\circ \cap B^\circ) & x(A^\circ \cap \partial B) \\ \partial A \cap B^\circ = \neg\phi & \partial A \cap \partial B = \neg\phi \\ x(\partial A \cap B^\circ) & x(\partial A \cap \partial B) \end{bmatrix}$$

où $x(\cdot)$ est le nombre de séparations des éléments de chaque intersection de la matrice du modèle I4. Par exemple, les relations sont écrites sous des formes : #1-Meets, #2-Meets, #1-Covers, #2-Covers, #1-CoveredBy, #2-CoveredBy, #2-Overlaps, et #4-Overlaps où (#1, #2, #4) indiquent le nombre de séparations de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ [Egenhofer 1993]. Le problème de cette description est qu'elle ne peut pas distinguer deux relations Meets ou #2-Meets si l'ensemble de l'intersection $S=\partial A \cap \partial B$ pour la première est composé de deux points, et pour la deuxième S est composé de deux lignes. Le raffinement de ces relations par l'intégration de ces deux invariants est fait dans un modèle $I_{4,dim,x}$ [Egenhofer 1993]. Par exemple, la relation Overlaps est exprimée par :

$$I_{4,dim,x}(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ = \neg\phi & A^\circ \cap \partial B = \neg\phi \\ x(A^\circ \cap B^\circ) & x(A^\circ \cap \partial B) \\ \partial A \cap B^\circ = \neg\phi & \partial A \cap \partial B = \neg\phi \\ x(\partial A \cap B^\circ) & dim(\partial A \cap \partial B) \end{bmatrix}$$

Les relations sont écrites sous des formes : 0D-#1-Meets, 1D-#2-Meets, 0D-#1-Covers, 1D-#2-Covers, 0D-#1-CoveredBy, 1D-#2-CoveredBy, 0D-#2-Overlaps, et 1D-#4-Overlaps [Egenhofer 1993]. L'avantage de ces expressions est qu'elles donnent plus de détails topologiques que les expressions des relations topologiques du système RCC8 au niveau sans détail. En revanche, les inconvénients de ces modèles sont nombreux :

- (1) Dans ces modèles, nous avons une matrice de 4×2 éléments, $4 \times 2 + 1$ éléments ou $2 \times 2 + 1$ éléments au lieu de 2×2 éléments et cela rend les calculs plus complexes ;
- (2) Difficulté à comprendre les relations dans ses expressions complexes : 0D-#1-Meets, 1D-#2-Meets, 0D-#1-Covers, 1D-#2-Covers, 0D-#1-CoveredBy, 1D-#2-CoveredBy, 0D-#2-Overlaps, et 1D-#3-Overlaps ;
- (3) Pas de modèle générique ni de formes générales pour détailler ces quatre relations ;
- (4) Problèmes de discrimination entre relations de même expression : par exemple, entre deux configurations qui ont les mêmes expressions 1D-#2-Meets si l'ensemble de l'intersection $S=\partial A \cap \partial B$ pour la première configuration possible (1D-#2) est composé de deux éléments (#2)

d'un point (0D) et une ligne (1D) ($\text{Max}(0D, 1D) = 1D$) et pour la deuxième configuration possible (1D-#2) S est composé de deux éléments (#2) de deux lignes (1D) ($\text{Max}(1D, 1D) = 1D$), nous constatons que S (un point et une ligne) pour la première n'est pas égale à la deuxième (deux lignes).

Il est impossible de discriminer ces ensembles par ces modèles. Dans l'objectif d'obtenir plus de détails sur les relations topologiques, les concepts de dimension et nombre de séparations sont aussi utilisés dans le travail de [Egenhofer et al. 1995].

Afin de mieux décrire l'équivalence topologique entre deux configurations spatiales, un ensemble d'invariants topologiques (la dimension, la séquence, le type, la relation de complément, les bornes ou limites (Boundedness) et la direction de passage (Crossing Direction) des éléments de l'ensemble de l'intersection $S = \partial A \cap \partial B$) a été développé pour une description plus détaillée des relations topologiques entre des régions spatiales par le modèle I4 [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997]. Le nombre de composants des éléments de l'ensemble de l'intersection $S = \partial A \cap \partial B$ est donnée par un triplet : (dimension, type, relation de complément) et la relation topologique est décrite par une séquence des éléments de l'ensemble de l'intersection $S = \partial A \cap \partial B$ avec ce triplet comme suit dans une formule de $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$:

< Séquence élément 1 (dimension, type, relation de complément) ; Séquence élément 2 (dimension, type, relation de complément) ; ... ; Séquence élément N (dimension, type, relation de complément) >

où : la dimension est égale à zéro (point) ou un (ligne), le type est indiqué par : touching (Connexion Extérieure), crossing in (inner crossing (croisement en entrant à)) ou crossing out (outer crossing (croisement en sortant de)) ; la relation de complément est indiquée par : bornée (bounded) ou non-bornée (unbounded); et la « Séquence élément » est l'ordre (de 0 à N) des éléments de l'ensemble de l'intersection $S = \partial A \cap \partial B$ [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997].

Par exemple, détailler la relation entre deux régions spatiales et trouver l'équivalence topologique entre deux configurations spatiales comme présenté dans la Figure 2.5 est donné par les deux expressions suivantes [Egenhofer et al. 1995] :

la relation (Figure 2.5-a) est donnée par la formule suivante de $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$:

<0 (0, Crossing out, unbounded); 1 (1, Crossing in, unbounded)>

la relation (Figure 2.5-b) est donnée par la formule suivante de $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$:

<0 (0, Crossing in, unbounded); 1 (1, Crossing out, unbounded)>

Un aspect gênant de ce modèle est le problème d'identifier les deux types de la direction de passage « Crossing in (croisement en entrant à) » et « Crossing out (croisement en sortant de) ». Un exemple est présenté dans la Figure 2.5 par deux configurations.

La relation de la configuration (Figure 2.5-b) est expliqué par : le Point "0" et la Ligne "1" (de la formule de $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$) ont été pris avec : C0 est identifié comme « Crossing in » pour le Point "0" (de la formule de $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), et C1 est identifié comme « Crossing out » pour la Ligne "1" (de la formule de $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$) dans le cas (Figure 2.5-b), tandis que les résultats de l'identification de ces deux types « Crossing in » et « Crossing out » sont inverses dans le cas (Figure 2.5-a). Nous trouvons qu'il n'y a pas de différence et les deux configurations sont égales du point de vue topologique et géométrique.

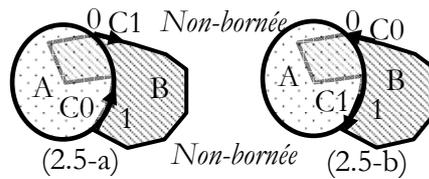


Fig. 2.5 : Problème d'identification de « Crossing in » et « Crossing out »

Dans la Figure 2.5, nous avons profité de cette description afin d'aborder le problème de ces expressions qui ne sont pas définies par des noms pour les relations topologiques détaillées du système RCC8. Autrement dit, nous ne comprenons pas exactement quel est le nom topologique ou la relation topologique de chaque configuration de la Figure 2.5.

Malheureusement, certaines parties définissent des invariants topologiques (« Crossing in » et « Crossing out ») qui sont étroitement liés aux orientations des régions elles-mêmes et à leurs configurations [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997]. Toutefois, il y a deux types de problème sur ces invariants. D'une part, certaines parties des invariants (par exemple, direction de passage en intérieur (Crossing in) et extérieur (Crossing out)) sont fortement incompatibles avec la propriété fondamentale des invariants topologiques qui exclut toute considération de la géométrie de l'objet, comme la taille, la forme, la distance et la direction. D'autre part, il est très difficile de définir formellement les invariants.

L'avantage de ces expressions pour des configurations spatiales est qu'elles donnent un peu plus de détails topologiques que les expressions au niveau sans détail des relations du système RCC8. En revanche, les inconvénients de cette description par ces expressions sont nombreux : (1) Dans ces expressions, nous trouvons un manque d'expression qualitative topologique pour les relations ; (2) Pas de matrice pour les relations mais des formules complexes qui rendent les calculs plus complexes ; (3) Difficulté de comprendre la relation dans ses expressions complexes, par exemple : $\langle 0 (0, \text{Crossing out, unbounded}) ; 1 (1, \text{Crossing in, unbounded}) \rangle$; (4) Pas de modèle générique ni de formes générales pour détailler ces relations ; (5) Problèmes de discrimination pour relations entre deux mêmes configurations (exemple dans la Figure 2.5).

Dans [Li et al. 2002a], un ensemble d'opérateurs (Intersection \cap , Union \cup , Différence Algébrique $/$, Différence Algébrique par \setminus , Différence Symétrique Δ) a été utilisé pour distinguer des relations topologiques entre objets. Puis, les trois invariants topologiques [Egenhofer 1993] (Contenu, Dimension et Nombre de composants de chaque opérateur de l'ensemble : Intersection, Union, Différence, Différence par, Différence Symétrique) ont aussi été employés pour détailler les relations topologiques entre objets spatiaux en intégrant la région Voronoï [Li et al. 2002a]. Une relation topologique entre deux régions A et B est décrite par un modèle f_c donné par le vecteur (ou la matrice vectorielle) de 1*5-éléments suivant :

$$f_c(A, B) = [A \cup B \quad A \cap B \quad A \setminus B \quad A / B \quad A \Delta B]$$

Le grand problème de ce modèle f_c [Li et al. 2002a] est qu'il ne peut pas distinguer les deux relations topologiques Meets et Overlaps du système RCC8. Pour cette raison, les relations du système RCC8 sont détaillées et distinguées par un autre modèle f_D de ce modèle f_c en intégrant l'invariant de la dimension donné par le vecteur de 1*5-éléments suivant :

$$f_D(A, B) = [dim(A \cup B) \quad dim(A \cap B) \quad dim(A \setminus B) \quad dim(A / B) \quad dim(A \Delta B)]$$

Dans ce modèle, la relation Meets est la seule relation qui a été détaillée par deux expressions topologiques : 0-D-Meets, 1-D-Meets, alors que les relations Overlaps, CoveredBy, et

Covers ne sont pas détaillées comme dans la plupart des travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997] [Deng et al. 2007a] [Billen et al. 2008].

Pour avoir beaucoup de détails sur une relation topologique entre deux régions A et B, un modèle général F_C a été développé et il est donné par la matrice de 2*5 éléments suivante :

$$F_C(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \begin{bmatrix} A \cup B & A \cap B & A \setminus B & A / B & A \Delta B \\ A^V \cup B^V & A^V \cap B^V & A^V \setminus B^V & A^V / B^V & A^V \Delta B^V \end{bmatrix}$$

où A^V est la région de Voronoi pour A, et B^V est la région de Voronoi pour B [Chen et al. 2001] [Li et al. 2002a]. Dans ce modèle F_C , les relations topologiques entre deux régions, ou entre une région et une ligne, ou entre deux lignes ont été étudiées [Li et al. 2002a].

En conclusion sur ces modèles F (f_C , f_D , F_C) les relations topologiques du système RCC8 ont été détaillées de façon similaire à celles faites dans le travail de [Egenhofer 1993] par : 0-D-Meets, 1-D-Meets. Il n'y a pas d'avantages à détailler les relations topologiques du système RCC8 pour ces modèles par rapport au modèle I4 au niveau détaillé. Les inconvénients sont : (1) Temps de calcul élevé ; (2) Problèmes de discrimination entre deux relations de même type (0-D-Meets, Overlaps, Covers, etc.) [Egenhofer 1993] [Li et al. 2002a].

Une classification des invariants topologiques du modèle I4 pour la description détaillée des relations topologiques du système RCC8 a été l'objet de recherche de [Guo et al. 2003]. Nous constatons que les invariants topologiques (touching, crossing, bounded, unbounded, etc.) développés dans les travaux de [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] ont été repris dans ce travail. Les huit relations de base du système RCC8 ont été distinguées par ces invariants. Par exemple, la relation Meets est décrite par un triplet : (touching, unbounded, unbounded). Nous pouvons dire qu'il n'y a pas de description détaillée importante mais cette étude permet de décrire les relations du système RCC8 par des invariants topologiques au lieu d'utiliser des descriptions par des intersections vides ou non-vides du modèle I4.

Récemment, une approche de multiples niveaux a été proposée dans [Deng et al. 2007a] pour décrire tous les détails nécessaires des relations topologiques région-région fondées sur des invariants topologiques. Dans cette approche, le modèle ID est étudié et un ensemble d'invariants topologiques hiérarchiques est défini sur la base de l'ensemble d'intersection de frontière-frontière de deux régions spatiales de façon similaire à [Egenhofer 1993]. Cinq types d'invariants topologiques sont définis dans [Deng et al. 2007a] : (1) le nombre de séparations d'un ensemble spatial, (2) la dimension d'un ensemble spatial, (3) la dimension de chaque élément, (4) les voisinages de chaque élément, et (5) la séquence d'un ensemble spatial. Ces invariants topologiques sont utilisés à trois niveaux topologiques qui comprennent : (1) le contenu, la dimension et le nombre de séparations au niveau de l'ensemble, (2) le type et le nombre d'éléments au niveau de l'élément, et (3) la séquence au niveau intégré. Les quatre relations topologiques du système RCC8 : Meets (EC), Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), et Covers (TPPi), peuvent être détaillées [Egenhofer 1993] [Deng et al. 2007a].

Les définitions des invariants topologiques (le contenu, la dimension et le nombre de séparations) sont reprises des travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995]. Au premier niveau de détail, le modèle topologique ID est étendu avec les invariants topologiques [Deng et al. 2007a] : le contenu (vide ou non vide), la dimension (-1 pour vide, 0 pour un point, 1 pour une ligne) et le nombre de séparations de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ [Egenhofer 1993].

Le nouveau modèle est appelé le modèle du Nombre de Séparations (SD) donné par le vecteur suivant de 1*5 éléments [Deng et al. 2007a] :

$$SD(A, B) = [A^\circ \cap B^\circ, A - B, B - A, \chi(\partial A \cap \partial B), \dim(\partial A \cap \partial B)]$$

Où la dimension de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ est $\dim(\partial A \cap \partial B)$ obtenue par la dimension la plus grande des éléments spatiaux de l'ensemble spatial. Et le nombre de séparations $\chi(\partial A \cap \partial B)$ de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ est le nombre d'éléments spatiaux de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a]. Par exemple, pour décrire la relation entre deux régions spatiales, l'expression de SD peut être donnée come suit :

$$SD(A, B) = [A^\circ \cap B^\circ, A - B, B - A, \chi(\partial A \cap \partial B), \dim(\partial A \cap \partial B)] = [\phi, \neg\phi, \neg\phi, 2, 1]$$

Les problèmes rencontrés par ce modèle SD sont les mêmes que ceux évoqués dans l'étude sur le modèle I4 dans [Egenhofer 1993]. De plus, ce modèle ne donne pas de significations topologiques pour la description détaillée des relations à l'inverse de l'étude de [Egenhofer 1993] qui décrit les relations par : 0D-Meets, 1D-Meets, etc. Le seul avantage de ce modèle SD est qu'il est moins coûteux en termes de temps de calcul grâce à deux différences qui remplacent deux intersections dans la matrice [Deng et al. 2007a].

Pour résoudre certains problèmes du modèle SD, les auteurs [Deng et al. 2007a] ont introduit l'invariant topologique du type des éléments spatiaux de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$. Les types des éléments spatiaux (les points notés par $p_0 \dots p_9$, et les lignes notées par $l_{10} \dots l_{21}$ [Deng et al. 2007a]) ont été définis par un concept de voisinage. Le nouveau modèle est appelé le modèle du Type et du Nombre (TN) donné par la matrice suivante [Deng et al. 2007a] :

$$TN(A, B) = [A^\circ \cap B^\circ, A - B, B - A, N_0(p_0), \dots, N_9(p_9), N_{10}(l_{10}), \dots, N_{21}(l_{21})]$$

où $N_i(\cdot)$ avec ($0 \leq i \leq 21$) est le nombre de séparations du type (i) des éléments spatiaux de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$. Ce type (i) peut être un point de type ($p_0 \dots p_9$) ou une ligne de type ($l_{10} \dots l_{21}$). Par exemple, pour décrire la relation entre deux régions spatiales, l'expression de TN peut être donnée par : $TN(A, B) = [\phi, \neg\phi, \neg\phi, 2(l_{11})]$. Le type dans ce sens est équivalent au type indiqué par : touching, crossing in (inner crossing) ou crossing out (outer crossing) et à la relation de complément indiquée par : borne (bounded) ou non-bornée (unbounded) dans les travaux [Egenhofer et al. 1995].

Un avantage de ce modèle est qu'il permet de résoudre certains problèmes (le problème de la définition du type : touching, crossing, etc.) des travaux [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997]. L'autre avantage de ce modèle est qu'il permet de savoir combien de fois deux régions se connectent et de connaître le type de connexion (point ou ligne). Les inconvénients de ce modèle sont : (1) Il ne donne pas de significations topologiques pour la description détaillée des relations à l'inverse de l'étude de [Egenhofer 1993] qui décrit les relations par : 0D-#1-Meets, 1D-#2-Meets, 0D-#2-Overlaps, etc. ; (2) Il manque d'autres types d'éléments spatiaux (points et lignes) afin de déterminer l'orientation pour construire les types [Deng et al. 2007a] [Egenhofer et al. 1995] ; (3) La discrimination entre deux configurations qui ont les mêmes relations détaillées par le modèle TN (voir Figure 2.6) $TN(A, B) = [\phi, \neg\phi, \neg\phi, 1(p_7), 1(l_{11})]$ pose problème parce que l'orientation pour déterminer les types des éléments (points et lignes) n'est pas prise en compte [Deng et al. 2007a]. Par contre, du point de vue topologique et géométrique, ces deux configurations spatiales (Figures 2.6-a, et 2.6-b) ne sont pas identiques.

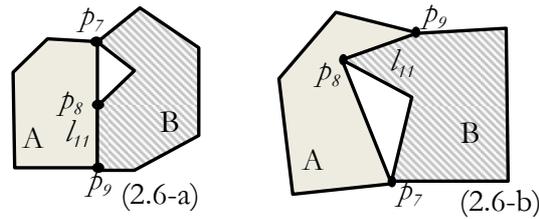


Fig. 2.6 : Identification des types des éléments spatiaux de l'intersection frontière-frontière

Pour contourner le problème d'orientation du modèle TN, [Deng et al. 2007a] ont introduit l'invariant topologique de la séquence des types des éléments spatiaux de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ [Egenhofer 1993].

Le nouveau modèle est appelé le modèle de la SequenCe (SC) [Deng et al. 2007a] donné par le vecteur suivant [Deng et al. 2007a] :

$$SC(A, B) = [A^\circ \cap B^\circ, A - B, B - A, Oc(.)]$$

où $Oc(.) = \langle c_0(t_0), \dots, c_i(t_i), \dots, c_{N-1}(t_{N-1}) \rangle$ avec : $(0 \leq i \leq 21), t_i = (p_0, \dots, p_9, l_{10}, \dots, l_{21})$ est la séquence des types des éléments spatiaux de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$. Par exemple, pour la configuration spatiale (Figure 2.6-a), la relation est donnée par le modèle SC : $SC(A, B) = [\emptyset, \neg\emptyset, \neg\emptyset, 1(p_7), 2(l_{11})]$.

En conclusion, ces trois modèles (SD, TN, SC) sont considérés comme extension du modèle ID [Deng et al. 2007a] avec les invariants topologiques. Le grand avantage de ces modèles est la description des relations entre deux régions spatiales plus détaillée et fiable que dans les travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995]. Les grands problèmes de ces modèles sont les suivants : (1) Manque d'expressions qualitatives topologiques pour décrire les relations topologiques détaillées du système RCC8 ; (2) Problèmes de discrimination entre deux configurations qui ont les mêmes relations détaillées ; (3) Problème d'orientation [Deng et al. 2007a] [Egenhofer et al. 1995] pour les deux derniers modèles TN et SC afin de chercher, définir et trouver les types des éléments spatiaux de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ et pour construire la séquence de ces éléments.

Nous avons vu dans la section précédente que la matrice $M_{2 \times 2}$ est construite de deux ensembles d'intersections $A^\circ \cap B^\circ$ et $\partial A \cap \partial B$, et deux différences algébriques $A^\circ \setminus B^\circ$ et $B^\circ \setminus A^\circ$ [Liu et al. 2007]. Cette matrice $M_{2 \times 2}$ a été étendue dans [Liu et al. 2007] pour détailler les relations topologiques entre deux objets spatiaux par trois nouvelles matrices (H, L, R) présentée ci-dessous :

$$H = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & m \\ n & n+m \end{pmatrix} \right\} : n, m \in Z^+ ; \text{ Pour décrire la relation (Overlaps (PO)) ayant des passages}$$

à la frontière (Boundary Crossing) avec : les éléments $(1, n, m, n+m)$ de la matrice H sont respectivement le nombre de composants (élément spatial comme point justement) de chaque élément $(A^\circ \cap B^\circ, A^\circ \setminus B^\circ, B^\circ \setminus A^\circ, \partial A \cap \partial B)$ de la matrice $M_{2 \times 2}$. Dans cette matrice, le nombre de composants de $A^\circ \cap B^\circ$ est toujours égal à 1. Par exemple, la relation Overlaps (PO) au niveau détaillé (configuration (2.7-a) dans la Figure 2.7) peut être donnée par la matrice : $H = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix}$.

En principe, ce nombre de composants est égal au même nombre de séparations dans les travaux de [Egenhofer 1993] [Deng et al. 2007a].

$$L = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & m \\ 0 & m \end{pmatrix} \right\} : m \in Z^+ ; \text{ et } R = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ n & n \end{pmatrix} \right\} : n \in Z^+ \text{ Pour décrire les relations (la matrice L}$$

pour décrire la relation Covers (TPPi), la matrice R pour décrire la relation CoveredBy (TPP)) qui ont des éléments tangentiels internes (Internal Tangent). Les deux matrices L et R sont des cas spécifiques de la matrice H avec : $n = 0$ pour obtenir la matrice L et $m = 0$ pour obtenir la matrice R. Par exemple, la relation CoveredBy (TPP) au niveau détaillé (configuration (2.7-b)

dans la Figure 2.7) peut être donnée par la matrice : $R = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 0 & 4 \end{pmatrix}$. Par exemple, la relation Covers (TPPi) au niveau détaillé (configuration (2.7-c) dans la Figure 2.7) peut être donnée par la matrice : $L = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 0 & 4 \end{pmatrix}$.

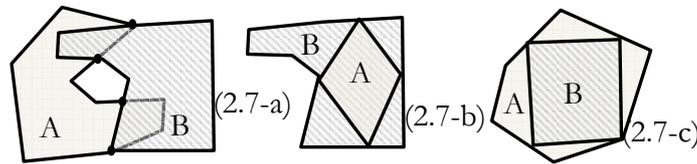


Fig. 2.7 : Identification des relations topologiques par trois matrices : (2.7-a) H pour Overlaps (PO), (2.7-b) R pour CoveredBy (TPP), (2.7-c) L pour Covers (TPPi)

En ce qui concerne les relations topologiques du système RCC8, les trois relations (Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), Covers (TPPi)) sont détaillées par ces trois matrices (H, L, R).

Puis, les auteurs [Liu et al. 2007] ont constaté que la matrice H (pour décrire la relation Overlaps) n'est pas complète parce qu'il n'y a pas toujours un seul composant de l'intersection $A^\circ \cap B^\circ$. Ils ont aussi pris en compte le nombre des régions dites limitées ou délimitées par deux régions A et B ou « bornées » (bounded) [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] entre deux régions. La nouvelle matrice de H (pour décrire la relation Overlaps (PO)) [Liu et al. 2007] est donnée par :

$$H = \left\{ \begin{pmatrix} p & m \\ n & n + m + s \end{pmatrix} \right\} \oplus (k) : n, m, p, k \in Z^+ \text{ and } k \leq s \leq 2 \times k$$

où le nombre de composants de $A^\circ \cap B^\circ$ est égal à p ; Le nombre des régions "limitées" (bornées ou bounded) est égal à k ; le nombre des composants (point justement où si deux point se forment une ligne, cette ligne n'est pas pris en compte pour distinguer entre point et ligne dans la description matricielle) de $\partial A \cap \partial B$ est égal à $n+m+s$. Par exemple, la relation Overlaps (PO) au niveau détaillé (configuration (2.7-a) dans la Figure 2.7)) peut être redonnée par la

$$\text{matrice } H = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \oplus (1).$$

L'avantage de ces trois matrices (H, L, R) réside dans le fait qu'elles donnent des descriptions détaillées des relations topologiques entre deux régions spatiales.

Ces descriptions sont plus générales dans ces matrices que dans les travaux de [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] et dans la description par le modèle SD [Deng et al. 2007a].

Ces matrices ont été appliquées pour la description des relations entre régions dans des SIG [Liu et al. 2007].

Les inconvénients de cette étude [Liu et al. 2007] par ces trois matrices sont : (1) La relation Meets (EC) n'est pas du tout étudiée en détail ni prise en compte comme dans les travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] ; (2) Manque d'expressions qualitatives topologiques (par exemple : 0D-#2-Overlaps, 1D-#3-Overlaps, etc. [Egenhofer 1993]) pour décrire la relation topologique détaillée du système RCC8 ; (3) Il considère que tous les éléments spatiaux de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ sont des points, même des lignes prises comme des points, cela provoque des problèmes de description parce que, dans la plupart des travaux présentés ici [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a], points et lignes sont tous les deux pris en compte pour la description détaillée des relations. Un exemple pour la relation Overlaps (PO) (Figure 2.8), la matrice H [Liu et al. 2007] (pour les configurations (2.8-a) et (2.8-b) dans la Figure 2.8) est donnée par $H = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \oplus (1)$. Par contre, ces configurations ne

sont pas du tout identiques du point de vue topologique et géométrique. Les modèles dans le travail [Egenhofer 1993] (1D-#3-Overlaps pour la configuration (2.8-a) ; 0D-#4-Overlaps pour la configuration (2.8-b) et dans le travail [Deng et al. 2007a] ($SD(A, B) = [\emptyset, \neg\emptyset, \neg\emptyset, 3, 1]$ pour la configuration (2.8-a) ; $SD(A, B) = [\emptyset, \neg\emptyset, \neg\emptyset, 4, 0]$ pour la configuration (2.8-b) peuvent distinguer ces relations et donner des descriptions détaillées plus discriminantes que cette matrice H.

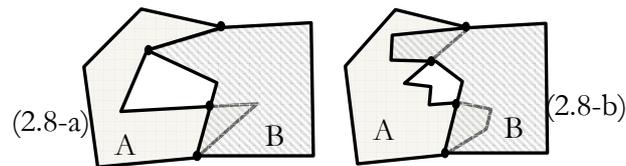


Fig. 2.8 : Problèmes de description détaillée avec la matrice H pour la relation Overlaps (PO)

Plus récemment, dans [Billen et al. 2008], le modèle DM a été intégré avec le modèle $I9^+$ dans le but de raffiner et distinguer les relations topologiques entre régions. Cette intégration (DM+ $I9^+$) donne une matrice $M^+(A, B)$ de 4*3-éléments :

$$M^+(A, B) = \begin{bmatrix} B^\circ \cap A^\circ & B^\circ \cap dA & B^\circ \cap A^- \\ dB1 \cap A^\circ & dB1 \cap dA & dB1 \cap A^- \\ dB0 \cap A^\circ & dB0 \cap dA & dB0 \cap A^- \\ B^- \cap A^\circ & B^- \cap dA & B^- \cap A^- \end{bmatrix}$$

où $dB1$ est l'ensemble des points d'ordre 1 (1D), et $dB0$ est l'ensemble des points d'ordre 0 (0D) [Billen et al. 2008]. Trente relations topologiques obtenues par cette matrice $M^+(A, B)$ sont considérées pour le raffinement et la description détaillée des huit relations topologiques du système RCC8. Ces 30 relations détaillées sont les suivantes [Billen et al. 2008] : (1) Disjoint ; (2) Cinq relations détaillées de la relation Meets (Meets (Connexion Extérieure) du numéro N°.1 au numéro N°.5) ; (3) Onze relations Overlaps (Overlaps (Chevauchement) du numéro N°.1 au numéro N°.11) ; (4) Cinq relations CoveredBy (CoveredBy (Inclusion Tangentielle) du numéro N°.1 au numéro N°.5) ; (5) Inside ; (6) Cinq relations Covers (Covers (Inclusion Tangentielle Inverse) du numéro N°.1 au numéro N°.5) ; (7) Une seule relation Contains (Inclusion Non-

Tangentielle Inverse) ; (8) Equal (Égalité). Par exemple, la relation Overlaps-1 et Overlaps-2 dans [Billen et al. 2008] sont données chacune par une matrice de 4*3 éléments :

$$M^+(A, B) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \equiv \text{Relation(Overlaps } N^\circ.1) \text{ et } M^+(A, B) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \equiv \text{Relation(Overlaps } N^\circ.2)$$

Nous constatons dans cette étude des relations topologiques du système RCC8 par cette matrice que les quatre relations (Meets, Overlaps, CoveredBy, Covers) peuvent être décrites en détail. L'avantage de cette matrice est qu'elle donne un nombre (30-8=22) de nouvelles relations topologiques détaillées du système RCC8 [Billen et al. 2008].

Les inconvénients de cette matrice sont : (1) Elle ne peut pas donner une description de toute relation possible comme dans les travaux précédents [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] [Billen et al. 2008], autrement dit, que cette matrice est limitée dans le nombre des relations détaillées ; (2) Il y a des problèmes de description des 30 relations pour d'autres configurations possibles que celles sont présentées dans ce travail [Billen et al. 2008].

Un dernier point à considérer est que les autres modèles (I9, DE-4IM, DE-9IM, CBM, VI9, DM, I9⁺) ne sont pas étudiés dans leurs travaux originaux pour donner des descriptions détaillées. De notre point de vue, les modèles (DE-4IM, DE-9IM, CBM, DM, I9⁺) peuvent être considérés comme modèles pour détailler les relations topologiques en intégrant l'invariant topologique de la dimension et de l'ordre (voir Table 2.1).

En conclusion, les Tables 2.3 et 2.4 établissent une comparaison entre ces modèles topologiques étudiés au niveau détaillé afin d'obtenir des détails sur les relations topologiques du système RCC8. Dans la Table 2.3, la comparaison est basée sur les concepts des invariants topologiques introduits (Contenu, Dimension, Nombre de Séparations, Type, Séquence, Ordre) et les opérateurs de la matrice du modèle (Intersection, Réunion et différence (Soustraction, Algébrique, Par, Symétrique), etc.). Nous trouvons que la plupart des modèles topologiques utilisent les invariants topologiques (le contenu, la dimension et le nombre de séparations) et les opérateurs d'intersection et différence (Soustraction) dans leurs matrices.

Modèle Topologique au Niveau Détaillé	Invariant Topologique						Région	Opérateur de la Matrice du Modèle				
	Contenu	Dimension 0D, 1D	Nombre de Séparations (#)	Type	Séquence	Ordre		Intersection \cap	Réunion \cup	Différence Soustraction -	Différence Algébrique \	Différence Symétrique Δ
I4	I4, dim	X	X					X				
	I4, x	X		X				X				
	I4, dim, x	X	X	X				X				
	I4, dim, x, séquence		X	X	X	X		X				
F	fC	X						X	X	X	X	X
	fD		X					X	X	X	X	X
	FC	X					X	X	X	X	X	X
Invariant I4	X			X								
ID	SD	X	X	X				X		X		
	TN	X	X	X	X			X		X		
	SC	X	X	X	X	X		X		X		
M _{2x2} (H, L, R)	X		X				X			X		
M ⁺ (DM+I9 ⁺)	X					X	X					

Table. 2.3 : Comparaison des modèles topologiques au niveau détaillé

Modèle Topologique au Niveau Détaillé		Avantages	Inconvénients	Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau Détaillé
I4	$I_{4, dim}$	- Utilise des descriptions topologiques par les noms topologiques et <i>la dimension</i> : 0D-Meets, 1D-Meets, 0D-Covers, 1D-Covers, 0D-CoveredBy, 1D-CoveredBy, 0D-Overlaps, et 1D-Overlaps, etc.	- Problème de discrimination entre deux relations de même type, par exemple : 0D-Meets, 1D-Meets, 0D-Overlaps, etc. - Coûteux en termes de calcul et Complexité de calcul élevée : intersections entre éléments de différentes dimensions (1D et 2D) par rapport au <i>modèle ID avec SD, TN et SC</i>	- Quatre relations sont détaillées : Meets, Overlaps, CoveredBy, et Covers - Simple pour comprendre les relations détaillées du système RCC8 par : 0D-Meets, 1D-Meets, etc.
	$I_{4, x}$	- Utilise des descriptions topologiques par les noms topologiques et <i>le nombre de séparations</i> : #1-Meets, #2-Meets, #1-Covers, #2-Covers, #1-CoveredBy, #2-CoveredBy, #2-Overlaps, et #4-Overlaps, etc.	- Problème de discrimination entre deux relations de même type, par exemple : #1-Meets, #2-Covers, #1-CoveredBy, et #4-Overlaps, etc. - Coûteux en termes de calcul et Complexité de calcul élevée : intersections entre éléments de différentes dimensions (1D et 2D) par rapport au <i>modèle ID avec SD, TN et SC</i>	- Quatre relations sont détaillées : Meets, Overlaps, CoveredBy, et Covers - Simple pour comprendre les relations détaillées du système RCC8 par : #1-Meets, #2-Meets, etc.
	$I_{4, dim, x}$	- Utilise des descriptions topologiques par les noms topologiques, <i>la dimension et le nombre de séparations</i> : 0D-#1-Meets, 1D-#2-Meets, 0D-#1-Covers, 1D-#2-Covers, 0D-#1-CoveredBy, 1D-#2-CoveredBy, 0D-#2-Overlaps, et 1D-#4-Overlaps, etc.	- Problème de discrimination entre deux relations de même type, par exemple : 0D-#1-Meets, 1D-#2-Meets, 0D-#1-Covers, 0D-#2-Overlaps, et 1D-#4-Overlaps, etc. - Coûteux en termes de calcul et Complexité de calcul élevée : intersections entre éléments de différentes dimensions (1D et 2D) par rapport au <i>modèle ID avec SD, TN et SC</i>	- Quatre relations sont détaillées : Meets, Overlaps, CoveredBy, et Covers - Simple pour comprendre les relations détaillées du système RCC8 par : 0D-#1-Meets, 1D-#2-Meets, etc.
	$I_{4, dim, x, séquence}$	- Utilise des descriptions topologiques par les noms topologiques, <i>la dimension, le nombre de séparations, et la séquence (dimension, type, relation de complément)</i> : < 0 (0, Crossing out, unbounded); 1 (1, Crossing in, unbounded) >, etc.	- Coûteux en termes de calcul et Complexité de calcul élevée : intersections entre éléments de différentes dimensions (1D et 2D) par rapport au <i>modèle ID avec SD, TN et SC</i>	- Quatre relations sont détaillées : Meets, Overlaps, CoveredBy, et Covers - Très Difficile pour décrire et comprendre les relations détaillées du système RCC8
F	f_C	- Pas d'avantages	- f_C ne peut pas distinguer entre les deux relations de Meets et Overlaps du système RCC8 - Problèmes de discrimination entre deux relations de même type (0-D-Meets, Overlaps, etc.) par f_C, f_b, F_C - Coûteux en termes de calcul et Complexité de calcul élevée : cinq opérateurs par rapport aux <i>modèles : I4, ID avec SD, TN et SC</i>	- Une seule relation du système RCC8 est détaillée : Meets (0-D-Meets, 1-D-Meets)
	f_D	- Utilise des descriptions topologiques par les noms topologiques et <i>la dimension</i> : 0-D-Meets, 1-D-Meets.		
	F_C	- Pas d'avantages		
Invariant I4		- Descriptions des relations du système RCC8 par <i>des invariants topologiques</i> au lieu d'utiliser le contenu des intersections <i>vides ou non-vides</i> du <i>modèle I4</i>	- Pas de description détaillée importante - Problèmes de discrimination entre deux relations Meets , etc.	- Seulement les huit relations de base du système RCC8 sont distinguées sans détail importants
ID	SD	- Utilise <i>une matrice avec la dimension et le nombre de séparations</i> pour une description plus détaillée et fiable des relations - Moins complexe et coûteux en termes de temps de calcul et de complexité que le <i>modèle I4</i>	- Pas de significations topologiques pour la description détaillée des relations à l'inverse du <i>modèle I4</i> . - Problèmes de discrimination entre deux relations de même type Meets, Overlaps , etc.	- Quatre relations sont détaillées : Meets, Overlaps, CoveredBy, et Covers - Très Difficile pour comprendre les relations détaillées du système RCC8 par leurs matrices
	TN	- Utilise <i>une matrice avec le type</i> pour <i>une description plus détaillée et fiable</i> des relations - Résoudre le problème de la définition du type dans le modèle I4 . - Moins coûteux en termes de temps de calcul et de complexité que le <i>modèle I4</i>	- Pas de significations topologiques pour la description détaillée des relations à l'inverse du <i>modèle I4</i> . - Problèmes de discrimination entre deux relations de même type Meets, Overlaps , etc. - Problème d'orientation afin de définir et trouver <i>les types</i>	- Une description plus détaillée et fiable des relations du système RCC8 par leurs matrices

	SC	- Utilise une matrice avec la séquence des types pour une description plus détaillée et fiable des relations	- Pas de significations topologiques pour la description détaillée des relations à l'inverse du modèle I4 . - Problèmes de discrimination entre deux relations de même type Meets, Overlaps , etc. - Problème d'orientation afin de définir et trouver les types et la séquence	
M_{2*2}	H	- Utilise une matrice générale avec le nombre de séparations pour une description détaillée de la relation Overlaps par H, Covers par L, CoveredBy par R - Ces descriptions sont beaucoup mieux détaillées dans leurs matrices que les modèles : I4 (I_{4, dim}, etc.), ID (SD, TN, SC), F, M⁺	- La relation Meets n'est pas du tout étudiée en détail - Manque d'expressions qualitatives topologiques pour les relations - Problème de description parce que tous les éléments spatiaux de l'intersection sont seulement des points et pas de lignes	- Trois relations sont détaillées : Overlaps, CoveredBy, et Covers - Un peu Difficile pour comprendre les relations détaillées du système RCC8
	L			
	R			
M⁺ (DM+I9⁺)		- Utilise une matrice pour raffiner et distinguer les relations topologiques du système RCC8 où 22 nouvelles relations sont extraites	- Limitée dans le nombre des relations détaillées (30 relations) - Problèmes de description des 30 relations pour d'autres configurations possibles	- Quatre relations sont détaillées : Meets, Overlaps, CoveredBy, et Covers - Difficile pour décrire et comprendre les relations détaillées du système RCC8

Table. 2.4 : Comparaison des modèles et relations topologiques au niveau détaillé

Nous trouvons que les modèles I4 ($I_{4, \text{dim}}$, $I_{4, x}$, $I_{4, \text{dim}, x}$, $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), ID (SD, TN, SC), et $M^+(DM+I9^+)$ [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] [Billen et al. 2008] ont donné des descriptions détaillées pour quatre relations topologiques du système RCC8 : Meets (EC), Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), et Covers (TPPi) (voir Table 2.4). Par contre, le modèle par la matrice M_{2*2} (H, L, R) a donné des matrices générales pour détailler seulement trois relations du système RCC8 : Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), et Covers (TPPi).

Cette comparaison nous a permis d'éclairer certains objectifs de ce chapitre : (1) Savoir comment décrire et détailler les relations topologiques du système RCC8 par invariants topologiques ; (2) Connaître les descriptions générales détaillées des relations du système RCC8 ; (3) Savoir quelles sont les relations du système RCC8 les plus étudiées : les quatre relations Meets (EC), Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), et Covers (TPPi) ; (4) Connaître les inconvénients et les avantages des modèles topologiques étudiés dans la littérature pour but de choisir un modèle topologique de départ pour développer et étendre.

En conclusion générale sur ces modèles et relations topologiques au niveau détaillé étudiées dans [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] [Billen et al. 2008], nous trouvons que le modèle ID avec ses trois modèles d'extension (SD, TN, SC) est le plus intéressant à réétudier et revoir afin de développer un nouveau modèle.

Ce nouveau modèle doit croiser et rencontrer les avantages des modèles I4 ($I_{4, \text{dim}}$, $I_{4, x}$, $I_{4, \text{dim}, x}$, $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), ID (SD, TN, SC), $M^+(DM+I9^+)$, et M_{2*2} (H, L, R) en évitant leurs inconvénients pour enrichir et détailler les relations du système RCC8.

Cette comparaison est aussi faite dans l'objectif de déterminer et de définir nos choix de modèle à prendre en compte afin de décrire, représenter et modéliser les relations du système RCC8 au niveau détaillé.

Dans la section 2.4, nous allons préciser nos choix de modèle.

2.4. Nos Choix de Modèles Topologiques

Dans l'objectif de développer un nouveau modèle pour la description détaillée des relations du système RCC8, nous allons définir dans cette section nos choix de modèle topologique de départ à étudier pour la suite dans cette thèse.

Au niveau sans détail, nous avons trouvé que le modèle topologique ID est le plus adapté et le plus intéressant afin d'étudier et décrire les relations du système RCC8. Il est facile et simple de définir les relations du système RCC8 par ce modèle ID.

Au niveau détaillé, ce modèle ID avec ses modèles étendus (SD, TN, et SC) [Deng et al. 2007a] est le plus intéressant à étendre afin de développer un nouveau modèle. Ce modèle ID a beaucoup d'avantages qui résident dans le fait que nous pouvons extraire et décrire les relations topologiques du système RCC8 avec beaucoup de détails topologiques par des matrices. En revanche, il a des inconvénients que nous pouvons résoudre en intégrant les avantages des modèles : I4 ($I_{4, \text{dim}}$, $I_{4, x}$, $I_{4, \text{dim}, x}$, $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$) [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995], $M^+(\text{DM}+\text{I9}^+)$ [Billen et al. 2008], et $M_{2*2}(H, L, R)$ [Liu et al. 2007]. Par exemple, la matrice $M_{2*2}(H, L, R)$ prend en considération le nombre de séparations des régions d'intersection et les régions "limitées" (bornées ou "bounded"). Ce nombre de séparations des régions peut être intégré dans le modèle ID afin de donner un peu plus de détails pour discriminer deux relations. Un autre exemple, les modèles étendus SD, TN, et SC du modèle ID n'ont pas donné des significations ou noms topologiques pour leurs matrices de relations. Les noms topologiques du système RCC8 et des relations détaillées du modèle I4 ($I_{4, \text{dim}}$, $I_{4, x}$, $I_{4, \text{dim}, x}$) peuvent nous servir comme exemple dans ce contexte pour donner des noms topologiques aux matrices des relations du modèle ID. D'autres inconvénients, pour lesquels nous allons plus profondément chercher des solutions, sont les problèmes de discrimination et d'orientation des types des éléments (points, lignes), définition du nombre de séparations de points et de lignes de l'ensemble de l'intersection frontière-frontière, etc.

Les quatre relations topologiques du système RCC8 dont nous allons donner des descriptions détaillées sont les mêmes relations (Meets (EC), Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), et Covers (TPPi)) étudiées par les modèles : I4 ($I_{4, \text{dim}}$, $I_{4, x}$, $I_{4, \text{dim}, x}$, $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$) [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995], ID (SD, TN, SC) [Deng et al. 2007a], $M^+(\text{DM}+\text{I9}^+)$ [Billen et al. 2008], et $M_{2*2}(H, L, R)$ [Liu et al. 2007].

Après ces investigations et le bilan de l'état de l'art sur les modèles et les relations topologiques, nous choisissons le modèle ID comme modèle de départ pour développer un nouveau modèle. Ce nouveau modèle choisi doit intégrer les avantages des modèles : I4 ($I_{4, \text{dim}}$, $I_{4, x}$, $I_{4, \text{dim}, x}$, $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), ID (SD, TN, SC), $M^+(\text{DM}+\text{I9}^+)$, et $M_{2*2}(H, L, R)$ en évitant leurs inconvénients pour enrichir et détailler les relations du système RCC8.

Les relations topologiques du modèle ID [Deng et al. 2007a] sont équivalentes aux relations du système RCC8 et elles sont présentées dans la Table 2.5. Le contenu de chaque élément de la matrice du modèle ID est désigné par le symbole \emptyset pour un ensemble vide et par le symbole $\neg\emptyset$ pour un ensemble non-vide.

En dépit de ces efforts et des progrès réalisés dans les travaux mentionnés [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] [Billen et al. 2008], il y a encore des imperfections liées à la généralisation et aux détails des relations topologiques région-région. Donc, dans notre étude, nous nous intéressons à la généralisation des relations topologiques du système RCC8 au niveau détaillé en définissant le nombre de

séparations et le type de points et de lignes de l'ensemble de l'intersection frontière-frontière, le nombre de séparations des régions d'intersection et des régions "limitées" (bornées ou bounded).

Nous avons vu que, dans les travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Billen et al. 2008], la description détaillée est exprimée par les noms topologiques (Meets, Overlaps, CoveredBy, et Covers) des relations du système RCC8.

Dans notre étude, nous allons garder les huit expressions topologiques des relations du système RCC8 [Randell et al. 1992] [Cui et al. 1993] : DC, EC, PO, TPP, NTPP, TPPi, NTPPi, EQ ; pour la description détaillée générale dans les chapitres 3 et 4.

Dans la section 2.5, nous allons présenter et étudier les invariants topologiques que nous allons intégrer dans l'extension du modèle ID.

Relations du Système RCC8	Matrice des Relations du Modèle ID	Notation	Expression RCC8	Expression ID
<i>A est déconnecté de B</i>	$ID(A, B) = \begin{bmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \emptyset \end{bmatrix}$	<i>DC(A, B)</i>	<i>Disconnected (DC)</i> <i>(Déconnexion)</i>	<i>Disjoint</i> <i>(Déconnexion)</i>
<i>A est extérieurement connecté à B</i>	$ID(A, B) = \begin{bmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	<i>EC(A, B)</i>	<i>Externally Connected (EC)</i> <i>(Connexion Extérieure)</i>	<i>Meets</i> <i>(Connexion Extérieure)</i>
<i>A recouvre partiellement B</i>	$ID(A, B) = \begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	<i>PO(A, B)</i>	<i>Partially Overlapping (PO)</i> <i>(Chevauchement)</i>	<i>Overlaps</i> <i>(Chevauchement)</i>
<i>A est une partie propre tangentielle de B</i>	$ID(A, B) = \begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	<i>TPP(A, B)</i>	<i>Tangential Proper Part (TPP)</i> <i>(Partie Tangentielle Propre)</i>	<i>CoveredBy</i> <i>(Inclusion Tangentielle)</i>
<i>A est une partie propre non tangentielle de B</i>	$ID(A, B) = \begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \emptyset \end{bmatrix}$	<i>NTPP(A, B)</i>	<i>Non-Tangential Proper Part (NTPP)</i> <i>(Partie Non-Tangentielle Propre)</i>	<i>ContainedBy or Inside</i> <i>(Inclusion Non-Tangentielle)</i>
<i>A possède pour partie propre tangentielle de B</i>	$ID(A, B) = \begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	<i>TPPi(A, B)</i>	<i>Tangential Proper Part inverse (TPPi)</i> <i>(Inverse de Partie Tangentielle Propre)</i>	<i>Covers</i> <i>(Inclusion Tangentielle Inverse)</i>
<i>A possède pour partie propre non tangentielle de B</i>	$ID(A, B) = \begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{bmatrix}$	<i>NTPPi(A, B)</i>	<i>Non-Tangential Proper Part inverse (NTPPi)</i> <i>(Inverse de Partie Non-Tangentielle Propre)</i>	<i>Contains</i> <i>(Inclusion Non-Tangentielle Inverse)</i>
<i>A est égal à B</i>	$ID(A, B) = \begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	<i>EQ(A, B)</i>	<i>Equal (EQ)</i>	<i>Equal</i>

Table. 2.5 : Matrice du modèle ID et équivalence avec le système RCC8

2.5. Invariants Topologiques et Extension du Modèle Topologique d'Intersection et Différence (ID) au Niveau Détaillé

Dans la section précédente, nous avons montré que le modèle ID est efficace pour décrire les relations topologiques entre deux régions géographiques. Dans l'analyse et l'interrogation des données spatiales, il y a un besoin croissant d'avoir des relations topologiques détaillées plus générales [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997] [Deng et al. 2007a]. Pour cela, d'une part le concept d'élément spatial, d'autre part, d'invariants topologiques sont formalisés [Egenhofer 1993] [Liu et al. 2007] [Deng et al. 2007a] [Billen et al. 2008]. Cette section est consacrée aux invariants topologiques (le nombre de séparations, le concept de voisinage, le type) qui nous permettront de donner des descriptions générales pour les relations topologiques. Ces invariants topologiques seront inclus dans l'extension du modèle ID pour fournir des informations cruciales sur les relations topologiques du système RCC8.

2.5.1. Concept d'Ensemble Spatial

Un ensemble peut être grossièrement classé en ensemble vide ou non-vide. Un ensemble vide ne contient aucun élément, tandis qu'un ensemble non-vide peut être subdivisé en éléments continus et discrets. Un objet spatial est considéré comme un ensemble spatial de points dans l'analyse spatiale des SIG. Toutefois, la représentation des ensembles pour les objets géographiques est souvent différente d'un ensemble classique.

Le concept d'un ensemble spatial pour la représentation des objets géographiques est développé dans [Deng et al. 2007a]. Un ensemble spatial est considéré comme un ensemble spécial de certaines propriétés liées à la localisation spatiale. Soit S un ensemble spatial avec ses éléments s_1, s_2, \dots, s_n , alors, cet ensemble spatial est défini comme $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ où $s_i (1 \leq i \leq n)$ est appelé un élément spatial, et ces éléments doivent satisfaire les deux conditions suivantes : (1) $s_i \cap \overline{s_j} = \emptyset$ pour $1 \leq i, j \leq n$ et $i \neq j$, $\overline{s_j}$ est la fermeture de s_j ; (2) $s_i (1 \leq i \leq n)$ est un élément spatial connecté.

Par conséquent, un ensemble spatial peut représenter un objet spatial individuel, ou une classe d'objets géographiques (par exemple, bâtiments, réseaux routiers), ou même un mélange des deux. Ensuite, l'ensemble spatial peut être exprimé en général comme $S = \{P, L, R\}$ qui sont un point P , une ligne L et une région R . Ce concept peut être aussi employé pour étudier l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ avec tous ses éléments spatiaux (points, lignes) [Deng et al. 2007a].

Dans la Figure 2.9, nous représentons deux régions spatiales A et B où A et B sont considérées comme deux ensembles spatiaux donnés par : $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7\}$ et $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9\}$ (Figure 2.9-a).

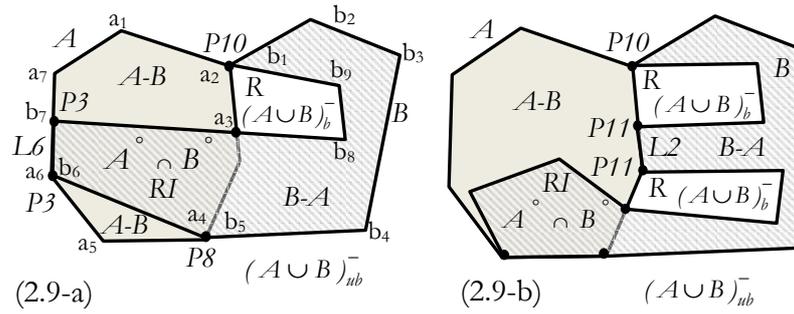


Fig. 2.9 : Deux ensembles spatiaux A et B et la représentation du modèle ID avec les invariants topologiques : nombre de séparations des éléments spatiaux, régions d'intersection (RI), région "limitée" ($R = (A \cup B)_b^-$) (bornée ou bounded), voisinages des points et type des éléments spatiaux

2.5.2. Invariant Topologique de Type 1 : Le Nombre de Séparations

Par définition, tous les éléments dans un ensemble spatial sont séparés les uns des autres dans la distribution spatiale. D'un point de vue topologique, le nombre d'éléments spatiaux dans l'ensemble spatial peut être considéré comme une mesure de séparation de l'ensemble spatial défini par le terme $S = \partial A \cap \partial B$ de l'intersection frontière-frontière entre deux régions A et B appelé le nombre de séparations de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] [Billen et al. 2008].

Dans notre travail, nous allons chercher le nombre de séparations des points et des lignes de l'ensemble spatial de l'intersection $S = \partial A \cap \partial B$. Le nombre de séparations de S est défini par $r = \chi(\partial A \cap \partial B)$ dans les travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] [Billen et al. 2008]. Cet ensemble S se compose en général de points et de lignes. Afin de séparer les points et les lignes de S, nous déterminons un nouveau nombre de séparations pour les points $n = \chi(\partial A \cap \partial B)_p$ et un nouveau nombre de séparations pour les lignes $m = \chi(\partial A \cap \partial B)_L$ de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$. Ces deux nombres (n, m) de séparations ne sont pas du tout étudiés ou pris en compte dans les travaux précédents [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Liu et al. 2007] [Deng et al. 2007a] [Billen et al. 2008]. Ces deux nombres (n, m) seront intégrés dans l'extension du modèle ID dans la section 2.5.5.

Dans la matrice $M_{2 \times 2}$ (H, L, R) [Liu et al. 2007], le nombre de composants des régions d'intersection et le nombre de composants des régions "limitées" (bornées) sont pris en considération. Les Régions d'Intersection (RI) représentent l'intersection entre l'intérieur (A°) de A et l'intérieur (B°) de B obtenues par $A^\circ \cap B^\circ$ (voir Figure 2.9). Les Régions "limitées" ("bornées") (R) représentent les régions limitées $(A \cup B)_b^-$ entre A et B (voir Figure 2.9). La région "non-bornée ou unbounded" $(A \cup B)_{ub}^-$ entre A et B représente la région non limitée (dite espace extérieur) (voir Figure 2.9). Ces trois régions (intersection, bounded, unbounded) sont aussi prises en compte dans [Deng et al. 2007a] pour définir les voisinages d'un élément spatial. Dans l'objectif d'intégrer ces deux nombres de séparations dans notre étude, nous allons utiliser le nombre de séparations des régions "limitées" (bornées) (kR) $k = \chi((A \cup B)_b^-)$ et le nombre de séparations des régions d'intersection (jRI) $j = \chi(A^\circ \cap B^\circ)$ [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009b]. Ces deux nombres j et k de séparations seront utilisés et intégrés dans l'extension du

modèle ID dans la section 2.5.5 pour détailler les relations topologiques du système RCC8. De façon similaire, les deux régions de différences $A-B$ et $B-A$ ont aussi deux nombres de séparations différents $d1 = \chi(A-B)$ et $d2 = \chi(B-A)$. Ces deux nombres $d1$ et $d2$ de séparations seront utilisés et intégrés dans l'extension du modèle ID.

Enfin, le nombre de séparations est le premier invariant topologique à prendre en compte dans notre étude. Dans la Table 2.6, deux exemples sur tous ces nombres de séparations sont étudiés et présentés (voir Figure 2.9).

2.5.3. Invariant Topologique de Type 2 : Les Voisines d'un Élément Spatial

La topologie d'un élément spatial est appelée topologie locale. La définition de la topologie est fondée sur la notion de voisinage. Par conséquent, la topologie d'un élément spatial peut être identifiée et distinguée sur la base de ses éléments spatiaux voisins [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a].

Afin de faire une identification générale des éléments spatiaux de l'ensemble des voisins, celui-ci est décomposé en cinq voisinages qui sont les cinq régions (les deux régions des différences, les régions d'intersection, la région "non-bornée", et les régions "bornées" $A-B$, $B-A$, $A^\circ \cap B^\circ$, $(A \cup B)_{ub}^-$, $(A \cup B)_b^-$ [Deng et al. 2007a]. Par exemple, considérons le point $P3$ (voir Figure 2.9) : les voisins de cet élément spatial sont les trois régions suivantes : $A-B$, $A^\circ \cap B^\circ$, et $(A \cup B)_{ub}^-$.

Le deuxième invariant topologique à prendre en compte dans notre étude est le concept de voisinage d'un élément spatial. La notion du voisinage avec le modèle ID est représentée dans la Table 2.6 et la Figure 2.9.

Cette notion de voisinage est utilisée pour la définition du type des éléments spatiaux (points, et lignes) de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ dans la section 2.5.4.

2.5.4. Invariant Topologique de Type 3 : Le Type d'un Élément Spatial

Dans cette section, la notion de voisinage est utilisée pour définir le type de points de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ de deux régions A et B où chaque type de points est défini par plusieurs régions voisines des cinq régions suivantes : $A-B$, $B-A$, $A^\circ \cap B^\circ$, $(A \cup B)_{ub}^-$ et $(A \cup B)_b^-$. Nous pouvons déterminer 13 types de points dans notre étude [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009b] au lieu de dix dans [Deng et al. 2007a]. Nous allons utiliser ces types de points pour déterminer et définir le type de lignes de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$. Nous déterminons ces types de lignes où chaque type d'une ligne est défini par un point de départ et un point d'arrivée avec le type de ces deux points [Deng et al. 2007a].

Nous cherchons le type des points de départ et d'arrivée des lignes de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ dans le sens anti-trigonométrique. 31 types de lignes sont définis dans notre étude [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009b] au lieu de douze dans [Deng et al. 2007a].

L'intérêt de ces types de points et lignes est qu'ils permettent d'enrichir les descriptions détaillées de relations topologiques dans certains cas où une ambiguïté se résout entre deux relations pour deux configurations différentes.

Nous allons revenir pour étudier en détails la définition de ces types de points et de lignes et leur intérêt dans le chapitre 4.

Deux exemples sont donnés dans la Table 2.6 et la Figure 2.9 sur la définition des types de points et de lignes. Par exemple, le point avec les trois régions voisines : $A-B$, $A^\circ \cap B^\circ$, et $(A \cup B)_{ub}^-$ a toujours le type P3 (voir Figure 2.9).

Figure 2.9	Invariants Topologiques				
	Nombre de Séparations de		Type d'un Élément Spatial	Voisins d'un Élément Spatial : Point	
(2.9-a)	Pensemble spatial de l'intersection $r = \chi(\partial A \cap \partial B)$		$r = 5$	Pour le Point de Type P3	$(A-B)$, $(A^\circ \cap B^\circ)$, et $(A \cup B)_{ub}^-$
	Points $n = \chi(\partial A \cap \partial B)_p$		$n = 3$		
	Lignes $m = \chi(\partial A \cap \partial B)_l$		$m = 1$	Pour la Ligne de Type L6 avec Point de départ : P3 Point d'arrivée: P3	$(A-B)$, $(A^\circ \cap B^\circ)$, et $(A \cup B)_{ub}^-$
	Régions d'Intersection (jRI) $j = \chi(A^\circ \cap B^\circ)$		$j = 1$		
	Régions limitées (kR) $k = \chi((A \cup B)_b^-)$		$k = 1$		
	Régions de Différence		$d1 = \chi(A-B)$ $d2 = \chi(B-A)$		
(2.9-b)	Pensemble spatial de l'intersection $r = \chi(\partial A \cap \partial B)$		$r = 6$	Pour le Point de Type P10	$(A-B)$, $(B-A)$, $(A \cup B)_b^-$, et $(A \cup B)_{ub}^-$
	Points $n = \chi(\partial A \cap \partial B)_p$		$n = 2$		
	Lignes $m = \chi(\partial A \cap \partial B)_l$		$m = 2$	Pour la Ligne de Type L2 avec Point de départ : P11 Point d'arrivée: P11	$(A-B)$, $(B-A)$, et $(A \cup B)_b^-$
	Régions d'Intersection (jRI) $j = \chi(A^\circ \cap B^\circ)$		$j = 1$		
	Régions limitées (kR) $k = \chi((A \cup B)_b^-)$		$k = 2$		
	Régions de Différence		$d1 = \chi(A-B)$ $d2 = \chi(B-A)$		

Table. 2.6 : Exemples sur les invariants topologiques : nombre de séparations, concept de voisinage d'un élément spatial et type des éléments spatiaux

Dans les sections précédentes, nous avons présenté les invariants topologiques que nous allons utiliser pour enrichir les relations topologiques du système RCC8 dans les chapitres 3 et 4.

Ces invariants permettront de surmonter les inconvénients des relations topologiques détaillées étudiées dans ce chapitre.

Dans la section 2.5.5, nous allons développer l'extension du modèle ID avec les invariants topologiques étudiés ici.

2.5.5. Extension du Modèle d'Intersection et Différence (ID) au Niveau Détaillé

Dans cette section, nous allons étendre le modèle ID avec deux invariants topologiques (le nombre de séparations et le type).

Rappelons que le modèle ID est donné par la matrice suivante [Deng et al. 2007a] :

$$ID(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & B - A \\ A - B & \partial A \cap \partial B \end{bmatrix}$$

Le modèle étendu SD [Deng et al. 2007a] de ce modèle ID est donné par :

$$SD(A, B) = [A^\circ \cap B^\circ, A - B, B - A, \chi(\partial A \cap \partial B), \dim(\partial A \cap \partial B)]$$

Dans notre étude, nous allons introduire le nombre de séparations $\chi(\cdot)$ dans la matrice du modèle ID [Deng et al. 2007a] afin de développer l'extension du modèle ID par l'invariant topologique du nombre de séparations.

Par conséquent, le modèle Ex-ID en sortie de cette extension est donné par la matrice suivante :

$$Ex-ID(A, B) = \begin{bmatrix} \chi(A^\circ \cap B^\circ) & \chi(B - A) \\ \chi(A - B) & \chi(\partial A \cap \partial B)_p \\ & \chi(\partial A \cap \partial B)_L \end{bmatrix}$$

La première différence entre les modèles SD et Ex-ID est que la dimension (dim) et le nombre de séparations de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ n'existent plus dans la matrice et sont remplacés par le nombre de séparations des points et des lignes de cet ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$.

La deuxième différence est que dans le modèle Ex-ID, nous prenons l'avantage de la matrice $M_{2 \times 2}$ avec ses trois matrices (H, L, R) [Liu et al. 2007] en intégrant le nombre de séparations des régions d'intersection $\chi(A^\circ \cap B^\circ)$.

Ce modèle Ex-ID, extension du modèle ID, va nous permettre de donner des descriptions générales pour les relations topologiques du système RCC8 au niveau-1.

Au niveau-1, nous pouvons enrichir et décrire les quatre relations du système RCC8 (Meets (EC), Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), et Covers (TPPi)) dans des descriptions détaillées générales avec les noms topologiques du système RCC8 comme suit : (1) EC donnée en trois nouvelles relations générales: EC_{mL} , EC_{nP} , $EC_{mL,nP}$; (2) PO donnée aussi en trois nouvelles relations générales: PO_{mL} , PO_{nP} , $PO_{mL,nP}$; (3) TPP donnée aussi en trois nouvelles relations générales: TPP_{mLT} , TPP_{nPT} , $TPP_{mLT,nPT}$; et (4) TPPi aussi : $TPPi_{mLT}$, $TPPi_{nPT}$, $TPPi_{mLT,nPT}$; où mL, mLT, nP, et nPT sont le nombre de séparations de points (nP, nPT) et de lignes (nL, nLT) [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009a] [Alboody et al. 2009b].

Notre première contribution majeure sera le nouveau système RCC-16 au niveau-1 [Alboody et al. 2010a] : DC, EC_{mL} , EC_{nP} , $EC_{mL,nP}$, PO_{mL} , PO_{nP} , $PO_{mL,nP}$, TPP_{mLT} , TPP_{nPT} , $TPP_{mLT,nPT}$, NTPP, $TPPi_{mLT}$, $TPPi_{nPT}$, $TPPi_{mLT,nPT}$, NTPPi, EQ.

Ces douze nouvelles relations et le nouveau système RCC-16 seront étudiés plus en détail et appliqués pour l'analyse d'image satellite, et la détection de changements topologiques dans le chapitre 3.

Puis, pour éviter les inconvénients de ce modèle Ex-ID et les problèmes de confusion des relations au niveau-1, l'extension du modèle Ex-ID avec l'invariant topologique du type de points et de lignes est faite en introduisant les types avec le nombre de séparations de points et de lignes.

Le nouveau modèle ExT-ID en sortie de cette extension est donné par la matrice suivante :

$$ExT-ID(A, B) = \begin{bmatrix} \chi(A^\circ \cap B^\circ) & \chi(B - A) \\ \chi(A - B) & \chi(\partial A \cap \partial B)_{Point_Type} \\ & \chi(\partial A \cap \partial B)_{Ligne_Type} \end{bmatrix}$$

où $\chi(\partial A \cap \partial B)_{Point_Type}$ indique le nombre de séparations des types de points et $\chi(\partial A \cap \partial B)_{Ligne_Type}$ indique aussi le nombre de séparations des types de lignes de l'intersection de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$. Par exemple, les types de points (P3 et P10) et de lignes (L6 et L2) seront définis comme ils sont présentés dans la Figure 2.9 et la section (2.5.4).

Ce modèle ExT-ID, extension du modèle Ex-ID, va nous permettre d'enrichir et donner des descriptions générales pour les relations topologiques du système RCC8 au niveau-2. A ce niveau-2 détaillé, les douze nouvelles relations du système RCC-16 seront réécrites en : $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL),n(TOP)}$; $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL),n(TOP)}$; $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL),n(TOP)}$; $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL),n(TOP)}$; où $m(TOL)$ et $n(TOP)$ sont le nombre de séparations des types de points ($n(TOP) = \chi(\partial A \cap \partial B)_{Point_Type}$) et de lignes ($m(TOL) = \chi(\partial A \cap \partial B)_{Ligne_Type}$). Dans le chapitre 4, les types de points et de lignes seront définis en détail [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009b].

Notre deuxième contribution majeure sera le nouveau système RCC-16 au niveau-2 [Alboody et al. 2010a] : DC, $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL),n(TOP)}$, $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL),n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL),n(TOP)}$, NTPP, $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL),n(TOP)}$, NTPPi, EQ.

Ces douze nouvelles relations et le nouveau système RCC-16 au niveau-2 seront étudiés et appliqués pour l'analyse d'images satellites, la détection de changements topologiques et l'analyse spatiale dans des SIG dans le chapitre 4.

L'originalité de cette extension du modèle ID (modèle Ex-ID et modèle ExT-ID) avec le nouveau système RCC-16 à deux niveaux de détail (niveau-1 et niveau-2) vient de que ce modèle et le système RCC-16 nous permettent de répondre aux besoins suivants :

- 1) Savoir combien de fois deux régions géographiques se connectent ou s'intersectent,
- 2) Connaître le type de connexion (point, ou ligne, ou les deux) entre deux régions géographiques,
- 3) Décrire les relations topologiques similaires à plusieurs niveaux,
- 4) Mieux décrire et comprendre l'équivalence et la similarité topologiques de deux scènes géographiques dans une carte numérique, ou deux scènes d'images satellites,
- 5) Identifier des changements topologiques dans la structure d'un objet géographique et la relation topologique d'une région géographique dans une carte numérique ou une image satellite,
- 6) Savoir comment deux régions se positionnent en relation par rapport à une autre région limitée (bornée) entre les deux régions,

Par exemple, des utilisateurs des SIG veulent chercher et trouver toutes les zones industrielles adjacentes (par des lignes, etc.) à une zone verte pour savoir comment les deux zones se connectent.

2.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la définition de la topologie. Puis, nous avons comparé les modèles existants et les relations topologiques du système RCC8 étudiées à deux niveaux : niveau sans détail et niveau détaillé. Étudier les avantages et les inconvénients des modèles existants et des relations topologiques du système RCC8 nous a permis de choisir un modèle de départ. Ensuite, nous avons déterminé nos choix de modèle topologique pour mener cette thèse à ses objectifs. Le modèle ID a été pris comme modèle de départ afin de développer un nouveau modèle topologique. Les invariants topologiques (le nombre de séparations, le concept de voisinage et le type d'élément spatial) sont étudiés.

Enfin, en se basant sur les deux invariants topologiques (le nombre de séparations et le type d'un élément spatial), l'extension du modèle ID donne naissance à deux nouveaux modèles (le modèle Ex-ID et le modèle ExT-ID) qui permettent d'enrichir les relations topologiques de façon générale à deux niveaux (niveau-1 et niveau-2) détaillés.

L'objectif de développer deux niveaux de détail des relations topologiques est lié au fait que ces deux niveaux permettront de décrire l'équivalence topologique entre deux configurations spatiales, plus précisément d'identifier des changements topologiques dans la structure d'une région spatiale, et de préciser la relation topologique entre régions spatiales dans des images satellites et des données des SIG.

Les avantages des deux niveaux résident dans le fait qu'ils évitent les inconvénients des matrices et modèles topologiques (I_4 ($I_{4, \text{dim}}$, $I_{4, x}$, $I_{4, \text{dim}, x}$, $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), ID (SD, TN, SC), $M^+(\text{DM}+I_9^+)$, et $M_{2+2}(H, L, R)$) étudiés dans la section 2.3.2.

Le modèle Ex-ID, extension du modèle ID, donne des descriptions générales pour les relations topologiques du système RCC8 au niveau-1. Ces descriptions permettront de décrire et détailler les relations topologiques du système RCC8. Pour obtenir ces descriptions, nous allons généraliser et enrichir les quatre relations du système RCC8 : Meets (EC), Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), et Covers (TPPi) en nous basant sur le nombre de séparations. Des définitions et algorithmes seront développés pour la généralisation et l'enrichissement des quatre relations topologiques du système RCC8 dans le chapitre 3.

Alors que le modèle ExT-ID, extension du modèle Ex-ID, donne des descriptions générales plus enrichies et différentes de celles développées au niveau-1, pour les relations du système RCC8 au niveau-2. Les relations enrichies du système RCC8 au niveau-2 seront développées dans le chapitre 4.

Chapitre 3

Relations Topologiques du Système RCC8 Enrichies au Niveau-1 Basées sur le Nombre de Séparations

« Trois choses font un savant homme, la lecture, la conversation et la rêverie ; l'une enrichit la mémoire, l'autre polit son esprit, et la dernière forme son jugement »

Chevalier de Méré, Antoine Gombaud,
Écrivain Français (1607-1684)

Sommaire

3.1. Introduction	55
3.2. Enrichissement des Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-1	56
3.2.1. Enrichissement de la Relation Topologique EC au Niveau-1	57
3.2.2. Enrichissement de la Relation Topologique PO au Niveau-1	62
3.2.3. Enrichissement de la Relation Topologique TPP au Niveau-1	64
3.2.4. Enrichissement de la Relation Topologique TPPi au Niveau-1	66
3.3. Résumé au Niveau-1	67
3.3.1. Nouveau Système de Raisonnement Spatial RCC-16	67
3.3.2. Avantages et Inconvénients du Nouveau Système	68
3.4. Applications et Résultats	72
3.4.1. Détection de Changements par Analyse Topologique du Système RCC-16 entre Images Satellitaires et Données des SIG	72
3.4.1.1. Exemple d'Application 1 : Détection de Changements entre Deux Cartes Vectorielles des SIG de la Base CORINE Land Cover (CLC)	84
3.4.1.2. Exemple d'Application 2 : Détection de Changements entre Deux Images Satellites Acquises à Dates Différentes	91
3.4.1.3. Classification des Types de Changements : Changements de Base et Complexes	98
3.5. Conclusion	106

3.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons développé le modèle Ex-ID qui est l'extension du modèle ID en introduisant l'invariant topologique du nombre de séparations. Nous avons vu que les relations détaillées du système RCC8 étudiées dans les travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2007] [Billen et al. 2008] sont les quatre relations suivantes : Meets (EC), Overlaps (PO), CoveredBy (TPP), et Covers (TPPi).

Dans ce chapitre, nous allons dans la section 3.2 enrichir et généraliser ces quatre relations topologiques en nous basant sur le modèle Ex-ID.

Au niveau-1, ces quatre relations sont présentées dans des descriptions détaillées générales avec les noms topologiques des relations du système RCC8. Par exemple, la relation EC du système RCC8 au niveau-1 sera donnée par trois nouvelles relations générales [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009a] : EC_{mL} , EC_{nP} , $EC_{mL,nP}$ en introduisant le nombre de séparations de points (nP) et de lignes (mL) de l'intersection frontière-frontière. Par conséquent, nous allons obtenir un nouveau système RCC-16 qui contient seize relations topologiques au lieu de huit. Notre première contribution majeure est le système RCC-16. Un résumé sur ce système RCC-16 au niveau-1 et ses avantages et inconvénients sera présenté dans la section 3.3.

Les descriptions des relations topologiques de ce nouveau système RCC-16 nous permettent de répondre aux besoins suivants : (1) Savoir combien de fois deux régions géographiques se connectent ou s'intersectent ; (2) Connaître le type de connexion (point, ou ligne, ou les deux) entre deux régions géographiques ; (3) Identifier des changements topologiques dans la structure d'un objet géographique et la relation topologique d'une région géographique dans une carte numérique ou une image satellite.

Au cours de ce chapitre, nous allons appliquer et valider ce système RCC-16 dans la section 3.4 pour l'analyse spatiale dans des SIG et pour détecter des changements dans d'images satellites dans le but de mettre à jour les données des SIG. Une nouvelle méthode de détection de changements basée sur l'analyse topologique sera proposée dans la section 3.4.1. Dans la section 3.5, nous concluons ce chapitre en rappelant notre première contribution majeure.

3.2. Enrichissement des Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-1

Dans cette section, l'enrichissement du système RCC8 sera fait pour les quatre relations : EC, PO, TPP, et TPPi. Nous appelons « niveau-0 » le niveau sans détail du système RCC8. Ce niveau-0 contient les huit relations topologiques de base du système RCC8 : DC, EC, PO, TPP, NTPP, TPPi, NTPPi, EQ.

Dans le chapitre précédent, nous avons développé le modèle Ex-ID, extension du modèle ID, qui est donné par la matrice suivante :

$$Ex-ID(A, B) = \begin{bmatrix} \chi(A^\circ \cap B^\circ) & \chi(B - A) \\ \chi(A - B) & \chi(\partial A \cap \partial B)_p \\ & \chi(\partial A \cap \partial B)_L \end{bmatrix}$$

où le nombre de séparations $r = \chi(S) = \chi(\partial A \cap \partial B)$ de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ est donné par :

$$r = \chi(S) = \chi(\partial A \cap \partial B) = \{s_1, \dots, s_i, \dots, s_N\} \equiv \begin{cases} m : \text{Pour } m(\text{Lignes}) \geq 1, \text{ et } n(\text{Points}) = 0 \\ n : \text{Pour } m(\text{Lignes}) = 0, \text{ et } n(\text{Points}) \geq 1 \\ m + n : \text{Pour } m(\text{Lignes}) \geq 1, \text{ et } n(\text{Points}) \geq 1 \end{cases}$$

avec le nombre de séparations de points $n = \chi(\partial A \cap \partial B)_p$ et le nombre de séparations de lignes $m = \chi(\partial A \cap \partial B)_L$ de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$; le nombre de séparations des régions d'intersection (jRI) $j = \chi(A^\circ \cap B^\circ)$. Les deux régions de différences A-B et B-A ont aussi deux nombres de séparations différents $d1 = \chi(A - B)$ et $d2 = \chi(B - A)$.

Donc, le modèle général détaillé de ce modèle est donné par :

$$Ex-ID(A, B) = \begin{bmatrix} j = \chi(A^\circ \cap B^\circ) & d2 = \chi(B - A) \\ d1 = \chi(A - B) & n = \chi(\partial A \cap \partial B)_p \\ & m = \chi(\partial A \cap \partial B)_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j & d2 \\ d1 & n \\ & m \end{bmatrix}$$

Dans ce modèle, le nombre de séparations des régions "limitées" (bornée) (kR) $k = \chi((A \cup B)_b^-)$ n'existe pas. Dans le but d'introduire ce nombre de séparations dans la description détaillée par ce modèle, nous allons exprimer chaque relation par les noms topologiques adoptés par le système RCC8 : EC, PO, TPP, TPPi.

En intégrant le modèle Ex-ID et les expressions des relations du système RCC8, la description topologique détaillée à ce niveau de détail peut être décrite par l'expression générale suivante [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009a] [Alboody et al. 2009b] :

$$(Relation_Topologique)_{Nombre_Séparations_Lignes, Nombre_Séparations_Points, Nombre_Séparations_Régionsd'Interscétion, Nombre_Séparations_RégionsLimitées}$$

où (*Relation_Topologique*) est une des quatre relations du système RCC8 (EC, PO, TPP, TPPi) et les détails topologiques ajoutés à ces relations sont les suivants :

$$\begin{aligned} Nombre_Séparations_Lignes &= \begin{cases} mL : \text{pour EC et PO} \\ mL T : \text{pour TPP et TPPi} \end{cases} \\ Nombre_Séparations_Points &= \begin{cases} nP : \text{pour EC et PO} \\ nPT : \text{pour TPP et TPPi} \end{cases} \\ Nombre_Séparations_Régions d'Interscétion &= jRI \text{ pour PO} \\ Nombre_Séparations_Régions Limitées &= \begin{cases} kR : \text{pour EC et PO} \\ d1R : \text{pour TPP} \\ d2R : \text{pour TPPi} \end{cases} \end{aligned}$$

En intégrant ces notations, la description topologique détaillée au niveau-1 est décrite par l'expression générale : $(EC, PO, TPP, TPPi)_{mL / mL T, nP / nPT, jRI, (k; d1; d2)R}$

Ces détails dans la description que nous développons, font les différences entre nos contributions pour enrichir les relations topologiques du système RCC8 et les travaux présentés dans le chapitre précédent.

Dans les sections suivantes, nous allons étudier en détail cette description topologique détaillée pour chacune des quatre relations topologiques du système RCC8 : EC, PO, TPP, TPPi.

3.2.1. Enrichissement de la Relation Topologique EC au Niveau-1

Dans cette section, Nous allons enrichir et donner une description générale de la relation topologique EC du système RCC8. La relation EC décrit la connexion extérieure entre deux régions spatiales A et B.

Dans le but d'étudier la relation EC, nous prenons la relation EC représentée dans la Figure 3.1 sous plusieurs représentations graphiques. Dans ces configurations, les deux régions A et B peuvent être extérieurement connectées de plusieurs façons.

Nous constatons qu'il y a des différences entre ces relations EC de connexion extérieure. Nous allons caractériser et définir en détail la relation topologique EC au niveau-1 par le nombre

de séparations de points, de lignes, de régions d'intersection, de régions limitées et de régions de différences.

Tout d'abord, nous trouvons dans la Figure 3.1 que le nombre de séparations des régions d'intersection (j_{RI}) est toujours égal à zéro ($j = 0$) où l'ensemble spatial de l'intersection intérieur-intérieur $A^\circ \cap B^\circ$ est un ensemble vide (\emptyset). Les deux nombres de séparations ($d1$ et $d2$) de régions des différences $A-B$ et $B-A$ sont aussi toujours égaux à 1 ($d1 = \chi(A-B) = 1$ et $d2 = \chi(B-A) = 1$), alors que les nombres de séparations de points et de lignes de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ ont des valeurs entre 1 et n ($1 \leq p \leq n$) pour les points et entre 0 et m ($0 \leq l \leq m$) pour les lignes.

Les configurations (voir Figure 3.1) de la relation EC ne sont pas exhaustives et il y a un nombre infini de ces configurations. Donc, notre objectif est décrire et différencier ce nombre infini des configurations par une description générale de leurs relations topologiques en fonction de « n, m, k ».

Ensuite, en remplaçant ces valeurs dans la matrice du modèle Ex-ID, nous trouvons que la description détaillée générale par le modèle Ex-ID pour la relation EC est donnée par la matrice :

$$EC(A, B) = \begin{bmatrix} j = 0 & d2 = 1 \\ d1 = 1 & n = \chi(\partial A \cap \partial B)_p \\ & m = \chi(\partial A \cap \partial B)_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & n \\ & m \end{bmatrix}$$

Dans le cas de la relation EC, nous trouvons que le nombre de séparations des régions "limitées" (bornées) (kR) $k = \chi((A \cup B)_b^-)$ a des valeurs entre 0 et k ($0 \leq b \leq k$). La région (R) appelée la région limitée avec $k = 1$ qui se trouve entre A et B (voir Figure 3.1-a) comme une autre région. Ces régions limitées (kR) entre A et B n'appartiennent ni à A ni à B (voir Figures 3.1-a, et 3.1-b). Dans le cas général, il y a plusieurs régions ($k > 1$) entre A et B (voir Figures 3.1-b, et 3.1-h).

En reprenant toutes ces valeurs de ($n, m, j, k, d1, d2$), la description générale détaillée de la relation EC au niveau-1 est donnée par l'expression suivante : $EC_{mL, nP, 0RI, (k; 1; 1)R}$ avec $n \geq 1, m \geq 0, et k \geq 0$. Dans cette description, nous constatons que les trois nombres de séparations ($j = 0, d1 = 1, d2 = 1$) ne sont pas variables et ils ont toujours des valeurs uniques pour toutes les configurations possibles de la relation EC dans la Figure 3.1. Pour cette raison, nous ne considérons pas six nombres dans la description mais seulement pour les trois nombres « n, m, k ». En conséquence, la nouvelle description générale détaillée sera donnée par l'expression suivante de la relation EC au niveau-1 : $EC_{mL, nP, kR}$ avec $n \geq 1, m \geq 0, et k \geq 0$.

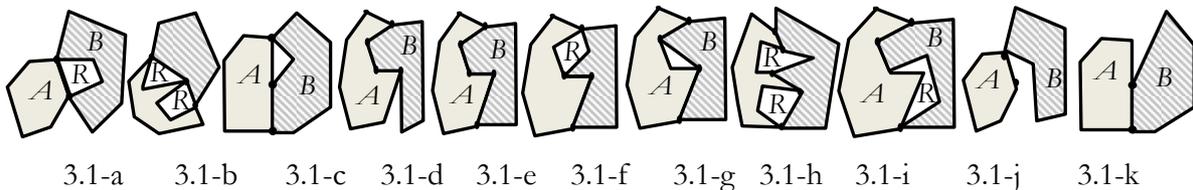


Fig. 3.1 : La relation topologique EC (A, B) sous plusieurs représentations graphiques

Cette description sera étudiée dans la suite afin de différencier les cas les plus généraux de cette relation EC au niveau-1 pour avoir une idée plus simple en fonction des valeurs de chaque nombre de séparations de « n, m, k » avec $n \geq 1, m \geq 0, et k \geq 0$. Il faut préciser pour quelle valeur de n (exemple pour $n = 1$), m (exemple pour $m = 0$), k (exemple pour $k = 0$), quel est le cas

général de la description détaillée de la relation EC à ce niveau-1. Nous allons présenter une définition générale pour la description détaillée générale de la relation EC au niveau-1 par la suite.

Description Générale de la Relation EC Enrichie : Pour le modèle ID, si l'intersection $\partial A \cap \partial B$ de frontière-frontière de deux régions A et B est non-vide ($\neg \emptyset$), et l'intersection $A^\circ \cap B^\circ$ d'intérieur-intérieur de A et B est vide (\emptyset), alors, la relation topologique entre A et B est la relation EC ou Meets du système RCC8 au niveau-0.

$$EC, Meets \Leftrightarrow ID(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A - B \\ B - A & \partial A \cap \partial B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix}$$

Donc, ces deux régions A et B de 2-dimensions peuvent être extérieurement connectées de plusieurs façons. Pour détailler et généraliser ces différentes façons, il suffit d'identifier les points (P), les lignes (L) de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ et les régions limitées (R) définies par $(A \cup B)_b^-$ entre A et B, avec le nombre de séparations $r = \chi(\partial A \cap \partial B)$ de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$, le nombre de séparations de points $n = \chi(\partial A \cap \partial B)_p$ et de lignes $m = \chi(\partial A \cap \partial B)_L$, et le nombre de séparations des régions limitées (R) défini par $k = \chi((A \cup B)_b^-)$. Par conséquent, d'après le modèle Ex-ID, la description générale détaillée de la relation EC au niveau-1 est donnée par : $EC_{mL,nP,kR}$ avec $n \geq 1$, $m \geq 0$, et $k \geq 0$. En fonction des valeurs de chaque nombre de séparations de « n, m, k », nous avons trois cas généraux possibles d'enrichissement de la relation EC détaillée du système RCC8 au niveau-1 :

1. Si nous avons seulement des lignes « mL » avec ($m \geq 1$) (voir Figures 3.1-d, 3.1-e, 3.1-g, 3.1-k), dans ce cas $n = 0$, $m \geq 1$, et $k \geq 0$, alors, la relation EC détaillée au niveau-1 s'écrit sous la forme générale : EC_{mL} . Pour avoir plus d'information et limiter certaines confusions, la relation EC détaillée prend deux cas généraux possibles en fonction de valeurs de « k » :
 - 1.1. Si nous avons des lignes ($m \geq 1$) sans aucune région limitée (0R) avec $k = 0$ (voir Figures 3.1-d, 3.1-e, 3.1-k), alors, la relation EC détaillée au niveau-1 s'écrit sous la forme générale : $EC_{mL,0R}$, où « 0R » indique qu'il n'y a aucune région limitée ($k = 0$) entre A et B. Un cas très simple est le cas 3.1-k de la Figure 3.1 où la relation EC détaillée est décrite par une ligne (1L) de connexion extérieure sans aucune région limitée (0R) et la relation EC détaillée au niveau-1 est donnée par l'expression : $EC_{1L,0R}$.
 - 1.2. Sinon, si nous avons des lignes ($m \geq 1$) et des régions limitées (kR) avec $k \geq 1$ (voir Figure 3.1-g), alors, la relation EC au niveau-1 s'écrit sous la forme générale : $EC_{mL,kR}$. Par exemple dans la Figure 3.1-g, la relation EC détaillée est décrite par deux lignes (2L) de connexion extérieure avec une seule région limitée (1R) entre A et B. L'expression de la relation EC détaillée au niveau-1 est donnée par : $EC_{2L,1R}$.
2. Sinon, si nous avons seulement des points « nP » avec ($n \geq 1$) (voir Figures 3.1-a, 3.1-b, 3.1-j), dans ce cas $n \geq 1$, $m = 0$, et $k \geq 0$, alors, la relation EC au niveau-1 s'écrit sous la forme générale : EC_{nP} . Dans ce cas, nous avons deux cas intéressants, l'un très simple et l'autre très général. Pour avoir plus d'information et limiter certaines confusions, la relation EC détaillée prend encore deux cas généraux possibles en fonction de valeurs de « k » :
 - 2.1. Si nous avons un seul point « 1P » sans aucune (k=0) région limitée (0R) (voir Figure 3.1-j), le nombre de séparations de points de connexion extérieure est égal à « n = 1 », alors, la relation EC détaillée au niveau-1 s'écrit toujours sous la forme $EC_{1P,0R}$. Cette forme

générale de la relation EC au niveau-1 est le cas le plus simple de la relation EC du système RCC8 au niveau-0.

- 2.2. Sinon, si nous avons des points « nP » ($n > 1$) avec ($k \geq 1$) (kR) (voir Figures 3.1-a, 3.1-b), dans ce cas, il y a toujours au moins une région limitée ($k \geq 1$) entre A et B, alors, la relation EC détaillée au niveau-1 s'écrit sous la forme générale : $EC_{nP, kR}$. Un cas très simple de cette relation est le cas de la configuration 3.1-a de la Figure 3.1 avec deux points (2P) de connexion extérieure et une seule région limitée (1R), par conséquent, la relation EC au niveau-1 est donnée par l'expression : $EC_{2P, 1R}$.
3. Sinon, si nous avons des lignes « mL » avec ($m \geq 1$) et des points « nP » avec ($n \geq 1$) (voir Figures 3.1-c, 3.1-f, 3.1-h, 3.1-i). Dans ce cas $n \geq 1$, $m \geq 1$, et $k \geq 1$, alors, la relation EC détaillée au niveau-1 s'écrit sous la forme générale : $EC_{mL, nP}$. Dans ce troisième cas, il y a toujours au moins une région limitée ($k \geq 1$) entre A et B (voir Figures 3.1-c, 3.1-h), alors, la relation EC détaillée au niveau-1 s'écrit sous la forme générale en fonction de valeurs de « k » : $EC_{mL, nP, kR}$ avec $n \geq 1$, $m \geq 1$, et $k \geq 1$.

Enrichissement de la Relation Topologique EC du Système RCC8 au Niveau-1		
Relation Topologique EC du Système RCC8 au Niveau-0 sans détail	Avec Points (nP) et Lignes (mL)	Avec Régions Limitées (kR)
	Avec (mL) Lignes seulement : EC_{mL} Pour $n = 0$ et $m \geq 1$	Sans aucune Région limitée (0R) entre A et B : $EC_{mL, 0R}$
		Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $EC_{mL, kR}$
	Avec (nP) Points seulement : EC_{nP} Pour $n \geq 1$ et $m = 0$ Ce cas est toujours avec au moins d'une région limitée (1R) entre A et B pour $n > 1$	Avec un seul Point (1P) d'intersection et sans aucune Région limitée (0R) entre A et B : $EC_{1P, 0R}$
		Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $EC_{nP, kR}$
	Avec (mL) Lignes et (nP) Points : $EC_{mL, nP}$ Pour $n \geq 1$ et $m \geq 1$ Ce cas est toujours avec au moins d'une région limitée (1R) entre A et B	Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $EC_{mL, nP, kR}$

Table. 3.1 : Enrichissement de la relation topologique EC au Niveau-1

Les trois cas généraux de la relation EC détaillée du système RCC8 au niveau-1 sont donnés dans la Table 3.1. L'intérêt général de cette description (voir Table 3.2) est qu'elle nous permet de répondre aux besoins suivants : (1) Savoir combien de fois deux régions géographiques se connectent extérieurement ; (2) Connaître le type de connexion extérieure (point ou ligne ou les deux ensembles) entre deux régions géographiques ; (3) Décrire les relations topologiques EC similaires à deux niveaux de détail (Niveau-0 et Niveau-1).

Pour cette relation EC, nous développons l'algorithme suivant « Algorithme EC » afin de faciliter l'extraction de la description générale de la relation EC au niveau-1. Nous trouvons que, dans des cas les plus simples, la relation topologique EC a toujours au moins un point « $n = 1$ » (voir Figure 3.1-j) ou une ligne « $m = 1$ » (voir Figure 3.1-k) de connexion extérieure et aucune région limitée « $k = 0$ » (0R). La généralisation de la relation EC au niveau-1 a pour objectif de discriminer tous les cas possibles dans des bases de données des SIG et dans les images satellites. Nous allons voir la validation et l'application de cette description détaillée de la relation EC au niveau-1 dans la section 3.3 de ce chapitre. Enfin, la relation EC détaillée pour les cas donnés dans la Figure 3.1, peut être caractérisée et donnée par la description et l'expression générale détaillée au niveau-1 dans la Table 3.2.

Algorithme EC pour la Description Générale de la Relation EC Enrichie au Niveau-1**Début**

Lire deux objets géographiques A et B

Première Étape : Détermination de la relation topologique par le modèle ID

Si $\partial A \cap \partial B = \neg \emptyset$ et $A^\circ \cap B^\circ = \emptyset$ **alors** la relation topologique est EC du système RCC8 au Niveau-0

Deuxième Étape : Généralisation des différentes façons de la relation EC au Niveau-1

- Calcul de l'ensemble spatial $S = \partial A \cap \partial B$ et du nombre de séparations de cet ensemble $r = \chi(\partial A \cap \partial B)$
- Séparation entre lignes et points : déterminer le nombre de séparations de points $n = \chi(\partial A \cap \partial B)_p$ et le nombre de séparations de lignes $m = \chi(\partial A \cap \partial B)_L$
- Détermination des régions limitées par $(A \cup B)_b^-$ et leur nombre de séparations par $k = \chi((A \cup B)_b^-)$
- Trois cas généraux possibles de la relation EC du système RCC8 au Niveau-1 afin de les discriminer et distinguer en détail :

Si $n = 0$ et $m \geq 1$ **alors** la relation détaillée est EC_{mL}

Si $k = 0$ **alors** la relation EC détaillée est $EC_{mL,0R}$

Sinon, si $k \geq 1$ **alors** la relation EC détaillée est $EC_{mL,kR}$

Sinon, si $n \geq 1$ et $m = 0$ **alors** la relation détaillée est EC_{nP}

Si $n = 1$ et $k = 0$ **alors** la relation EC détaillée est $EC_{1P,0R}$

Sinon, si $n > 1$ et $k \geq 1$ **alors** la relation EC détaillée est $EC_{nP,kR}$

Sinon, si $n \geq 1$ et $m \geq 1$ **alors** la relation EC est $EC_{mL,nP}$ et il a y toujours $k \geq 1$ **alors** la relation EC détaillée est $EC_{mL,nP,kR}$

Fin

Figure 3.1	Relation EC au Niveau-0	Caractérisation de la Relation EC Enrichie du Système RCC8 au Niveau-1	Relation EC au Niveau-1
3.1-a	EC	Deux Points (2P) de Connexion Extérieure avec une seule Région limitée (1R) entre A et B	$EC_{2P,1R}$
3.1-b	EC	Trois Points (3P) de Connexion Extérieure avec deux Régions limitées (2R) entre A et B	$EC_{3P,2R}$
3.1-c	EC	Une Ligne (1L) et un Point (1P) de Connexion Extérieure avec une seule Région limitée (1R) entre A et B	$EC_{1L,1P,1R}$
3.1-d	EC	Trois Lignes (3L) de Connexion Extérieure sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$EC_{3L,0R}$
3.1-e	EC	Quatre Lignes (4L) de Connexion Extérieure sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$EC_{4L,0R}$
3.1-f	EC	Deux Lignes (2L) et un Point (1P) de Connexion Extérieure avec une seule Région limitée (1R) entre A et B	$EC_{2L,1P,1R}$
3.1-g	EC	Deux Lignes (2L) de Connexion Extérieure avec une seule Région limitée (1R) entre A et B	$EC_{2L,1R}$
3.1-h	EC	Deux Lignes (2L) et un Point (1P) de Connexion Extérieure avec deux Régions limitées (2R) entre A et B	$EC_{2L,1P, 2R}$
3.1-i	EC	Deux Lignes (2L) et un Point (1P) de Connexion Extérieure avec une seule Région limitée (1R) entre A et B	$EC_{2L,1P,1R}$
3.1-j	EC	Un Point (1P) de Connexion Extérieure sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$EC_{1P,0R}$
3.1-k	EC	Une Ligne (1L) de Connexion Extérieure sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$EC_{1L,0R}$

Table. 3.2 : La relation EC enrichie au Niveau-1 pour les configurations dans la Figure 3.1

3.2.2. Enrichissement de la Relation Topologique PO au Niveau-1

Dans cette section, nous allons donner une description générale de la relation topologique PO enrichie du système RCC8 qui décrit la façon du recouvrement partiel entre deux régions.

En comparant la relation PO représentée sous plusieurs représentations graphiques dans la Figure 3.2 avec la relation EC, la différence entre PO et EC est que le nombre de séparations des régions d'intersection (jRI) n'est pas égal à zéro ($j \neq 0$) pour PO et il prend des valeurs entre 1 et j ($1 \leq i \leq j$). Il y a au moins une région d'intersection ($j = 1$) entre A et B.

En remplaçant cette valeur de j dans la matrice du modèle Ex-ID de la relation EC, la description détaillée générale par le modèle Ex-ID pour la relation PO est donnée par :

$$PO(A, B) = \begin{bmatrix} j = \chi(A^\circ \cap B^\circ) & d2 = 1 \\ d1 = 1 & n = \chi(\partial A \cap \partial B)_P \\ & m = \chi(\partial A \cap \partial B)_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j & 1 \\ 1 & n \\ & m \end{bmatrix}$$

En introduisant toutes ces valeurs de « n, m, j, k, d1, d2 », la description générale détaillée de la relation PO au niveau-1 est donnée par l'expression : $PO_{mL, nP, jRI, kR}$ avec $n \geq 1, m \geq 0, j \geq 1, et k \geq 0$. Cette description permet de différencier les cas les plus généraux de cette relation PO au niveau-1.

Pour la description détaillée de la relation PO, l'algorithme « Algorithme PO » peut aussi être développée de façon similaire à celle de la relation EC afin de faciliter l'extraction de la description générale de la relation PO au niveau-1.

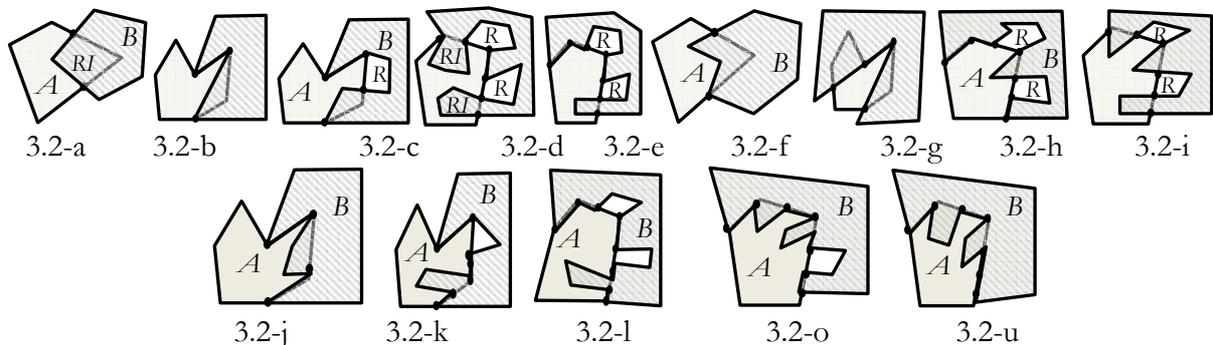


Fig. 3.2 : La relation topologique PO (A, B) sous plusieurs représentations graphiques

Nous trouvons que, dans des cas les plus simples, la relation topologique PO a toujours au moins deux points « $n = 2$ » (voir Figures 3.2-a, 3.2-f) ou une ligne « $m = 1$ » et un point « $n = 1$ » (voir Figure 3.2-b) ou deux lignes « $m = 2$ » (voir Figure 3.2-j) avec une seule région d'intersection (1RI) définie par $A^\circ \cap B^\circ$. Ces cas sont correspondants à la relation PO du système RCC8 au niveau-0. La caractérisation de la relation topologique PO par le nombre des régions d'intersection (RI) obtenues par $A^\circ \cap B^\circ$ joue un rôle important dans la détection de changements topologiques pour éliminer certains problèmes de confusion et répondre à la question suivante : Comment définir exactement le recouvrement partiel entre deux régions spatiales?

L'intérêt général de cette description (voir Table 3.4) est qu'elle nous permet de répondre aux besoins suivants : (1) Savoir combien de fois deux régions géographiques s'intersectent ; (2) Connaître le type de connexion de recouvrement partiel (point, ou ligne, ou les deux) entre deux régions géographiques ; (3) Décrire les relations topologiques PO similaires à deux niveaux de détail (Niveau-0 et Niveau-1). La généralisation de la relation PO détaillée du système RCC8 au

niveau-1 est donnée dans la Table 3.3. Enfin, la relation PO détaillée pour les cas donnés dans la Figure 3.2, peut être caractérisée et donnée par la description et l'expression détaillée au niveau-1 dans la Table 3.4.

Enrichissement de la Relation Topologique PO du Système RCC8 au Niveau-1		
Relation Topologique PO du Système RCC8 au Niveau-0 sans détail	Avec Points (nP) et Lignes (mL)	Avec Régions d'Intersection (jRI) et Régions Limitées (kR)
	Avec (mL) Lignes seulement : PO_{mL} Pour $n = 0$ et $m \geq 2$	Avec « $j \geq 1$ » Régions d'Intersection (jRI) et sans aucune Région limitée ($0R$) entre A et B : $PO_{mL, jRI, 0R}$ Avec « $j \geq 1$ » Régions d'Intersection (jRI) et Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $PO_{mL, jRI, kR}$
	Avec (nP) Points seulement : PO_{nP} Pour $n \geq 2$ et $m = 0$	Avec « $j \geq 1$ » Régions d'Intersection (jRI) et sans aucune Région limitée ($0R$) entre A et B : $PO_{nP, jRI, 0R}$ Avec « $j \geq 1$ » Régions d'Intersection (jRI) et Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $PO_{nP, jRI, kR}$
	Avec (mL) Lignes et (nP) Points : $PO_{mL, nP}$ Pour $n \geq 1$ et $m \geq 1$	Avec « $j \geq 1$ » Régions d'Intersection (jRI) et sans aucune Région limitée ($0R$) entre A et B : $PO_{mL, nP, jRI, 0R}$ Avec « $j \geq 1$ » Régions d'Intersection (jRI) et Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $PO_{mL, nP, jRI, kR}$

Table. 3.3 : Enrichissement de la relation topologique PO au Niveau-1

Figure 3.2	Relation Topologique PO au Niveau-0	Caractérisation de la Relation PO Enrichie du Système RCC8 au Niveau-1	Relation Topologique PO au Niveau-1
3.2- a	PO	Deux Points (2P) avec une Région d'Intersection (1RI) entre A et B et sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$PO_{2P, 1RI, 0R}$
3.2- b	PO	Une Ligne (1L) et un Point (1P) avec une Région d'Intersection (1RI) et sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$PO_{1L, 1P, 1RI, 0R}$
3.2- c	PO	Une Ligne (1L) et deux Points (2P) avec une Région d'Intersection (1RI) et une Région limitée (1R) entre A et B	$PO_{1L, 2P, 1RI, 1R}$
3.2- d	PO	Une Ligne (1L) et quatre Points (4P) avec deux Régions d'Intersection (2RI) et deux Régions limitées (2R) entre A et B	$PO_{1L, 4P, 2RI, 2R}$
3.2- e	PO	Trois Lignes (3L) et deux Points (2P) avec une Région d'Intersection (1RI) et deux Régions limitées (2R) entre A et B	$PO_{3L, 2P, 1RI, 2R}$
3.2- f	PO	Deux Points (2P) avec une Région d'Intersection (1RI) et sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$PO_{2P, 1RI, 0R}$
3.2- g	PO	Une Ligne (1L) et deux Points (2P) avec deux Régions d'Intersection (2RI) et sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$PO_{1L, 2P, 2RI, 0R}$
3.2- h	PO	Trois Lignes (3L) et deux Points (2P) avec une Région d'Intersection (1RI) et deux Régions limitées (2R) entre A et B	$PO_{3L, 2P, 1RI, 2R}$
3.2- i	PO	Six Points (6P) avec trois Régions d'Intersection (3RI) et deux Régions limitées (2R) entre A et B	$PO_{6P, 3RI, 2R}$
3.2- j	PO	Deux Lignes (2L) avec one Région d'Intersection (1RI) et sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$PO_{2L, 1RI, 0R}$
3.2- k	PO	Trois Lignes (3L) avec one Région d'Intersection (1RI) et one Région (1R) entre A et B	$PO_{3L, 1RI, 1R}$
3.2- l	PO	Cinq Lignes (5L) avec one Région d'Intersection (1RI) et deux Régions limitées (2R) entre A et B	$PO_{5L, 1RI, 2R}$
3.2- o	PO	Quatre Lignes (4L) avec deux Régions d'Intersection (2RI) et one Région limitée (1R) entre A et B	$PO_{4L, 2RI, 1R}$
3.2- u	PO	Trois Lignes (3L) avec deux Régions d'Intersection (2RI) et sans aucune Région limitée (0R) entre A et B	$PO_{3L, 2RI, 0R}$

Table. 3.4 : La relation PO enrichie au Niveau-1 pour les configurations dans la Figure 3.2

3.2.3. Enrichissement de la Relation Topologique TPP au Niveau-1

L'enrichissement de cette relation TPP sera peu différente que celles de deux relations EC et PO parce que la relation TPP décrit l'inclusion d'une région (A) dans une autre (B). Cette inclusion se définit en disant que les deux régions spatiales sont incluses et elles sont en contact tangentiel au bord de l'intérieure de B (voir Figure 3.3).

La relation TPP est représentée sous plusieurs représentations graphiques dans la Figure 3.3. Nous trouvons que les différences entre la relation TPP et les deux relations EC et PO sont : le nombre de séparations des régions d'intersection (jR) est toujours égal à un ($j = 1$) ; l'ensemble spatial de régions de la différence A-B est toujours vide (\emptyset), alors, le nombre de séparations ($d1 = \chi(A - B)$) est toujours égal à zéro ($d1 = 0$) ; alors que l'ensemble spatial de régions de la différence B-A est toujours non-vidé ($\neg\emptyset$) et le nombre de séparations ($d2 = \chi(B - A)$) prend des valeurs entre 1 et $d2$ ($1 \leq d \leq d2$, ou $d2 = \chi(B - A) \geq 1$).

Pour distinguer les nombres de séparations de points (valeurs entre 1 et n ($1 \leq p \leq n$)) et de lignes (valeurs entre 0 et m ($0 \leq l \leq m$)) de ceux étudiés dans les deux relations détaillées EC et PO au niveau-1, nous allons exprimer le nombre de séparations de points pour TPP par $n = \chi(\partial A \cap \partial B)_{PT}$ et le nombre de séparations de lignes par $m = \chi(\partial A \cap \partial B)_{LT}$. Les notations « PT » et « LT » indiquent que les points et les lignes de $\partial A \cap \partial B$ sont tangentiels (Points Tangentiels « PT », Lignes Tangentielles « LT ») et pour être conforme avec la relation TPP (Tangential Proper Part), nous avons ajouté la lettre « T ».

En remplaçant ces valeurs dans la matrice du modèle Ex-ID, nous trouvons que la description détaillée générale par le modèle Ex-ID pour la relation TPP est donnée par :

$$TPP(A, B) = \begin{bmatrix} j = 1 & d2 = \chi(B - A) \\ d1 = 0 & n = \chi(\partial A \cap \partial B)_{PT} \\ & m = \chi(\partial A \cap \partial B)_{LT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & d2 \\ 0 & n \\ & m \end{bmatrix}$$

Nous constatons que dans le cas de la relation TPP, les régions limitées (kR) n'existent pas entre A et B. Donc, nous prenons les régions de différences $d2 = \chi(B - A)$ comme des régions "limitées" (bounded) (kR). Dans ce cas, le nombre de séparations des régions limitées (kR) est égal au nombre de séparations des régions de différences $k = d2 = \chi(B - A)$. Ces régions limitées (kR) appartiennent à B et elles n'appartiennent pas à A (voir Figures 3.3-b, 3.3-f).

En introduisant toutes ces valeurs de « n, m, j, k, d1, d2 », la description générale détaillée de la relation TPP au niveau-1 est donnée par : $TPP_{mLT, nPT, kR}$ avec $n \geq 1$, $m \geq 0$, et $k \geq 1$.

Cette description a la capacité de différencier les cas les plus généraux de cette relation TPP au niveau-1 [Alboody et al. 2010a]. Pour cette relation TPP, nous développons l'algorithme « Algorithme TPP » afin de faciliter l'extraction de la description générale de la relation TPP au niveau-1.

Nous trouvons que la relation topologique TPP a toujours au moins un point « $n = 1$ » (voir Figure 3.3-a) ou une ligne « $m = 1$ » (voir Figure 3.3-c) avec une seule région limitée (1R) définie par la différence B-A. Nous trouvons que la caractérisation de la relation topologique TPP par le nombre des régions limitées (R) joue un rôle important dans la discrimination des configurations spatiales en répondant à la question suivante : Comment définir exactement l'inclusion tangentielle entre deux régions spatiales ?.

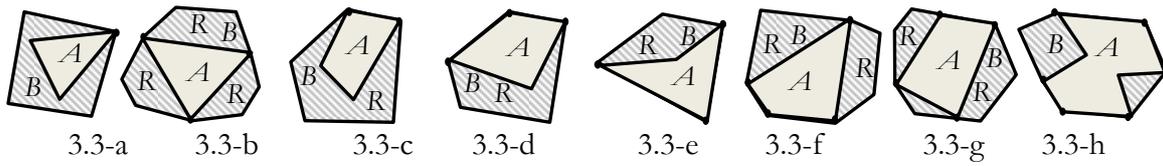


Fig. 3.3 : La relation topologique TPP (A, B) sous plusieurs représentations graphiques

Algorithme TPP pour la Description Générale de la Relation TPP Enrichie au Niveau-1

Début

Lire deux objets géographiques A et B

Première Étape : Détermination de la relation topologique par le modèle ID

Si $\partial A \cap \partial B = \neg \emptyset$ et $A^\circ \cap B^\circ = \neg \emptyset$ et $B - A = \neg \emptyset$ et $A - B = \emptyset$ alors la relation est TPP du système RCC8 au Niveau-0

Deuxième Étape : Généralisation des différentes façons de la relation TPP enrichie au Niveau-1

- Calcul de l'ensemble spatial $S = \partial A \cap \partial B$ et du nombre de séparations de cet ensemble $r = \chi(\partial A \cap \partial B)$
- Séparation entre lignes et points : déterminer le nombre de séparations de points tangentiels $n = \chi(\partial A \cap \partial B)_{PT}$ et le nombre de séparations de lignes tangentielles $m = \chi(\partial A \cap \partial B)_{LT}$
- Détermination les régions limitées par B-A et leur nombre de séparations par $k = d2 = \chi(B - A)$
- Trois cas généraux possibles de la relation TPP enrichie du système RCC8 au niveau-1 afin de les distinguer :

Si $n = 0$ et $m \geq 1$ **alors** la relation enrichie au niveau-1 est TPP_{mLT} et pour $k \geq 1$ la relation enrichie s'écrit sous la forme générale : $TPP_{mLT, kR}$.

Sinon, si $n \geq 1$ et $m = 0$ **alors** la relation enrichie au niveau-1 est TPP_{nPT} et pour $k \geq 1$ la relation enrichie s'écrit sous la forme générale : $TPP_{nPT, kR}$.

Sinon, si $n \geq 1$ et $m \geq 1$ **alors** la relation enrichie au niveau-1 est $TPP_{mLT, nPT}$ et pour $k \geq 1$ la relation enrichie s'écrit sous la forme générale : $TPP_{mLT, nPT, kR}$.

Fin

Enrichissement de la Relation Topologique TPP du Système RCC8 au Niveau-1		
Relation Topologique TPP	Avec Points Tangentiels (nPT) et Lignes Tangentielles (mLT)	Avec Régions Limitées (kR)
du Système RCC8 au Niveau-0 sans détail	Avec (mLT) Lignes Tangentielles seulement : TPP_{mLT} Pour $n = 0$ et $m \geq 1$	Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $TPP_{mLT, kR}$
	Avec (nPT) Points Tangentiels seulement : TPP_{nPT} Pour $n \geq 1$ et $m = 0$	Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $TPP_{nPT, kR}$
	Avec (mLT) Lignes Tangentielles et (nPT) Points Tangentiels : $TPP_{mLT, nPT}$ Pour $n \geq 1$ et $m \geq 1$	Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $TPP_{mLT, nPT, kR}$

Table. 3.5 : Enrichissement de la relation topologique TPP au Niveau-1

La relation TPP enrichie du système RCC8 au niveau-1 est donnée dans la Table 3.5. L'intérêt général de cette description (voir Table 3.6) est qu'elle nous permet de répondre aux

besoins suivants liés à la relation TPP : (1) Savoir combien de fois deux régions géographiques en relation d'inclusion tangentielle ; (2) Connaître le type de connexion d'inclusion tangentielle (point ou ligne ou les deux) entre deux régions géographiques ; (3) Comment décrire les relations topologiques TPP similaires à deux niveaux de détail (Niveau-0 et Niveau-1).

Enfin, la relation TPP enrichie pour les cas donnés dans la Figure 3.3, peut être caractérisée et donnée par la description et l'expression générale détaillée au niveau-1 dans la Table 3.6.

Figure 3.3	Relation Topologique TPP au Niveau-0	Caractérisation de la Relation TPP Enrichie du Système RCC8 au Niveau-1	Relation Topologique TPP au Niveau-1
3.3-a	TPP	Un Point Tangentiel (1PT) avec une Région limitée (1R) entre A et B	$TPP_{1PT, 1R}$
3.3-b	TPP	Trois Points Tangentiels (3PT) avec trois Régions limitées (3R) entre A et B	$TPP_{3PT, 3R}$
3.3-c	TPP	Une Ligne Tangentielle (1LT) avec une Région limitée (1R) entre A et B	$TPP_{1LT, 1R}$
3.3-d	TPP	Deux Lignes Tangentielles (2LT) avec une Région limitée (1R) entre A et B	$TPP_{2LT, 1R}$
3.3-e	TPP	Deux Lignes Tangentielles (2LT) avec une Région limitée (1R) entre A et B	$TPP_{2LT, 1R}$
3.3-f	TPP	Deux Lignes Tangentielles (2LT) et un Point Tangentiel (1PT) avec deux Régions limitées (2R) entre A et B	$TPP_{2LT, 1PT, 2R}$
3.3-g	TPP	Une Ligne Tangentielle (1LT) et deux Points Tangentiels (2PT) avec trois Régions limitées (3R) entre A et B	$TPP_{1LT, 2PT, 3R}$
3.3-h	TPP	Quatre Lignes Tangentielles (4LT) avec deux Régions limitées (2R) entre A et B	$TPP_{4LT, 2R}$

Table. 3.6 :La relation TPP enrichie au Niveau-1 pour les configurations dans la Figure 3.3

3.2.4. Enrichissement de la Relation Topologique TPPi au Niveau-1

L'enrichissement de la relation TPPi du système RCC8 est fait de façon similaire à celle de la relation TPP en échangeant A et B.

En fait, la relation TPPi est la relation inverse de TPP. En représentant la relation TPPi sous plusieurs représentations graphiques dans la Figure 3.4, nous trouvons que la seule différence entre TPP et TPPi est que pour la relation TPPi, les valeurs de « $d1 \geq 1$ et $d2 = 0$ » sont l'inverse de celles « $d1 = 0$ et $d2 \geq 1$ » pour la relation TPP.

En remplaçant ces valeurs dans la matrice du modèle Ex-ID, nous trouvons la description générale par le modèle Ex-ID pour la relation TPPi donnée par :

$$TPPi(A, B) = \begin{bmatrix} j=1 & d2=0 \\ d1 = \chi(A-B) & n = \chi(\partial A \cap \partial B)_{PT} \\ & m = \chi(\partial A \cap \partial B)_{LT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ d1 & n \\ & m \end{bmatrix}$$

Dans ce cas de la relation TPPi, nous prenons les régions de différences $d1 = \chi(A-B)$ comme des régions "limitées" (kR) et le nombre de séparations des régions limitées (kR) est égal au nombre de séparations des régions de différences $k = d1 = \chi(A-B)$. Ces régions limitées appartiennent à A et elles n'appartiennent pas à B (voir Figure 3.4).

La relation TPPi enrichie du système RCC8 au niveau-1 [Alboody et al. 2010a] est donnée dans la Table 3.7.

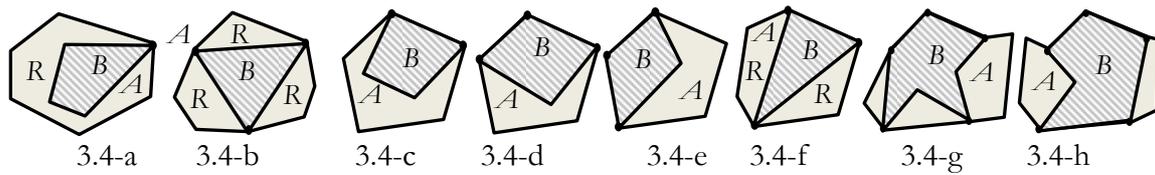


Fig. 3.4 : La relation topologique $TPPi$ (A, B) sous plusieurs représentations graphiques

Nous trouvons que la relation topologique $TPPi$ a toujours au moins un point « $n = 1$ » (voir Figure 3.4-a) ou une ligne « $m = 1$ » (voir Figure 3.4-c) avec une seule région limitée ($1R$) définie par la différence $A-B$.

Dans la section suivante, nous allons résumer ces relations et construire le nouveau système RCC-16 en nous basant sur ces nouvelles relations topologiques enrichies au niveau-1 en formes générales.

Les problèmes de confusion entre de ces nouvelles relations au niveau-1 seront aussi abordés afin de voir comment les surmonter.

Enrichissement de la Relation Topologique $TPPi$ du Système RCC8 au Niveau-1		
Relation Topologique	Avec Points Tangentiels (nPT) et Lignes Tangentielles (mLT)	Avec Régions Limitées (kR)
$TPPi$ du Système RCC8 au Niveau-0 sans détail	Avec (mLT) Lignes Tangentielles seulement : $TPPi_{mLT}$ Pour $n = 0$ et $m \geq 1$	Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $TPPi_{mLT, kR}$
	Avec (nPT) Points Tangentiels seulement : $TPPi_{nPT}$ Pour $n \geq 1$ et $m = 0$	Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $TPPi_{nPT, kR}$
	Avec (mLT) Lignes Tangentielles et (nPT) Points Tangentiels : $TPPi_{mLT, nPT}$ Pour $n \geq 1$ et $m \geq 1$	Avec « $k \geq 1$ » Régions limitées (kR) entre A et B : $TPPi_{mLT, nPT, kR}$

Table. 3.7 : Enrichissement de la relation topologique $TPPi$ au Niveau-1

3.3. Résumé au Niveau-1

Dans la section précédente, nous avons développé et défini neuf nouvelles relations topologiques au niveau-1 : EC en trois relations EC_{mL} , EC_{nPT} , $EC_{mL, nPT}$; PO en trois relations PO_{mL} , PO_{nPT} , $PO_{mL, nPT}$; TPP en trois relations TPP_{mLT} , TPP_{nPT} , $TPP_{mLT, nPT}$; $TPPi$ en trois relations $TPPi_{mLT}$, $TPPi_{nPT}$, $TPPi_{mLT, nPT}$; en nous basant sur le nombre de séparations de points et de lignes de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009a] [Alboody et al. 2009b].

Dans cette section, ces nouvelles relations topologiques au niveau-1 seront intégrées dans le système RCC8 pour établir un nouveau système de raisonnement spatial. Certains problèmes de confusion entre ces nouvelles relations seront démontrés.

3.3.1. Nouveau Système de Raisonnement Spatial RCC-16

Précédemment, nous avons vu que le système RCC8 au niveau-0 sans détail contient les huit relations topologiques de base : DC, EC, PO, TPP, NTPP, $TPPi$, NTPPi, EQ. L'enrichissement du système RCC8 au niveau-1 est fait pour les quatre relations : EC, PO, TPP, et $TPPi$ [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009a] [Alboody et al. 2009b].

Dans la Table 3.8, les nouvelles relations topologiques au niveau-1 sont données en formes générales avec les noms topologiques du système RCC8.

Tout d'abord, nous avons vu que les neuf relations topologiques au niveau-1 (EC_{mL} , EC_{nP} , $EC_{mL, nP}$, PO_{mL} , PO_{nP} , $PO_{mL, nP}$, TPP_{mLT} , TPP_{nPT} , $TPP_{mLT, nPT}$, $TPPi_{mLT}$, $TPPi_{nPT}$, $TPPi_{mLT, nPT}$) sont obtenues en utilisant l'invariant topologique du nombre de séparations de points (nP/nPT) et de lignes (mL/mLT) de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$.

Ensuite, ces nouvelles relations au niveau-1 sont décrites avec le nombre de séparations de régions limitées (kR) et régions d'intersection (jRI) en donnant de 17 nouvelles relations au niveau-1 écrites sous les formes générales suivantes : $EC_{mL, 0R}$, $EC_{mL, kR}$, $EC_{1P, 0R}$, $EC_{nP, kR}$, $EC_{mL, nP, kR}$, $PO_{mL, jRI, 0R}$, $PO_{mL, jRI, kR}$, $PO_{nP, jRI, 0R}$, $PO_{nP, jRI, kR}$, $PO_{mL, nP, jRI, 0R}$, $PO_{mL, nP, jRI, kR}$, $TPP_{mLT, kR}$, $TPP_{nPT, kR}$, $TPP_{mLT, nPT, kR}$, $TPPi_{mLT, kR}$, $TPPi_{nPT, kR}$, $TPPi_{mLT, nPT, kR}$ [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009a].

Enfin, en remplaçant les quatre relations (EC , PO , TPP , $TPPi$) par les neuf relations au niveau-1 dans le système RCC8, nous obtenons un nouveau système contenant 16 relations topologiques au lieu de huit.

Ce nouveau système nommé système RCC-16 [Alboody et al. 2010a] contient les 16 relations topologiques suivantes : DC , EC_{mL} , EC_{nP} , $EC_{mL, nP}$, PO_{mL} , PO_{nP} , $PO_{mL, nP}$, TPP_{mLT} , TPP_{nPT} , $TPP_{mLT, nPT}$, $NTPP$, $TPPi_{mLT}$, $TPPi_{nPT}$, $TPPi_{mLT, nPT}$, $NTPPi$, EQ . Ce système RCC-16 au niveau-1 vient de l'enrichissement du système RCC8 par le concept du nombre de séparations.

Ce système RCC-16 au niveau-1 est notre première contribution dans cette thèse. Dans la section suivante, nous allons présenter les points forts et faibles de ce système RCC-16.

Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-0 Sans Détail	Relations Topologiques Enrichies du Système RCC8 : <i>EC, PO, TPP et TPPi au Niveau-1</i>	
	Avec Lignes (<i>mL/mLT</i>) et Points (<i>nP/nPT</i>)	Avec Régions Limitées (<i>kR</i>) et Régions d'Intersection (<i>jRI</i>)
<i>EC</i>	<i>EC_{mL}</i>	<i>EC_{mL, 0R}</i> <i>EC_{mL, kR}</i>
	<i>EC_{nP}</i>	<i>EC_{1P, 0R}</i> <i>EC_{nP, kR}</i>
	<i>EC_{mL, nP}</i>	<i>EC_{mL, nP, kR}</i>
<i>PO</i>	<i>PO_{mL}</i>	<i>PO_{mL, jRI, 0R}</i> <i>PO_{mL, jRI, kR}</i>
	<i>PO_{nP}</i>	<i>PO_{nP, jRI, 0R}</i> <i>PO_{nP, jRI, kR}</i>
	<i>PO_{mL, nP}</i>	<i>PO_{mL, nP, jRI, 0R}</i> <i>PO_{mL, nP, jRI, kR}</i>
<i>TPP</i>	<i>TPP_{mLT}</i>	<i>TPP_{mLT, kR}</i>
	<i>TPP_{nPT}</i>	<i>TPP_{nPT, kR}</i>
	<i>TPP_{mLT, nPT}</i>	<i>TPP_{mLT, nPT, kR}</i>
<i>TPPi</i>	<i>TPPi_{mLT}</i>	<i>TPPi_{mLT, kR}</i>
	<i>TPPi_{nPT}</i>	<i>TPPi_{nPT, kR}</i>
	<i>TPPi_{mLT, nPT}</i>	<i>TPPi_{mLT, nPT, kR}</i>

Table. 3.8 : Enrichissement de quatre relations topologiques du système RCC8 (EC , PO , TPP , $TPPi$) au Niveau-1

3.3.2. Avantages et Inconvénients du Nouveau Système

Pour conclure sur ce système RCC-16 et ses nouvelles relations topologiques, nous allons présenter et étudier les avantages et les inconvénients des relations de ce système.

Tout d'abord, les avantages de ces neuf nouvelles relations topologiques et de ce système RCC-16, par rapport aux travaux étudiés dans le chapitre précédent, sont que ces relations permettent simplement de répondre aux besoins suivants :

- 1) Savoir combien de fois deux régions géographiques se connectent extérieurement, s'intersectent, en relation d'inclusion tangentielle, ou en relation d'inclusion tangentielle inverse,
- 2) Connaître le type de relation parmi les cas étudiés ci-dessus,
- 3) Comment pouvoir décrire les relations topologiques similaires à deux niveaux de détail (Niveau-0 et Niveau-1).

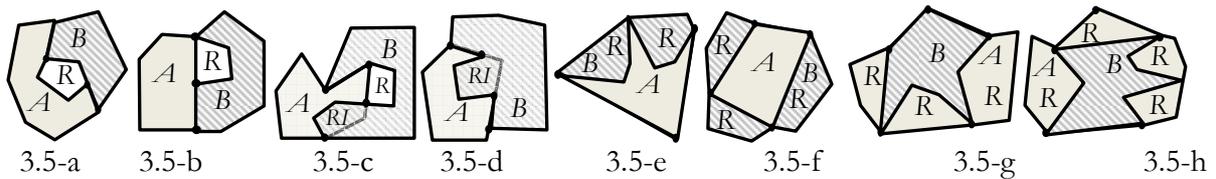


Fig. 3.5 : Exemples d'avantages des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1

Relations du Système RCC8 au Niveau-0 Sans Détail	Figure 3.5	Relations Identifiées par			Relations Détaillées du Système RCC-16 au Niveau-1
		Modèle I4 I_4, \dim, x	Modèle SD $SD(A, B)$	Matrice $M_{2 \times 2}$ H, L, R	
EC	3.5-a	1D- #2- Meets	$[\phi, -\phi, -\phi, 2, 1]$	Non	EC_{2L, 1R}
	3.5-b	1D- #2- Meets	$[\phi, -\phi, -\phi, 2, 1]$	Non	EC_{1L, 1P, 1R}
PO	3.5-c	1D- #2- Overlaps	$[-\phi, -\phi, -\phi, 2, 1]$	$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \oplus (1)$	PO_{1L, 2P, 1RI, 1R}
	3.5-d	1D- #2- Overlaps	$[-\phi, -\phi, -\phi, 2, 1]$	$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \oplus (0)$	PO_{2L, 1RI, 0R}
TPP	3.5-e	1D-#3- CoveredBy	$[-\phi, \phi, -\phi, 3, 1]$	$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}$	TPP_{2LT, 1PT, 2R}
	3.5-f	1D-#3- CoveredBy	$[-\phi, \phi, -\phi, 3, 1]$	$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}$	TPP_{1LT, 2PT, 3R}
TPPi	3.5-g	1D- #4- Covers	$[-\phi, -\phi, \phi, 4, 1]$	$L = \begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 0 & 5 \end{pmatrix}$	TPPi_{2LT, 2PT, 3R}
	3.5-h	1D- #4- Covers	$[-\phi, -\phi, \phi, 4, 1]$	$L = \begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 0 & 5 \end{pmatrix}$	TPPi_{1LT, 3PT, 4R}

Table. 3.9 : Exemples d'avantages des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 en comparaison avec les modèles : I4 ($I_{4, \dim, x}$), SD, et $M_{2 \times 2}$ (H, L, R)

Par exemple, dans la Figure 3.5, plusieurs configurations sont représentées pour les nouvelles relations topologiques du système RCC-16 afin de les comparer (voir Table 3.9) avec les relations des modèles I4 ($I_{4, \dim, x}$, $I_{4, x}$, $I_{4, \dim, x}$).

Pour décrire la relation EC (Meets) dans la Figure 3.5 (3.5-a, et 3.5-b) par le modèle I4 ($I_{4, \dim, x}$), cette relation est décrite en détail par la même expression : 1D-#2-Meets. La relation obtenue par le modèle SD étendu du modèle ID est donnée par la matrice : $SD(A, B) = [\phi, -\phi, -\phi, 2, 1]$ où « 2 » est le nombre de séparations et « 1 » est la dimension.

Dans cette matrice du modèle SD, la relation n'est pas définie ni déterminée par un nom topologique. La matrice $M_{2 \times 2}$ ne prend pas en compte la relation Meets.

Nous constatons que les expressions de ces relations obtenues par ces modèles (I4, SD) sont identiques et elles ne sont pas exprimées par le nom topologique de la relation EC du système RCC8. Cependant ces relations ne sont pas identiques et nous pouvons les décrire par le nom topologique de la relation EC avec beaucoup de détails.

Les relations du système RCC-16 permettront de séparer ces deux relations des configurations dans la Figure 3.5 (3.5-a, et 3.5-b) en les décrivant par le nombre de séparations.

Pour la Figure (3.5-a), l'expression de la relation EC du système RCC-16 est donnée par : $EC_{2L, 1R}$ et pour la Figure (3.5-b), l'expression est donnée par : $EC_{1L, 1P, 1R}$.

La même discussion sur les avantages du système RCC-16 pour le reste des configurations de la Figure 3.5 est donnée par la Table 15 en comparaison avec les trois modèles : modèle I4 ($I_{4, dim, x}$), modèle SD étendu du modèle ID, et la matrice $M_{2 \times 2}$ (H, L, R).

Nous trouvons que ces nouvelles relations du système RCC-16 donnent des descriptions fiables et discriminantes entre deux configurations spatiales. Ces avantages du système RCC-16 permettront aussi de :

- 1) Mieux décrire et comprendre l'équivalence et la similarité topologiques de deux scènes géographiques dans des cartes numériques [Bruns et al. 1996], ou deux scènes d'images satellites,
- 2) Identifier des changements topologiques dans la structure d'un objet géographique et la relation topologique d'une région géographique dans une carte numérique ou une image satellite,
- 3) Savoir comment deux régions se positionnent en relation par rapport à une autre région limitée (bounded) entre les deux régions géographiques.

L'inconvénient de ces nouvelles relations topologiques du système RCC-16 est qu'il existe encore des problèmes de confusions entre deux mêmes relations topologiques détaillées au niveau-1 pour deux configurations spatiales différentes. Le nombre de ces configurations nous semble très limité mais nous devenons faire face à ce genre de problèmes. Ce genre de problèmes de confusions est aussi rencontré dans tous les travaux cités dans le chapitre précédent. Ces problèmes de confusions sont abordés et résolus dans le chapitre suivant.

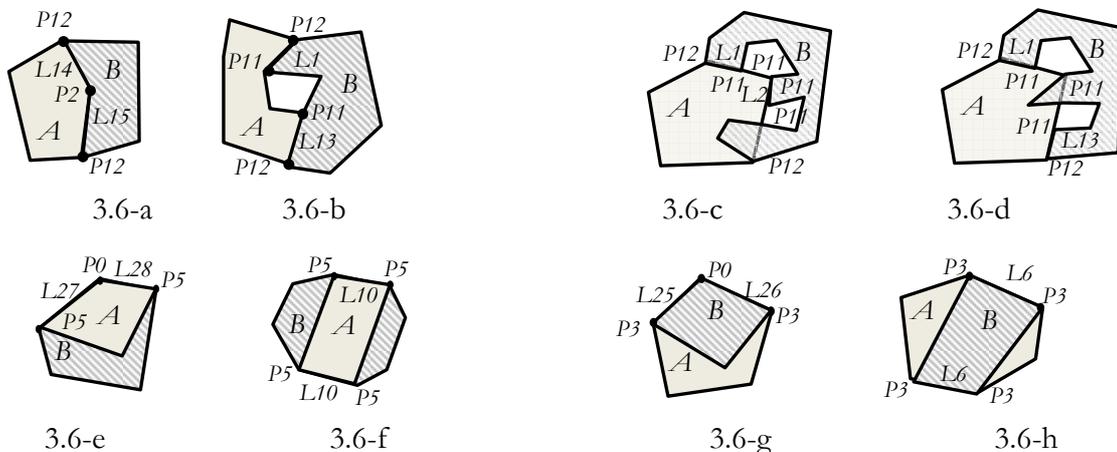


Fig. 3.6 : Exemples de configurations spatiales de problèmes de confusions des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1

Par exemple, pour la relation EC au niveau-1 du système RCC-16, nous trouvons qu'il y a une confusion entre les deux configurations représentées par les deux Figures 3.6-a (EC_{2l}) et 3.6-b (EC_{2l}) de la Figure 3.6, ces deux relations sont égales, mais visuellement, ce n'est pas correct parce que les deux lignes (2L) de connexion extérieure sont de différents types si nous prenons en considération le concept de voisinage et le type d'élément spatial développé dans le chapitre précédent (voir Figure 2.9 et Table 2.6 dans le chapitre 2).

Nous remarquons le même problème de confusion pour le reste des configurations (présentées dans la Figure 3.6) des relations PO, TPP, et TPPI. Pour surmonter ce problème de confusion, nous allons prendre en compte l'invariant topologique du type d'éléments spatiaux (points et lignes) de l'ensemble spatial de l'intersection $\partial A \cap \partial B$ dans le chapitre 4. Cet invariant topologique du type est étudié dans le chapitre précédent pour définir le types d'éléments spatiaux (points et lignes) dans le but de les intégrer dans le modèle ExT-ID (extension du modèle Ex-ID).

En nous basant sur les relations topologiques du nouveau système RCC-16 et le modèle ExT-ID, nous allons enrichir et donner de nouvelles descriptions générales pour les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 [Alboody et al. 2010a].

Dans la section suivante, nous allons présenter la validation des relations topologiques du nouveau système RCC-16 pour la détection des changements entre images satellites et données de SIG.

3.4. Applications et Résultats

« Imagination is more important than knowledge.
For knowledge is limited to all we now know and understand,
While imagination embraces the entire world,
and all there ever will be to know and understand »

Albert Einstein (1879-1955)

Dans cette section, nous allons valider et tester les nouvelles relations topologiques et le nouveau système RCC-16 de raisonnement spatial pour l'application suivante de la détection de changements.

Tout d'abord, nous proposons dans la section 3.4.1 une nouvelle méthode de détection de changements entre une nouvelle image satellite et une ancienne carte numérique de SIG. Cette méthode sera aussi appliquée pour détecter les changements entre deux cartes vectorielles correspondant à dates différentes (dans la section 3.4.1.1), ou entre deux images satellites prises à dates différentes (dans la section 3.4.1.2). Cette nouvelle méthode intègre l'analyse topologique par le système RCC-16 afin de détecter et d'identifier les changements survenus. Ensuite, en se basant sur la méthode proposée, nous présentons une classification des types changements topologiques en deux catégories : changements de base et complexes dans la section 3.4.1.3. Enfin, nous concluons cette section.

3.4.1. Détection de Changements par Analyse Topologique du Système RCC-16 entre Images Satellitaires et Données des SIG

Nous allons proposer une méthode de détection de changements basée sur l'analyse topologique par le nouveau système RCC-16 (voir Figure 3.7). Cette analyse par le système RCC-16 est faite par exploitation et enrichissement des relations topologiques entre régions géographiques représentées dans des images satellites et des cartes vectorielles. L'intérêt de la description détaillée développée dans ce chapitre pour les relations du système RCC-16 réside dans le fait qu'elle permet de détecter automatiquement les différents niveaux de détails topologiques et les changements topologiques. L'intérêt de cette section est d'identifier et de détecter des changements des objets géographiques entre une nouvelle scène d'image satellite et une ancienne carte numérique des SIG. Cette application a aussi comme objectif de :

- 1) Identifier des types de changements topologiques dans la structure d'un objet géographique ou d'une région géographique dans une image satellite ou une carte numérique,
- 2) Mieux décrire et comprendre l'équivalence et la similarité topologiques de deux scènes géographiques dans une carte numérique, ou deux scènes d'images satellites.

La nouvelle méthode de détection de changement entre une nouvelle image satellite et une ancienne carte numérique se compose de trois étapes importantes (voir Figure 3.7) :

- 1) Identification des relations topologiques du système RCC-16 entre les objets géographiques issus d'image et de carte dans quatre matrices ;
- 2) Mesures de similarité des relations topologiques et des objets géographiques ;
- 3) Définition et identification des règles topologiques pour identifier, détecter et classer les types de changements en sept types (voir Table 3.10) : (1) Apparition d'objet, (2)

Disparition d'objet, (3) Objet "en nouvelle partie" apparu et "en partie" disparu, (4) Objet étendu tangentiel "en nouvelle partie" apparu, (5) Objet étendu "en nouvelle partie" apparu, (6) Objet rétréci (érodé) tangentiel "en partie" disparu, (7) Objet rétréci (érodé) "en partie" disparu. Ces types de changements présentés dans la Table 3.10 seront étudiés dans l'étape de définition des règles topologiques pour la détection de changements.

Nous présentons la nouvelle méthode dans la Figure 3.7 pour le cas étudié ici où nous avons une nouvelle image satellite (I) et une ancienne carte numérique vectorielle (V). La vérification de cette méthode est faite par interprétation visuelle de ces deux données vectorielles.

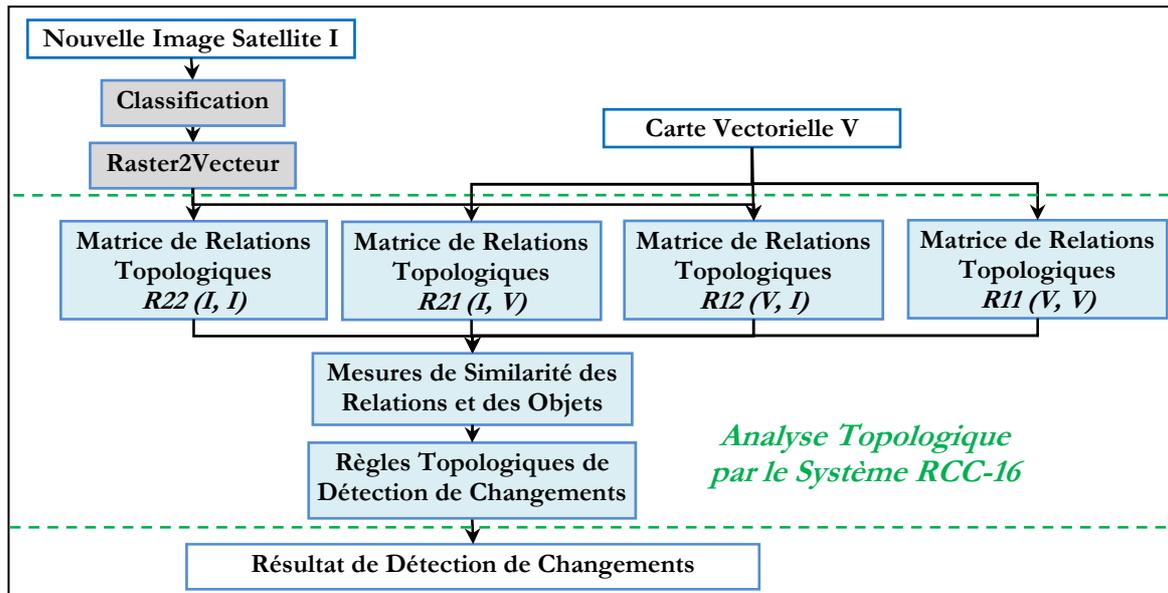


Fig. 3.7 : Méthode de détection de changement par analyse topologique du système RCC-16 au niveau-1

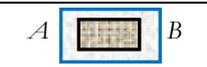
Objet A et Objet B	Relation (A, B)	Types de Changements
	DC	(1) B : Nouvel objet ou (2) A : Objet disparu
	EC	(1) B : Nouvel objet ou (2) A : Objet disparu
	PO	(3) B : Objet "en nouvelle partie" apparu et "en partie" disparu (de A)
	TPP	(4) B : Objet étendu tangentiel "en nouvelle partie" apparu (de A)
	NTPP	(5) B : Objet étendu "en nouvelle partie" apparu (de A)
	TPPi	(6) B : Objet rétréci (érodé) tangentiel "en partie" disparu (de A)
	NTPPi	(7) B : Objet rétréci (érodé) "en partie" disparu (de A)
	EQ	(8) Pas de changements entre A et B

Table. 3.10 : Types de changements (A : Objet d'une carte vectorielle, et B : Objet extrait d'image)

L'objet étendu est un objet agrandi et l'objet rétréci est un objet érodé. Un objet déplacé peut être représenté comme (traité dans la section 3.4.1.3) : nouvel objet à nouvelle position (DC, EC), ou objet disparu de son ancienne position (DC, EC), ou objet en chevauchement (PO). Nous allons classifier ces types de changements dans la section 3.4.1.3.

Dans la nouvelle méthode proposée, l'analyse topologique par le système RCC-16 sera appliquée pour l'identification des relations topologiques entre les objets géographiques extraits d'images satellites et de cartes vectorielles. L'application de cette méthode de détection de changements sera aussi étudiée pour les deux cas suivants entre : deux images satellites prises à dates différentes, ou deux cartes numériques à dates différentes. Le cas de détection de changements entre une image satellite et une carte vectorielle n'a pas été traité en réalité par manque de ces données (une carte correspondante à une image).

Supposons que nous avons une nouvelle image satellite (I) et une ancienne carte numérique vectorielle (V) à dates différentes: le but est donc de détecter les changements entre elles. Une méthode de classification non-supervisée est appliquée afin de trouver les classes dans l'image.

Puis, une conversion (R2V) de ce raster de classification à vecteur est faite pour avoir des données vectorielles de type régions et polygones que le système RCC-16 peut utiliser pour la détermination des relations topologiques. Supposons que nous avons les objets géographiques (I_i avec $1 \leq i \leq N$) extraits de l'image satellite (I) et les objets (V_j avec $1 \leq j \leq M$) de la carte vectorielle (V). Figure 3.8 représente un exemple de ces objets géographiques.

Tout d'abord, nous notons les objets extraits de l'image I par (I_1, I_2, \dots, I_N) et les objets de la carte vectorielle V par (V_1, V_2, \dots, V_M). La première étape est l'identification des relations topologiques dans des matrices. Quatre matrices de relations topologiques sont identifiées par le système RCC-16 et elles sont données par :

(1) La matrice $M_{VI_{M \times N}} = R12(V, I)$ des ($M \times N$) relations topologiques entre les M objets de la carte V et les N objets extraits de l'image I (par exemple : voir Table 3.11) ;

(2) La matrice $M_{IV_{N \times M}} = R21(I, V)$ des ($N \times M$) relations topologiques entre les N objets extraits de l'image I et les M objets de la carte V. La matrice ($M_{IV_{N \times M}} = R21$) est la matrice transposée de ($M_{VI_{M \times N}} = R12$) en inversant chaque relation de : TPP en TPPi, TPPi en TPP, NTPP en NTPPi, et NTPPi en NTPP (par exemple : voir Table 3.12) ;

(3) La matrice $M_{VV_{M \times M}} = R11(V, V)$ des ($M \times M$) relations topologiques entre les M objets de la carte vectorielle des SIG (par exemple : voir Table 3.13) ;

(4) La matrice $M_{II_{N \times N}} = R22(I, I)$ des ($N \times N$) relations topologiques entre les N objets extraits de l'image I (par exemple : voir Table 3.14).

Pour clarifier la démonstration de cette méthode, nous donnons un exemple de présentation pour les objets de l'image I et la carte V dans la Figure 3.8. Le nombre (N) d'objets extraits de l'image I est égal à 8 ($N=8$) et le nombre (M) d'objets de la carte V est égal à 7 ($M=7$). Nous voulons détecter et identifier les changements.

Les quatre matrices de relations topologiques définies précédemment sont déterminées par le système RCC-16 et elles sont données par les matrices suivantes : Matrice Relation M_{VI} (Table 3.11), Matrice Relation M_{IV} (Table 3.12), Matrice Relation M_{II} (Table 3.13), et Matrice Relation M_{VV} (Table 3.14).

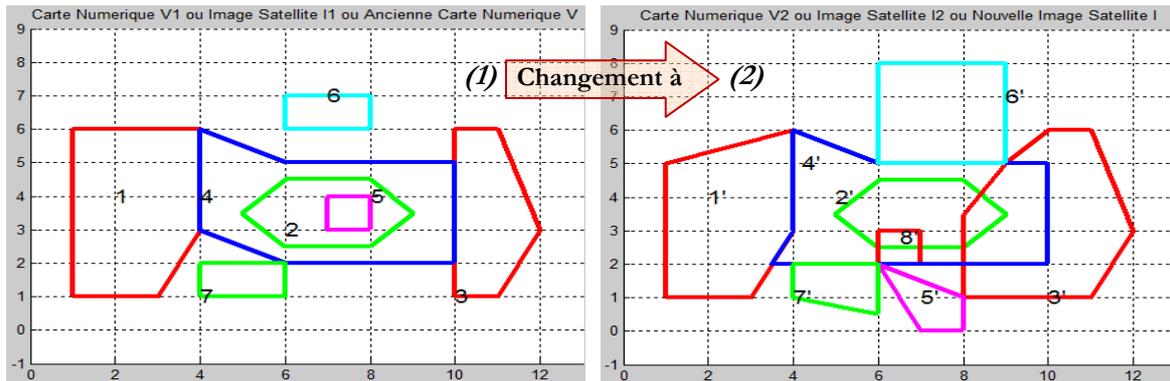


Fig. 3.8 : (1) Objets de la carte V de SIG (2) Objets extraits de l'image satellite I

Matrice Relation $M_{VI} : R12$		Objets Extraits de l'Image Satellite I								
		I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	
Objets de la Carte Vectorielle V	V_1	1	$TPPi_{4LT}$	DC	DC	EC_{2L}	DC	DC	DC	DC
	V_2	2	DC	EQ	PO_{2p}	NTPP	DC	DC	DC	PO_{2p}
	V_3	3	DC	DC	$TPPi_{4LT}$	EC_{1L}	DC	DC	DC	DC
	V_4	4	EC_{1L}	NTPPi	PO_{2p}	$TPPi_{5LT}$	EC_{1P}	EC_{1L}	EC_{1P}	$TPPi_{1LT}$
	V_5	5	DC	NTPP	EC_{1L}	NTPP	DC	DC	DC	EC_{1P}
	V_6	6	DC	DC	DC	DC	DC	$TPPi_{1LT}$	DC	DC
	V_7	7	DC	DC	DC	EC_{1L}	EC_{1P}	DC	$TPPi_{3LT}$	EC_{1P}

Table. 3.11 : Matrice Relation $M_{VI}_{7 \times 8} : R12$ - Matrice des relations topologiques entre les objets de la carte V et les objets de l'image I

Matrice Relation $M_{IV} : R21$		Objets de la Carte Vectorielle V						
		1	2	3	4	5	6	7
Objets Extraits de l'Image Satellite I	1'	$TPPi_{4LT}$	DC	DC	EC_{1L}	DC	DC	DC
	2'	DC	EQ	DC	NTPP	NTPPi	DC	DC
	3'	DC	PO_{2p}	$TPPi_{4LT}$	PO_{2p}	EC_{1L}	DC	DC
	4'	EC_{2L}	NTPPi	EC_{1L}	$TPPi_{5LT}$	NTPPi	DC	EC_{1L}
	5'	DC	DC	DC	EC_{1P}	DC	DC	EC_{1P}
	6'	DC	DC	DC	EC_{1L}	DC	$TPPi_{1LT}$	DC
	7'	DC	DC	DC	EC_{1P}	DC	DC	$TPPi_{3LT}$
	8'	DC	PO_{2p}	DC	$TPPi_{1LT}$	EC_{1P}	DC	EC_{1P}

Table. 3.12 : Matrice Relation $M_{IV}_{8 \times 7} : R21$ - Matrice des relations topologiques entre les objets de l'image I et les objets de la carte V

Matrice Relation $M_{VV} : R11$		Objets de la Carte Vectorielle V						
		1	2	3	4	5	6	7
Objets de la Carte Vectorielle V	1	EQ	DC	DC	EC_{1L}	DC	DC	DC
	2	DC	EQ	DC	NTPP	NTPPi	DC	DC
	3	DC	DC	EQ	EC_{1L}	DC	DC	DC
	4	EC_{1L}	DC	EC_{1L}	EQ	NTPPi	DC	EC_{1P}
	5	DC	NTPP	DC	NTPP	EQ	DC	DC
	6	DC	DC	DC	DC	DC	EQ	DC
	7	DC	DC	DC	EC_{1P}	DC	DC	EQ

Table. 3.13 : Matrice Relation $M_{VV}_{7 \times 7} : R11$ - Matrice des relations topologiques entre les objets de la carte V

Matrice Relation $M_{II} : R_{22}$		Objets Extraits de l'Image Satellite I							
		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
Objets Extraits de l'Image Satellite I	1'	\underline{EQ}	DC	DC	EC_{2L}	DC	DC	DC	DC
	2'	DC	\underline{EQ}	PO_{2P}	NTPP	DC	DC	DC	PO_{2P}
	3'	DC	PO_{2P}	\underline{EQ}	PO_{2P}	EC_{1P}	EC_{1P}	DC	DC
	4'	EC_{2L}	NTPPi	PO_{2P}	\underline{EQ}	EC_{1P}	EC_{1L}	EC_{1L}	$TPPi_{1LT}$
	5'	DC	DC	EC_{1P}	EC_{1P}	\underline{EQ}	DC	EC_{1P}	EC_{1P}
	6'	DC	DC	EC_{1P}	EC_{1L}	DC	\underline{EQ}	DC	DC
	7'	DC	DC	DC	EC_{1L}	EC_{1P}	DC	\underline{EQ}	EC_{1P}
	8'	DC	PO_{2P}	DC	$TPPi_{1LT}$	EC_{1P}	DC	EC_{1P}	\underline{EQ}

Table. 3.14 : Matrice Relation $M_{II_{8 \times 8}} : R_{22}$ - Matrice des relations topologiques entre les objets de l'image I

Ensuite, la deuxième étape est les mesures de similarité des relations topologiques et des objets où les mesures de similarité sont portées sur deux mesures principales données par :

– Mesure de similarité des relations et des objets pour chaque objet (V_j avec $1 \leq j \leq M$) de la carte V avec tous les objets de l'image I : Comparer chaque ligne de la matrice $M_{VI_{M \times N}}$ avec chaque ligne de la matrice $M_{II_{N \times N}}$ en donnant une matrice de similarité des relations notée « Sim_Rel_ $VI_{M \times N}$ ». La valeur maximale de chaque ligne de « Sim_Rel_ $VI_{M \times N}$ » permet de trouver les objets de l'image I qui sont similaires à l'objet en question (V_j) de la carte V. Ces objets similaires font une matrice de similarité des objets notée « Sim_Objet_ VI ».

– Mesure de similarité des relations et des objets pour chaque objet (I_i avec $1 \leq i \leq N$) de l'image I avec tous les objets de la carte V : Comparer chaque ligne de la matrice $M_{IV_{N \times M}}$ avec chaque ligne de la matrice $M_{VV_{M \times M}}$ en donnant une matrice de similarité des relations notée « Sim_Rel_ $IV_{N \times M}$ ». La valeur maximale de chaque ligne de « Sim_Rel_ $IV_{N \times M}$ » permet de trouver les objets de la carte V qui sont similaires à l'objet en question (I_i) de l'image I. Ces objets similaires font une matrice de similarité des objets notée « Sim_Objet_ IV ».

Cette mesure de similarité des relations topologiques (entre chaque objet I_i de l'image satellite I avec tous les objets de la carte V, ou entre chaque objet V_j de la carte V avec tous les objets de l'image satellite I) est prise par le rapport de nombre des relations similaires sur le nombre total des relations. Ce rapport ($0 \leq \text{Similarité_Relation}(*,*) \leq 1$) est général, normalisé et positif pour la mesure de similarité des relations et il est donné par l'expression :

$$\text{Similarité_Relation}(*,*) = \frac{\sum \text{Nombre de Relations Topologiques Similaires}}{\text{Nombre Total de Relations Topologiques}}(*,*)$$

où « * » et « . » indiquent l'objet V_j avec $1 \leq j \leq M$ pour les objets de la carte V ou l'objet I_i avec $1 \leq i \leq N$ pour les objets de l'image I. Les deux expressions suivantes pour les mesures de similarité de relations sont données en : $\text{Similarité_Relation}(I_i, V)$ pour chaque objet I_i de I avec tous les objets de V, et $\text{Similarité_Relation}(V_j, I)$ pour chaque objet V_j de V avec tous les objets de I :

$$\text{Similarité_Relation}(I_i, V) = \frac{\sum \text{Nombre de Relations Topologiques Similaires}}{\text{Nombre Total de Relations Topologiques}}(I_i, V)$$

$$\text{Similarité_Relation}(V_j, I) = \frac{\sum \text{Nombre de Relations Topologiques Similaires}}{\text{Nombre Total de Relations Topologiques}}(V_j, I)$$

alors que la mesure de similarité des objets ($Similarité_Objet(*,.)$) est prise par la valeur maximale de ce rapport $Similarité_Relation(*,.)$. Elle est normalisée ($0 < Similarité_Objet(*,.) \leq 1$) et donnée par l'expression suivante :

$$\begin{aligned} Similarité_Objet(*,.) &= Max(Similarité_Relation(*,.) \\ &= Max\left(\frac{\sum \text{Nombre de Relations Topologiques Similaires}}{\text{Nombre Total de Relations Topologiques}}(*,.)\right) \end{aligned}$$

où « * » et « . » indiquent l'objet V_j avec $1 \leq j \leq M$ pour les objets de la carte V ou l'objet I_i avec $1 \leq i \leq N$ pour les objets de l'image I.

Les deux expressions suivantes pour les mesures de similarité des objets sont données en : $Similarité_Objet(I_i, V)$ pour chaque objet I_i de I avec tous les objets de V, et $Similarité_Objet(V_j, I)$ pour chaque objet V_j de V avec tous les objets de I :

$$\begin{aligned} Similarité_Objet(I_i, V) &= Max(Similarité_Relation(I_i, V)) \\ &= Max\left(\frac{\sum \text{Nombre de Relations Topologiques Similaires}}{\text{Nombre Total de Relations Topologiques}}(I_i, V)\right) \\ Similarité_Objet(V_j, I) &= Max(Similarité_Relation(V_j, I)) \\ &= Max\left(\frac{\sum \text{Nombre de Relations Topologiques Similaires}}{\text{Nombre Total de Relations Topologiques}}(V_j, I)\right) \end{aligned}$$

Les deux matrices de similarités de relations « Sim_Rel_VI » et « Sim_Rel_IV » sont respectivement données par les Tables 3.15 et 3.16 pour l'exemple de démonstration.

<i>Sim_Rel_VI</i>	<i>Sim_Rel(V_j, I)</i>	Objets Extraits de l'Image I								Max	<i>Min</i>	Objets Similaires
		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'			
Objets de la Carte V	<i>Sim_Rel(1, .)</i>	7/8	3/8	2/8	0/8	2/8	4/8	3/8	2/8	7/8	0/8	1'
	<i>Sim_Rel(2, .)</i>	3/8	8/8	2/8	1/8	2/8	3/8	2/8	2/8	8/8	1/8	2'
	<i>Sim_Rel(3, .)</i>	5/8	4/8	3/8	0/8	3/8	6/8	4/8	2/8	6/8	0/8	6'
	<i>Sim_Rel(4, .)</i>	0/8	1/8	1/8	5/8	1/8	0/8	1/8	2/8	5/8	0/8	4'
	<i>Sim_Rel(5, .)</i>	3/8	5/8	2/8	1/8	3/8	3/8	3/8	2/8	5/8	1/8	2'
	<i>Sim_Rel(6, .)</i>	5/8	3/8	3/8	0/8	2/8	5/8	3/8	2/8	5/8	0/8	1', 6'
	<i>Sim_Rel(7, .)</i>	3/8	2/8	2/8	1/8	4/8	3/8	7/8	4/8	7/8	1/8	7'

Table. 3.15 : Matrice de similarité de relations « Sim_Rel_VI » pour chaque objet V_j de la carte V vers tous les objets de l'image I

<i>Sim_Rel_IV</i>	<i>Sim_Rel(I_i, V)</i>	Objets de la Carte V							Max	<i>Min</i>	Objets Similaires
		1	2	3	4	5	6	7			
Objets Extraits de l'Image I	<i>Sim_Rel(1', .)</i>	6/7	3/7	5/7	1/7	3/7	4/7	4/7	6/7	1/7	1
	<i>Sim_Rel(2', .)</i>	3/7	7/7	3/7	2/7	5/7	3/7	3/7	7/7	2/7	2
	<i>Sim_Rel(3', .)</i>	2/7	3/7	3/7	1/7	3/7	2/7	2/7	3/7	1/7	2, 3, 5
	<i>Sim_Rel(4', .)</i>	1/7	2/7	1/7	4/7	1/7	0/7	1/7	4/7	0/7	4
	<i>Sim_Rel(5', .)</i>	4/7	3/7	4/7	2/7	3/7	4/7	6/7	6/7	2/7	7
	<i>Sim_Rel(6', .)</i>	4/7	3/7	5/7	0/7	3/7	5/7	4/7	5/7	0/7	3, 6
	<i>Sim_Rel(7', .)</i>	4/7	3/7	4/7	1/7	3/7	4/7	6/7	6/7	1/7	7
	<i>Sim_Rel(8', .)</i>	2/7	3/7	2/7	2/7	3/7	2/7	3/7	3/7	2/7	2, 5, 7

Table. 3.16 : Matrice de similarité de relations « Sim_Rel_IV » pour chaque objet I_i de l'image I vers tous les objets de la carte V

Nous trouvons que ces matrices de similarités de relations permettront d'identifier les objets d'une scène qui gardent le maximum de ses relations avec un ou plusieurs objets dans l'autre scène. Par exemple, l'objet 2 de la carte V conserve le maximum (8 sur 8) de ses relations avec les objets de l'image pour devenir l'objet 2' (voir Figure 3.8). Et l'objet 2' de I conserve le maximum (7 sur 7) de ses relations avec les objets de la carte V parce qu'il reste sans changement dans l'image (voir Figure 3.8).

Les deux matrices de similarité des objets « Sim_Objet_VI » et « Sim_Objet_IV » sont respectivement déterminées et données par les Tables 3.17 et 3.18. Dans la matrice « Sim_Objet_VI », nous trouvons les objets similaires de l'image I pour chaque objet de la carte V. Par exemple, pour l'objet 6 de la carte V, les objets similaires de l'image I sont les objets 1' et 6'. Pour éviter ces multiples objets similaires, le but de la prochaine étape est trouver pour chaque objet d'une scène un seul objet similaire ou zéro le cas échéant.

<i>Sim_Objet_VI</i>	<i>Sim_Objet (V_j, I)</i>	<i>Objets de l'Image I Similaires à V_j</i>
<i>Objets de la Carte V</i>	<i>Sim_Objet (1, .)</i>	<i>1'</i>
	<i>Sim_Objet (2, .)</i>	<i>2'</i>
	<i>Sim_Objet (3, .)</i>	<i>6'</i>
	<i>Sim_Objet (4, .)</i>	<i>4'</i>
	<i>Sim_Objet (5, .)</i>	<i>2'</i>
	<i>Sim_Objet (6, .)</i>	<i>1', 6'</i>
	<i>Sim_Objet (7, .)</i>	<i>7'</i>

Table. 3.17 : Matrice de similarité des objets « Sim_Objet_VI » pour chaque objet V_j de carte V vers tous les objets de l'image I

<i>Sim_Objet_IV</i>	<i>Sim_Objet (I_i, V)</i>	<i>Objets de la Carte V Similaires à I_i</i>
<i>Objets Extraits de l'Image I</i>	<i>Sim_Objet (1', .)</i>	<i>1</i>
	<i>Sim_Objet (2', .)</i>	<i>2</i>
	<i>Sim_Objet (3', .)</i>	<i>2, 3, 5</i>
	<i>Sim_Objet (4', .)</i>	<i>4</i>
	<i>Sim_Objet (5', .)</i>	<i>7</i>
	<i>Sim_Objet (6', .)</i>	<i>3, 6</i>
	<i>Sim_Objet (7', .)</i>	<i>7</i>
	<i>Sim_Objet (8', .)</i>	<i>2, 5, 7</i>

Table. 3.18 : Matrice de similarité des objets « Sim_Objet_IV » pour chaque objet I_i de l'image I vers tous les objets de la carte V

Ces mesures de similarité des objets « de I vers V : matrice Sim_Objet_IV » et « de V vers I : matrice Sim_Objet_VI » sont équivalentes au concept de « mapping » entre les objets de la carte V et les objets extraits de l'image I dans les deux sens.

Dans le but de vérifier la similarité entre les objets de V et I, nous développons un algorithme pour définir les objets similaires dits « Objet-à-Objet » de V et I dans les deux sens. Deux nouvelles matrices de similarité « Sim_Objet_Vec2Img » et « Sim_Objet_Img2Vec » remplaceront les deux matrices de similarité des objets « Sim_Objet_VI » et « Sim_Objet_IV », respectivement.

Nous allons présenter l'algorithme dans deux étapes majeures : 1) « Mapping: Objet-à-Objet » de V vers I pour chaque objet de la matrice « Sim_Objet_VI » ; 2) « Mapping: Objet-à-Objet » de I vers V pour chaque objet de la matrice « Sim_Objet_IV ».

Ces deux étapes employées dans cet algorithme sont détaillées et données comme suit :

Étape 1 : Pour chaque objet de la matrice de similarité des objets « Sim_Objet_VI » :

– Si un objet de Sim_Objet (V_j, I_i) de Sim_Objet_VI est égal à I_i ou un objet de Sim_Objet (I_i, V_j) de Sim_Objet_IV est égal à V_j , alors, l'objet V_j de la carte V est similaire à l'objet I_i de l'image I (et l'inverse est vrai). Donc, une nouvelle matrice de similarité appelée la matrice de similarité du vecteur à l'image notée « Sim_Objet_Vec2Img » est déterminée par cette étape. Par conséquent, l'objet I_i de l'image I similaire à l'objet V_j de V est pris comme: Sim_Objet_Vec2Img (V_j, I_i) = Sim_Objet (V_j, I_i).

– Sinon, si le nombre d'objets I_i similaires à l'objet V_j est égal à 1, alors, l'objet I_i reste similaire à l'objet V_j : Sim_Objet_Vec2Img (V_j, I_i) = Sim_Objet (V_j, I_i).

– Sinon, si le nombre d'objets I_i similaires à l'objet V_j est égal à zéro ou plus d'un objet (0 ou >1), alors, nous prenons : Sim_Objet_Vec2Img (V_j, I_i) = 0 (notée « - ») et la relation topologique entre l'objet V_j et tous les objets I_i de l'image I est la relation DC. En conséquence, nous disons que l'objet V_j n'existe plus dans la nouvelle image I et a disparu de la scène géographique.

Étape 2 : L'étape 1 est répétée en échangeant I et V pour chaque objet I_i de la matrice de similarité des objets « Sim_Objet_IV ».

Pour notre exemple de démonstration (Figure 3.8), nous présentons les deux matrices de similarité des objets « Sim_Objet_Vec2Img » (Table 3.19) et « Sim_Objet_Img2Vec » (Table 3.20) avec toutes les relations topologiques entre les objets de V et I. Ces relations topologiques du système RCC-16 nous permettent d'identifier les changements survenus dans le temps.

<i>Sim_Objet_Vec2Img</i>	<i>Sim_Objet_Vec2Img (V_j, I)</i>	<i>Objet de l'Image I Similaire à V_j</i>	<i>Relation Topologique du Système RCC-16 de la Matrice Relation $M_{VI} : R12 (V_j, I_i)$</i>
<i>Objets de la Carte V</i>	<i>Sim_Objet_Vec2Img (1, .)</i>	<i>1'</i>	<i>TPPi_{4LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Vec2Img (2, .)</i>	<i>2'</i>	<i>EQ</i>
	<i>Sim_Objet_Vec2Img (3, .)</i>	<i>3'</i>	<i>TPPi_{4LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Vec2Img (4, .)</i>	<i>4'</i>	<i>TPPi_{5LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Vec2Img (5, .)</i>	<i>-</i>	<i>DC</i>
	<i>Sim_Objet_Vec2Img (6, .)</i>	<i>6'</i>	<i>TPPi_{1LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Vec2Img (7, .)</i>	<i>7'</i>	<i>TPPi_{3LT}</i>

Table. 3.19 : Matrice de similarité des objets « Sim_Objet_Vec2Img » de l'objet V_j de la carte V vers tous les objets de l'image I

<i>Sim_Objet_Img2Vec</i>	<i>Sim_Objet_Img2Vec (I_i, V)</i>	<i>Objet de la Carte V Similaire à I_i</i>	<i>Relation Topologique du Système RCC-16 de la Matrice Relation $M_{IV} : R21 (I_i, V_j)$</i>
<i>Objets Extraits de l'Image I</i>	<i>Sim_Objet_Img2Vec (1', .)</i>	<i>1</i>	<i>TPPi_{4LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Img2Vec (2', .)</i>	<i>2</i>	<i>EQ</i>
	<i>Sim_Objet_Img2Vec (3', .)</i>	<i>3</i>	<i>TPPi_{4LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Img2Vec (4', .)</i>	<i>4</i>	<i>TPPi_{5LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Img2Vec (5', .)</i>	<i>7</i>	<i>EC_{IP}</i>
	<i>Sim_Objet_Img2Vec (6', .)</i>	<i>6</i>	<i>TPPi_{1LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Img2Vec (7', .)</i>	<i>7</i>	<i>TPPi_{3LT}</i>
	<i>Sim_Objet_Img2Vec (8', .)</i>	<i>-</i>	<i>DC</i>

Table. 3.20 : Matrice de similarité des objets « Sim_Objet_Img2Vec » de l'objet I_i de l'image I vers tous les objets de la carte V

Enfin, la troisième étape de cette méthode est l'étape de détection de changements. Elle est basée sur les règles topologiques appliqués sur les deux matrices de similarité des objets « Sim_Objet_Vec2Img » et « Sim_Objet_Img2Vec » pour détecter et classifier les types de changements.

Ces règles aident à prendre une décision sur les objets similaires et les changements de chaque objet dans l'image satellite I et la carte vectorielle V. Nous allons présenter ces règles topologiques par l'algorithme suivant :

➤ Si la relation topologique $R12(V_j, I_i)$ entre objets V_j et I_i pour la matrice « Sim_Objet_Vec2Img » ou la relation $R21(I_i, V_j)$ entre objets I_i et V_j pour la matrice « Sim_Objet_Img2Vec » est égale à la relation EQ. Alors, les deux objets I_i et V_j sont identiques. En conséquence, l'objet V_j n'a pas subi de changement et l'objet V_j égal à l'objet I_i dans la nouvelle image satellite I.

➤ Sinon, si les deux objets V_j et I_i ne sont pas identiques. En conséquence, les deux objets V_j et I_i ont subi des changements. Alors, nous allons classer ces changements en sept types : (1) Nouvel objet ou apparition d'objet, (2) Disparition d'objet ou objet disparu, (3) Objet "en nouvelle partie" apparu et "en partie" disparu, (4) Objet étendu tangentiel "en nouvelle partie" apparu, (5) Objet étendu "en nouvelle partie" apparu, (6) Objet rétréci (érodé) tangentiel "en partie" disparu, (7) Objet rétréci (érodé) "en partie" disparu. Les objets similaires et les changements sont définis par les règles topologiques pour les deux sens « changements de V vers I » et « changements de I vers V » :

❖ **Changements de V vers I :** Pour la détection de changements des objets de la carte vectorielle V vers les objets de la nouvelle image satellite I, nous prenons la matrice de similarité « Sim_Objet_Vec2Img » avec les relations topologiques du système RCC-16 et en appliquant les règles topologiques établis dans la Table 3.21.

❖ **Changements de I vers V :** Pour la détection de changements des objets de la nouvelle image satellite I vers les objets de la carte vectorielle V, nous prenons la matrice de similarité « Sim_Objet_Img2Vec » avec les relations topologiques du système RCC-16 en suivant les règles topologiques dans la Table 3.22.

Dans les deux tables suivantes (Table 3.21 et Table 3.22), nous présentons en résumé les configurations des règles topologiques du système RCC-16 pour la détection de changements.

Dans un espace géographique, un nouvel objet dans la nouvelle image est équivalent à la disparition d'un ou plusieurs objets, ou une partie d'un objet ou plusieurs parties de plusieurs objets occupant l'espace du nouvel objet dans l'ancienne carte. Par exemple, la construction d'un nouvel bâtiment correspond à la disparition d'un espace vert, ou d'un ou plusieurs bâtiments, etc.

Pour cette raison, nous trouvons que les nouveaux objets dans la nouvelle image satellite ne peuvent pas être détectés par la matrice de similarité des objets de V vers I « Sim_Objet_Vec2Img » et nous ne pouvons les identifier et détecter que par la matrice de similarité des objets de I vers V « Sim_Objet_Img2Vec ».

En revanche, nous constatons que les objets disparus de la carte numérique vectorielle V dans la nouvelle image ne peuvent pas être détectés par la matrice de similarité des objets de I vers V « Sim_Objet_Img2Vec » et nous ne pouvons les identifier et détecter que par la matrice de similarité des objets de V vers I « Sim_Objet_Vec2Img ».

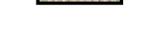
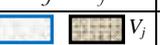
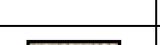
Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objct_Vec2Img »					
Objet V_j vers Objet I_i	Relation $R12(V_j, I_i)$	Type de Changements	Partie Disparue	Nouvelle Partie	Partie Non- Changée
	DC	V_j : Objet Disparu	V_j : Disparu	-	-
	EC	V_j : Objet Disparu	V_j : Disparu	-	-
	PO	V_j : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu à I_i	La région de la différence $V_j - I_i$	La région de la différence $I_i - V_j$	La région de l'intersection $V_j \cap I_i$
	TPP	V_j : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu à I_i	-	La région de la différence $I_i - V_j$	La région de l'intersection $V_j \cap I_i$
	NTPP	V_j : Objet Étendu "en Nouvelle Partie" Apparu à I_i	-	La région de la différence $I_i - V_j$	La région de l'intersection $V_j \cap I_i$
	TPPi	V_j : Objet Rétréci Tangentiel "en Partie" Disparu à I_i	La région de la différence $V_j - I_i$	-	La région de l'intersection $V_j \cap I_i$
	NTPPi	V_j : Objet Rétréci "en Partie" Disparu à I_i	La région de la différence $V_j - I_i$	-	La région de l'intersection $V_j \cap I_i$
	EQ	Pas de Changement ($V_j = I_i$)	-	-	La région de l'intersection $V_j \cap I_i$

Table. 3.21 : Règles topologiques du système RCC-16 pour identifier et détecter les changements entre objet V_j de la carte V et objet I_i de l'image I

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objct_Img2Vec »					
Objet I_i vers Objet V_j	Relation $R21(I_i, V_j)$	Type de Changements	Partie Disparue	Nouvelle Partie Apparue	Partie Non- Changée
	DC	I_i : Nouvel Objet	-	I_i : Nouvel	-
	EC	I_i : Nouvel Objet	-	I_i : Nouvel	-
	PO	I_i : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de V_j	La région de la différence $V_j - I_i$	La région de la différence $I_i - V_j$	La région de l'intersection $I_i \cap V_j$
	TPP	I_i : Objet Rétréci Tangentiel "en Partie" Disparu de V_j	La région de la différence $V_j - I_i$	-	La région de l'intersection $I_i \cap V_j$
	NTPP	I_i : Objet Rétréci "en Partie" Disparu de V_j	La région de la différence $V_j - I_i$	-	La région de l'intersection $I_i \cap V_j$
	TPPi	I_i : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu de V_j	-	La région de la différence $I_i - V_j$	La région de l'intersection $I_i \cap V_j$
	NTPPi	I_i : Objet Étendu "en Nouvelle Partie" Apparu de V_j	-	La région de la différence $I_i - V_j$	La région de l'intersection $I_i \cap V_j$

I_i  V_j	EQ	<i>Pas de Changement</i> ($I_i = V_j$)	-	-	<i>La région de l'intersection</i> $I_i \cap V_j$
---	-----------	---	---	---	--

Table. 3.22 : Règles topologiques du système RCC-16 pour identifier et détecter les changements entre objet I_i de l'image I et objet V_j de la carte V

Revenons sur l'exemple de démonstration (Figure 3.8) et les matrices de similarités « Sim_Objet_Vec2Img » et « Sim_Objet_Img2Vec », dans les tables suivantes (Table 3.23 et Table 3.24), les changements détectés sont identifiés dans les types définis par les règles topologiques du système RCC-16.

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objet_Vec2Img »			
<i>Sim_Objet_Vec2Img</i> (V_j, I_i)	<i>Objets de l'Image I</i> <i>Similaire à V_j</i>	<i>Relation Topologique</i> <i>du Système RCC-16 :</i> <i>R12 (V_j, I_i)</i>	<i>Type de Changements</i>
<i>Sim_Objet_Vec2Img</i> (1, .)	1'	TPPi	1 à 1' : Objet Rétréci Tangentiel "en Partie" Disparu
<i>Sim_Objet_Vec2Img</i> (2, .)	2'	EQ	2 à 2' : Non - Changement
<i>Sim_Objet_Vec2Img</i> (3, .)	3'	TPP	3 à 3' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu
<i>Sim_Objet_Vec2Img</i> (4, .)	4'	TPP	4 à 4' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu
<i>Sim_Objet_Vec2Img</i> (5, .)	-	DC	5 : Objet Disparu
<i>Sim_Objet_Vec2Img</i> (6, .)	6'	TPP	6 à 6' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu
<i>Sim_Objet_Vec2Img</i> (7, .)	7'	TPP	7 à 7' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu

Table. 3.23 : Détection de changements de la carte V vers l'image satellite I

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objet_Img2Vec »			
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (I_i, V_j)	<i>Objet de la Carte V</i> <i>Similaire à I_i</i>	<i>Relation Topologique</i> <i>du Système RCC-16 :</i> <i>R21 (I_i, V_j)</i>	<i>Type de Changements</i>
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (1', .)	1	TPPi	1' : Objet Rétréci Tangentiel "en Partie" Disparu de 1
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (2', .)	2	EQ	2' : Non - Changement de 2
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (3', .)	3	TPPi	3' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu de 3
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (4', .)	4	TPPi	4' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu de 4
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (5', .)	7	EC	5' : Nouvel Objet
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (6', .)	6	TPPi	6' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu de 6
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (7', .)	7	TPPi	7' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparu de 7
<i>Sim_Objet_Img2Vec</i> (8', .)	-	DC	8' : Nouvel Objet

Table. 3.24 : Détection de changements de l'image satellite I vers la carte V

En conclusion sur ces deux matrices, l'importance pour la détection de changement est la relation entre les deux objets de V et de I et n'est pas les objets similaires.

Par exemple, dans la matrice « Sim_Obj_Img2Vec », l'objet 5' est similaire à l'objet 7 mais ce n'est pas vrai (voir Figure 3.9). En revanche, nous trouvons que l'objet 5' est un nouvel objet apparu dans l'image satellite parce que la relation EC entre 5' et 7 détermine et définit le type de changement où l'objet 5' n'existait pas dans la carte V et l'objet 7 devient l'objet 7' dans la nouvelle image.

Nous trouvons que l'objet 8' est un nouvel objet apparu dans l'image satellite. L'objet 2 de la carte V n'a pas subi de changements et il est égal à l'objet 2' de l'image satellite (voir Figure 3.9). L'objet 3 de la carte V a subi des changements de type « extension tangentielle d'objet "en nouvelle partie" apparu » de la scène pour devenir l'objet 3' dans l'image satellite. L'objet 1 de la carte V a subi de changements de type « diminution tangentielle d'objet "en partie" disparu » de la scène pour devenir l'objet 1' dans l'image satellite. Alors que l'objet 4 de la carte V a subi de changements de type « extension tangentielle d'objet "en nouvelle partie" apparu » de la scène spatiale V pour devenir l'objet 4' dans l'image satellite I (voir Figure 3.9).

Enfin, ces données de changements détectées (apparition et disparition d'objets, etc.) seront stockées dans des bases de données des SIG pour mettre à jour ces bases. Nous présentons les changements détectés (pour (1) les objets de la carte V de SIG et (2) les objets extraits de l'image satellite I) en trois cartes de changements (Figure 3.9) : (3) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus, (4) Objets disparus ou "en partie" disparus, (5) Objets non-changés ou "en partie" non-changés. Cette méthode permet de détecter automatiquement chaque type de changements et donner en sortie les changements identifiés.

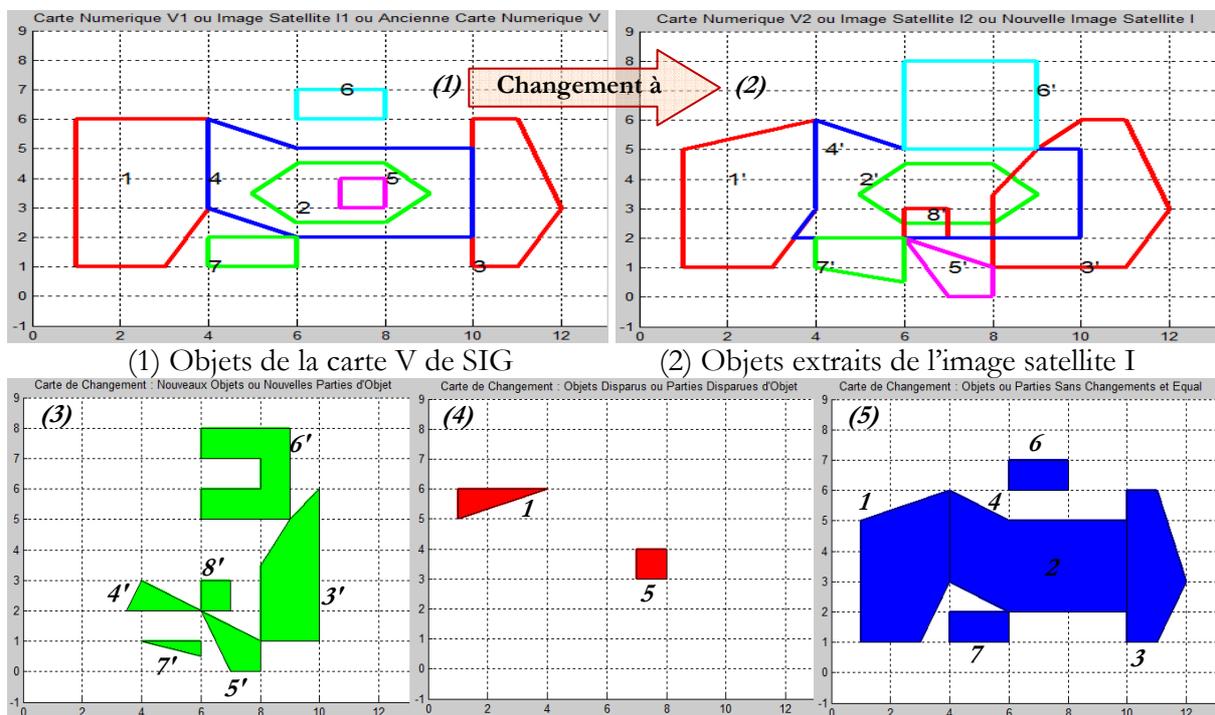


Fig. 3.9 : Cartes de changements pour : (3) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus (Vert), (4) Objets disparus ou "en partie" disparus (Rouge), (5) Objets non-changés ou "en partie" non-changés (Bleu)

En conclusion, cette nouvelle méthode de détection de changements permet de détecter tous les types de changements entre deux scènes spatiales et de constituer une carte de changements d'une scène à l'autre. Cette méthode est très utile pour la détection de changements dans le cas d'une catastrophe naturelle (tempête, inondations, etc.) afin d'identifier les dégâts.

Dans les sections 3.4.1.1 et 3.4.1.2, nous allons étudier l'application de cette méthode. Nous allons présenter deux exemples d'application de cette méthode pour détecter et identifier des changements entre : (1) deux cartes vectorielles des données de la base CLC à dates différentes (CLC1990 et CLC2000), et (2) deux images satellites LANDASAT à dates différentes.

Dans la prochaine section, nous allons étudier l'application de cette méthode pour la détection de changements entre deux cartes vectorielles de la base CORINE Land Cover (CLC).

3.4.1.1. Exemple d'Application 1 : Détection de Changements entre Deux Cartes Vectorielles des SIG de la Base CORINE Land Cover (CLC)

La première application de cette nouvelle méthode est de détecter et d'identifier les changements entre deux cartes numériques vectorielles produites à dates différentes (T1 pour V1 et T2 pour V2).

La nouvelle méthode est présentée par la Figure 3.10 où nous n'avons pas besoin de traiter la vectorisation (classification, segmentation, etc.) de données de la base CLC. Cette application est plus simple que l'application de détection de changements entre deux images. Dans cette application, nous prenons deux cartes numériques vectorielles de la base CORINE Land Cover (CLC)¹ à deux dates différentes des années 1990 et 2000 (V1 pour CLC1990 et V2 pour CLC2000)² pour le département du "Loiret" en France et la vérification des résultats est faite par superposition et interprétation visuelle des données (Figure 3.11).

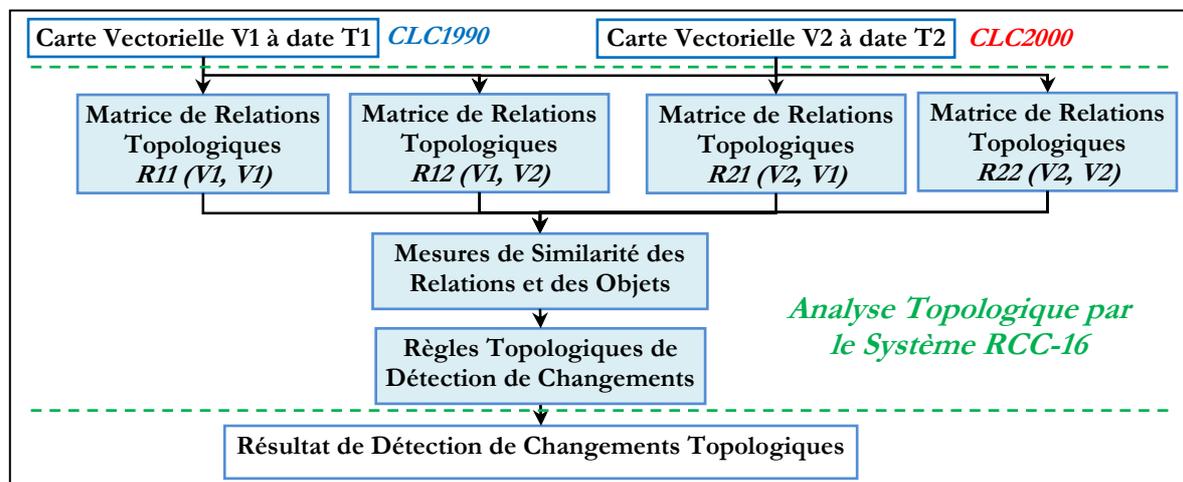


Fig. 3.10 : Application de la méthode de détection de changement entre deux cartes vectorielles de la base CLC par analyse topologique du système RCC-16

¹ Agence Européenne de l'Environnement, CORINE Land Cover (CLC) Project : <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

² CORINE Land Cover Changes (CLC) from CLC1990 to CLC2000 : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-changes-clc1990-clc2000-100-m-version-12-2009>

Dans ces deux cartes CLC1990 et CLC2000, nous cherchons à détecter : les objets sans changement (Relation EQ), les objets avec tous les changements de type prédéfinis dans notre méthode : les nouveaux objets et les objets disparus (Relation DC ou EC), objet "en nouvelle partie" apparu et "en partie" disparu (Relation PO), objet rétréci (érodé) tangentiel "en partie" disparu et objet étendu tangentiel "en nouvelle partie" apparu (Relation TPPi ou TPP).

Le nombre d'objets dans ces deux cartes de la base CLC est de 3920 objets pour la carte V1 (CLC1990) et de 3823 objets pour la carte V2 (CLC2000). Avec ce grand nombre d'objets, nous constatons que, en MATLAB, les calculs de matrices de relations topologiques entre ces objets et les mesures de similarité deviennent très longs et lents en termes de temps de calculs et d'obtention des résultats. Il faudra dire qu'une mise en œuvre avec d'autres outils de programmation devra être envisagée dans une application réelle. Pour éviter cela, nous cherchons des changements visuellement détectés afin de procéder à les détecter par la validation de notre méthode. Pour cette raison, nous prenons 10 objets de la carte V1 (CLC1990) (voir Figure 3.12) et 10 objets de la carte V2 (CLC2000) (voir Figure 3.12).

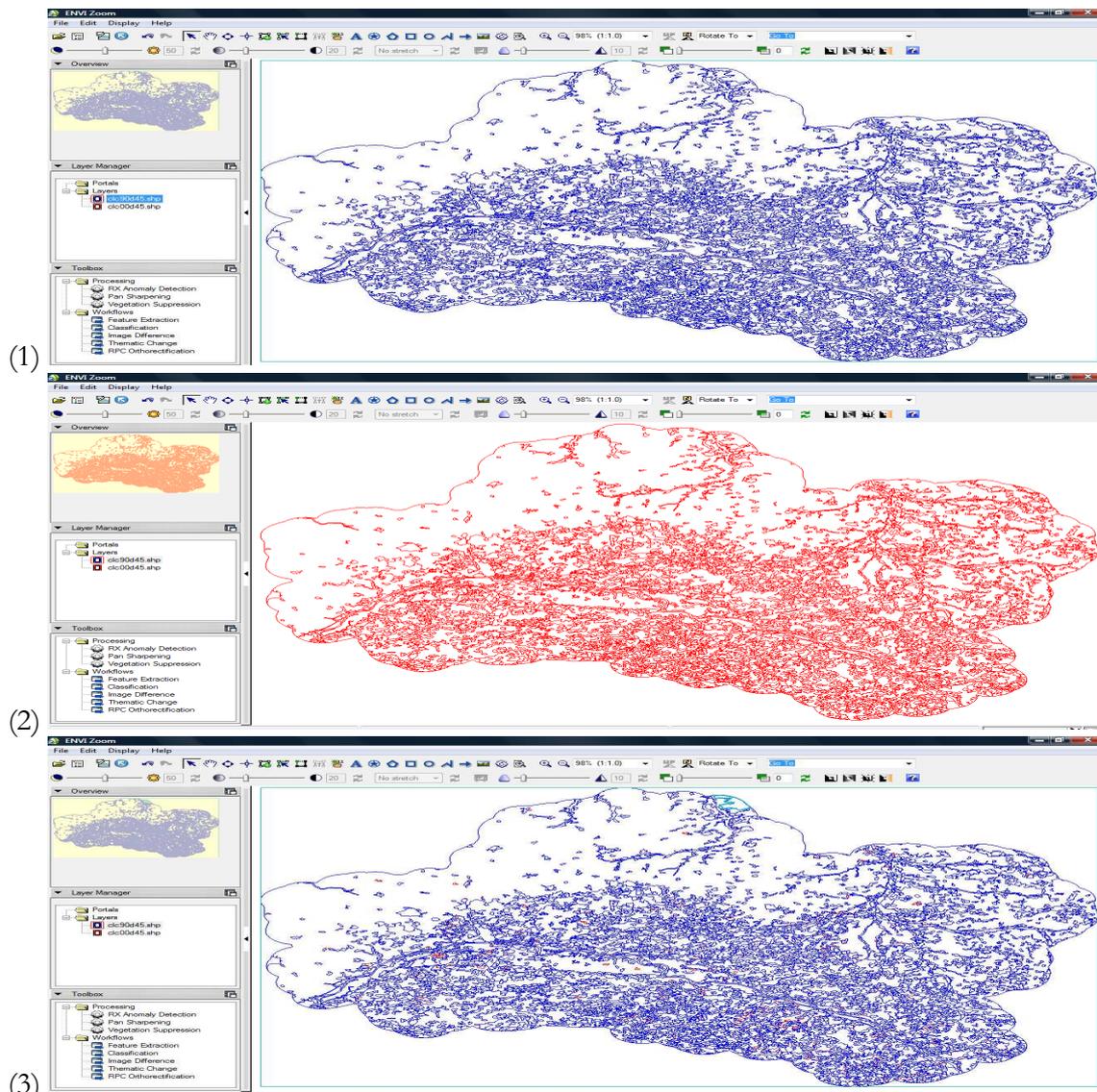


Fig. 3.11 : Deux cartes vectorielles de la base CLC : (1) V1 : CLC1990 (en Bleu), (2) V2 : CLC2000 (en Rouge), (3) Deux cartes superposées pour le département du Loiret en France

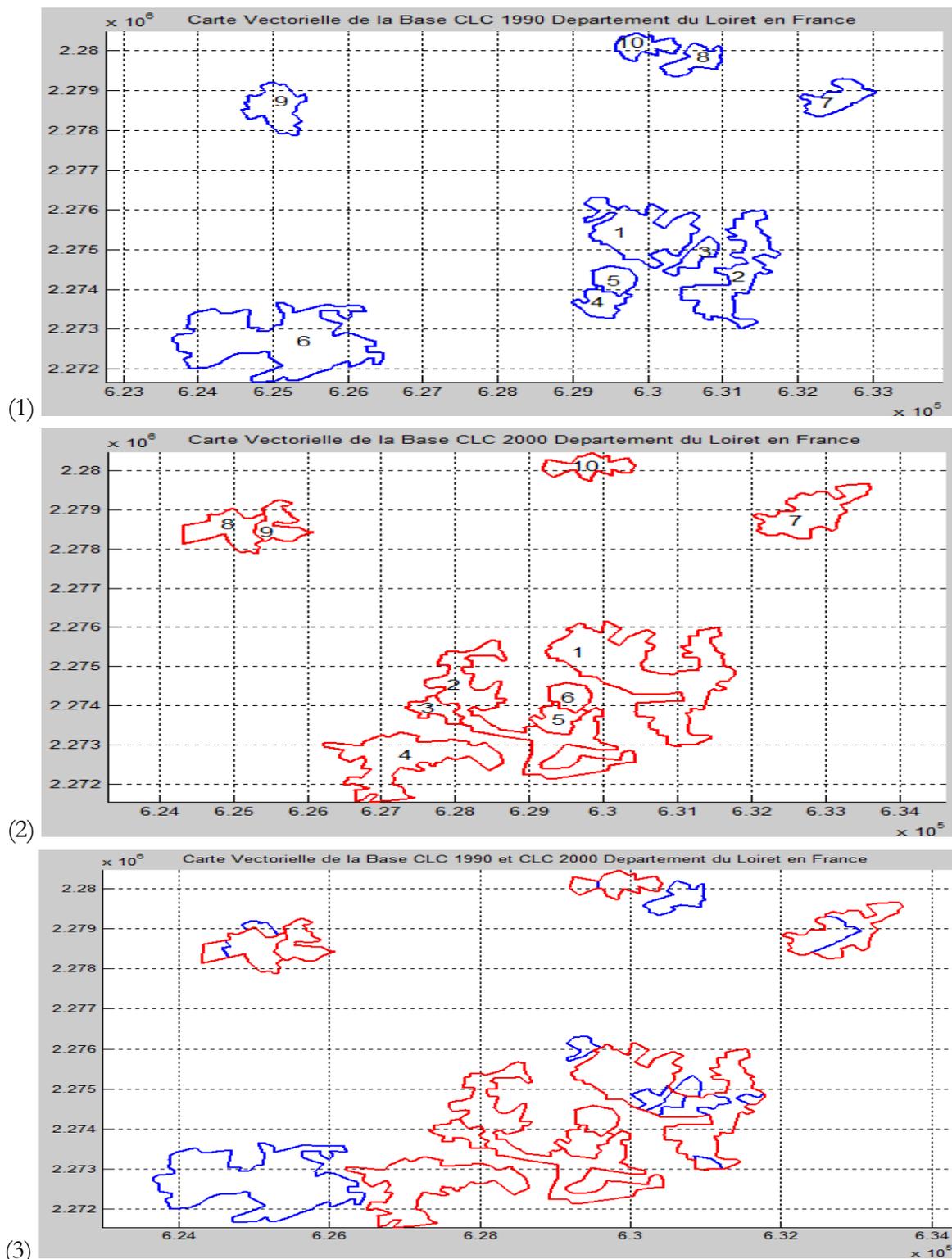


Fig. 3.12 : Objets géographiques (département "Loiret") de deux cartes vectorielles de la base CLC : (1) V1(CLC1990), (2) V2 (CLC2000), (3) Objets de deux cartes superposées

Nous appliquons notre méthode de détection de changements en prenant : les objets de la nouvelle carte V2 (CLC2000) sont notés (en vert) : 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', 9', 10'; et les objets de l'ancienne carte V1 (CLC1990) sont notés (en bleu) : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Nous trouvons

les changements survenus dans le temps dans le deux sens de V1 vers V2. Les résultats de détection de changements obtenus par notre méthode sont présentés dans les Tables 3.25 et 3.26.

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objet_Vec ² Vec ¹ »			
<i>Sim_Objet_Vec²Vec¹</i> <i>(V2_i, V1_j)</i>	<i>Objet de V2</i> <i>Similaire à V1_j</i>	<i>Relation RCC-16</i> <i>: R21 (V2_i, V1_j)</i>	<i>Type de Changements</i>
1'	1	PO	1' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparue et "en Partie" Disparu de 1
2'	2	DC	2' : Nouvel
3'	3	DC	3' : Nouvel
4'	-	DC	4' : Nouvel
5'	4	EQ	5 : Non - Changement de 4 (Pas de Changement)
6'	5	EQ	6' : Non - Changement de 5 (Pas de Changement)
7'	7	TPPi	7' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" de 7
8'	9	PO	8' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparue et "en Partie" Disparu de 9
9'	9	EC	9' : Nouvel
10'	10	TPPi	10' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" de 10

Table. 3.25 : Détection de changements de la nouvelle carte V2 (CLC2000) "Vec²" vers l'ancienne carte V1 (CLC1990) "Vec¹" pour le département du Loiret en France

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objet_Vec ¹ Vec ² »			
<i>Sim_Objet_Vec¹Vec²</i> <i>(V1_j, V2_i)</i>	<i>Objets de V1</i> <i>Similaire à V2_i</i>	<i>Relation du RCC-16</i> <i>: R12 (V1_j, V2_i)</i>	<i>Type de Changements</i>
1	1'	PO	1 à 1' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparue et "en Partie" Disparu
2	2'	DC	2 : Disparu
3	3'	DC	3 : Disparu
4	5'	EQ	4 à 5' : Non - Changement (Pas de Changement)
5	6'	EQ	5 à 6' : Non - Changement (Pas de Changement)
6	-	DC	6 : Disparu
7	7'	TPP	7 à 7' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparue
8	-	DC	8 : Disparu
9	8'	PO	9 à 8' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparue et "en Partie" Disparu
10	10'	TPP	10 à 10' : Objet Étendu Tangentiel "en Nouvelle Partie" Apparue

Table. 3.26 : Détection de changements de l'ancienne carte V1 (CLC1990) "Vec¹" vers la nouvelle carte V2 (CLC2000) "Vec²" pour le département du Loiret en France

Nous trouvons que les résultats obtenus par notre méthode sont valides et vrais. Nous procédons à les vérifier visuellement. Les deux objets 5' et 6' de la carte V2 (CLC2000) sont égaux aux objets 4 et 5 de la carte V1 (CLC1990) et ils n'ont pas subi de changements (voir Tables 3.25 et 3.26, et Figure 3.13). Quatre nouveaux objets (2', 3', 4', 9') sont apparus dans la

nouvelle carte V2 (voir Table 3.25 et Figure 3.13). En revanche, quatre objets (2, 3, 6, 8) de la carte V1 ont disparu dans la nouvelle carte V2 (voir Table 3.26 et Figure 3.13). L'objet 1 de l'ancienne carte V1 est devenu l'objet 1' dans la nouvelle carte V2 en ajoutant une nouvelle partie et perdant une partie de l'objet 1 (la relation topologique PO - voir Tables 3.25 et 3.26, et Figure 3.13). La même remarque est faite pour l'objet 8' de la carte V2 (CLC2000). La relation topologique (TPP ou TPPi) entre les deux objets 10' de la carte V2 (CLC2000) et 10 de la carte V1 (CLC1990) détermine le type de changement entre ces deux objets (voir Tables 3.25 et 3.26, et Figure 3.13).

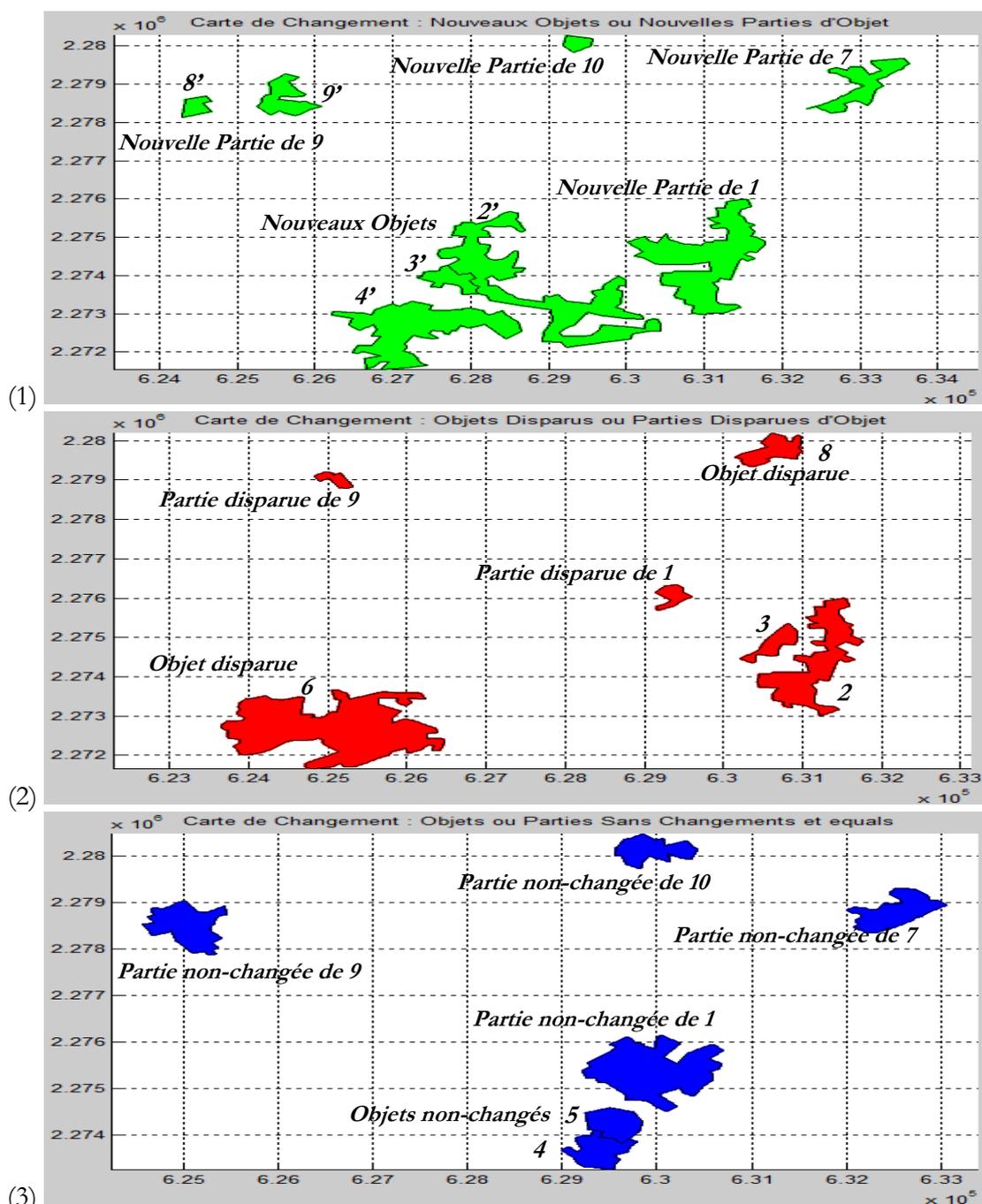


Fig. 3.13 : Cartes de changements détectés : (1) Nouveaux objets, (2) Objets disparus, (3) Objets non-changés (sans changement)

Une autre application de notre méthode est réalisée en prenant des objets géographiques de la base CLC (CLC1990 et CLC2000) pour le département du "La Somme" en France (voir Figure 3.14). Nous détectons les changements de ces objets par cette méthode (voir Tables 3.27 et 3.28) et nous obtenons les cartes de changements présentées dans la Figure 3.15 pour les nouveaux objets, les objets disparus et les objets non-changés.

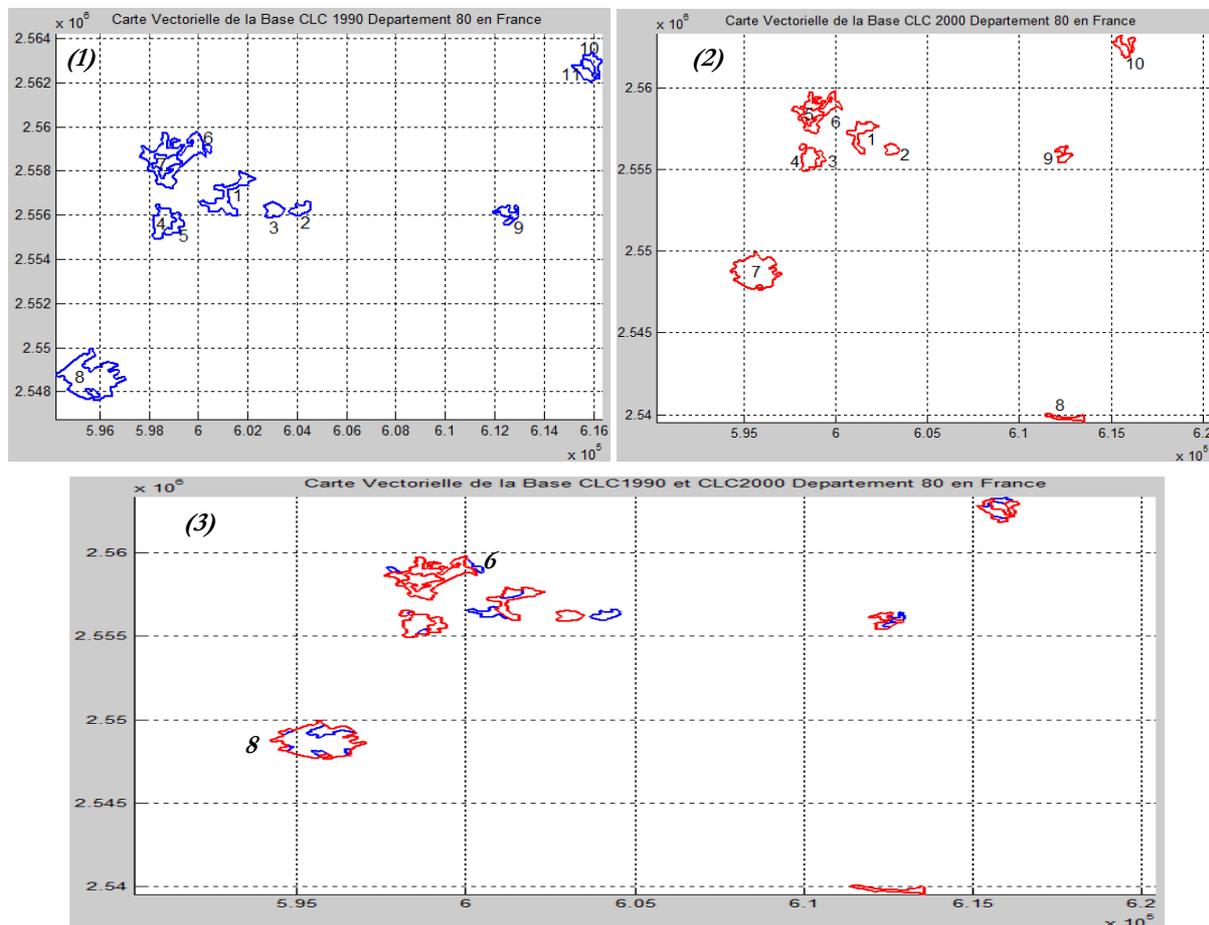


Fig. 3.14 : Objets géographiques (département "La Somme") de deux cartes vectorielles de la base CLC : (1) V1(CLC1990), (2) V2 (CLC2000), (3) Objets de deux cartes superposées

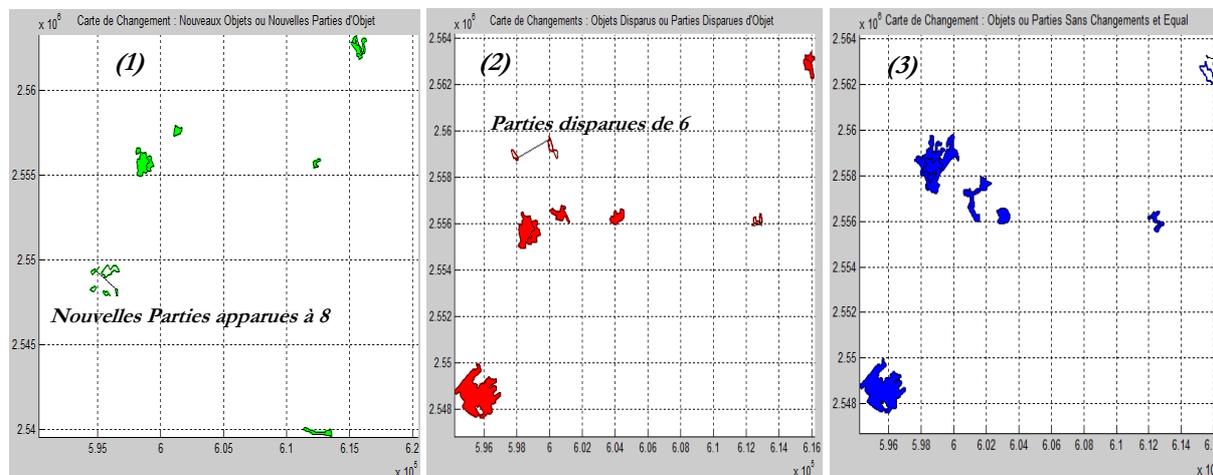


Fig. 3.15 : Cartes de changements détectés : (1) Nouveaux objets, (2) Objets disparus, (3) Objets non-changés (sans changement)

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objet_Vec ² Vec ¹ »			
<i>Sim_Objet_Vec²Vec¹</i> <i>(V_{2i}, V_{1j})</i>	<i>Objet de V2</i> <i>Similaire à V_{1j}</i>	<i>Relation RCC-16 :</i> <i>R21 (V_{2i}, V_{1j})</i>	<i>Type de Changements</i>
1'	1	PO	1' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de 1
2'	3	EQ	2' : Non - Changement de 3 (Pas de Changement)
3'	-	DC	3' : Nouvel
4'	4	EC	4' : Nouvel
5'	7	EQ	5 : Non - Changement de 7 (Pas de Changement)
6'	6	TPP	6' : Objet Rétréci Tangentiel "en Partie" Disparu de 6
7'	8	PO	7' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de 8
8'	-	DC	8' : Nouvel
9'	9	PO	9' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de 9
10'	10	EC	10' : Nouvel

Table. 3.27 : Détection de changements de la nouvelle carte V2 (CLC2000) " Vec^{2m} vers l'ancienne carte V1 (CLC1990) " Vec^{1m} pour le département de "La Somme" en France

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objet_Vec ¹ Vec ² »			
<i>Sim_Objet_Vec¹Vec²</i> <i>(V_{1j}, V_{2i})</i>	<i>Objets de V1</i> <i>Similaire à V_{2i}</i>	<i>Relation du RCC-16 :</i> <i>R12 (V_{1j}, V_{2i})</i>	<i>Type de Changements</i>
1	1'	PO	1 à 1' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu
2	-	DC	2 : Disparu
3	2'	EQ	3 à 2' : Non - Changement (Pas de Changement)
4	4'	EC	4 : Disparu
5	-	DC	5 : Disparu
6	6'	TPPi	6 à 6' : Objet Rétréci Tangentiel "en Partie" Disparu
7	5'	EQ	7 à 5' : Non - Changement (Pas de Changement)
8	7'	PO	8 à 7' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu
9	9'	PO	9 à 9' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu
10	10'	EC	10 : Disparu
11	10'	PO	11 à 10' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu

Table. 3.28 : Détection de changements de l'ancienne carte V1 (CLC1990) " Vec^{1m} vers la nouvelle carte V2 (CLC2000) " Vec^{2m} pour le département de "La Somme" en France

Dans la prochaine section, nous allons étudier l'application de cette méthode pour la détection de changements entre deux images satellites issues du capteur LANDSAT.

3.4.1.2. Exemple d'Application 2 : Détection de Changements entre Deux Images Satellites Acquises à Dates Différentes

La deuxième application de cette nouvelle méthode est de détecter et d'identifier les changements entre deux images satellites (I1 pour l'ancienne image et I2 pour la nouvelle image) prises à dates différentes (T1 pour I1 et T2 pour I2). La nouvelle méthode est présentée par la Figure 3.16 où nous avons traité les deux images par méthodes de classification et vectorisation des données. La vérification de cette méthode est faite en parallèle par la méthode de post-classification. Dans cette application de validation, nous prenons deux images satellites LANDSAT¹ pour la région et la ville de Lattaquié en Syrie (voir sa localisation en PP.253). La résolution de ces deux images LANDSAT est de 28.5 m. L'ancienne image LANDSAT est datée du 01 Octobre 1987 (Figure 3.17). La nouvelle image est datée du 26 Juin 2007 (Figure 3.18).

La classification, la conversion de raster à vecteur (Raster2Vecteur ou R2V) (Figures 3.17 et 3.18) et la post-classification sont faites par le logiciel ENVI (Version 4.7)² et ENVI EX³. Les mêmes paramètres de classification non-supervisée (ISODATA) et la conversion R2V sont appliqués pour les deux images afin d'éviter les problèmes de confusion entre les objets polygonaux.

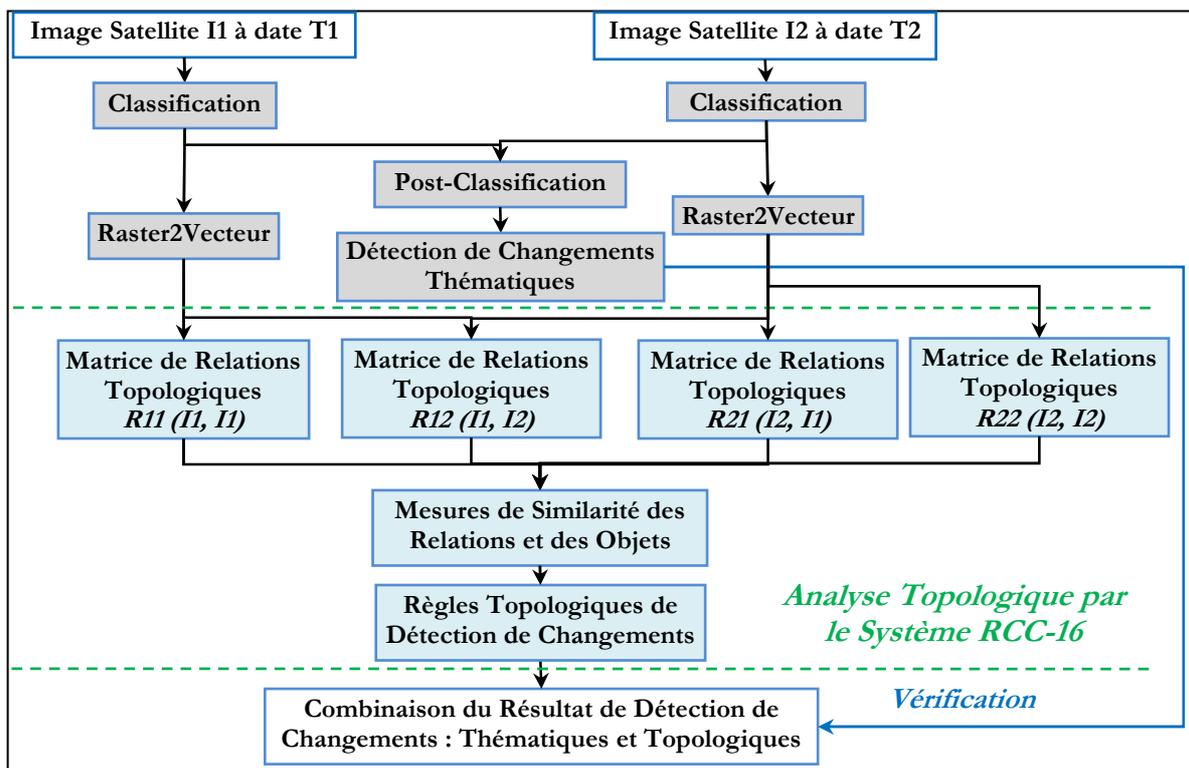


Fig. 3.16 : Application de la méthode de détection de changement entre deux images satellites par analyse topologique du système RCC-16

¹ Ces images satellites dans ce mémoire sont fournies par l'université de Damas en Syrie : <http://www.damascusuniversity.edu.sy/en/index.php>

² ENVI - ITT Visual Information Solutions, Image Processing & Data Analysis : <http://www.itvis.com/Default.aspx> , <http://www.itvis.com/ProductServices/ENVI.aspx>

³ ENVI Software - Image Processing & Analysis Solutions : <http://www.itvis.com/ProductServices/ENVI/ENVIEX/ENVIEXCapabilities/tabid/379/language/fr-FR/Default.aspx>

Dans ces deux images, nous nous intéressons à la détection des changements des zones d'eau (Figures 3.19 et 3.20) de tous types définis dans cette méthode : (1) les nouveaux objets et les objets disparus (Relation DC ou EC), et objet "en nouvelle partie" apparu et "en partie" disparu (Relation PO). Par exemple, nous trouvons de nouveaux objets (changements des zones d'eau : lac, etc.) (Figures 3.19 et 3.20) qui apparaissent sur la scène et c'est le cas du lac d'ALSEN construit en 1990. Les objets qui occupaient l'espace de ce nouveau lac sont disparus de la nouvelle image. La Figure 3.19 représente les objets vectoriels de la classe « zones d'eau » extraite de ces deux images satellites. La Figure 3.20 représente trois types de changements de cette classe des zones d'eau : (1) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus, (2) Objets disparus ou "en partie" disparus, (3) Objets non-changés ou "en partie" non-changés.

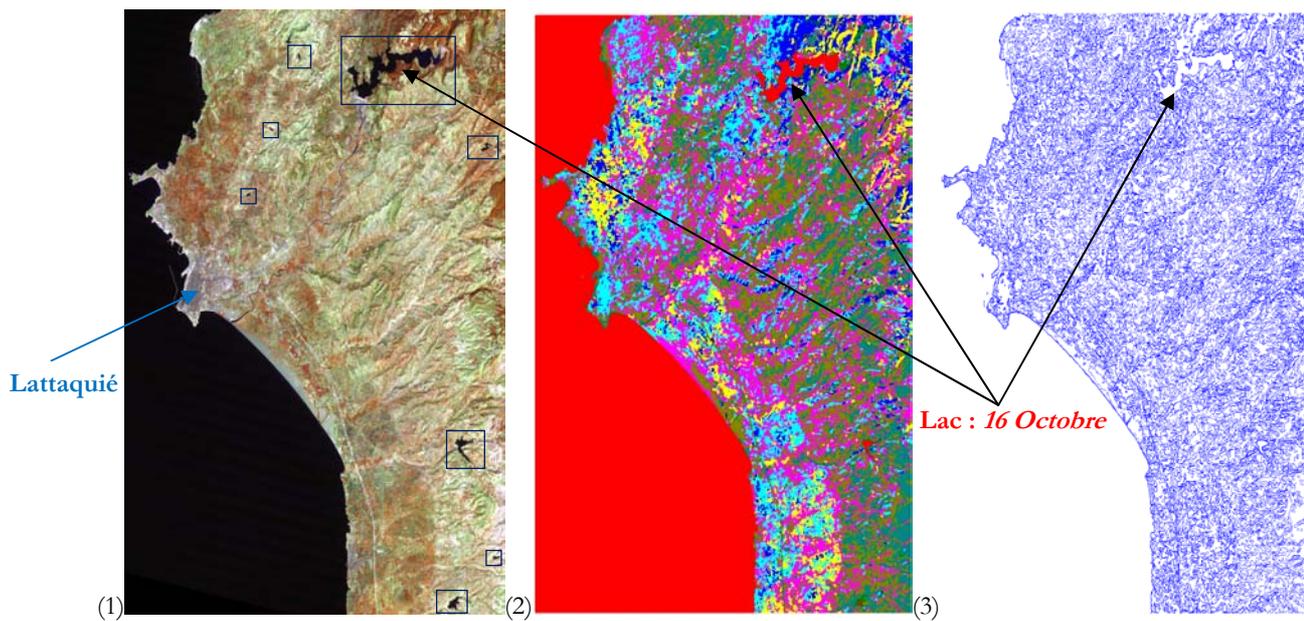


Fig. 3.17 : (1) Image satellite (I1) LANDSAT (Date 01-10-1987), (2) Classification ENVI, (3) Objets du résultat R2V, pour la région et la ville de Lattaquié en Syrie (Lac : 16 Octobre)

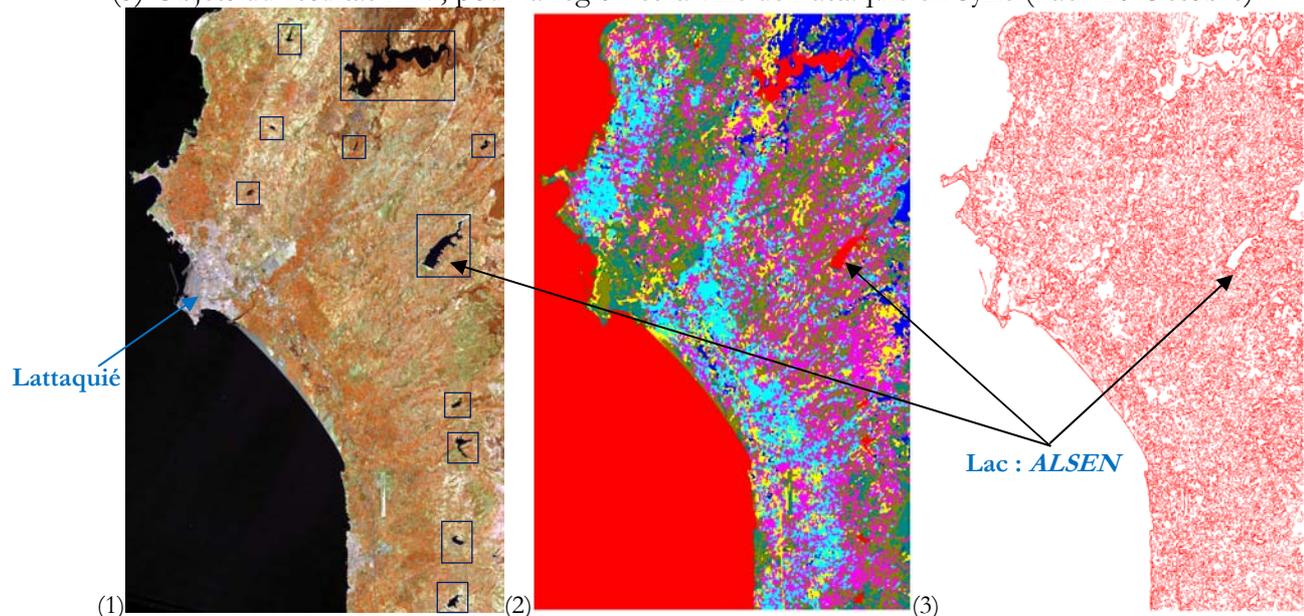


Fig. 3.18 : (1) Image satellite (I2) LANDSAT (Date 26-26-2007), (2) Classification ENVI, (3) Objets du résultat R2V, pour la région et la ville de Lattaquié en Syrie (Lac : ALSEN)

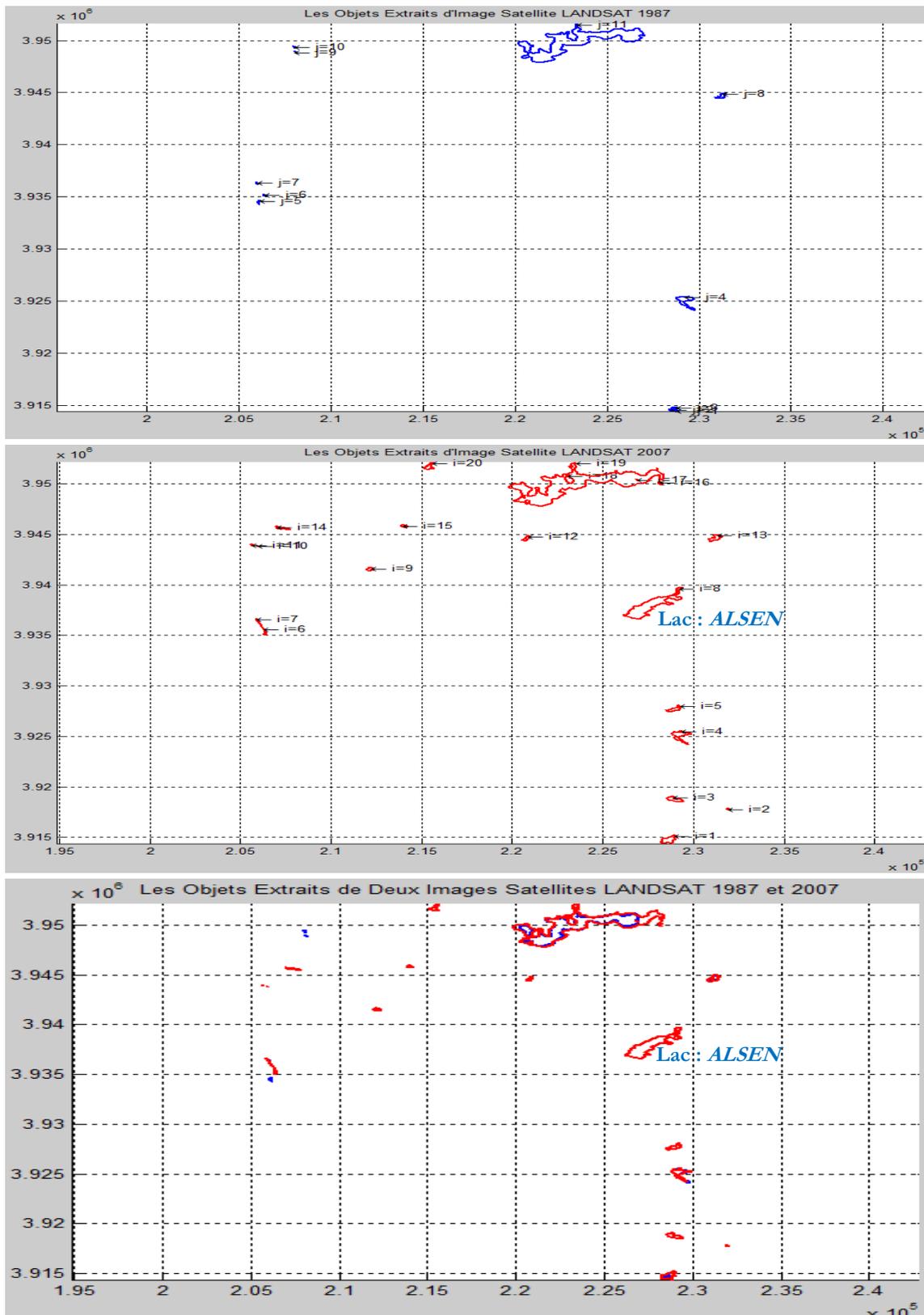


Fig. 3.19 : Objets géographiques de la classe « zones d'eau hors la Mer Méditerranée » extraite de deux images satellites (LANDSAT1987 et LANDSAT2007) présentées en données vectorielles polygonales (1987 en Bleu et, 2007 en Rouge)

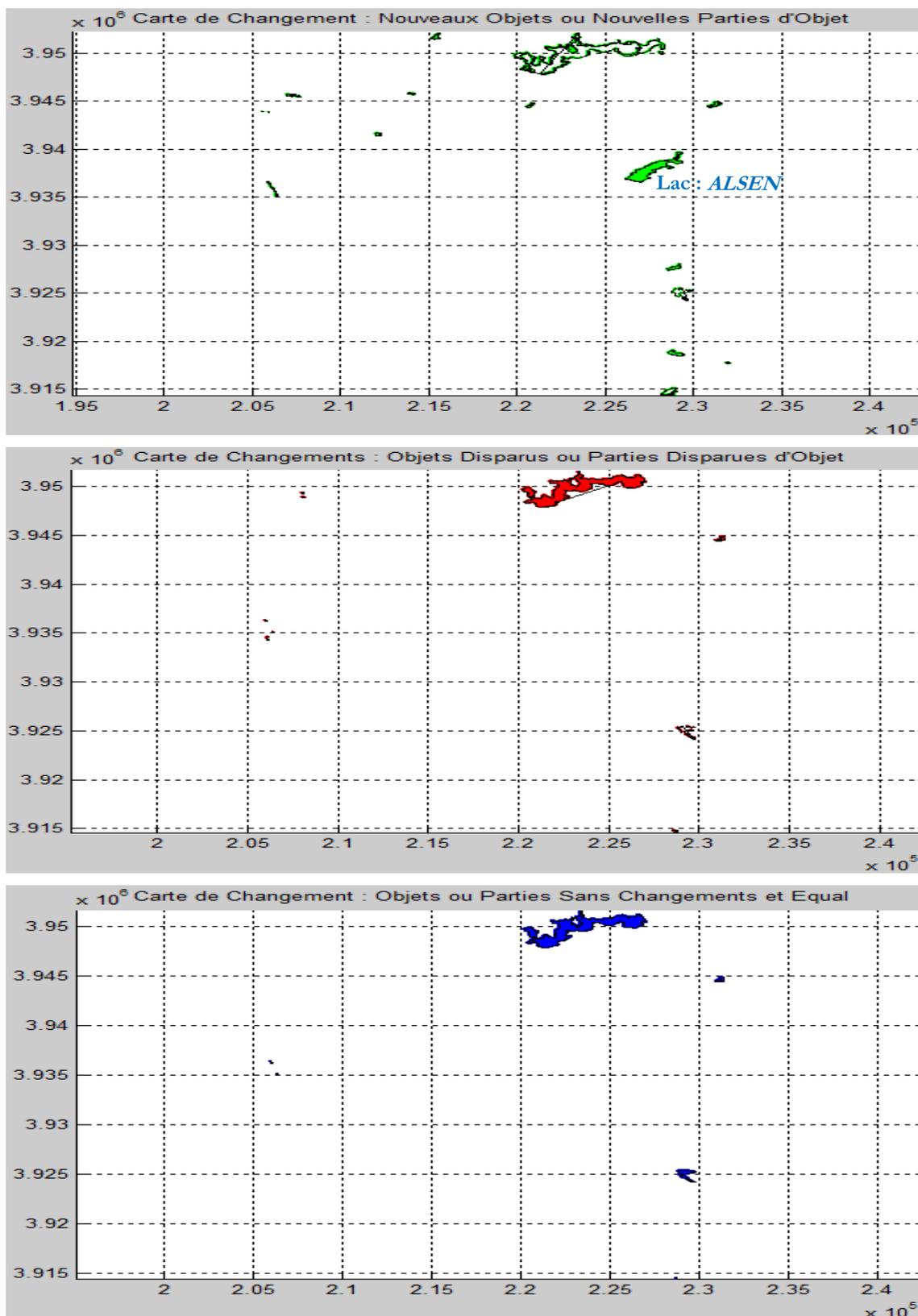


Fig. 3.20 : Cartes de changements des zones d'eau : (1) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus (Vert), (2) Objets disparus ou "en partie" disparus (Rouge), (3) Objets non-changés ou "en partie" non-changés (Bleu)

Enfin, un rapport de détection de changements (Tables 3.29 et 3.30) est généré et délivré automatiquement en MATLAB¹ à la fin de cette méthode pour les changements dans les deux sens de l'image I1 (LANDSAT 1987) vers l'image I2 (LANDSAT 2007).

Nous trouvons que parmi les 11 objets géographiques extraits de l'image I1 (voir Figure 3.19), 5 objets sont disparus complètement de la nouvelle image I2 (voir Figure 3.20). Nous trouvons aussi que parmi les 20 objets géographiques extraits de l'image I2, 13 objets sont apparus comme nouveaux objets dans la nouvelle image I2 (voir Figure 3.20). Par exemple, parmi ces 13 objets, le lac d'ALSEN (objet 8', voir Table 3.29 et Figure 3.20) apparaît sur la scène de la nouvelle image I2.

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objet_Img ² 2Img ¹ »			
<i>Sim_Objet_Img²2Img¹</i> <i>(I2_i, I1_j)</i>	<i>Objet de I2</i> <i>Similaire à I1_j</i>	<i>Relation RCC-16</i> <i>: R21 (I2_i, I1_j)</i>	<i>Type de Changements</i>
1'	1	<i>NTPPi</i>	<i>1' : Objet Étendu "en Nouvelle Partie" Apparu de 1</i>
2'	2	<i>DC</i>	<i>2' : Nouvel</i>
3'	-	<i>DC</i>	<i>3' : Nouvel</i>
4'	4	<i>PO</i>	<i>4' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de 4</i>
5'	5	<i>DC</i>	<i>5' : Nouvel</i>
6'	6	<i>PO</i>	<i>6' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de 6</i>
7'	7	<i>PO</i>	<i>7' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de 7</i>
<i>8' (Lac : ALSEN)</i>	8	<i>DC</i>	<i>8' : Nouvel</i>
9'	9	<i>DC</i>	<i>9' : Nouvel</i>
10'	10	<i>DC</i>	<i>10' : Nouvel</i>
11'	11	<i>DC</i>	<i>11' : Nouvel</i>
12'	10	<i>DC</i>	<i>12' : Nouvel</i>
13'	8	<i>PO</i>	<i>13' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de 8</i>
14'	10	<i>DC</i>	<i>14' : Nouvel</i>
15'	10	<i>DC</i>	<i>15' : Nouvel</i>
16'	10	<i>DC</i>	<i>16' : Nouvel</i>
17'	-	<i>DC</i>	<i>17' : Nouvel</i>
18'	11	<i>PO</i>	<i>18' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu</i>
<i>19' (Lac : 16 Octobre)</i>	11	<i>PO</i>	<i>19' : Objet "en Nouvelle Partie" Apparu et "en Partie" Disparu de 11</i>
20'	10	<i>DC</i>	<i>20' : Nouvel</i>

Table. 3.29 : Détection de changements de l'image satellite I2 (Img²) vers l'image satellite I1 (Img¹)

¹ Tous les calculs et les mesures de matrices de relations topologiques, matrices de similarité (relations et objets), les règles topologiques, les rapports de changements et la visualisation des résultats des cartes de changements sont développés et implémentés en utilisant MATLAB : <http://www.mathworks.fr/>

Détection de Changements par la Matrice de Similarité des Objets « Sim_Objet_Img ¹ 2Img ² »			
<i>Sim_Objet_Img¹2Img²</i> <i>(I₁, I₂)</i>	<i>Objets de l'Image</i> <i>I1 Similaire à I2i</i>	<i>Relation du RCC-</i> <i>16 : R12 (I₁, I₂)</i>	<i>Type de Changements</i>
1	1'	<i>NTPP</i>	<i>1 à 1' : Objet Étendu "en Nouvelle Partie" Appar</i>
2	2'	<i>DC</i>	<i>2 : Disparu</i>
3	-	<i>DC</i>	<i>3 : Disparu</i>
4	4'	<i>PO</i>	<i>4 à 4' : Objet "en Nouvelle Partie" Appar et "en Partie" Disparu</i>
5	5'	<i>DC</i>	<i>5 : Disparu</i>
6	6'	<i>PO</i>	<i>6 à 6' : Objet "en Nouvelle Partie" Appar et "en Partie" Disparu</i>
7	7'	<i>PO</i>	<i>7 à 7' : Objet "en Nouvelle Partie" Appar et "en Partie" Disparu</i>
8	13'	<i>PO</i>	<i>8 à 13' : Objet "en Nouvelle Partie" Appar et "en Partie" Disparu</i>
9	9'	<i>DC</i>	<i>9 : Disparu</i>
10	10'	<i>DC</i>	<i>10 : Disparu</i>
<i>11 (Lac : 16 Octobre)</i>	<i>19'</i>	<i>PO</i>	<i>11 à 19' : Objet "en Nouvelle Partie" Appar et "en Partie" Disparu</i>

Table. 3.30 : Détection de changements de l'image satellite I1 (Img¹) vers l'image satellite I2 (Img²)

Nous trouvons les changements de classes thématiques avec les statistiques des changements détectés (voir Figures 3.21 et 3.22) par la méthode de post-classification appliquée en ENVI V4.7. En comparaison avec notre méthode, cette méthode n'indique pas le type de changements (nouvel objet ou disparition d'objet, etc.). Par exemple, nous ne pouvons pas savoir si l'objet 8' dans la nouvelle image est un nouvel objet ou un objet disparu par les résultats affichés (en ENVI) dans les Figures 3.21 et 3.22.

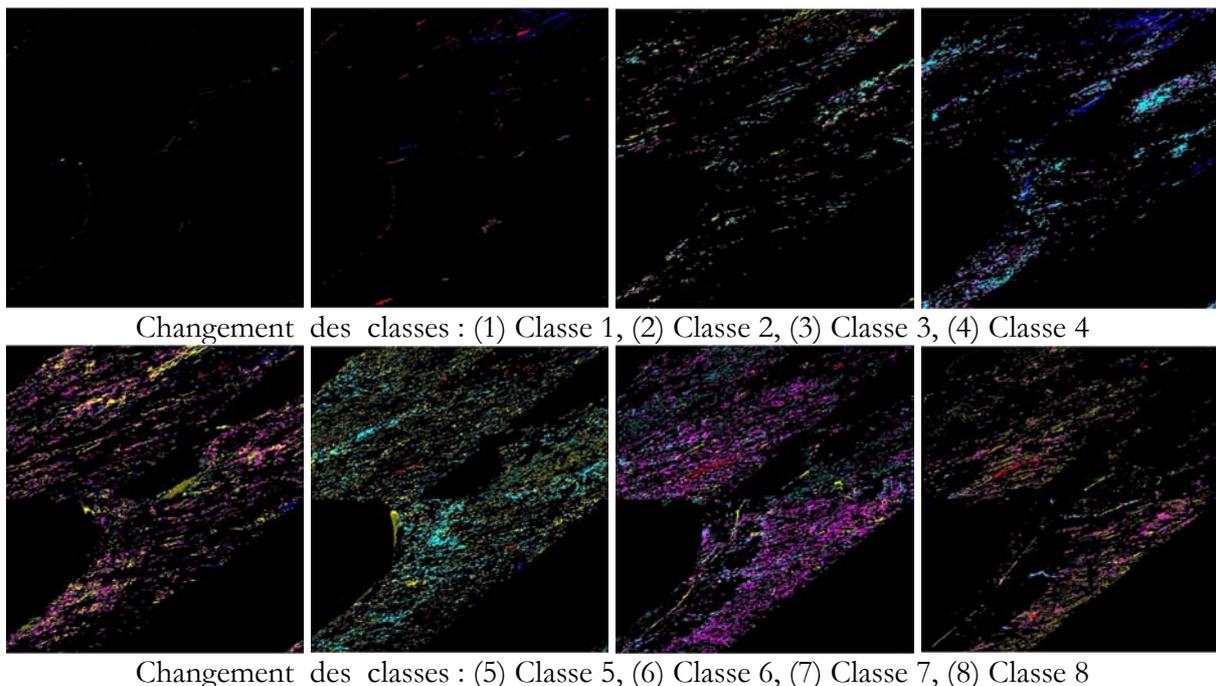


Fig. 3.21 : Résultats de détection de changements des classes par post-classification (ENVI)

Change Detection Statistics (Initial State: CLASS_Satimg_1987, Final State: CLASS_Satimg_2007)

File Options Help

Pixel Count Percentage Area (Square Meters) Reference

		Initial State								Row Total	Class Total
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8		
Final State	Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Class 1	498345	2823	728	173	1364	1537	2266	1937	509173	509173
	Class 2	862	433	279	42	336	328	324	477	3081	3081
	Class 3	28	3082	27440	12319	5711	2779	976	577	52912	52912
	Class 4	146	226	12056	7746	38604	24021	14876	5199	102874	102874
	Class 5	0	274	13302	36353	33161	50502	19759	3829	157180	157180
	Class 6	17	154	7703	17015	45882	104763	90034	20398	285966	285966
	Class 7	125	198	4308	4780	27526	73217	123451	51081	284686	284686
	Class 8	141	219	2220	1265	7414	15972	31945	37812	96988	96988
	Class Total	499664	7409	68036	79693	159998	273119	283631	121310		
Class Changes	1319	6976	40596	71947	126837	168356	160180	83498			
Image Difference	9509	-4328	-15124	23181	-2818	12847	1055	-24322			

Change Detection Statistics (Initial State: CLASS_Satimg_1987, Final State: CLASS_Satimg_2007)

File Options Help

Pixel Count Percentage Area (Square Meters) Reference

		Initial State								Row Total	Class Total
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8		
Final State	Unclassified	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Class 1	99.736	38.102	1.070	0.217	0.853	0.563	0.799	1.597	100.000	100.000
	Class 2	0.173	5.844	0.410	0.053	0.210	0.120	0.114	0.393	100.000	100.000
	Class 3	0.006	41.598	40.332	15.458	3.569	1.018	0.344	0.476	100.000	100.000
	Class 4	0.029	3.050	17.720	9.720	24.128	8.795	5.245	4.286	100.000	100.000
	Class 5	0.000	3.698	19.551	45.616	20.726	18.491	6.966	3.156	100.000	100.000
	Class 6	0.003	2.079	11.322	21.351	28.677	38.358	31.743	16.815	100.000	100.000
	Class 7	0.025	2.672	6.332	5.998	17.204	26.808	43.525	42.108	100.000	100.000
	Class 8	0.028	2.956	3.263	1.587	4.634	5.848	11.263	31.170	100.000	100.000
	Class Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000		
Class Changes	0.264	94.156	59.668	90.280	79.274	61.642	56.475	68.830			
Image Difference	1.903	-58.415	-22.229	29.088	-1.761	4.704	0.372	-20.049			

Fig. 3.22 : Résultats statistiques des changements par post-classification (ENVI)

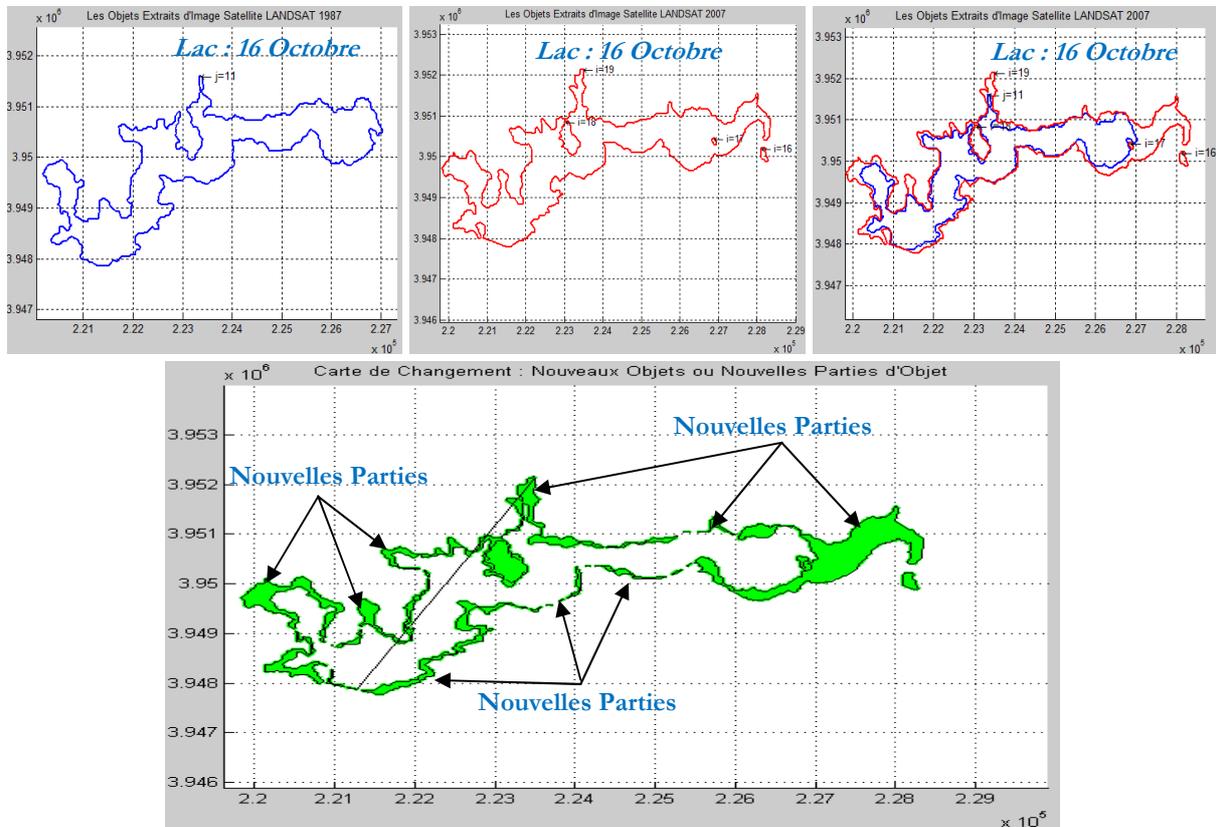


Fig. 3.23 : Cas étudié - détection de changements du lac "16 Octobre"

Un cas intéressant dans les résultats de notre méthode (dans les Tables 3.29 et 3.30) à étudier et à présenter (voir Figure 3.23) est que la détection du changement du lac "16 Octobre" les deux objets 18' et 19' de la nouvelle image I2 ont le même objet similaire de l'ancienne image I1 (voir Figure 3.23). La relation topologique entre ces deux objets et l'objet 11 est PO. Dans ce cas, la première remarque est que nous trouvons que l'objet 11 de I1 a gagné du terrain en conservant une partie de ces terrains pour créer l'objet 18' (voir Figure 3.23) et l'objet 11 de I1 (dans la Table 3.30) est définitivement devenu l'objet 19' (lac "16 Octobre") dans l'image I2 (voir Figure 3.23). La deuxième remarque dans ce cas est qu'il y a plusieurs nouvelles parties apparues de l'objet 11 pour devenir l'objet 19' parce que la forme de la relation PO entre ces deux objets est complexe. La troisième est que, à cause de cette relation PO entre l'objet 11 et les deux objets 18' et 19', l'objet 11 a été indiqué comme objet disparu (voir Figure 3.20).

En outre, nous pouvons dire que cette méthode de détection de changements permet de suivre l'état et les étapes de changements de chaque objet.

En comparaison avec les autres méthodes de détection de changements (différence, rapport d'images, post-classification, etc.) présentées dans le chapitre 1, l'avantage de cette méthode est qu'elle détecte automatiquement les changements, elle décrit les types de ces changements en détails et permet de distinguer les nouveaux objets et les objets disparus dans deux scènes spatiales. Ces données de changements (apparition et disparition d'objets, etc.) sont retournées pour mettre à jour les bases de données des SIG.

Dans la section suivante, nous allons présenter une classification générale des types de changements topologiques en nous basant sur les types étudiés dans la littérature et les types développés dans la méthode proposée en fonction de la relation topologique entre régions.

3.4.1.3 Classification des Types de Changements (Cas Étudiés) : Changements de Base et Complexes

Dans cette section, nous allons présenter une classification des types de changements dans deux catégories principales (voir Table 3.31) : (1) changements de base, et (2) changements complexes avec leurs relations topologiques équivalentes de la méthode proposée de détection de changements (voir Table 3.10). Les types de changements étudiés dans la littérature sont aussi présentés et résumés dans la Table 3.31.

L'objectif de cette classification est de montrer que les règles topologiques des types de changements développés (voir Tables 3.10, 3.21, et 3.22) dans la méthode proposée permettent de détecter et d'identifier tous ces types de changements.

La base de cette classification de types de changements topologiques est les travaux de recherche et les études menés par les auteurs [Claramunt et al. 1995] [Claramunt et al. 1997] [Galton 1997] [Gooday et al. 1997] [Hornsby et al. 1997] [Claramunt et al. 1999] [Stell 2003] [Zhou et al. 2004b] [Hazarika 2005] [Egenhofer et al. 2006] [Chen et al. 2007] [Farah et al. 2008] [Jiang et al. 2008] [Jiang et al. 2009 a & b & c & d] [Sadeq et al. 2008] [Stell et al. 2008] [Shi et al. 2010] [Del Mondo et al. 2010] [Duckham et al. 2010]. Les changements topologiques sont classés en : (1) changements de bas niveau (par exemple : apparition, disparition, stabilité, etc.) concernant une seule région spatiale, (2) changements complexes : de haut niveau (par exemple : fusion de deux régions, division d'une région en deux autres, etc.) concernant deux régions spatiales ; et de très haut niveau (par exemple : fusion de plusieurs régions avec déformation et rotation, ou division d'une région en plusieurs avec déformation, etc.) concernant trois (ou plus) régions spatiales ou deux scènes spatiales [Claramunt et al. 1995] [Claramunt et al. 1999] [Egenhofer et al. 2006] [Zhou et al. 2008b] [Jiang et al. 2009a].

Dans les travaux [Claramunt et al. 1995] [Claramunt et al. 1997] [Claramunt et al. 1999] [Del Mondo et al. 2010], les auteurs s'intéressent à la description et la modélisation spatio-temporelle des phénomènes géographiques et des objets des SIG, et des changements de l'utilisation du sol. Cependant, dans les travaux de [Jiang et al. 2008] [Farah et al. 2008] [Sadeq et al. 2008] [Jiang et al. 2009 a & b & c & d] [Shi et al. 2010], les auteurs s'intéressent à la détection des changements topologiques qualitatifs (apparition, disparition, fusion et division) dans les configurations des capteurs géo-localisées des réseaux sans fils (Wireless Geo-Sensor Networks (WSNs)) où les capteurs permettront généralement de suivre l'état temporel des phénomènes géographiques dynamiques.

Classification Générale des Types de Changements Topologiques				Règles Topologiques de la Méthode Proposée (Table 3.10)
Changements Topologiques de Base	Changements de Bas Niveau : Une seule région spatiale prise en compte et concernée	Existence, ou Non-Existence	1) Apparition	DC, EC
			2) Disparition	DC, EC
			3) Stabilité, Égalité, Non-Changement	EQ
		Changements de Taille, ou de Forme	4) Extension, Croissance, Élargissement	TPPi, NTPPi
			5) Contraction, Réduction, Rétrécissement (Rétrécissements)	TPP, NTPP
			6) Déformation	PO
		Changements de Location, de Position, d'Orientation, par Déplacement ou Mouvement	7) Déplacement : Mouvement avec Chevauchements	PO
			8) Déplacement : Mouvement sans Chevauchements	DC, EC
			9) Rotation	PO
Changements Topologiques Complexes	Changements de Haut Niveau : Deux régions spatiales prises en compte et concernées	10) Split, Division		TPP, NTPP
		11) Unification, Union, Fusion		TPPi, NTPPi
		12) Rectification : Modification de la frontière commune		TPP, TPPi
		13) Réallocation		PO
Changements de Très Haut Niveau : Plusieurs (trois ou plus) régions spatiales prises en compte et concernées	14) En réalité : Combinaisons de tous ces types de changements topologiques	- La fusion de plusieurs régions en une seule région avec déformation	Une ou plusieurs relations topologiques peuvent être existées	
		- La division d'une région en plusieurs régions avec déformation		
		...		

Table. 3.31 : Classification des types de changements topologiques : Changements de base et complexes

Les objets traités dans ces travaux [Jiang et al. 2009 a & b & c & d] ne sont pas réels et ils représentent des configurations topologiques des capteurs géo-localisées. En revanche, les auteurs de [Zhou et al. 2004b] [Chen et al. 2007] [Zhou et al. 2008b] ont étudié la modélisation et l'identification des changements topologiques des structures cadastrales et ont consacré leurs

recherches pour l'analyse des changements des parcelles (fusion, division, rectification, etc.) et pour la mise à jour des données des Systèmes d'Information Cadastre (SIC). Dans le même contexte, les auteurs de [Egenhofer et al. 2006] ont étudié la détection de changements dans les relations topologiques pour deux types de changements : division d'une région et la fusion de deux ou plusieurs régions.

Les auteurs de [Stell 2003] [Stell et al. 2008] [Duckham et al. 2010] ont étudié les changements qualitatifs [Duckham et al. 2010] et spatiaux [Stell et al. 2008] avec l'évolution des objets [Stell 2003]. Les changements fondamentaux présentés dans ces travaux sont apparition, disparition, fusion, et division, et les changements des attributs spatiaux des objets.

L'auteur de [Galton 1997] a proposé des descriptions qualitatives des changements spatiaux continus dans le temps où la continuité de changements a une importance pour suivre l'évolution complète d'un objet.

Un formalisme de haut niveau « Transition Calculus » a été introduit par l'auteur de [Gooday et al. 1997] pour le raisonnement sur des actions et des changements où l'action est directement modélisée en terme de l'état de changement survenu.

Les auteurs de [Hornsby et al. 1997] se sont concentrés sur une représentation qualitative de changements. Ils ont proposé une classification de changement fondée sur l'identité d'objets et l'ensemble des opérations (non-existence continue, existence continue, etc.) soit de préserver ou de changement d'identité. Dans le même contexte, étudier des changements basés sur l'identité d'objets dans [Hornsby et al. 2000] a permis de définir de plusieurs combinaisons de transitions possibles et d'opérations de changement basé-identité (non-existence continue sans histoire, création, rappel, détruire, existence continue, élimination, réincarner, non-existence continue avec histoire, etc.). Les auteurs de [Hornsby et al. 2002] ont aussi proposé un modèle spatio-temporel pour modéliser le type de changement (mouvement d'objet) à multiple granularité.

Un modèle sous-jacent d'événement et d'objet géo-spatial a été proposé dans [Worboys et al. 2004] pour introduire l'événement dans un modèle d'objet où les relations objet-événement et événement-événement sont classées et modélisées (création, existence, destruction, fusion et division d'objet) dans un contexte spatio-temporel.

Dans cette étude, nous allons présenter et étudier tous ces types de changements topologiques dans l'objectif de la vérification de la méthode basée sur l'analyse topologique par le système RCC-16 au niveau-1. Dans la suite, pour chaque configuration et scène spatiale, nous avons appliquée la méthode proposée de détection de changements. Nous avons trouvé que les résultats obtenus en sortie sont parfaitement identiques aux changements survenus. Par la suite, nous allons résumer les relations topologiques permettant de distinguer les types de changements topologiques présentés dans la Table 3.31.

- 1)- *La disparition d'objet* est signalée par une de deux relations topologiques DC ou EC entre deux régions spatiales (B et une autre région) à deux moments différents (T1 et T2). Par exemple, l'objet B (voir Figure 3.24) est un objet disparu de la nouvelle scène spatiale.
- 2)- *L'apparition d'objet* est signalée par une de deux relations topologiques DC ou EC. Par exemple, l'objet B' (voir Figure 3.24) est un nouvel objet apparu sur la nouvelle scène.
- 3)- *La stabilité d'objet* (ce type de changement est "*objet non-changé*" ou "*objet sans changement*") est signalé par la relation topologique de l'égalité EQ. Par exemple, les deux objets E et F (voir Figure 3.24) sont stables et ils n'ont pas subi aucun changement car la relation topologique entre l'objet E ou F à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation EQ.

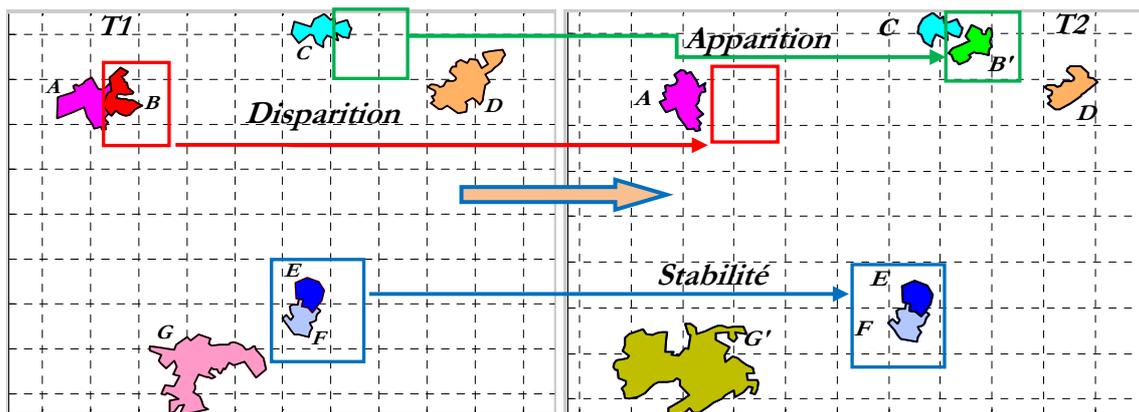


Fig. 3.24 : Types de changements topologiques : *Disparition, Apparition et Stabilité d'objet*

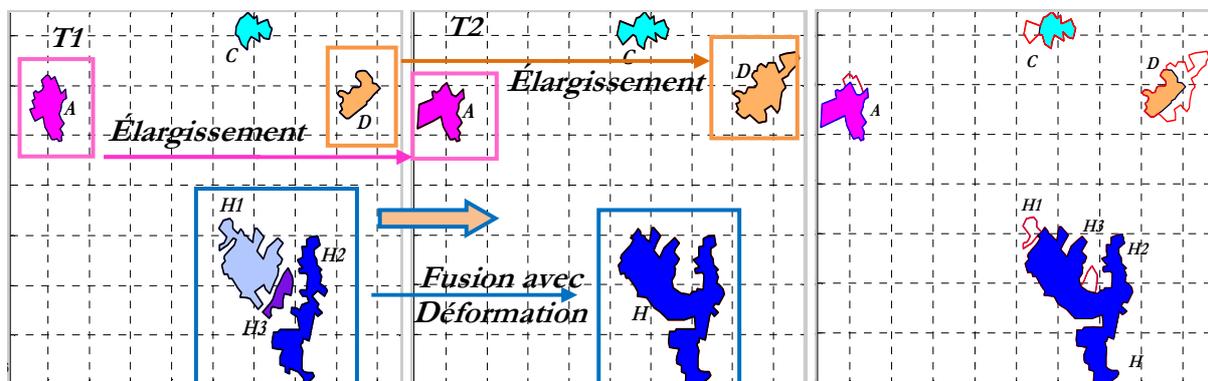


Fig. 3.25 : Types de changements topologiques : *Élargissement (Extension), et Fusion avec déformation d'objets*

- 4)- L'extension, la croissance, l'élargissement ou l'agrandissement d'objet est signalée par les relations topologiques TPPi et NTPPi. Par exemple, la relation topologique entre les objets A, C et D à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation TPPi (voir Figure 3.25).
- 5)- La contraction, ou la rétrécissions d'objet est signalée par les relations topologiques TPP et NTPP. Par exemple, la relation topologique entre l'objet A à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation NTPP (voir Figure 3.26). La relation topologique entre l'objet B à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation TPP (voir Figure 3.26).

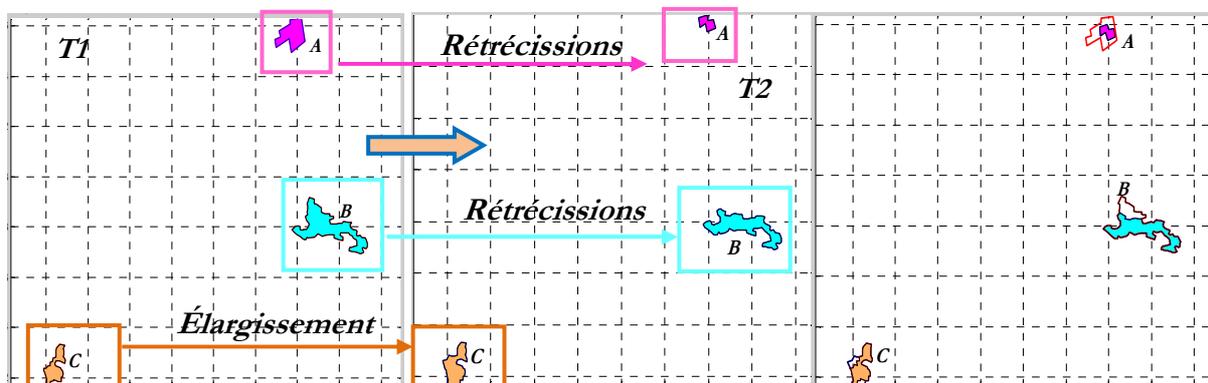


Fig. 3.26 : Types de changements topologiques : *Rétrécissements et Extension*

- 6)- La déformation d'objet est signalée par la relation topologique PO. Par exemple, la relation topologique entre l'objet A à deux moments est décrite par la relation PO (voir Figure 3.27).

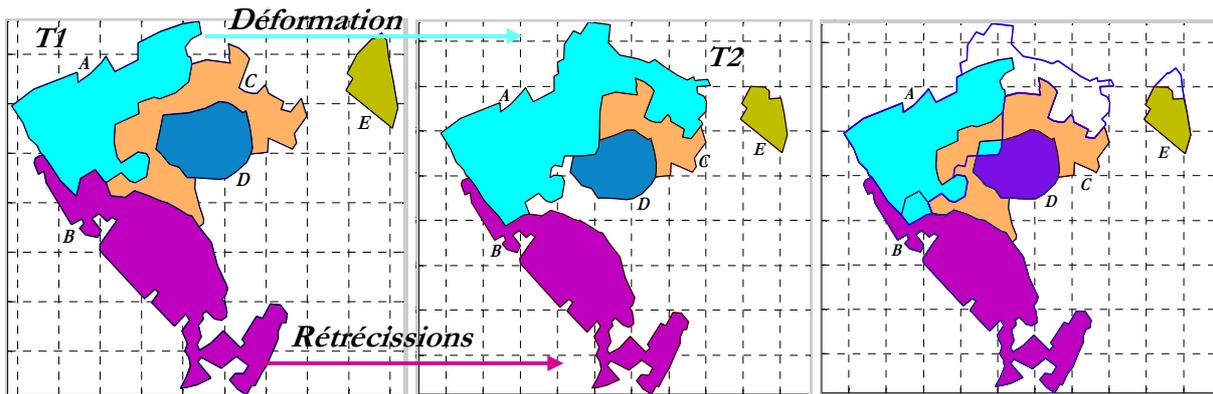


Fig. 3.27 : Types de changements topologiques : *Déformation, Extension et Rétrécissements*

- 7)- La fusion (Merge), l'unification, ou l'union de deux (ou plus) objets est signalée par les relations topologiques TPPi et NTPPi. Par exemple, la relation topologique entre l'objet A et l'objet A1 ou A2 à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation TPPi (voir Figure 3.28). Ainsi, la relation topologique entre l'objet A et l'objet A2 à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation NTPPi (voir Figure 3.29).

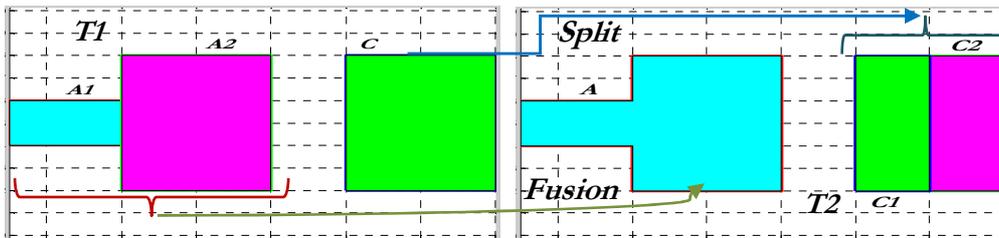


Fig. 3.28 : Types de changements topologiques : *Fusion et Split*

- 8)- La division, ou Split d'objets en deux (ou plus) objets est signalée par les relations topologiques TPP et NTPP. Par exemple, la relation topologique entre l'objet C1 ou C2 et l'objet C à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation TPP (voir Figure 3.28). Ainsi, la relation topologique entre l'objet B2 et l'objet B à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation NTPP (voir Figure 3.29).

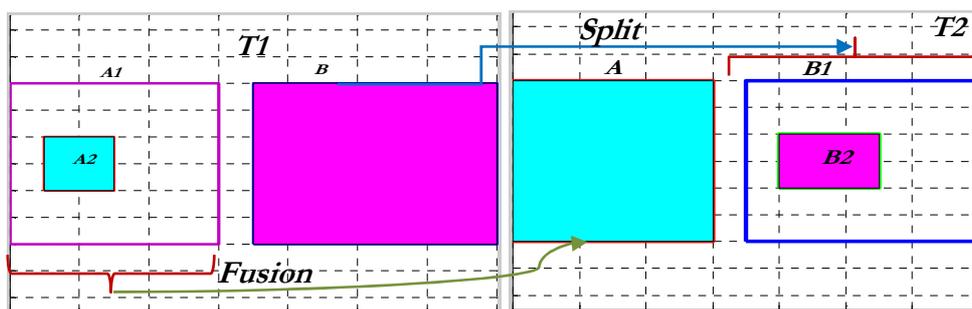


Fig. 3.29 : Types de changements topologiques : *Fusion et Split*

- 9)- Le déplacement et le Mouvement d'objet caractérisés par le changement de Location, de Position, ou d'Orientation sont signalés par les relations topologiques DC et EC (pour le déplacement : mouvement sans chevauchements) et PO (pour le déplacement : mouvement avec chevauchements, ou pour la rotation). Par exemple, la relation topologique entre l'objet A2 et l'objet A1 à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation PO ce qui permet de définir ce type de changement par mouvement avec chevauchements (voir Figure 3.30). Alors que la relation

topologique entre l'objet A3 ou A4 et l'objet A1 à deux moments (T1 et T3 ou T4) est décrite par la relation EC (pour T3) ou DC (pour T4) ce qui permet de définir ce type de changement par mouvement sans chevauchements (voir Figure 3.30). Pour la rotation d'objet, la relation topologique entre l'objet B deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation PO (voir Figure 3.31).

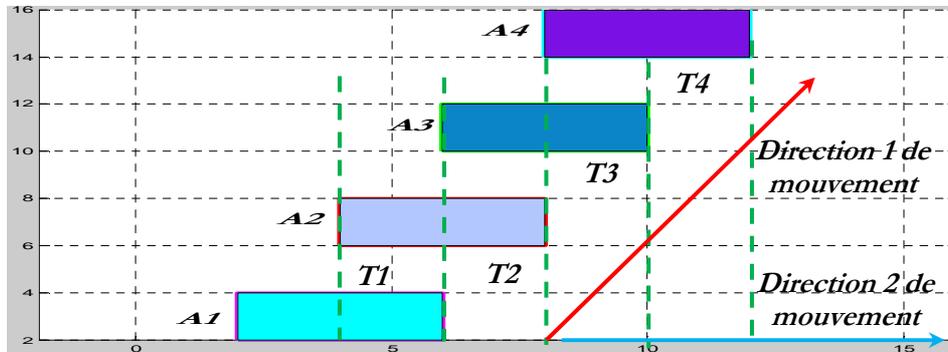


Fig. 3.30 : Types de changements topologiques : Déplacement d'objet

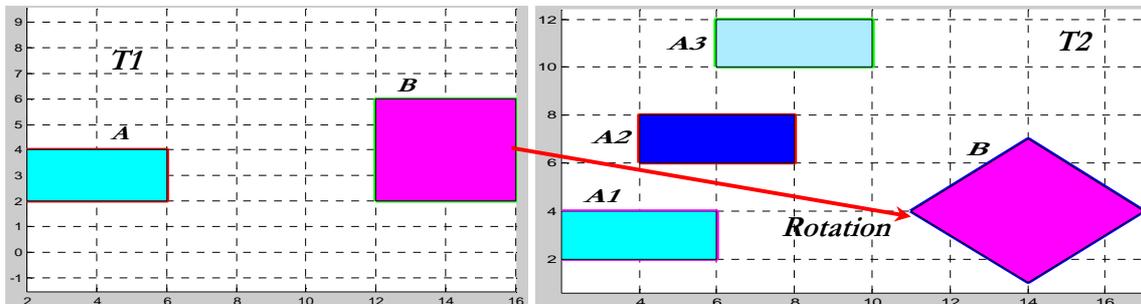


Fig. 3.31 : Types de changements topologiques : Déplacement de A et Rotation de B

10)- La Réallocation d'espace de deux (ou plus) objets caractérisée par le changement de réoccupation d'une espace d'objets par autres objets est signalée par la relation topologique PO. Par exemple, la relation topologique entre l'objet A' ou B' et l'objet A ou B à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation PO (voir Figure 3.32).

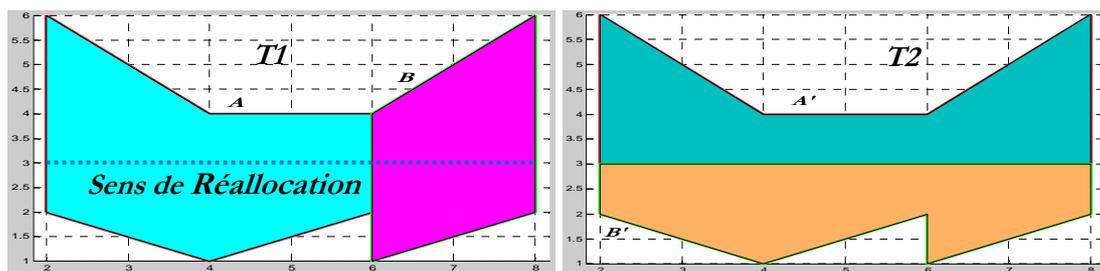


Fig. 3.32 : Types de changements topologiques : Réallocation

11)- La Rectification d'objet caractérisée par le changement ou la modification de la frontière commune entre deux objets est signalée par les relations topologiques TPP ou TPPi. Par exemple, la relation topologique entre l'objet A ou B (voir Figure 3.33) à deux moments (T1 et T2) est décrite par la relation TPP (pour A) ou TPPi (pour B).

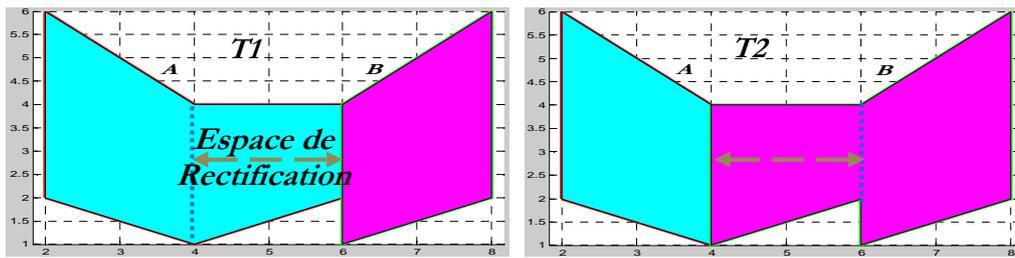


Fig. 3.33 : Types de changements topologiques : *Rectification*

12)- Dans la réalité et dans le domaine de l'imagerie satellitaire, les changements peuvent être plus complexes et beaucoup plus difficiles à détecter et identifiés dans une scène d'imagerie spatiale à haute résolution car parfois chaque changement réel peut être considéré comme la combinaison de plusieurs types de changements topologiques complexes et de base en même temps. Par exemple, dans la Figure 3.34, des objets géographiques extraits d'image satellite et stockés dans la base CLC sont présentés. Nous avons étudié cette situation dans les deux sections précédentes (3.4.1.1 et 3.4.1.2).

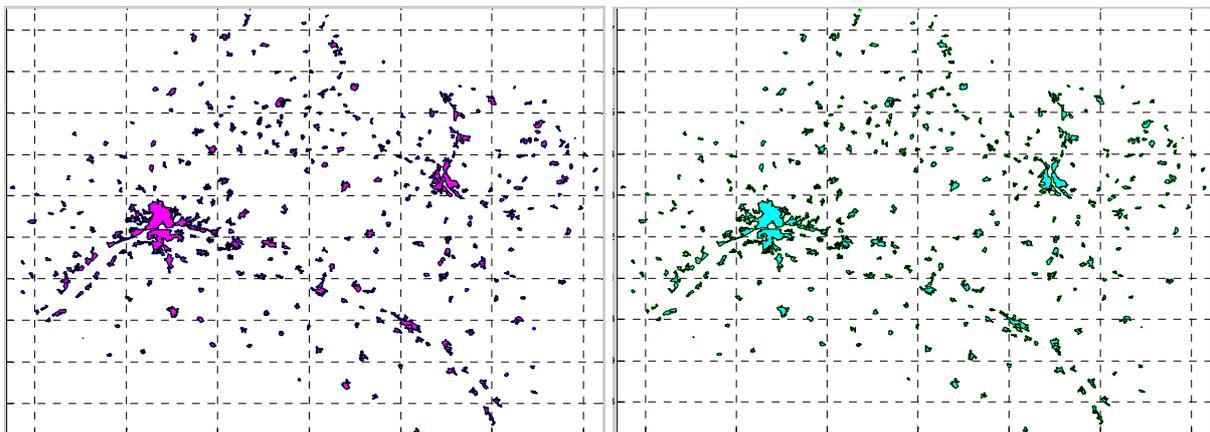


Fig. 3.34 : Types de changements topologiques complexes à très haut niveau

Les opérations pour retourner les changements détectés dans des bases de données des SIG afin de leur mise à jour sont résumées dans les travaux [Zhou et al. 2004] [Chen et al. 2007] [Zhou et al. 2008] par quatre opérations dynamiques : (1) la création ou l'ajout d'un nouvel objet dans la base de données, (2) la suppression ou l'élimination d'un objet, (3) la modification des propriétés spatiales ou thématiques d'un objet, et (4) réincarner ou réactiver un objet.

Les changements détectés par la méthode proposée sont présentés sous trois cartes de changements : (1) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus, (2) Objets disparus ou "en partie" disparus, (3) Objets non-changés ou "en partie" non-changés. Pour cela, nous proposons dans cette étude que les opérations de mise à jour peuvent être résumées en trois opérations comme suit : (1) Sauvegarder les objets non-changés (correspondant à la carte de changements : Objets non-changés), (2) Ajouter tous les nouveaux objets (correspondant à la carte de changements : Nouveaux objets), (3) Supprimer et éliminer tous les objets disparus (correspondant à la carte de changements : Objets disparus).

En conclusion sur notre méthode de détection de changements proposée et implémentée dans cette section, nous trouvons qu'elle donne de bons résultats dans les applications de la validation de cette méthode. Nous avons proposé et implémenté cette nouvelle méthode de détection de changements par analyse topologique du système RCC-16. Cette méthode se

compose de trois étapes importantes : (1) Identification des relations topologiques par des matrices, (2) Mesures de similarité des relations topologiques et des objets, (3) Identification des règles topologiques pour identifier et détecter les changements.

L'intérêt de cette méthode réside dans le fait qu'elle permet de détecter automatiquement les différents changements en détails (Nouvel objet, Disparition d'objet, etc.). L'application de cette méthode de détection de changement a été étudiée pour deux cas : (1) entre deux images satellites prises à dates différentes, (2) entre deux cartes numériques à dates différentes.

Un avantage de cette méthode est qu'elle permet de détailler les changements topologiques, détecter les nouveaux objets et les objets disparus, et suivre l'état de changements de chaque objet en donnant des cartes de changements. Dans le cas d'une catastrophe naturelle, cette méthode nous indique facilement les objets (objets non-changés) qui n'ont pas été affectés, et les objets (nouveaux objets et objets disparus) qui ont subi des conséquences à cause de la catastrophe. Cela permet de faire un recensement rapide des objets endommagés. Par exemple, les habitas endommagés dans le cas d'un tremblement de terre sont équivalents aux objets disparus de la scène et nous pouvons facilement les compter et connaître leur nombre.

La méthode présentée ici dans son ensemble de mesures et calculs, et de résultats obtenus reste satisfaisante et mieux que celle développée par des logiciels du marché (ENVI).

Les inconvénients de cette méthode sont les suivants : elle dépend de la méthode de classification et de vectorisation de données pour avoir des données vectorielles polygonales sans erreur ; elle est coûteuse en termes du temps de calcul. Par exemple, dans nos applications, pour un grand nombre d'objets dans l'image et la carte, les matrices de relations deviennent volumineuses et il est difficile de les construire, traiter et générer rapidement les matrices de similarité des objets. Autrement dit, l'inconvénient de cette méthode est que le temps de calculs est lié au nombre d'objets dans les deux cartes. Si le nombre d'objets est grand alors le temps de calculs est très élevé car la construction des matrices de relations topologiques (en MATLAB) entre les objets et les mesures de similarité (des relations et des objets) prennent beaucoup du temps car le plus gros problème est peut-être la mise en œuvre de cette méthode en MATLAB qui n'est pas du tout optimisée pour ce genre d'applications.

Pour éviter cet inconvénient, nous proposons l'exploration des mesures de similarité par la théorie des graphes. Du point de vue de la théorie des graphes et ses applications dans le domaine du traitement d'images [Inglada et al. 2009] [Jouili et al. 2008] [Yan et al. 2005], les matrices des relations topologiques sont équivalentes à un graphe dont : les nœuds sont les objets et les liaisons entre les objets sont orientées et étiquetées par les relations topologiques du système RCC-16. Pour améliorer cette méthode, nous proposons de travailler sur les mesures de similarité des graphes en prenant et construisant les quatre graphes suivants : (1) Le graphe G_{VI} est équivalent à la matrice $M_{VI_{M*N}} = R12(V, I)$; (2) Le graphe G_{IV} est équivalent à la matrice $M_{IV_{N*M}} = R21(I, V)$; (3) Le graphe G_{VV} est équivalent à la matrice $M_{VV_{M*M}} = R11(V, V)$; (4) Le graphe G_{II} est équivalent à la matrice $M_{II_{N*N}} = R22(I, I)$. Nous précisons que le graphe G_{VI} n'est pas équivalent au graphe G_{IV} parce que le premier G_{VI} est orienté de V vers I et G_{IV} est orienté de I vers V. Pour les mesures de similarité des relations topologiques et des objets, elles sont équivalentes aux mesures de similarité de chaque nœud de chaque graphe avec les correspondants de l'autre graphe en fonction de chaque étiquette des liaisons entre les nœuds. Par cette résolution, nous espérons réduire les coûts et le temps des calculs.

Enfin, l'analyse topologique par le système RCC-16 nous paraît applicable à la reconnaissance structurelle, la mesure de similarité de scènes spatiales (deux images ou deux cartes vectorielles) et la détection d'objets dans d'images satellites à haute-résolution.

Dans la prochaine section, nous concluons ce chapitre en rappelant nos contributions.

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un nouveau système de raisonnement spatial. Le nouveau système RCC-16 représente l'extension et l'enrichissement du système RCC8 par le nombre de séparations de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière. Notre première contribution de cette thèse est le nouveau système RCC-16 avec ses 16 relations topologiques : DC, EC_{mL} , EC_{nP} , $EC_{mL, nP}$, PO_{mL} , PO_{nP} , $PO_{mL, nP}$, TPP_{mLT} , TPP_{nPT} , $TPP_{mLT, nPT}$, NTPP, $TPPi_{mLT}$, $TPPi_{nPT}$, $TPPi_{mLT, nPT}$, NTPPi, EQ.

Le système RCC-16 a été validé pour la détection de changements (entre image/image, et carte/carte). Nous avons proposé une nouvelle méthode de détection de changements entre une nouvelle image satellite et une ancienne carte numérique. Cette méthode a été appliquée pour détecter des changements entre deux images satellites LANDSAT, et entre deux cartes vectorielles de la base CLC.

Cette nouvelle méthode intègre l'analyse topologique par le système RCC-16 afin de détecter et d'identifier les changements. L'amélioration des résultats obtenus de cette méthode par rapport aux autres méthodes a été remarquée où les nouveaux objets et les objets disparus de la scène spatiale peuvent être détectés.

Les règles topologiques de la méthode proposée nous a permis de classifier les types de changements étudiés dans la littérature.

Les avantages et les inconvénients du système RCC-16 ont été abordés. Dans le chapitre 4, nous allons enrichir les relations du système RCC-16 en nous basant sur le modèle ExT-ID (extension du modèle Ex-ID) dans le but de surmonter ses inconvénients.

Chapitre 4

Relations Topologiques Enrichies du Système RCC8 au Niveau-2 Basées sur les Types des Éléments Spatiaux

« Si nous avons chacun un objet et que nous les échangeons, nous avons chacun un seul objet. Si nous avons chacun une idée et que nous les échangeons, nous avons chacun deux idées »

Proverbe Chinois

Sommaire

4.1. Introduction	107
4.2. Définitions des Types des Éléments Spatiaux	108
4.2.1. Définitions des Types des Points	109
4.2.2. Définitions des Types des Lignes	111
4.3. Enrichissement des Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-2	115
4.4. Résumé au Niveau-2	118
4.4.1. Système RCC-16 au Niveau-2	118
4.4.2. Relations Topologiques Multi - Niveaux	119
4.4.3. Avantages et Inconvénients	121
4.5. Applications et Résultats	127
4.5.1. Détection de Changements par Analyse Topologique du Système RCC-16 au Niveau-2 entre Images Satellitaires et Données des SIG	127
4.5.1.1. Exemple d'Application 1 : Détection de Changements entre Deux Images Satellites Acquisées à Dates Différentes	130
4.5.1.2. Exemple d'Application 2 : Détection de Changements entre Deux Cartes Vectorielles de la Base CLC	133
4.6. Conclusion	135
4.7. Perspectives & Futurs Travaux	135

4.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons développé le nouveau système RCC-16 au niveau-1 en se basant sur l'invariant topologique du nombre de séparations. Dans le but d'éliminer les inconvénients du système RCC-16 (section 3.3.2 du chapitre 3), les types des éléments spatiaux

(points et lignes) de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière permettent d'extraire de nouveaux détails topologiques en combinaison avec le nombre de séparations.

Dans ce chapitre, dans l'objectif de rajouter de nouvelles informations topologiques aux relations du système RCC-16 au niveau-1, nous allons étudier et développer les définitions des types des éléments spatiaux dans la section 4.2. Chaque type d'élément spatial sera défini par l'invariant topologique de type 2 : les voisinages d'un élément spatial (étudié dans la section 2.5.3 du chapitre 2). Le type d'un élément spatial est l'invariant topologique de type 3 (étudié dans la section 2.5.4 du chapitre 2).

Ensuite, dans la section 4.3, nous allons enrichir et généraliser les relations du système RCC-16 au niveau-1 en nous basant sur les définitions des types et le modèle ExT-ID (étudié dans la section 2.5.5 du chapitre 2). Au niveau-2, les relations du système RCC-16 seront présentées dans des descriptions détaillées générales avec les types de points et lignes. Par exemple, la relation EC du système RCC8 au niveau-2 sera donnée par trois nouvelles relations générales [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009b] : $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL), n(TOP)}$ en introduisant le type et le nombre de séparations de points ($n(TOP)$) et de lignes ($m(TOL)$) de l'intersection frontière-frontière.

Notre deuxième contribution majeure sera le nouveau système RCC-16 au niveau-2 : DC, $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL), n(TOP)}$, $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL), n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL), n(TOP)}$, NTPP, $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL), n(TOP)}$, NTPPi, EQ. Un résumé de ce système RCC-16 au niveau-2 et ses avantages et inconvénients sera présenté dans la section 4.4.

Les descriptions des relations du système RCC-16 au niveau-2 nous permettent à la fois d'éviter les inconvénients du système RCC-16 au niveau-1 et de répondre aux mêmes besoins que pour le niveau-1 :

- (1) Distinguer deux configurations différentes pour deux régions géographiques qui ont la même relation du système RCC-16 au niveau-1 dans l'objectif de vérifier l'équivalence et la similarité topologique des régions géographiques ;
- (2) Identification des changements topologiques d'une région géographique dans une carte numérique ou une image satellite ;
- (3) Suivi temporel des changements graduels de deux régions géographiques en cherchant leur relation topologique détaillée à chaque moment.

Dans ce chapitre, nous allons appliquer le système RCC-16 au niveau-2 dans la section 4.5 pour l'analyse spatiale et pour détecter des changements dans d'images satellites. La nouvelle méthode de détection de changements basée sur l'analyse topologique proposée dans la section 4.3.1 sera étudiée ici.

Dans la section 4.6, nous allons conclure ce chapitre en rappelant notre deuxième contribution.

4.2. Définitions des Types des Éléments Spatiaux

Dans cette section, nous allons définir les types des éléments spatiaux (points et lignes) de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière. Ces types vont nous servir à surmonter les inconvénients et problèmes de confusion des relations du système RCC-16 au niveau-1.

D'abord, dans la section 4.2.1, nous allons développer la définition des types de points en se basant sur la notion du voisinage (étudiée dans la section 2.5.3 du chapitre 2).

Ensuite, à partir des types de points, nous allons définir les types de lignes dans la section 4.2.2.

Enfin, nous allons donner des exemples sur leur utilisation dans la version détaillée des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1.

4.2.1. Définitions des Types des Points

Dans cette section, la notion de voisinage est utilisée pour définir les types de points d'intersection des frontières de deux régions A et B.

Les voisins d'un type de point sont définis par les cinq régions suivantes (voir Figure 4.1) : les deux régions des différences $A - B$ et $B - A$, les régions d'intersection $A^\circ \cap B^\circ$, la région non-bornée "unbounded" $(A \cup B)_{ub}^-$, et les régions bornées "bounded" $(A \cup B)_b^-$ [Deng et al. 2007a].

Par conséquent, nous déterminons treize types de points d'intersection donnés par (voir Table 4.1) :

$$Type_Of_Points (TOP) = P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12$$

Dans [Deng et al. 2007a], 10 types de points sont définis. Cependant, dans notre travail, 13 types de points sont déterminés parce qu'ils ignorent les trois types de point : P0, P1 et P2.

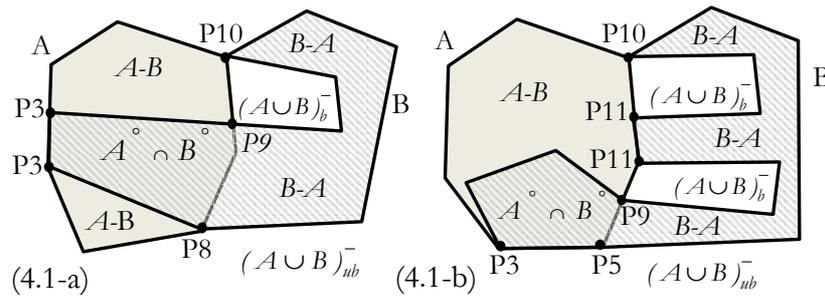


Fig. 4.1 : Voisinages et types des points

Par exemple, le type de point P9 (Figure 4.1) est défini par les quatre régions voisines : $A - B$, $B - A$, $A^\circ \cap B^\circ$, et $(A \cup B)_b^-$. Autre exemple, le type de point P5 (Figure 4.1) est défini par les trois régions voisines : $B - A$, $A^\circ \cap B^\circ$, et $(A \cup B)_{ub}^-$.

Les treize types de points sont présentés dans la Table 4.1 et la Figure 4.2. Dans la Table 4.1, zéro "0" indique que la région n'est pas voisine du type de point et un "1" indique que la région est voisine.

Nous allons utiliser ces types de points pour enrichir les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 afin d'en écrire les nouvelles formes détaillées au niveau-2.

Ces formes peuvent être écrites comme suit :

$$(Relation_Topologique)_{n(Type_Of_Points)} = (EC, PO, TPP, TPPi)_{n(P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12)}$$

avec les types de points : $Type_Of_Points(TOP) = P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12$
et « n » est le nombre de séparations de chaque type de point.

<i>Types des points</i>		<i>Régions voisines des types de points</i>				
<i>N</i>	<i>Type</i>	<i>A-B</i>	<i>B-A</i>	<i>A°∩B°</i>	$(A \cup B)_{ub}^-$	$(A \cup B)_b^-$
1	<i>P0</i>	0	0	1	1	0
2	<i>P1</i>	0	0	1	0	1
3	<i>P2</i>	1	1	0	0	0
4	<i>P3</i>	1	0	1	1	0
5	<i>P4</i>	1	0	1	0	1
6	<i>P5</i>	0	1	1	1	0
7	<i>P6</i>	0	1	1	0	1
8	<i>P7</i>	1	1	1	0	0
9	<i>P8</i>	1	1	1	1	0
10	<i>P9</i>	1	1	1	0	1
11	<i>P10</i>	1	1	0	1	1
12	<i>P11</i>	1	1	0	0	1
13	<i>P12</i>	1	1	0	1	0

Table. 4.1 : Définitions des types de points par la notion du voisinage

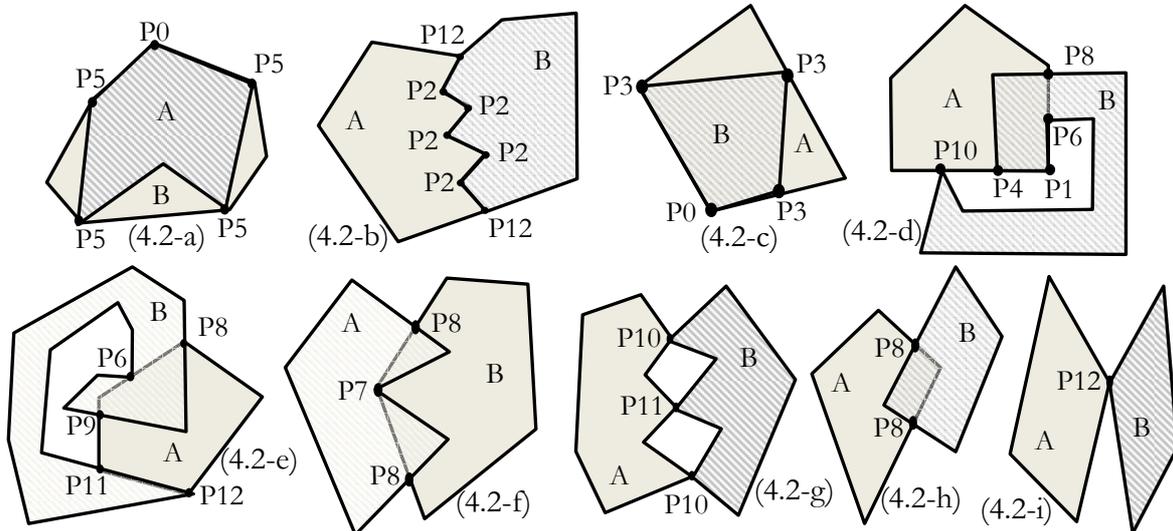


Fig. 4.2 : Représentations graphiques des types de points

<i>Figure 4.2</i>	<i>Relation topologique du système RCC8 au Niveau-0</i>	<i>Relation topologique du système RCC-16 au Niveau-1</i>	<i>Relation topologique du système RCC-16 au Niveau-2 avec les types de points</i>
4.2-a	<i>TPP</i>	<i>TPP_{5PT}</i>	<i>TPP_{1P0, 4P5}</i>
4.2-b	<i>EC</i>	<i>EC_{7P}</i>	<i>EC_{5P2, 2P12}</i>
4.2-c	<i>TPPi</i>	<i>TPPi_{4PT}</i>	<i>TPPi_{1P0, 3P3}</i>
4.2-d	<i>PO</i>	<i>PO_{5P}</i>	<i>PO_{1P1, 1P4, 1P6, 1P8, 1P10}</i>
4.2-e	<i>PO</i>	<i>PO_{5P}</i>	<i>PO_{1P6, 1P8, 1P9, 1P11, 1P12}</i>
4.2-f	<i>PO</i>	<i>PO_{3P}</i>	<i>PO_{1P7, 2P8}</i>
4.2-g	<i>EC</i>	<i>EC_{3P}</i>	<i>EC_{2P10, 1P11}</i>
4.2-h	<i>PO</i>	<i>PO_{2P}</i>	<i>PO_{2P8}</i>
4.2-i	<i>EC</i>	<i>EC_{1P}</i>	<i>EC_{1P12}</i>

Table. 4.2 : Exemples des relations topologiques du système RCC-16 exprimées par les types de points pour les configurations de la Figure 4.2

Les relations topologiques du système RCC-16 pour les configurations de la Figure 4.2 sont données en introduisant les types de points dans la Table 4.2. Par exemple, la relation topologique de la Figure (4.2-a) est décrite par : $TPP_{1P0, 4P5}$ (un point de type P0 et quatre points de type P5).

Ces types de points étudiés ici n'ont pas les problèmes d'identification de « Crossing in » et « Crossing out » (étudié dans la section 2.3.2 du chapitre 2) dans [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997] parce qu'ils sont liés aux régions voisines d'un élément et non liés aux orientations des régions comme dans [Egenhofer et al. 1995] [Egenhofer 1997].

Dans la section 4.2.2, les types de lignes seront définis en se basant sur ces types de points où une ligne est composée d'un point de départ et un autre d'arrivée.

4.2.2. Définitions des Types des Lignes

Dans la section précédente, nous avons défini les types de points d'intersection. Dans cette section, nous allons utiliser ces types de points pour déterminer et définir les types de lignes d'intersection.

Les types de lignes d'intersection des frontières de deux régions A et B sont définis par les mêmes cinq régions voisines [Deng et al. 2007a] : $A-B$, $B-A$, $A^\circ \cap B^\circ$, $(A \cup B)_{ab}^-$, et $(A \cup B)_b^-$ présentées dans la Figure 4.3. Nous déterminons les types de lignes en considérant que chaque type d'une ligne est défini par deux points : un point de départ et un point d'arrivée avec le type de ces deux points. Les types de points d'intersection ont été définis dans la section précédente.

Contrairement à la définition des types de lignes dans [Deng et al. 2007a], nous prenons en compte la direction « sens horaire » en cherchant les types de points de départ et d'arrivée des lignes de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière dans le but de définir les types de lignes. L'intérêt de considérer la direction dans notre travail est qu'elle permet de trouver un nombre maximum des types de lignes, ce qui en conséquent permet d'éliminer des problèmes de confusion dans la définition des types.

Par conséquent, nous déterminons 31 types de lignes donnés par (voir Table 42) :

$$Type_Of_Lines(TOL) = L0, L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, \\ L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30$$

Dans la Table 4.3 et les Figures 4.4 et 4.5, les deux types de points (départ et arrivée) de chaque type de lignes sont indiqués. Dans [Deng et al. 2007a], 12 types de lignes sont définis. Cependant, dans notre travail, 31 types de lignes sont déterminés parce que nous prenons en compte l'orientation pour définir les types. Par exemple, nous distinguons deux types de lignes (L8 et L18) pour deux types de points P3 et P5 en prenant en considération l'orientation (sens horaire) pour connaître les points de départ et d'arrivée de chaque ligne.

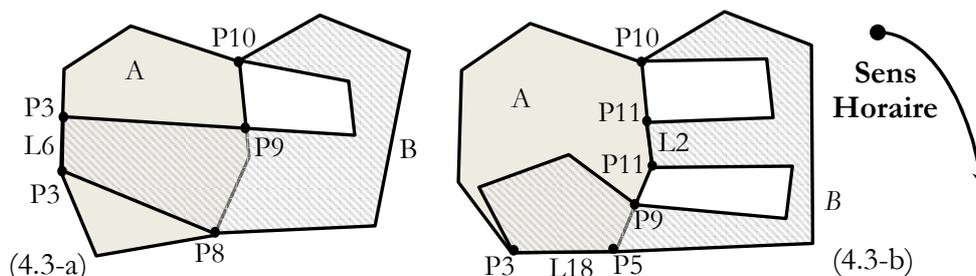


Fig. 4.3 : Exemples des types de lignes

Par exemple dans la Figure 4.3-a, le type de ligne L6 est défini par les deux types de points de départ (P3) et d'arrivée (P3). Autre exemple dans la Figure 4.3-b, le type de ligne L18 est défini par les deux types de points de départ (P5) et d'arrivée (P3).

Nous allons profiter de ces types de lignes pour enrichir et déterminer les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 afin d'en écrire les nouvelles formes détaillées générales au niveau-2 comme suit :

$$(Relation_Topologique)_{m(Type_Of_Lines)} = (EC, PO, TPP, TPPi)_{m(L0, L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30)}$$

où « m » est le nombre de séparations de chaque type de ligne défini par $Type_Of_Lines(TOL)$.

Nous trouvons que les types de points P8, P9, et P10 ne peuvent pas former une ligne avec les 13 types de points parce que ces trois types de points sont les seuls types (voir Table 4.1) qui ont quatre régions voisines sur cinq (P8 : $A-B, B-A, A^\circ \cap B^\circ, (A \cup B)_{ub}^-$; P9 : $A-B, B-A, A^\circ \cap B^\circ, (A \cup B)_b^-$; P10 : $A-B, B-A, (A \cup B)_{ub}^-, (A \cup B)_b^-$) et il est impossible de satisfaire ces quatre voisines au même temps en formant une ligne avec autre type de point. Pour cela, nous avons mis la notation "-" pour indiquer l'impossibilité d'existence d'une ligne.

Les relations topologiques du système RCC-16 pour certaines configurations des Figures 4.4 et 4.5 sont données en intégrant les types de lignes dans la Table 4.4. Par exemple, la relation topologique de la configuration (4.4-b) peut être écrite en utilisant le type de lignes sous la nouvelle forme : $TPP_{1L27, 1L28}$ (une ligne de type L27 et une ligne de type L28) au lieu de TPP_{2LT} au niveau-1 par le nombre de séparations.

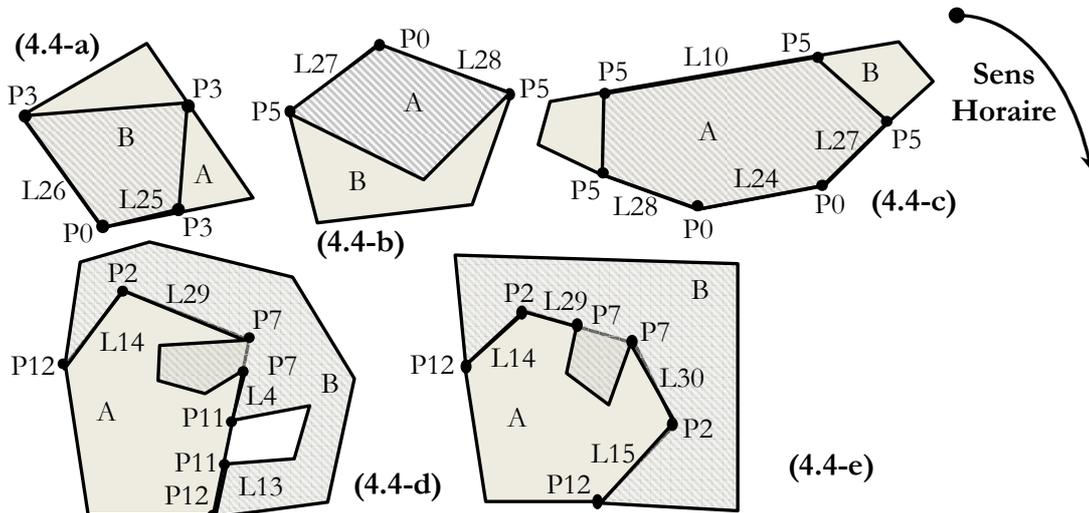


Fig. 4.4 : Représentations graphiques des types des lignes

Type de Point de Départ (TOP) ^{Départ}	Type de Point d'Arrivée (TOP) ^{Arrivée}	Types de Lignes (TOL)
<i>P0</i>	<i>P0</i>	<i>L24</i>
	<i>P3</i>	<i>L26</i>
	<i>P5</i>	<i>L28</i>
<i>P1</i>	<i>P4</i>	<i>L23</i>
<i>P2</i>	<i>P2</i>	<i>L12</i>
	<i>P7</i>	<i>L29</i>
	<i>P11</i>	<i>L21</i>
	<i>P12</i>	<i>L15</i>
<i>P3</i>	<i>P0</i>	<i>L25</i>
	<i>P3</i>	<i>L6</i>
	<i>P5</i>	<i>L8</i>
<i>P4</i>	<i>P4</i>	<i>L7</i>
	<i>P6</i>	<i>L9</i>
<i>P5</i>	<i>P0</i>	<i>L27</i>
	<i>P3</i>	<i>L18</i>
	<i>P5</i>	<i>L10</i>
<i>P6</i>	<i>P1</i>	<i>L22</i>
	<i>P4</i>	<i>L19</i>
	<i>P6</i>	<i>L11</i>
<i>P7</i>	<i>P2</i>	<i>L30</i>
	<i>P7</i>	<i>L5</i>
	<i>P11</i>	<i>L4</i>
	<i>P12</i>	<i>L3</i>
<i>P8</i>	-	-
<i>P9</i>	-	-
<i>P10</i>	-	-
<i>P11</i>	<i>P2</i>	<i>L20</i>
	<i>P7</i>	<i>L17</i>
	<i>P11</i>	<i>L2</i>
	<i>P12</i>	<i>L13</i>
<i>P12</i>	<i>P2</i>	<i>L14</i>
	<i>P7</i>	<i>L16</i>
	<i>P11</i>	<i>L1</i>
	<i>P12</i>	<i>L0</i>

Table. 4.3 : Définitions des types de lignes par les définitions des types de points

Figures 4.4 et 4.5	Relation topologique du système RCC-16 au Niveau-1	Relation topologique du système RCC-16 au Niveau-2 avec les types de lignes
4.4-b	TPP_{2LT}	$TPP_{1L27, 1L28}$
4.4-c	TPP_{4LT}	$TPP_{1L10, 1L24, 1L27, 1L28}$
4.4-d	PO_{4L}	$PO_{1L14, 1L29, 1L4, 1L13}$
4.4-d	PO_{4L}	$PO_{1L14, 1L29, 1L30, 1L15}$
4.5-a	EC_{1L}	EC_{1L0}
4.5-b	EC_{2L}	$EC_{1L1, 1L13}$
4.5-c	EC_{3L}	$EC_{1L1, 1L2, 1L13}$
4.5-d	$TPPi_{2LT}$	$TPPi_{2L6}$
4.5-e	$TPPi_{3LT}$	$TPPi_{1L6, 1L8, 1L18}$
4.5-f	$TPPi_{4LT}$	$TPPi_{1L6, 1L24, 1L25, 1L26}$

Table. 4.4 : Exemples des relations topologiques du système RCC-16 exprimées par les types de lignes pour certaines configurations des Figures 4.4 et 4.5

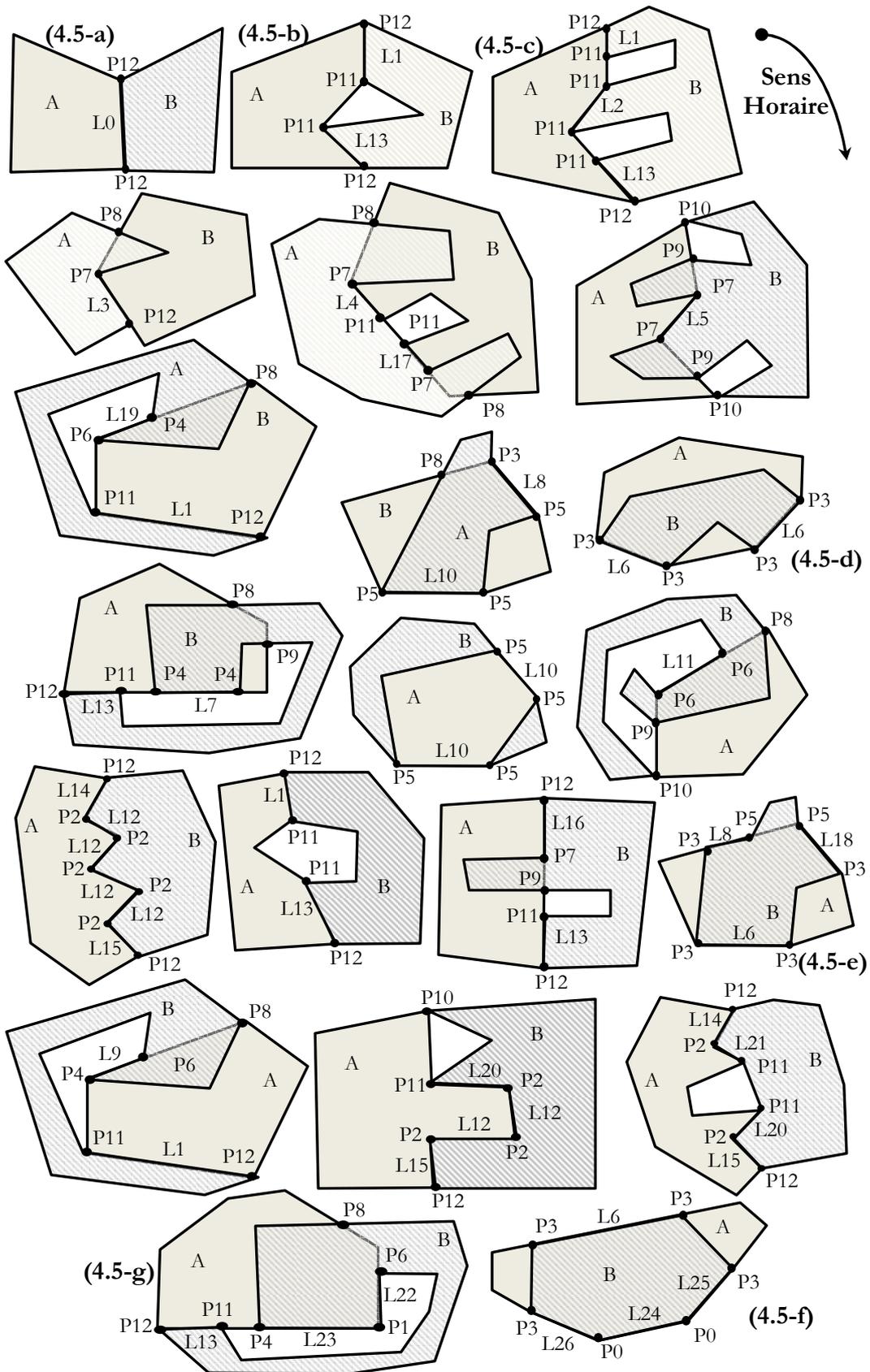


Fig. 4.5 : Continue : Représentations graphiques des types des lignes

Pour conclure sur les définitions des types de points et lignes, nous constatons que, parmi ces types, certains peuvent être liés toujours à certaines relations topologiques. Par exemple, les types de point (P12) et de ligne (L0) sont toujours liés à la relation EC pour les configurations présentées dans les Figures : Figure 4.2-i (pour le point) et Figure 4.4-a (pour la ligne). Autres types peuvent participer à déterminer et caractériser deux (ou plus) relations. Par exemple, le type de ligne L13 peut caractériser les deux relations pour les configurations présentées dans les Figures 4.4-b et 4.4-c (pour la relation EC), et la Figure 4.4-g (pour la relation PO).

Dans la section 4.3, nous allons enrichir les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 en intégrant les types de points et lignes.

4.3. Enrichissement des Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-2

Dans cette section, l'enrichissement des relations topologiques du système RCC8 a pour objectif d'éviter les inconvénients et les problèmes de confusion du système RCC-16 au niveau-1.

Dans la section 2.5.5 du chapitre 2, nous avons développé le modèle ExT-ID qui est l'extension du modèle Ex-ID (voir la section 2.5.5 du chapitre 2) en introduisant l'invariant topologique du type de points et lignes. Le modèle ExT-ID est donné par :

$$ExT-ID(A, B) = \begin{bmatrix} \chi(A^\circ \cap B^\circ) & \chi(B - A) \\ \chi(A - B) & \chi(\partial A \cap \partial B)_{Point_Type} \\ & \chi(\partial A \cap \partial B)_{Ligne_Type} \end{bmatrix}$$

où $\chi(\partial A \cap \partial B)_{Point_Type}$ indique le nombre de séparations des types de points et $\chi(\partial A \cap \partial B)_{Ligne_Type}$ indique aussi le nombre de séparations des types de lignes.

Ces types sont définis dans la section précédente de ce chapitre par les notations ($n(TOP) = \chi(\partial A \cap \partial B)_{Point_Type}$) et ($m(TOL) = \chi(\partial A \cap \partial B)_{Ligne_Type}$).

Dans l'objectif d'introduire les types de points et lignes, nous allons remplacer le nombre de séparations de points (nP et nPT) et lignes (mL et mLT) dans les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 (EC_{mL} , EC_{nP} , $EC_{mL, nP}$, PO_{mL} , PO_{nP} , $PO_{mL, nP}$, TPP_{mLT} , TPP_{nPT} , $TPP_{mLT, nPT}$, $TPPi_{mLT}$, $TPPi_{nPT}$, $TPPi_{mLT, nPT}$) par le nombre de séparations de chaque type de points ($n(TOP)$) et lignes ($m(TOL)$). Les nouvelles relations sont les relations topologiques enrichies du système RCC8 au niveau-2.

Dans cette section, nous n'allons pas répéter les mêmes procédures de l'enrichissement des relations du système RCC-16 au niveau-1 (voir la section 3.2 du chapitre 3) parce qu'elles sont les mêmes. Nous présentons les trois cas principaux de l'enrichissement des relations fonction du type et du nombre de séparations des éléments spatiaux (points et lignes) comme suit :

1) Si nous avons seulement « m » lignes, alors les nouvelles relations du système RCC8 sont exprimées par les types de lignes :

$$(Relation_Topologique)_m(Type_Of_Lines) = (EC, PO, TPP, TPPi)_m(L0, L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30)$$

2) Sinon, si nous avons seulement « n » points, alors les nouvelles relations du système RCC8 sont exprimées par les types de points :

$$(Relation_Topologique)_{n(Type_Of_Points)} = (EC, PO, TPP, TPPi)_{n(P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12)}$$

3) Sinon, si nous avons « m » lignes et « n » points, alors les nouvelles relations du système RCC8 sont exprimées par les types de lignes et de points :

$$(Relation_Topologique)_{m(Type_Of_Lines), n(Type_Of_Points)} = (EC, PO, TPP, TPPi) \left(\begin{array}{l} L0, L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, \\ L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, \\ L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, \\ L25, L26, L27, L28, L29, L30 \end{array} \right), n \left(\begin{array}{l} P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, \\ P7, P8, P9, P10, P11, P12 \end{array} \right)$$

avec : « m » est le nombre de séparations de chaque type de ligne défini par $Type_Of_Lines(TOL)$ et « n » est le nombre de séparations de chaque type de point défini par $Type_Of_Points(TOP)$.

Les types de lignes sont :

$$Type_Of_Lines(TOL) = L0, L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30$$

Les types de points sont : $Type_Of_Points(TOP) = P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12$

Autrement, nous allons tout de suite donner la description détaillée des relations enrichies au niveau-2 en remplaçant chaque mL ou mL_T par (m(TOL)) pour les types de lignes, et chaque nP ou nP_T par (n(TOP)) pour les types de points dans toutes relations du système RCC-16 au niveau-1.

L'enrichissement du système RCC8 au niveau-2 par le type donne les nouvelles relations topologiques décrites par : $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL), n(TOP)}$, $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL), n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL), n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL), n(TOP)}$. Les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 pour les configurations présentées dans la Figure 4.6 sont données et exprimées en intégrant les types de lignes et points dans la Table 4.5.

Par exemple, la relation topologique de la configuration (4.6-b) peut être écrite en utilisant le type de lignes sous la nouvelle forme : $TPP_{11,27, 11,28}$ (une ligne de type L27 et une ligne de type L28) au lieu de TPP_{2LT} au niveau-1 par le nombre de séparations. Autre exemple, la relation topologique de la configuration (4.6-j) peut être écrite en utilisant le type de lignes sous la nouvelle forme : $PO_{1L, 1P8}$ (une ligne de type L3 et un point de type P8) au lieu de $PO_{1L, 1P}$.

Ces nouvelles relations topologiques au niveau-2 ont une importance décisive dans la différenciation de deux configurations différentes ayant les mêmes relations du système RCC-16 au niveau-1. Les mêmes notations expressives de ces relations topologiques (EC, PO, TPP, TPPi) restent pour les systèmes RCC8 et RCC-16 au niveau-1 et niveau-2.

Dans la prochaine section, nous allons introduire le système RCC-16 au niveau-2 et présenter ses avantages par rapport aux autres travaux [Deng et al. 2007a] [Egenhofer 1993]. Les inconvénients et les problèmes de confusions du système RCC-16 au niveau-2 seront abordés.

<i>Relation topologique du système RCC8 au Niveau-0</i>	<i>Relation topologique du système RCC-16 au Niveau-2 avec les Types de Points et de Lignes</i>	<i>Exemples des relations du système RCC-16 au Niveau-2</i>	<i>Figure 4.6</i>	<i>Explication et description des relations du système RCC-16 au Niveau-2</i>
EC	$EC_{m(TOL)}$	$EC_{1L1, 1L13}$	4.6-e	Une ligne de type (1L1) et une ligne de type (1L13)
	$EC_{n(TOP)}$	$EC_{2P10, 1P11}$	4.6-a	Deux points de type (2P10) et un point de type (1P11)
	$EC_{m(TOL), n(TOP)}$	$EC_{1L13, 1P10}$	4.6-i	Une ligne de type (1L13) et un point de type (1P10)
PO	$PO_{m(TOL)}$	$PO_{1L8, 1L10, 1L18}$	4.6-f	Une ligne de type (1L8), une ligne de type (1L10), et une ligne de type (1L18)
	$PO_{n(TOP)}$	$PO_{2P8, 1P7}$	4.6-b	Deux points de type (2P8) et un point de type (1P7)
	$PO_{m(TOL), n(TOP)}$	$PO_{1L3, 1P8}$	4.6-j	Une ligne de type (1L3) et un point de type (1P8)
TPP	$TPP_{m(TOL)}$	TPP_{2L10}	4.6-g	Deux lignes de type (2L10)
	$TPP_{n(TOP)}$	TPP_{2P5}	4.6-d	Deux points de type (2P5)
	$TPP_{m(TOL), n(TOP)}$	$TPP_{1L27, 2L24, 1L28, 2P5}$	4.6-q	Une ligne de type (1L27), deux lignes de type (2L24), une ligne de type (1L28), et deux points de type (2P5)
TPPi	$TPPi_{m(TOL)}$	$TPPi_{1L16, 1L25, 1L26}$	4.6-h	Une ligne de type (1L16), une ligne de type (1L25), et une ligne de type (1L26)
	$TPPi_{n(TOP)}$	$TPPi_{3P3}$	4.6-c	Trois points de type (3P3)
	$TPPi_{m(TOL), n(TOP)}$	$TPPi_{1L25, 1L26, 3P3}$	4.6-o	Une ligne de type (1L25), une ligne de type (1L26), et trois points de type (3P3)

Table. 4.5 : Relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 exprimées par les types de points et de lignes pour les configurations de la Figure 4.6

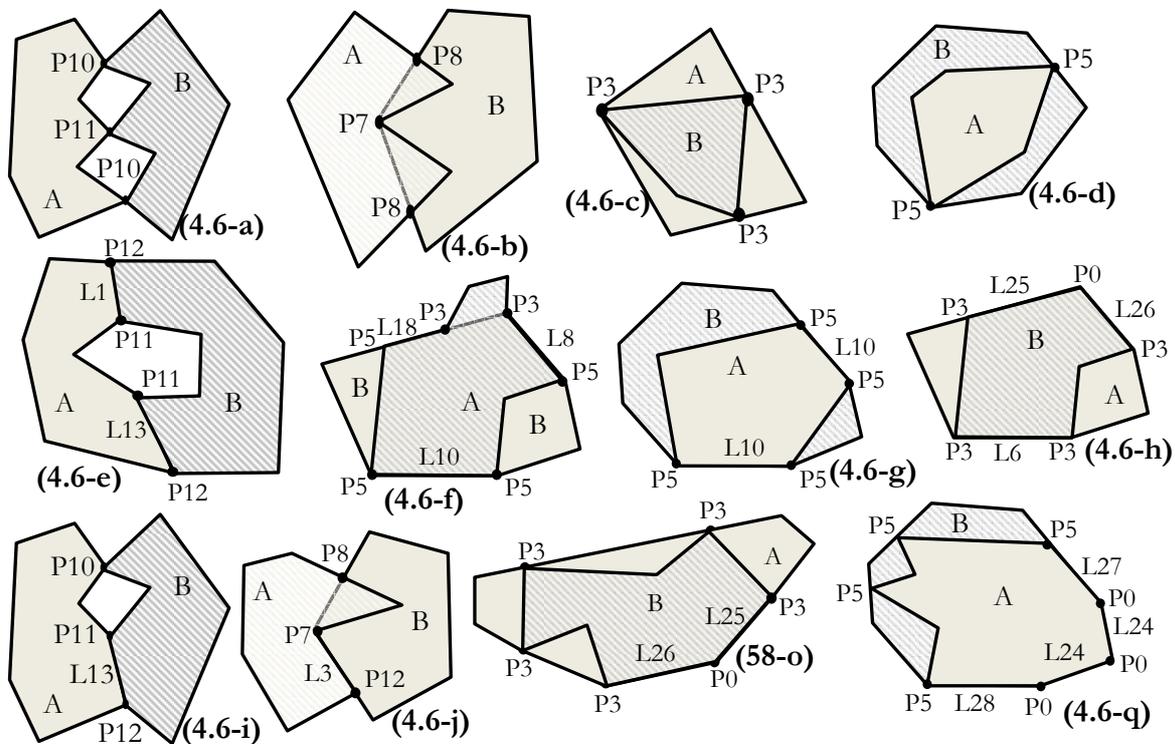


Fig. 4.6 : Configurations des relations du système RCC-16 au niveau-2

4.4. Résumé au Niveau-2

Dans la section précédente, nous avons développé les nouvelles relations topologiques au niveau-2 : EC en trois relations $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL), n(TOP)}$; PO en trois relations $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL), n(TOP)}$; TPP en trois relations $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL), n(TOP)}$; TPPi en trois relations $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL), n(TOP)}$; en nous basant sur les types et le nombre de séparations des éléments spatiaux (points et lignes) de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière.

Dans cette section, ces nouvelles relations topologiques au niveau-1 seront intégrées dans le système RCC-16 au niveau-1 pour établir un nouveau système de raisonnement spatial. Dans la section 4.4.1, nous allons introduire le nouveau système RCC-16 au niveau-2. Nous allons aussi présenter, dans la section 4.4.2, ses avantages et comparer ses relations par rapport aux relations topologiques déterminées par : le système RCC-16 au niveau-1 (chapitre 3), le modèle du type et du nombre (TN) et le modèle I4 ($I_{4, dim, x, séquence}$) (présentés dans la section 2.3.2 du chapitre 2). Ces trois modèles sont les modèles les plus similaires aux relations du système RCC-16 au niveau-2. Les inconvénients et les problèmes de confusions des relations du système RCC-16 au niveau-2 seront abordés dans la section 4.4.2.

4.4.1. Système RCC-16 au Niveau-2

Nous avons trouvé que le modèle ExT-ID (extension du modèle Ex-ID) permet d'enrichir des descriptions générales des relations topologiques du système RCC8 au niveau-2.

A ce niveau-2 détaillé, les douze nouvelles relations du système RCC-16 seront réécrites en introduisant le type : $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL), n(TOP)}$; $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL), n(TOP)}$; $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL), n(TOP)}$; $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL), n(TOP)}$.

Dans ce travail, notre deuxième contribution majeure est le système RCC-16 au niveau-2 : DC, $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL), n(TOP)}$, $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL), n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL), n(TOP)}$, NTPP, $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL), n(TOP)}$, NTPPi, EQ.

Le nouveau système RCC-16 au niveau-2 contient 16 relations topologiques et il est considéré comme l'enrichissement du système RCC8 par les invariants topologiques du type et du nombre de séparations des éléments spatiaux.

Le système RCC-16 au niveau-2 en introduisant le nombre de séparations des régions limitées (kR) et des régions d'intersection (jRI) contient 21 relations topologiques comme suit : DC, $EC_{m(TOL), 0R}$, $EC_{m(TOL), kR}$, $EC_{n(TOP), 0R}$, $EC_{n(TOP), kR}$, $EC_{m(TOL), n(TOP), kR}$, $PO_{m(TOL), jRI, 0R}$, $PO_{m(TOL), jRI, kR}$, $PO_{n(TOP), jRI, 0R}$, $PO_{n(TOP), jRI, kR}$, $PO_{m(TOL), n(TOP), jRI, 0R}$, $PO_{m(TOL), n(TOP), jRI, kR}$, $TPP_{m(TOL), kR}$, $TPP_{n(TOP), kR}$, $TPP_{m(TOL), n(TOP), kR}$, NTPP, $TPPi_{m(TOL), kR}$, $TPPi_{n(TOP), kR}$, $TPPi_{m(TOL), n(TOP), kR}$, NTPPi, et EQ.

Le système RCC-16 au niveau-2 avec ses nouvelles relations topologiques est présenté dans la Table 4.6.

Les trois systèmes : RCC8 au niveau-0, RCC-16 au niveau-1, et RCC-16 au niveau-2 représentent ensemble des relations topologiques décrites en plusieurs niveaux de détails topologiques.

L'exploitation de ces relations topologiques à des multiples niveaux permet de distinguer et différencier deux configurations différentes ayant la même relation au niveau-0, identifier l'équivalence et la similarité, et détecter des changements entre deux scènes spatiales. Dans la prochaine section, nous allons présenter les relations topologiques de ces systèmes.

Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-0 Sans Détail	Relations Topologiques du Système RCC-16 au Niveau-2	
	Avec Types de Lignes ($m(TOL)$) et de Points ($n(TOP)$)	Avec Régions Limitées (kR) et Régions d'Intersection (jRI)
<i>DC</i>	<i>DC</i>	<i>DC</i>
<i>EC</i>	<i>EC_{m(TOL)}</i>	<i>EC_{m(TOL), 0R}</i>
		<i>EC_{m(TOL), kR}</i>
	<i>EC_{n(TOP)}</i>	<i>EC_{n(TOP), 0R}</i>
		<i>EC_{n(TOP), kR}</i>
<i>EC_{m(TOL), n(TOP)}</i>	<i>EC_{m(TOL), n(TOP), kR}</i>	
<i>PO</i>	<i>PO_{m(TOL)}</i>	<i>PO_{m(TOL), jRI, 0R}</i>
		<i>PO_{m(TOL), jRI, kR}</i>
	<i>PO_{n(TOP)}</i>	<i>PO_{n(TOP), jRI, 0R}</i>
		<i>PO_{n(TOP), jRI, kR}</i>
<i>PO_{m(TOL), n(TOP)}</i>	<i>PO_{m(TOL), n(TOP), jRI, 0R}</i>	
	<i>PO_{m(TOL), n(TOP), jRI, kR}</i>	
<i>TPP</i>	<i>TPP_{m(TOL)}</i>	<i>TPP_{m(TOL), kR}</i>
	<i>TPP_{n(TOP)}</i>	<i>TPP_{n(TOP), kR}</i>
	<i>TPP_{m(TOL), n(TOP)}</i>	<i>TPP_{m(TOL), n(TOP), kR}</i>
<i>NTPP</i>	<i>NTPP</i>	<i>NTPP</i>
<i>TPPi</i>	<i>TPPi_{m(TOL)}</i>	<i>TPPi_{m(TOL), kR}</i>
	<i>TPPi_{n(TOP)}</i>	<i>TPPi_{n(TOP), kR}</i>
	<i>TPPi_{m(TOL), n(TOP)}</i>	<i>TPPi_{m(TOL), n(TOP), kR}</i>
<i>NTPPi</i>	<i>NTPPi</i>	<i>NTPPi</i>
<i>EQ</i>	<i>EQ</i>	<i>EQ</i>

Table. 4.6 : Relations topologiques du système RCC-16 au Niveau-2

4.4.2. Relations Topologiques Multi - Niveaux

Les relations topologiques de base du système RCC8 sont : DC, EC, PO, TPP, NTPP, TPPi, NTPPi, et EQ. Dans cette thèse, nous avons enrichi les quatre relations topologiques : EC, PO, TPP, et TPPi à deux niveaux par les invariants topologiques du nombre de séparations et du type des éléments spatiaux. Cet enrichissement des relations a permis de construire deux nouveaux systèmes RCC-16 au niveau-1, et RCC-16 au niveau-2.

Dans la Table 4.7, les relations topologiques sont décrites à trois niveaux de détails topologiques. Ces trois niveaux sont équivalents aux relations topologiques de ces trois systèmes : RCC8 au niveau-0, RCC-16 au niveau-1, et RCC-16 au niveau-2. Des exemples des relations pour les configurations présentées dans la Figure 4.6 sont donnés et exprimées à trois niveaux dans la Table 4.8.

L'ajout de nouvelles informations topologiques pour la description des relations topologiques à des multiples niveaux permettront de définir plusieurs niveaux de détails entre deux configurations spatiales [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a], de trouver l'équivalence et la similarité topologique entre deux scènes spatiales [Egenhofer et al.

1995] [Bruns et al. 1996], et de suivre les changements graduels des configurations spatiales en traçant en détails les changements de leurs relations topologiques [Egenhofer et al. 1992].

Relations Topologiques du Système RCC8 au Niveau-0	Relations Topologiques du Système RCC-16 au Niveau-1	Relations Topologiques du Système RCC-16 au Niveau-2
	Avec Nombre de Séparations des Lignes (mL/mL_T) et Points (nP/nPT)	Avec Types de Lignes ($m(TOL)$) et de Points ($n(TOP)$)
<i>DC</i>	<i>DC</i>	<i>DC</i>
<i>EC</i>	\widehat{EC}_{mL}	$\widehat{EC}_{m(TOL)}$
	EC_{nP}	$EC_{n(TOP)}$
	$EC_{mL, nP}$	$EC_{m(TOL), n(TOP)}$
<i>PO</i>	PO_{mL}	$PO_{m(TOL)}$
	PO_{nP}	$PO_{n(TOP)}$
	$PO_{mL, nP}$	$PO_{m(TOL), n(TOP)}$
<i>TPP</i>	TPP_{mLT}	$TPP_{m(TOL)}$
	TPP_{nPT}	$TPP_{n(TOP)}$
	$TPP_{mLT, nPT}$	$TPP_{m(TOL), n(TOP)}$
<i>NTPP</i>	<i>NTPP</i>	<i>NTPP</i>
<i>TPPi</i>	$TPPi_{mLT}$	$TPPi_{m(TOL)}$
	$TPPi_{nPT}$	$TPPi_{n(TOP)}$
	$TPPi_{mLT, nPT}$	$TPPi_{m(TOL), n(TOP)}$
<i>NTPPi</i>	<i>NTPPi</i>	<i>NTPPi</i>
<i>EQ</i>	<i>EQ</i>	<i>EQ</i>

Table. 4.7 : Relations topologiques multi - niveaux

Relation topologique du système RCC8 au Niveau-0	Exemples des relations du système RCC-16 au Niveau-1	Exemples des relations du système RCC-16 au Niveau-2	Figure 58
<i>EC</i>	EC_{2L}	$EC_{1L1, 1L13}$	58-e
	EC_{3P}	$EC_{2P10, 1P11}$	58-a
	$EC_{1L, 1P}$	$EC_{1L13, 1P10}$	58-i
<i>PO</i>	PO_{3L}	$PO_{1L8, 1L10, 1L18}$	58-f
	PO_{3P}	$PO_{2P8, 1P7}$	58-b
	$PO_{1L, 1P}$	$PO_{1L3, 1P8}$	58-j
<i>TPP</i>	TPP_{2LT}	TPP_{2L10}	58-g
	TPP_{2PT}	TPP_{2P5}	58-d
	$TPP_{4LT, 2PT}$	$TPP_{1L27, 2L24, 1L28, 2P5}$	58-q
<i>TPPi</i>	$TPPi_{3LT}$	$TPPi_{1L16, 1L25, 1L26}$	58-h
	$TPPi_{3PT}$	$TPPi_{3P3}$	58-c
	$TPPi_{2LT, 3PT}$	$TPPi_{1L25, 1L26, 3P3}$	58-o

Table. 4.8 : Exemples des relations topologiques multi - niveaux

Nous présentons dans cette section un cas étudié sur le suivi temporel des changements des régions spatiales. Dans la Figure 4.7, deux régions spatiales sont représentées à quatre moments différents (T1, T2, T3, et T4). Les modifications géométriques de ces deux régions provoquent des changements des relations topologiques. Il est impossible de décrire et d'identifier ces changements topologiques par les relations du système RCC8 au niveau-0 parce que les relations sont toutes égales à la relation EC. La même remarque s'applique pour les changements par les relations du système RCC-16 au niveau-1 car les relations sont aussi toutes égales à la relation $EC_{2L, 1P}$. En revanche, les relations topologiques du système RCC-16 au

niveau-2 permettent d'identifier et de détecter les changements topologiques car la relation à chaque instant entre les deux régions spatiales est différente de celles des autres.

Par exemple, la relation pour T1 égale à $EC_{1L14, 1L21, 1P10}$ n'est pas identique aux relations $EC_{1L15, 1L20, 1P10}$ (pour T2), $EC_{1L1, 1L2, 1P10}$ (pour T3), et $EC_{1L2, 1L13, 1P10}$ (pour T4).

Nous trouvons que, en traçant les changements des relations topologiques par le système RCC-16 au niveau-2, les changements des régions spatiales peuvent être identifiés et détectés.

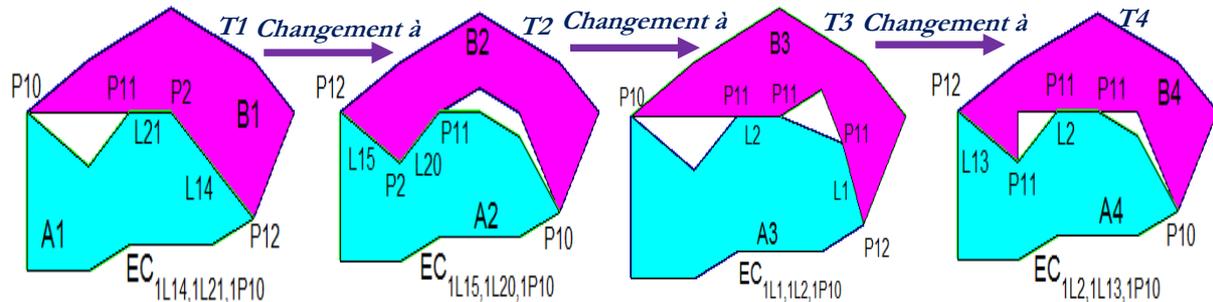


Fig. 4.7 : Changements des relations topologiques provoqués par changements des régions spatiales

Pour conclure, l'ajout de nouvelles informations topologiques à chaque niveau (0, 1, et 2) a permis de donner de nouvelles descriptions des relations topologiques dans l'objectif de prendre une décision et de raisonner si un changement est survenu ou non.

Dans la section suivante, nous allons présenter les points forts et faibles de ce système RCC-16 au niveau-2.

4.4.3. Avantages et Inconvénients

Étudier les avantages et les inconvénients des relations du système RCC-16 au niveau-2 est le but de cette section.

Tout d'abord, les avantages de ces nouvelles relations du système RCC-16 au niveau-2 sont étudiés par rapport aux relations du système RCC-16 au niveau-1, du modèle $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$, et du modèle du type et du nombre (TN). Les relations topologiques étudiées dans les travaux [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a] (étudiés dans le chapitre 2) sont les relations les plus proches de nos relations développées ici. Ses avantages permettent de répondre aux besoins suivants :

- 1) Comment éviter les inconvénients des relations du système RCC-16 au niveau-1, du modèle $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$ et du modèle TN ;
- 2) Mieux détecter et identifier les changements topologiques, mesurer l'équivalence et la similarité topologiques de deux scènes spatiales ;
- 3) Comment pouvoir décrire les relations topologiques similaires à trois niveaux de détail (niveau-0, niveau-1, et niveau-2).

Dans l'objectif de montrer les avantages du système RCC-16 au niveau-2, des configurations spatiales sont données comme exemples dans la Figure 4.8. Deux configurations sont représentées pour chaque relation de ces quatre : EC, PO, TPP, et TPPi.

Le but est de savoir quel est le modèle ou le système parmi les deux modèles $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$ et TN, et le système RCC-16 au niveau-2 le plus performant en fonction de leur capacité à

distinguer les relations topologiques de deux configurations pour chaque relation du système RCC8 au niveau-0.

Dans ce contexte, les relations topologiques pour chaque configuration de la Figure 4.8 sont données comme des exemples dans la Table 4.9. Par la suite, nous allons expliquer ces exemples.

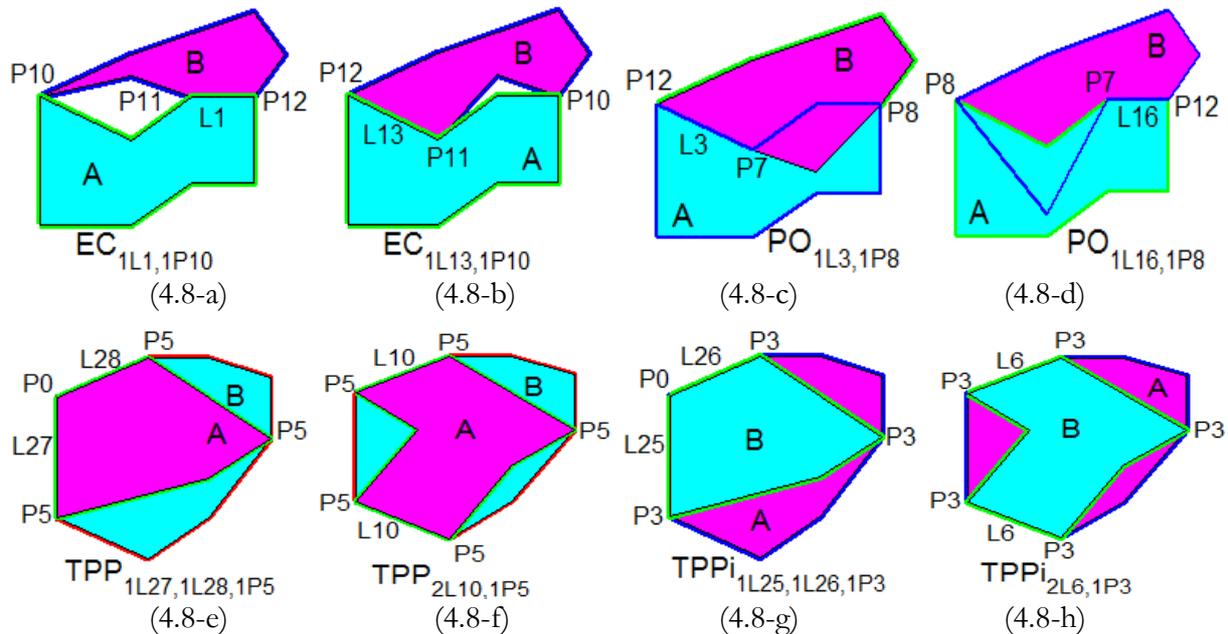


Fig. 4.8 : Exemples d'avantages des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2

Par exemple, pour décrire la relation PO (Overlaps) des configurations 4.8-c, et 4.8-d (Figure 4.8) par le modèle I4 ($I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), cette relation est décrite en détail par la même expression : $\langle 0 (0, \text{Crossing out, unbounded}); 1 (1, \text{Crossing in, unbounded}) \rangle$. Ainsi, la relation obtenue par le modèle TN étendu du modèle ID est donnée par la même matrice : $[-\phi, -\phi, -\phi, 1(p_y), 1(l_{11})]$. La relation par le système RCC8 au niveau-0 est la relation PO et par le système RCC-16 au niveau-1 est égale à $PO_{1L, 1P}$.

Par contre, les relations de ces deux configurations ne sont pas identiques par le système RCC-16 au niveau-2, parce que, la relation pour la configuration 4.8-c est exprimée par $PO_{1L3, 1P8}$ et la relation pour la configuration 4.8-d est exprimée par $PO_{1L16, 1P8}$. Nous trouvons que ces deux relations ne sont pas égales et nous pouvons les décrire par le nom topologique PO. En conséquence, les relations du système RCC-16 au niveau-2 permettent de séparer ces deux relations des configurations dans la Figure 4.8 (4.8-c, et 4.8-d) en les décrivant par le type et le nombre de séparations. La même discussion pour la relation EC des configurations (4.8-a, et 4.8-b) sur les avantages du système RCC-16 au niveau-2 est donnée par la Table 4.9.

Le premier avantage est que le système RCC-16 au niveau-2 permet de distinguer deux configurations spatiales en décrivant la relation topologique par ses relations alors que les autres modèles ($I4 (I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}})$ et TN) ne peuvent pas les distinguer.

Dans l'expression du modèle I4 ($I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$) et la matrice du modèle TN, la relation n'est pas définie et déterminée par un nom topologique et elle est exprimée par la séquence des éléments de l'intersection frontière-frontière et les valeurs vides/non-vides. Nous constatons que

les expressions de ces relations obtenues par ces modèles (I4 ($I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), TN) sont identiques et elles ne sont pas exprimées par le nom topologique de la relation PO du système RCC8.

Un point à discuter pour les deux relations TPP (Figure 4.8-e, et 4.8-f) et TPPi (Figure 4.8-g, et 4.8-h) est que l'expression de la relation par le modèle I4 ($I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$) est ambiguë et nous ne pouvons pas savoir si la relation est EC (Meets), ou TPP (CoveredBy), ou TPPi (Covers) parce que les auteurs [Egenhofer et al. 1995] utilisent le type "touching (connexion extérieure)" des éléments de l'intersection frontière-frontière pour ces trois relations.

Le deuxième avantage du système RCC-16 au niveau-2 par rapport à I4 ($I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$) et TN est que les relations du système RCC-16 ont des noms qualitatifs qui ont un sens topologique.

Une remarque à illustrer pour les deux relations TPP (Figure 4.8-e) et TPPi (Figure 4.8-g) est que la matrice de ces relations extraites par le modèle TN ne peut pas être établie parce que le type de point P0 (défini par deux régions voisines : $A^\circ \cap B^\circ$ et $(A \cup B)_{ab}^-$) n'existe pas dans [Deng et al. 2007a]. Pour cela, il est impossible de donner une matrice pour ces deux configurations (Figures 4.8-e, et 4.8-g).

Relations du Système RCC8 au Niveau-0	Figure 4.8	Relations Identifiées par			Relations Topologiques du Système RCC-16 au Niveau-2
		Modèle I4 $I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$	Modèle TN $TN(A, B)$	Relations du Système RCC-16 au Niveau-1	
EC	4.8-a	<0 (0, touching, unbounded); 1 (1, touching, unbounded)>	$[\phi, \neg\phi, \neg\phi, 1(p_7), 1(l_{11})]$	EC_{IL, 1P}	EC_{IL1, 1P10}
	4.8-b	<0 (0, touching, unbounded); 1 (1, touching, unbounded)>	$[\phi, \neg\phi, \neg\phi, 1(p_7), 1(l_{11})]$	EC_{IL, 1P}	EC_{IL13, 1P10}
PO	4.8-c	<0 (0, touching, unbounded); 1 (1, Crossing in, unbounded)>	$[\neg\phi, \neg\phi, \neg\phi, 1(p_9), 1(l_{11})]$	PO_{IL, 1P}	PO_{IL3, 1P8}
	4.8-d	<0 (0, touching, unbounded); 1 (1, Crossing in, unbounded)>	$[\neg\phi, \neg\phi, \neg\phi, 1(p_9), 1(l_{11})]$	PO_{IL, 1P}	PO_{IL16, 1P8}
TPP	4.8-e	<1 (1, touching, unbounded); 2 (1, touching, unbounded); 3 (0, touching, unbounded)>	Impossible de donner l'expression de cette relation car le type de point P0 n'est pas défini pour le modèle TN	TPP_{2LT, 1PT}	TPP_{IL27, 1L28, 1P5}
	4.8-f	<1 (1, touching, unbounded); 2 (1, touching, unbounded); 3 (0, touching, unbounded)>	$[\neg\phi, \phi, \neg\phi, 1(p_2), 2(l_{20})]$	TPP_{2LT, 1PT}	TPP_{2L10, 1P5}
TPPi	4.8-g	<1 (1, touching, unbounded); 2 (1, touching, unbounded); 3 (0, touching, unbounded)>	Impossible de donner l'expression de cette relation car le type de point P0 n'est pas défini pour le modèle TN	TPPi_{2LT, 1PT}	TPPi_{IL25, 1L26, 1P3}
	4.8-h	<1 (1, touching, unbounded); 2 (1, touching, unbounded); 3 (0, touching, unbounded)>	$[\neg\phi, \neg\phi, \phi, 1(p_0), 2(l_{16})]$	TPPi_{2LT, 1PT}	TPPi_{2L6, 1P3}

Table. 4.9 : Exemples d'avantages des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 en comparaison avec les systèmes RCC8 au niveau-0 et RCC-16 au niveau-1, et les modèles : I4 ($I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), et TN

Pour conclure sur les avantages, nous trouvons que ces nouvelles relations du système RCC-16 au niveau-2 donnent des descriptions fiables et discriminantes entre deux configurations spatiales différentes grâce à un point important : prendre en considération l'orientation de la direction « sens horaire » des éléments de l'intersection frontière-frontière ($S=\partial A \cap \partial B$) lors de la détermination des types de ces éléments spatiaux.

L'inconvénient de ces nouvelles relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 est qu'il existe encore des problèmes de confusions entre deux mêmes relations topologiques dans certains cas des deux différentes configurations. Le nombre de ces configurations nous semble très limité mais nous devons faire face à ce genre de problèmes. Ce genre de problèmes de confusions est aussi rencontré dans tous les travaux cités [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a]. Ces problèmes n'étaient pas étudiés et aucune solution n'était proposée pour faire face.

Dans cette section, nous allons aborder ces problèmes qui sont résumés par la Figure 4.9. Par exemple, pour la relation EC du système RCC-16 au niveau-2, nous trouvons qu'il y a une confusion entre les relations topologiques au niveau-2 pour les deux configurations représentées par les Figures 4.9-a (EC_{2P10}) et 4.9-b (EC_{2P10}) de la Figure 4.9, ces deux relations sont égales parce que les deux points de connexion extérieure sont de même type (P10), mais visuellement, les deux relations doivent être différentes car le deuxième point de connexion extérieure de (4.9-a) n'a pas la même position de (4.9-b) et la géométrie de B a été changée sans laisser d'aucune trace sur la relation topologique. Le même problème de confusion apparait aussi dans la description des relations PO, TPP, et TPPi au niveau-2 pour les configurations présentées dans la Figure 4.9.

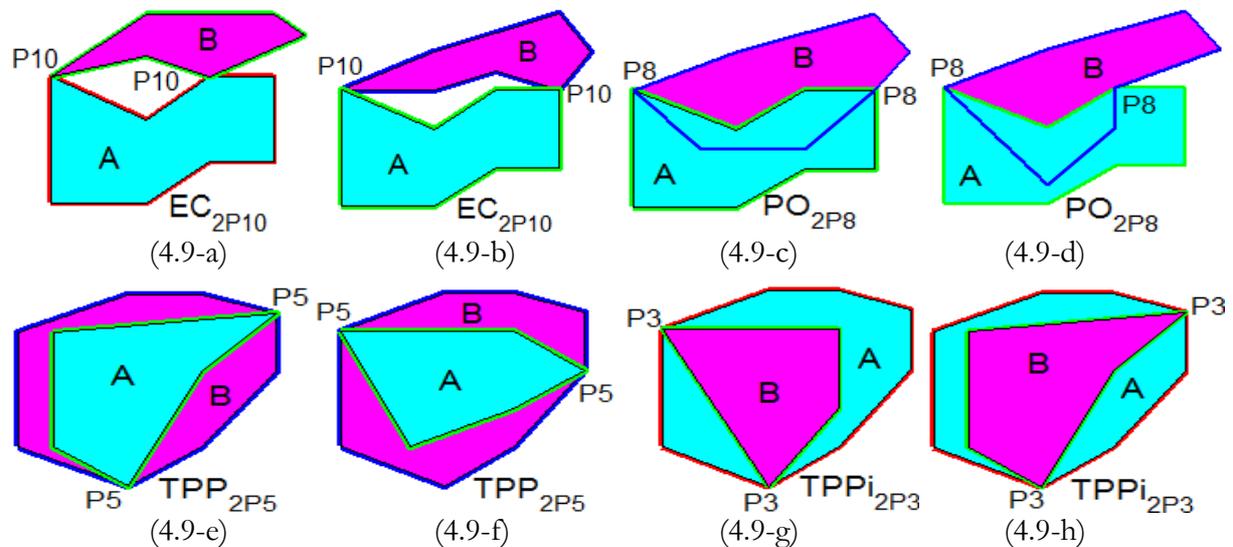


Fig. 4.9 : Exemples de configurations spatiales de problèmes de confusions des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2

Nous constatons que le changement géométrique de l'objet B n'a pas pu provoquer un changement dans la relation topologique entre A et B. Cela veut dire que chaque changement dans la relation topologique est provoqué par changement géométrique mais l'inverse n'est pas toujours vrai. Nous résumons que ces problèmes de confusions sont totalement liées à la géométrie de chaque région et à la position géométrique de leur points et lignes d'intersection.

Le grand défi est de vérifier et d'identifier si chaque changement géométrique a en conséquence un changement topologique et dans l'objectif de résoudre les problèmes de confusion, plusieurs pistes de solutions sont proposées dans la suite et les perspectives.

Par la suite, nous présentons la première solution proposée en introduisant de nouvelles informations dans la description des relations du système RCC-16 au niveau-2. Ces informations à ajouter sont trois : prendre en compte l'ordre d'occurrence (équivalent au concept de la séquence étudiée dans les travaux [Egenhofer et al. 1995] [Deng et al. 2007a]), l'orientation pour définir l'ordre et la position (deux possibilités : géométrique par coordonnées, ou par combinaison des données de distance et d'angles d'orientation) des types des points et lignes. Les deux raisons qui nous poussent à ajouter ces informations sont : d'abord, nous espérons que déterminer l'ordre d'occurrence, l'orientation et la position des types d'éléments spatiaux de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière peuvent aider à éliminer certaines ambiguïtés dans les relations. Ces ambiguïtés sont très difficiles à éviter par le type. Ensuite, combiner l'ordre d'occurrence, l'orientation et la position du type des points et lignes ajoutent de nouvelles informations cruciales et nécessaires pour éviter les inconvénients des relations du système RCC-16 au niveau-2 ; mieux détecter et identifier les changements topologiques, mesurer l'équivalence et la similarité topologiques de deux configurations spatiales.

La procédure proposée pour déterminer l'ordre d'occurrence des éléments spatiaux est comme suit : d'abord, les points et les lignes de l'intersection frontière-frontière ($S = \partial A \cap \partial B$) sont arrangés par leurs orientations dans la direction « sens horaire » (la même direction pour définir les types de lignes) ; nous avons déjà déterminé le nombre de séparations des lignes (mL) et des points (nP) d'intersection et leurs types. Nous cherchons l'ordre de ces lignes et points en conservant leurs types ; puis, nous prenons le premier point de S comme point de départ ; ensuite, nous lui donnons un indice numérique « 1 » pour indiquer que ce point est le point de départ de l'ordre d'occurrence. Si ce point ne constitue pas un point d'une ligne d'intersection, alors, ce point reste avec son indice numérique « 1 », sinon, la ligne à laquelle appartient le point prend l'indice numérique « 1 » et elle est le premier élément de l'ordre d'occurrence ; après, nous prenons le deuxième élément de S, nous lui attribuons l'indice « 2 », etc., jusqu'à l'arrivée au dernier élément de S. Le nombre total des éléments de S est égal à l'ensemble des nombres de séparations des lignes et points ($r = m+n$). Enfin, nous écrivons la relation au niveau-2, en nous basant sur l'ordre d'occurrence des lignes et points d'intersection, sous les formes suivantes :

- 1) Si ($m \geq 1$) et ($n = 0$) : $(EC, PO, TPP, TPPi)_1(TOL), 2(TOL), \dots, r(TOL)$
- 2) Sinon, si ($m = 0$) et ($n \geq 1$) : $(EC, PO, TPP, TPPi)_1(TOP), 2(TOP), \dots, r(TOP)$
- 3) Sinon, si ($m \geq 1$) et ($n \geq 1$) :
 $(EC, PO, TPP, TPPi)_1(TOP \text{ ou } TOL), 2(TOP \text{ ou } TOL), \dots, r(TOP \text{ ou } TOL)$

où « 1, 2, ... r » est l'ordre d'occurrence des lignes et points d'intersection.

Nous trouvons que les expressions des relations sont très difficiles à comprendre et l'ordre d'occurrence ne permet pas de distinguer deux configurations différentes.

Par exemple, en introduisant l'ordre d'occurrence, les relations pour les deux configurations représentées par les Figures (4.9-c) et (4.9-d) sont égales à la relation $PO_{1P8, 2P8}$, parce que les deux points de connexion extérieure sont de même type (P8) et ils ont les mêmes ordres d'occurrence pour les deux configurations. Pour cela, l'ordre d'occurrence n'est pas suffisant et nous devons introduire la position de chaque élément de S car elle est le seul critère qui reste permettant de

préciser où se trouvent les éléments de S . Par contre, la position n'est plus considérée comme une information topologique mais géométrique et cela n'a aucun sens topologique pour représenter la relation.

Une deuxième solution proposée est d'essayer de étudier les trois termes restants dans les modèles Ex-ID et ExT-ID : $A \cap B$, A-B et B-A [Egenhofer 1993] [Egenhofer et al. 1995] parce qu'ils ont un rôle décisif dans la détermination de la relation.

Cette idée de la résolution de problèmes de confusions représente une proposition permettant d'ajouter de nouvelles informations à chaque relation du système RCC-16 au niveau-2 lors de la comparaison entre deux relations topologiques de deux configurations.

Cette piste et les autres seront illustrées dans les perspectives à la fin de ce chapitre pour ouvrir le débat sur les autres relations comme par exemple : DC, NTPP, et NTPPi.

L'ultime solution proposée est de considérer que les deux configurations sont deux scènes spatiales et d'essayer de détecter les changements entre elles.

Cette proposition sera étudiée dans la section suivante pour la validation des relations topologiques du nouveau système RCC-16 au niveau-2.

L'application suivante concerne la détection des changements entre deux images satellites, et entre deux cartes vectorielles des SIG.

4.5. Applications et Résultats

« Expérimenter, c'est imaginer »
Friedrich Nietzsche (1844 -1900)

Dans cette section, nous allons valider et tester les nouvelles relations topologiques du nouveau système RCC-16 au niveau-2 pour la détection de changements.

Tout d'abord, nous reprenons, dans la section 4.5.1, la nouvelle méthode de détection de changements afin de détecter les changements entre deux images satellites prises à dates différentes (section 4.5.1.1), et entre deux cartes vectorielles prises à dates différentes (section 4.5.1.2). Dans cette nouvelle méthode, le système RCC-16 au niveau-2 remplacera le système RCC-16 au niveau-1 pour l'analyse topologique. Ensuite, nous allons comparer les avantages de cette intégration du système RCC-16 au niveau-2 dans la méthode de détection de changement par rapport au système RCC-16 au niveau-1 dans le chapitre 3. Enfin, nous concluons cette section avec certaines remarques.

4.5.1. Détection de Changements par Analyse Topologique du Système RCC-16 au Niveau-2 entre Images Satellitaires et Données des SIG

Nous allons appliquer la méthode (voir Figure 3.7 du chapitre 3) de détection de changement basée sur l'analyse topologique par le nouveau système RCC-16 au niveau-2.

L'intérêt de cette section est d'identifier et de détecter des changements des objets géographiques entre une nouvelle scène d'image satellite et une ancienne carte des SIG. En réalité, ce cas de détection de changements entre une image satellite et une carte vectorielle n'a pas été traité par manque de ces données (une carte correspondante à une image).

Cette application est aussi dans l'objectif de :

- 1) Identifier et détecter des types de changements topologiques dans la structure d'un objet géographique ou d'une région géographique dans une image satellite ou une carte numérique ;
- 2) Mieux décrire et comprendre l'équivalence et la similarité topologiques de deux scènes géographiques dans des SIG, ou deux scènes d'images satellites.

Les étapes de la méthode restent les mêmes de la nouvelle méthode de détection de changement (voir section 3.4.1 du chapitre 3) et la seule modification est que nous prenons les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 entre les objets géographiques issus d'image et de carte dans les quatre matrices des relations.

Dans cette section, nous allons illustrer l'importance des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 pour la détection des changements. Dans la Figure 4.10, deux scènes spatiales représentent un exemple d'objets géographiques extrait d'une image satellite (I) et d'une carte vectorielle (V). Le but est de détecter les changements entre elles en utilisant le système RCC-16 au niveau-2. Nous avons choisi ces deux scènes spatiales pour trois raisons : premièrement, certaines relations topologiques, par le système RCC-16 au niveau-1, entre les objets représentés dans les deux scènes sont égales. Par exemple, la relation (au niveau-1) entre 2 et 4 de V est égale à la relation ($PO_{2L, 2P}$) entre 2' et 4'. Deuxièmement, la similarité et l'équivalence topologiques, et les changements entre ces deux scènes sont complexes et difficiles à identifier. L'objet 1 n'a pas subi de changement et il reste le même dans I, nous voulons savoir

si les relations au niveau-2 ont la capacité de contribuer à détecter ce cas de non-changement pour cet objet.

Dans les Tables 4.10 et 4.11, la matrice (M_{VI}) des relations topologiques entre les objets de la carte V et les objets extraits d'image I est donnée par les relations des systèmes RCC-16 au niveau-2 et niveau-1, respectivement. Nous donnons cette matrice comme exemple de comparaison entre les deux systèmes RCC-16 au niveau-1 et -2. Par exemple, la relation topologique au niveau-1 entre 1 et 2' est égale à la relation ($EC_{2L, 1P}$) entre 2 et 1'. Alors que la relation ($EC_{1L15, 1L20, 1P12}$) au niveau-2 entre 1 et 2' n'est pas égale à la relation ($EC_{1L14, 1L21, 1P12}$) entre 2 et 1'.

Matrice Relation $M_{VI} : R12$			Objets Extraits de l'Image Satellite I				
			I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
			1'	2'	3'	4'	5'
Objets de la Carte Vectorielle V	V_1	1	EQ	$EC_{1L15, 1L20, 1P12}$	$TPPi_{1L25, 1L26}$	EC_{1P12}	$EC_{1L1, 1P12}$
	V_2	2	$EC_{1L14, 1L21, 1P12}$	$PO_{1P3, 1P5, 1P8}$	EC_{1P12}	$PO_{1L21, 1L30, 1P8, 1P10}$	DC
	V_3	3	TPP_{2L10}	EC_{1P12}	$PO_{1L26, 1L27, 1P8}$	DC	EC_{1L0}
	V_4	4	EC_{1P12}	$PO_{1L16, 1L3, 2P8}$	DC	$PO_{1L18, 1P5, 3P3}$	DC
	V_5	5	$EC_{1L13, 1P12}$	EC_{1P12}	EC_{1P12}	DC	$PO_{1L25, 1L26, 2P8, 1P3}$

Table. 4.10 : Matrice Relation $M_{VI_{5*5}} : R12$ - Matrice des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 entre les objets de la carte V et les objets de l'image I

Matrice Relation $M_{VI} : R12$			Objets Extraits de l'Image Satellite I				
			I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
			1'	2'	3'	4'	5'
Objets de la Carte Vectorielle V	V_1	1	EQ	$EC_{2L, 1P}$	$TPPi_{2LT}$	EC_{1P}	$EC_{1L, 1P}$
	V_2	2	$EC_{2L, 1P}$	PO_{3P}	EC_{1P}	$PO_{2L, 2P}$	DC
	V_3	3	TPP_{2LT}	EC_{1P}	$PO_{2L, 1P}$	DC	EC_{1L}
	V_4	4	EC_{1P}	$PO_{2L, 2P}$	DC	$PO_{1L, 4P}$	DC
	V_5	5	$EC_{1L, 1P}$	EC_{1P}	EC_{1P}	DC	$PO_{2L, 3P}$

Table. 4.11 : Matrice Relation $M_{VI_{5*5}} : R12$ - Matrice des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 entre les objets de la carte V et les objets de l'image I

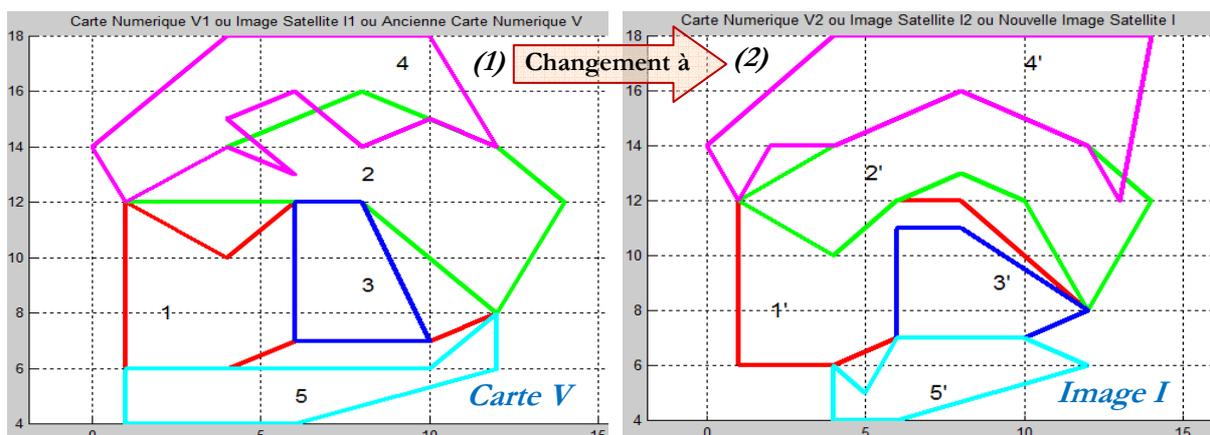


Fig. 4.10 : Deux scènes spatiales pour la détection de changements

Ensuite, les étapes de la méthode (développée dans la section 3.4.1) se sont poursuivies dans l'objectif d'identifier et de détecter les changements entre ces deux scènes. Nous présentons

les changements détectés par le système RCC-16 au niveau-2 (pour (1) les objets de la carte V et (2) les objets d'image I) en trois cartes de changements (Figure 4.11) : (3) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus, (4) Objets disparus ou "en partie" disparus, (5) Objets non-changés ou "en partie" non-changés.

Afin de valider ces résultats, nous avons appliqué la méthode de détection de changements en utilisant les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 et les résultats acquis sont présentés dans la Figure 4.12. Nous trouvons que les résultats du système RCC-16 au niveau-2 sont plus corrects et valides que ceux obtenus au niveau-1. Le seul changement détecté qui fait la différence est le changement de l'objet 3 à l'objet 3' où cet objet a été indiqué comme nouvel objet (voir Figure 4.12) par le système RCC-16 au niveau-1.

En conclusion, nous pouvons déduire que le développement du système RCC-16 au niveau-2 et l'intégration de ce système dans la méthode de détection de changements a permis de détecter des changements qui sont impossibles de vérifier et d'identifier ces changements auparavant par le système RCC-16 au niveau-1.

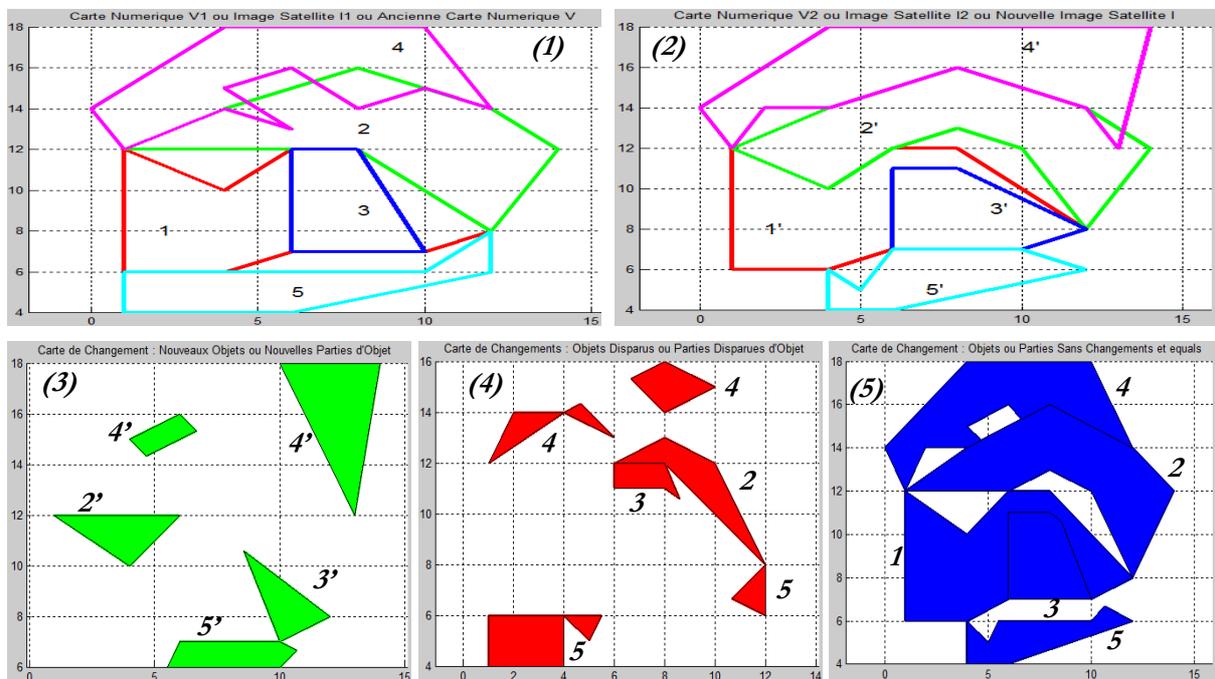


Fig. 4.11 : Résultats de détection de changements en employant les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2

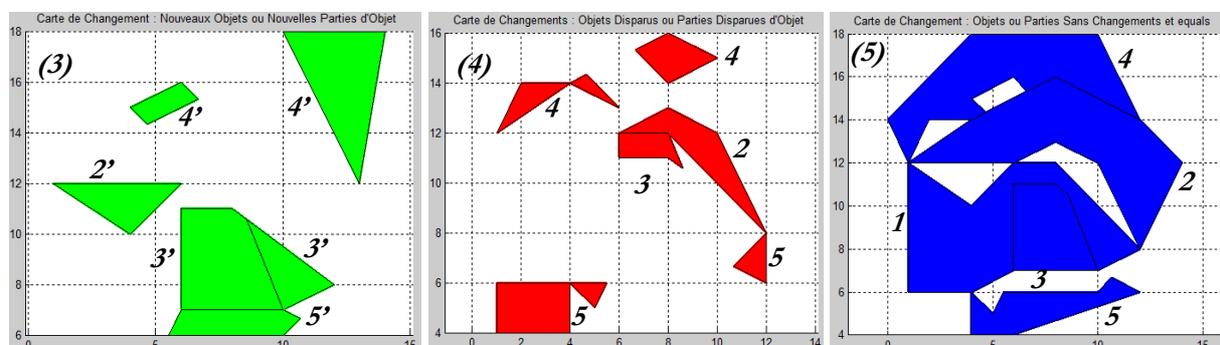


Fig. 4.12 : Résultats de détection de changements en employant les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1

Dans les sections 4.5.1.1 et 4.5.1.2, nous allons étudier l'application de cette méthode. Nous allons présenter deux exemples d'application de cette méthode pour détecter et identifier des changements entre : (1) deux images satellites LANDSAT prises à dates différentes, (2) deux cartes vectorielles de la base CLC à dates différentes (CLC1990 et CLC2000).

4.5.1.1. Exemple d'Application 1 : Détection de Changements entre Deux Images Satellites Acquis à Dates Différentes

La première application de la validation du système RCC-16 au niveau-2 est de détecter et d'identifier les changements entre deux images satellites prises à dates différentes. Nous reprenons les mêmes images étudiées dans la section 3.4.1.2 du chapitre 3. Dans cette section, nous nous intéressons à détecter les changements des zones d'eau afin de comparer et vérifier les deux résultats acquis par les deux systèmes RCC-16 au niveau-1 (section 3.4.1.2) et au niveau-2. Les données vectorielles des zones d'eau sont présentées dans la Figure 4.14.

Les résultats obtenus (présentées dans la Figure 4.15) sont presque les mêmes pour les deux systèmes avec une amélioration dans les résultats du système RCC-16 au niveau-2 pour le cas étudié de la détection du changement du lac "16 Octobre" dans la section 3.4.1.2 (voir Tables 3.29 et 3.30, Figures 3.20 et 4.15). Cette amélioration est que l'objet 11 n'a pas été indiqué comme objet disparu (pour la comparaison, voir Figures 3.20 et 4.15) et les parties disparues de cet objet sont parfaitement identifiées et détectés dans cette section (voir Figures 4.13 et 4.15). Ces parties disparues de l'objet 11 sont présentés dans la Figure 4.13.

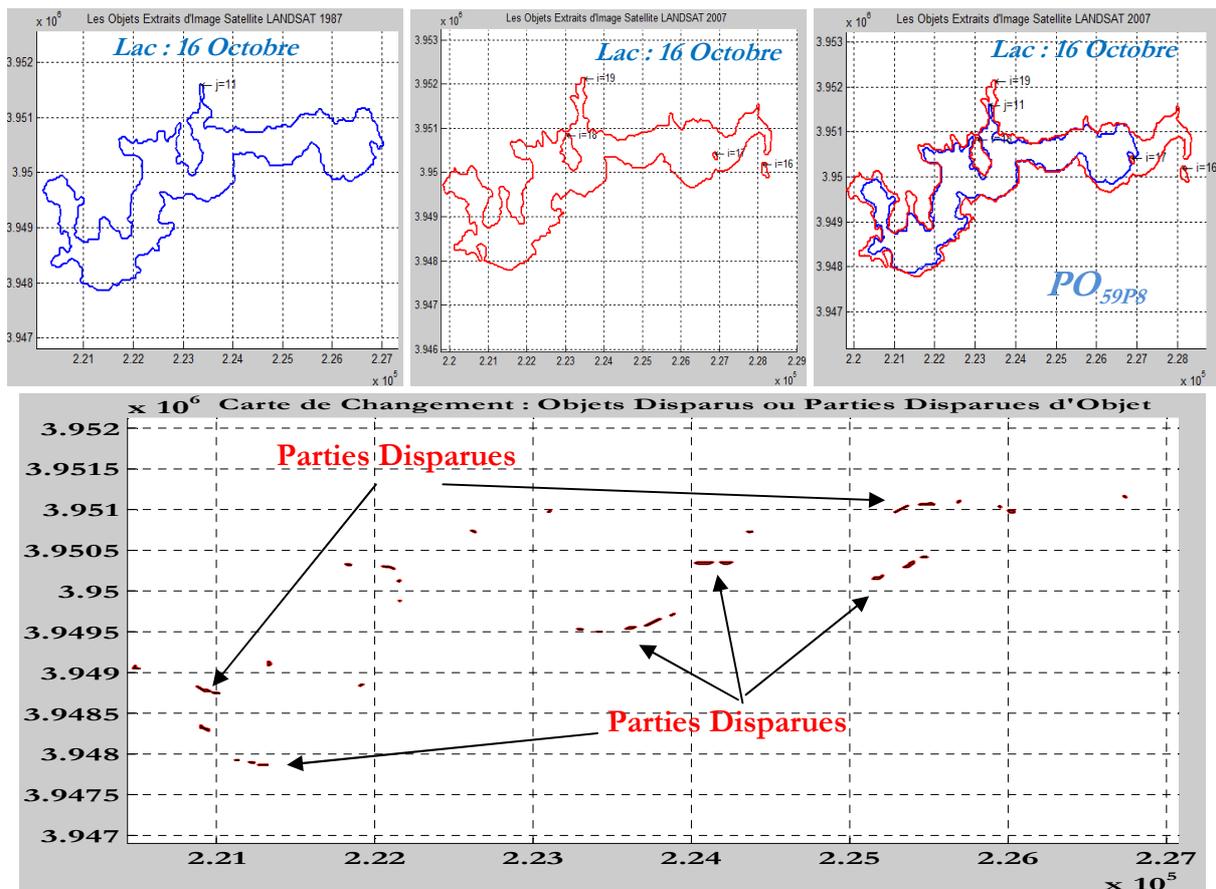


Fig. 4.13 : Cas étudié – détection de changements des parties disparues de l'objet géographique du lac "16 Octobre "

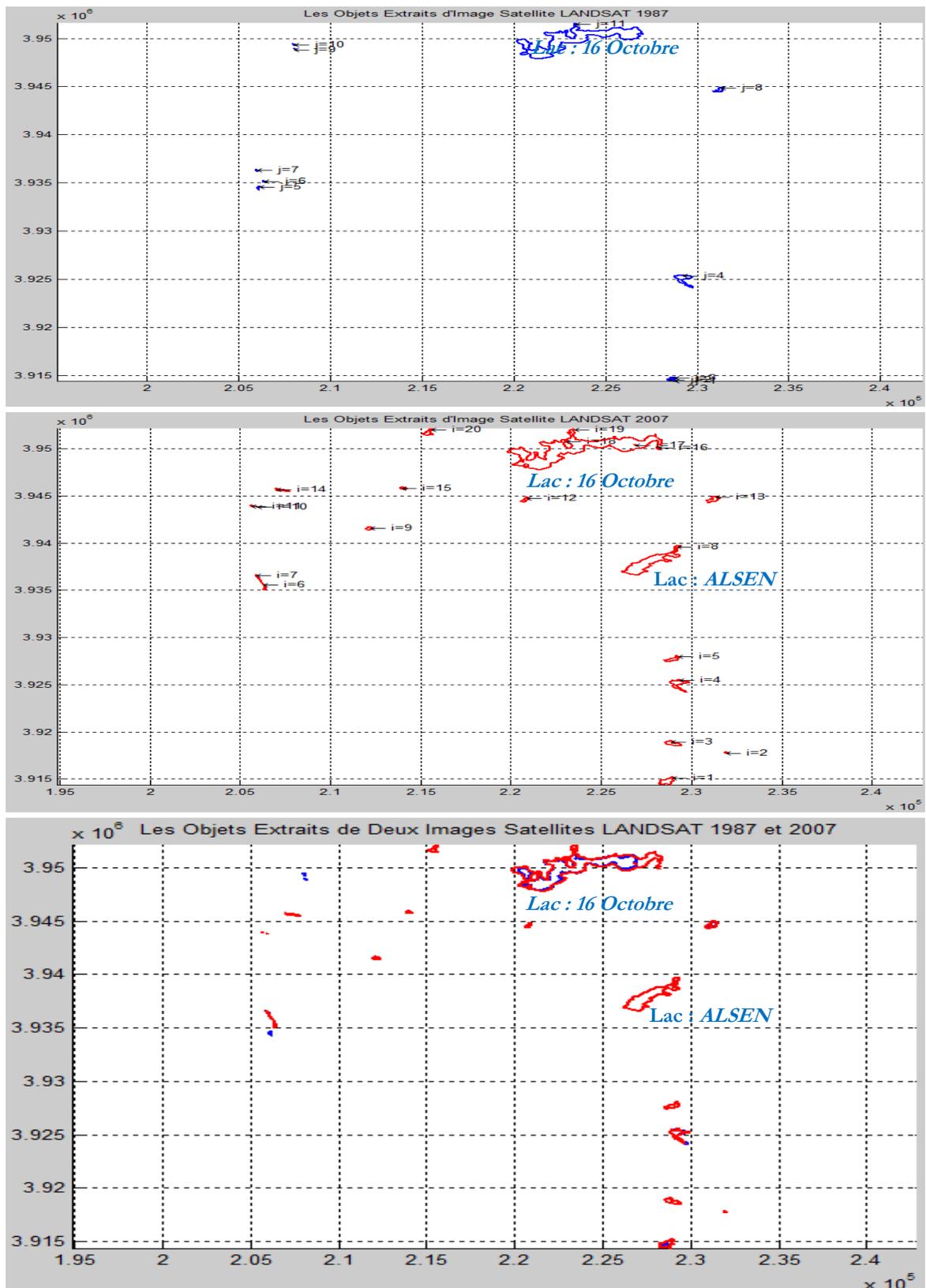


Fig. 4.14 : Objets géographiques de la classe « zones d'eau hors la Mer Méditerranée » extraite de deux images satellites (LANDSAT1987 et LANDSAT2007) présentées en données vectorielles polygonales (1987 en Bleu et, 2007 en Rouge) [Extraits du Chapitre 3]

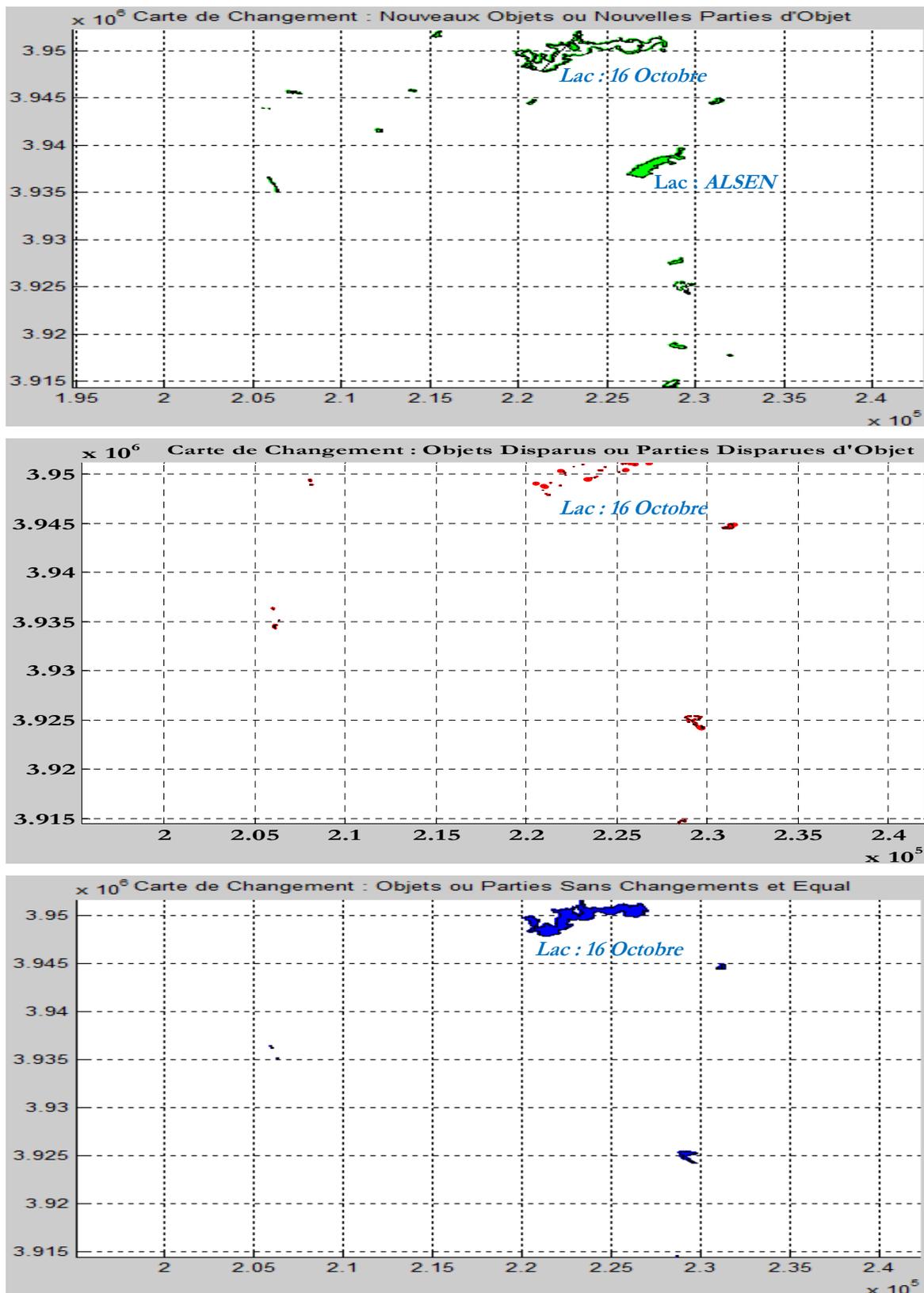


Fig. 4.15 : Cartes de changements des zones d'eau : (1) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus (Vert), (2) Objets disparus ou "en partie" disparus (Rouge), (3) Objets non-changés ou "en partie" non-changés (Bleu)

Nous trouvons que les résultats obtenus en utilisant le système RCC-16 au niveau-2 sont valides et améliorés par rapport au système RCC-16 au niveau-1.

Dans la prochaine section, nous allons étudier l'application du système RCC-16 au niveau-2 pour la détection de changements entre deux cartes vectorielles de la base CLC.

4.5.1.2. Exemple d'Application 2 : Détection de Changements entre Deux Cartes Vectorielles de la Base CLC

La deuxième application de la validation du système RCC-16 au niveau-2 est de détecter et d'identifier les changements entre deux cartes vectorielles des données des SIG produites à dates différentes.

Un exemple d'application du système RCC-16 au niveau-2 dans la méthode de détection de changements est réalisé en prenant des objets géographiques de la base CLC (voir Figure 4.16). En conséquent, nous détectons les changements de ces objets dans les deux scènes et nous obtenons les cartes de changements présentées dans la Figure 4.17 pour les nouveaux objets, les objets disparus et les objets non-changés. Les changements détectés sont valides et vrais.

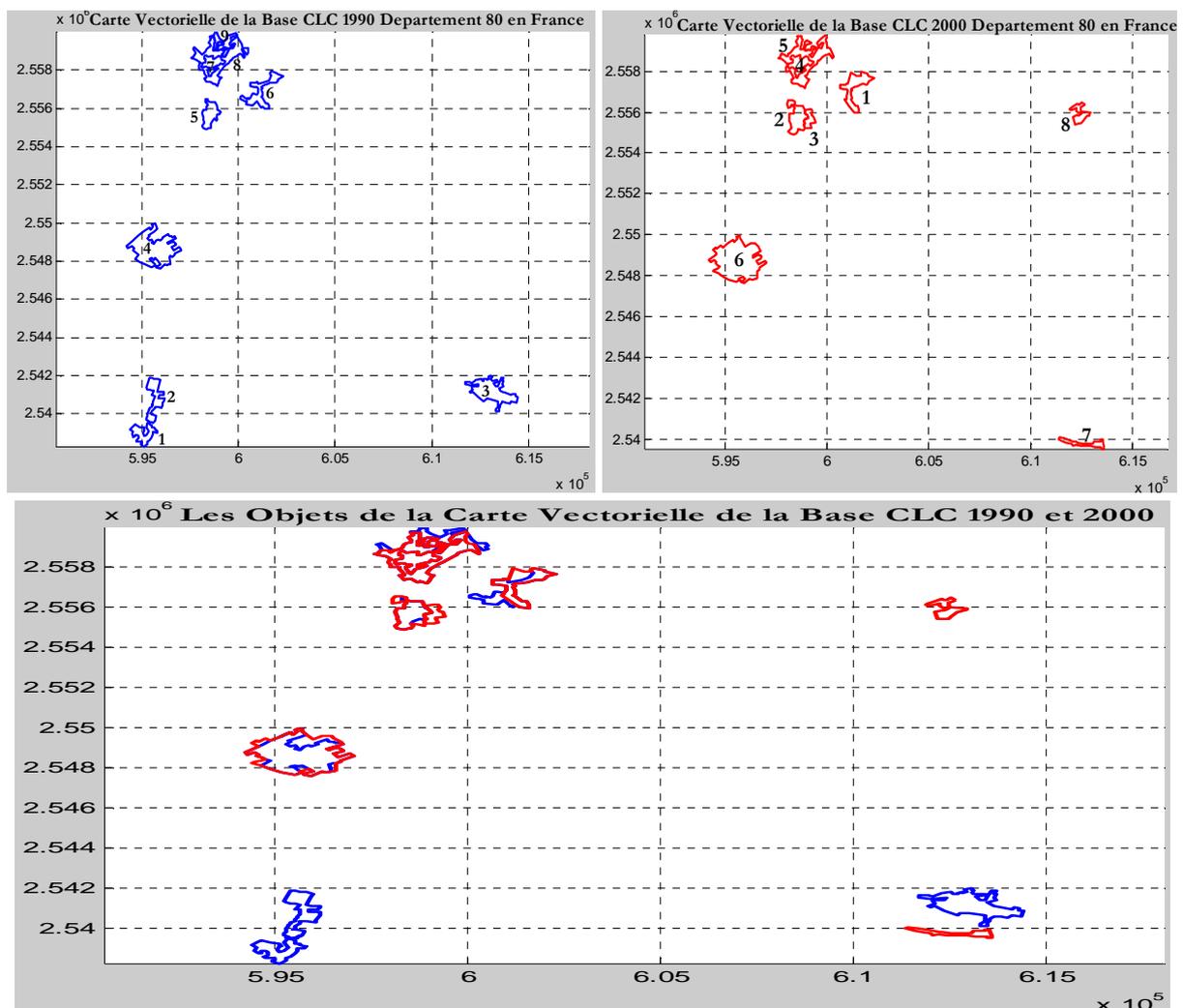


Fig. 4.16 : Objets géographiques (département "La somme") de deux cartes vectorielles de la base CLC : (1) V1(CLC1990), (2) V2 (CLC2000), (3) Objets de deux cartes superposées

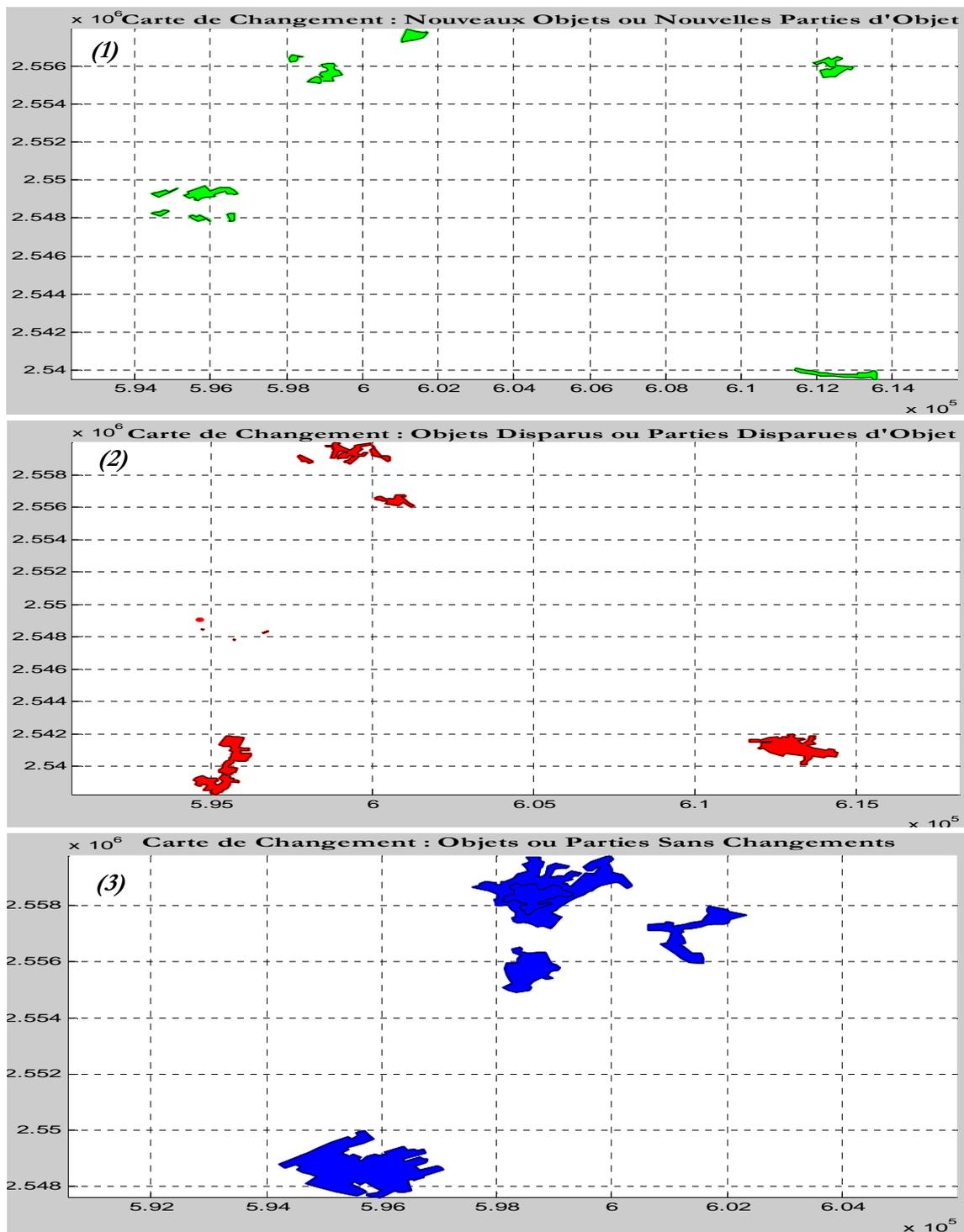


Fig. 4.17 : Cartes de changements détectés : (1) Nouveaux objets, (2) Objets disparus, (3) Objets non-changés (sans changement)

En conclusion sur cette application du système RCC-16 au niveau-2 pour la détection de changements, nous trouvons qu'il permet d'éliminer de fausses alarmes de changements au niveau-1 (cas présenté dans ce chapitre : indiquer un objet comme disparu alors qu'il existe encore sur la scène mais il a subi d'autres types de changements) et qu'il donne de parfaits résultats par rapport aux résultats acquis par l'application du système RCC-16 au niveau-1.

Dans la prochaine section, nous concluons en résumant ce chapitre l'étude de l'enrichissement du système RCC8 et le développement du système RCC-16 au niveau-1 et -2.

4.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé le nouveau système RCC-16 au niveau-2 en introduisant les types des éléments spatiaux de l'intersection frontière-frontière. Notre deuxième contribution dans cette thèse est le système RCC-16 au niveau-2 avec ses relations topologiques : DC , $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL), n(TOP)}$, $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL), n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL), n(TOP)}$, $NTPP$, $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL), n(TOP)}$, $NTPPi$, EQ .

Ces relations nous ont permis de distinguer des configurations spatiales ayant la même relation topologique au niveau-1.

La validation du système RCC-16 au niveau-2 a été le sujet abordé dans deux applications : la détection de changements entre image-image, et entre carte-carte. Ce système a été intégré dans la nouvelle méthode de détection de changements pour l'analyse topologique. Les données utilisées pour la détection des changements sont deux images satellites LANDSAT, et deux cartes vectorielles de la base CLC.

L'amélioration des résultats obtenus par l'intégration du système RCC-16 au niveau-2 dans cette méthode par rapport du système RCC-16 au niveau-1 a été remarquée où les fausses alarmes de changements ont été facilement éliminées.

Les avantages et les inconvénients du système RCC-16 au niveau-2 ont été abordés avec certaines solutions proposées pour faire face.

Dans cette étude de l'enrichissement du système RCC8, les objets géographiques et les régions spatiales ont de simples représentations spatiales. Cependant, la représentation spatiale et les relations topologiques entre objets dans des images satellites et des données des SIG sont plus complexes, floues et incertaines. Dans ce contexte, nous allons développer un modèle topologique flou, dans le chapitre 5, afin d'extraire les relations topologiques entre régions floues.

L'étude sur les relations topologiques floues est considérée comme cas spécifique de l'enrichissement du système RCC8 pour les régions floues où les relations seront classifiées dans les huit relations de base du système RCC8.

4.7. Perspectives & Futurs Travaux

Dans nos perspectives, l'établissement de la nouvelle table de composition du système RCC8 en nous basant sur les 16 nouvelles relations du système RCC-16 au niveau-1 sera fondamental pour connaître les effets des relations du système RCC-16 sur l'ancienne table de composition du système RCC8 [Egenhofer 1994].

Nous envisageons de construire la table de composition du système RCC-16 au niveau-1 qui permet de raisonner en détail sur les relations topologiques. En conséquence des 16 relations topologiques, nous allons avoir 16×16 (256) compositions du système RCC-16 au lieu de 8×8 (64) compositions du système RCC8 entre deux relations topologiques [Egenhofer 1994]. Nous pensons que certaines compositions de cette nouvelle table sont très intéressantes à étudier en détail car elles nous conduisent peut-être à éliminer certaines relations résultantes de ces compositions dans la table traditionnelle du système RCC8.

Il est nécessaire et indispensable d'étudier les propriétés suivantes des relations du système RCC-16 au niveau-1 et niveau-2 : la complexité et la distance topologique, la construction de

graphes conceptuels de voisinage, la construction d'arbres de décision et les sémantiques de ces relations pour les requêtes spatiales.

Dans l'objectif d'élargir les horizons de discussions sur les inconvénients du système RCC-16 au niveau-2, l'idée de combiner les relations directionnelles, métriques et de distance avec les relations topologiques n'est pas nouvelle dans le domaine de raisonnement spatial [Li 2007].

Dans ce contexte, nous cherchons à déterminer l'orientation et la position des types des lignes et points d'intersection avec le maintien de leurs ordres d'occurrence. La position peut être définie par les relations directionnelles (NE ou NW, ou autres par rapport à un point de référence) et métriques (distance entre un point de référence et chaque type des lignes et points d'intersection), ou par les coordonnées géométriques X et Y de chaque élément de $S = \partial A \cap \partial B$. Pour un point, sa position géométrique sera définie par : $Post_P = [X, Y]$. Pour une ligne, sa position sera définie par la position géométrique du point de départ et du point d'arrivée comme suit : $Post_L = \{[X^{Départ}, Y^{Départ}]; [X^{Arrivée}, Y^{Arrivée}]\}$.

Une autre idée pour résoudre les problèmes de confusions pourrait être la suivante. Dans les deux modèles Ex-ID et ExT-ID, pour développer le système RCC-16 au niveau-1 et 2, le seul terme qui a été pris en compte est le terme de l'intersection frontière-frontière ($\partial A \cap \partial B$). Nous trouvons qu'il faudrait élargir les termes étudiés aux trois termes restants dans ces modèles : $A^\circ \cap B^\circ$, A-B et B-A [Egenhofer et al. 1995] parce qu'ils ont un rôle décisif dans la détermination de la relation. Le nombre de séparations de ces régions (intersection et différences) a été introduit dans les relations du système RCC-16 au niveau-1 et 2. Nous trouvons que les nombres de séparations ne suffisent pas à différencier ces configurations. Par exemple, pour la relation PO, le nombre de séparations des régions d'intersection est égal à 1 (une seule région) pour les deux configurations (4.18-c, et 4.18-d) dans la Figure 4.18.

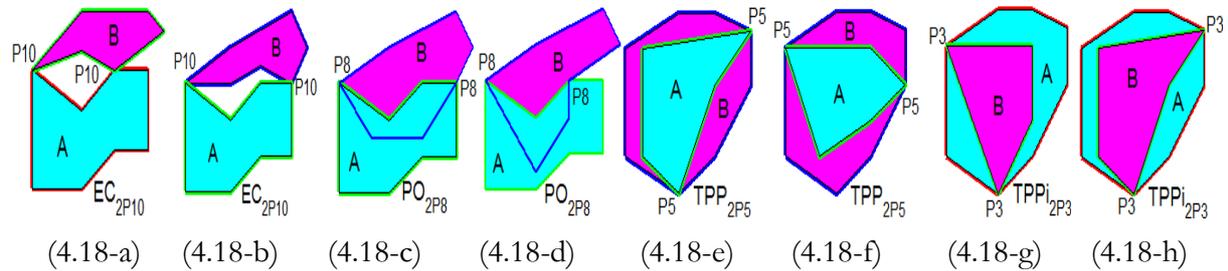


Fig. 4.18 : Exemples de configurations spatiales de problèmes de confusions des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2

Nous illustrons la solution proposée comme suit : si les relations topologiques pour deux configurations sont égales, alors, nous allons comparer les régions d'intersection ($A^\circ \cap B^\circ$), les régions de différences A-B et B-A pour les deux configurations afin de vérifier leur égalité. Dans ce but, nous revenons sur les deux modèles Ex-ID et ExT-ID donnés par les matrices suivantes :

$$Ex-ID(A,B) = \begin{bmatrix} \chi(A^\circ \cap B^\circ) & \chi(B-A) \\ \chi(A-B) & \chi(\partial A \cap \partial B)_P \\ & \chi(\partial A \cap \partial B)_L \end{bmatrix} \text{ et } ExT-ID(A,B) = \begin{bmatrix} \chi(A^\circ \cap B^\circ) & \chi(B-A) \\ \chi(A-B) & \chi(\partial A \cap \partial B)_{Point_Type} \\ & \chi(\partial A \cap \partial B)_{Ligne_Type} \end{bmatrix}$$

Pour chaque relation de ces quatre : EC, PO, TPP, et TPPi, nous étudions les termes ($A^\circ \cap B^\circ$, A-B et B-A) ayant des valeurs non-vides. Les termes non-vides sont pour EC : A-B et B-A ; pour PO : $A^\circ \cap B^\circ$, A-B et B-A ; pour TPP : $A^\circ \cap B^\circ$, et B-A ; pour TPPi : $A^\circ \cap B^\circ$, et A-B (voir Table 2.5, Chapitre 2).

Par exemple, les relations pour les Figures (4.18-c, et 4.18-d) sont égales à PO_{2P8} . Dans ce cas, l'égalité des régions d'intersection $A \circ \cap B \circ$, et de différences A-B et B-A des deux cotés (4.18-c, et 4.18-d) sera vérifiée pour savoir si les relations sont vraiment égales ou non.

Dans la Figure 4.19, les régions d'intersection ($A \circ \cap B \circ$) et de différences (A-B, et B-A) sont représentées afin de voir leurs différences entre ces régions pour chaque configuration. En conséquent, les régions d'intersection pour la Figure (4.19-a) ne sont pas identiques aux régions d'intersection pour la Figure (4.19-b).

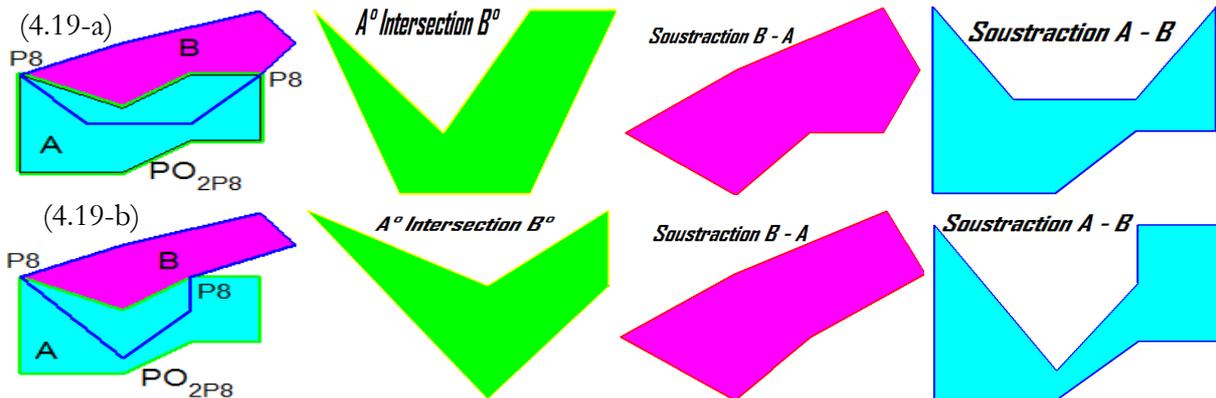


Fig. 4.19 : Illustration de la résolution d'un problème de confusions des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2

La question posée est : comment intégrer ces informations dans la description de la relation topologique ?

Notre réponse est la suivante : ces informations ajoutées ont une importance spécifique pour identifier et détecter des changements dans les relations et les configurations. Nous les introduisons lors de la comparaison entre deux relations topologiques pour deux configurations comme suit : (1) Si les régions d'intersection sont égales, alors, l'expression de cette égalité est notée par ($RIT=1$), sinon notée par ($RIT=0$) ; (2) Si les régions de différence (A-B) sont égales, alors, l'expression de cette égalité est notée par ($RD1=1$), sinon notée par ($RD1=0$) ; (3) Si les régions de différence (B-A) sont égales, alors, l'expression de cette égalité est notée par ($RD2=1$), sinon notée par ($RD2=0$) ; (4) la relation entre deux configurations (notée R_{Conf}) à la fois est exprimée par : $R_{Conf} = (R=PO_{2P8}, RIT=0, RD1=0, RD2=0) = PO_{2P8}, RIT=0, RD1=0, RD2=0$. Cela veut dire que les deux configurations n'ont pas la même relation topologique car les trois régions ($RIT=0, RD1=0, RD2=0$) n'ont pas les mêmes valeurs d'égalité ($RIT=1, RD1=1, RD2=1$) en même temps.

Pour les configurations présentées dans la Figure 4.18, la relation EC (pour les configurations 4.18-a, et 4.18-b) sera décrite par la relation entre ces configurations comme suit : $R_{Conf} = EC_{2P10, RD1=1, RD2=0}$.

La même chose est faite pour la relation TPP (configurations 4.18-e, et 4.18-f) où la relation TPP sera donnée comme : $R_{Conf} = TPP_{2P5, RIT=0, RD2=0}$; et pour la relation TPPi (configurations 4.18-g, et 4.18-h) où la relation TPPi sera écrite par : $R_{Conf} = TPPi_{2P3, RIT=0, RD1=0}$.

Pour les relations DC, NTPP et NTPPi, les termes non-vides sont pour : (1) DC : A-B, et B-A ; (2) NTPP : $A \circ \cap B \circ$, et B-A ; (3) NTPPi : $A \circ \cap B \circ$, et A-B (voir Table 2.5, Chapitre 2).

Nous pensons que l'étude approfondie de ces termes permettra d'ajouter de nouvelles informations et de donner de nouvelles descriptions détaillées pour enrichir ces relations.

Chapitre 5

Modélisation des Relations Topologiques du Système RCC8 entre Régions Spatiales Floues

« Everything is vague to a degree you do not realize
till you have tried to make it precise, and everything precise is so
remote from everything that we normally think »

From “The Philosophy of Logical Atomism” (1918) - Bertrand Russell (1872 - 1970)

Sommaire

5.1. Introduction	140
5.2. État de l’art : Modèles Topologiques Flous et Régions Spatiales Floues ..	141
5.3. Problématique	147
5.4. Objectif & Motivation	147
5.5. Rappel : Espace Topologique Flou Simple	149
5.6. Nouvelle Définition et Génération des Régions Floues Simples	149
5.6.1. Définition des Régions Floues Simples	149
5.6.2. Propriétés de la Frontière Floue	151
5.6.3. Génération et Extraction des Régions Floues des Images Satellites	151
5.7. Contribution I : Nouveau Modèle I_{4*4} de $4*4$ - Intersections	160
5.7.1. Nouvelle Matrice de $4*4$ - Intersections	160
5.7.2. Identification des 152 Relations Topologiques par le Modèle I_{4*4}	160
5.7.3. Avantages et Inconvénients du Modèle I_{4*4}	162
5.8. Contribution II : Modèle Topologique Flou d’Intersection et Différence (FID)	162
5.8.1. Modèle FID	162
5.8.2. Identification des 152 Relations Topologiques par le Modèle FID	164
5.8.3. Avantages et Inconvénients du Modèle FID	165
5.9. Comparaison des deux Modèles I_{4*4} et FID avec les autres Modèles	165
5.10. Étude des Propriétés des 152 Relations Topologiques du Modèle FID ..	166
5.10.1. Complexité Topologique	166
5.10.2. Distance Topologique	169
5.10.3. Graphe Conceptuel de Voisinage	173
5.11. Système RCC8 et Regroupement des 152 Relations du Modèle FID	176
5.12. Arbre de Décision	181
5.13. Applications et Discussions	185
5.14. Conclusion & Perspectives	189

5.1. Introduction

Actuellement, la plupart des SIG représentent des régions géographiques par des régions spatiales simples comme nous avons vu dans les quatre chapitres précédents. En fait, de nombreuses régions géographiques ont des caractéristiques floues (classes des pixels à la frontière de deux régions [Cheng et al. 1997], ou hauteur des montagnes pour les cartes des sols [Kremenova et al. 2004], densité des arbres des forêts, densité des habitats des villes, niveau d'eau des mers [Cheng et al. 2001] [Cheng et al. 2004], ou autres [Tang et al. 2004]). La représentation spatiale de ces régions sous représentation simple a simplifié grandement leur traitement et la description de leurs relations topologiques. Cependant, cette simplification ne permet pas de décrire précisément ces régions géographiques, conduisant à la perte de certaines informations sur ces régions. Ainsi, afin de décrire plus précisément des régions géographiques, leur description floue devrait être considérée : elle peut apporter de nouvelles représentations spatiales des régions dans des SIG, permettant de donner meilleurs résultats et une meilleure compréhension du monde réel.

Dans ce contexte, nous nous intéressons dans ce chapitre à la modélisation des régions spatiales floues et de leurs relations topologiques floues.

Le plan général de ce chapitre est présenté comme suit : dans la section 5.2, nous allons résumer et présenter les travaux de la littérature dans le domaine de la description des relations topologiques floues et les modèles topologiques appropriés.

Ensuite, la section 5.3 est consacrée à l'étude des relations topologiques entre régions spatiales floues et leurs descriptions par rapport au système RCC8 (développé pour les régions simples).

Puis, la section 5.4 porte sur la possibilité d'explorer et d'étendre le modèle d'Intersection et Différence (ID), étudié dans les chapitres précédents pour les régions simples, dans l'objectif de décrire les relations topologiques entre régions floues. Dans la section 5.5, la définition de l'espace topologique flou sera présentée.

La question clé dans la description topologique des régions spatiales floues est comment définir leurs frontières. Dans le but de définir la frontière floue, nous allons présenter, dans la section 5.6, la nouvelle définition des régions floues simples et la méthode pour générer ces régions à partir des images satellites. En se basant sur la nouvelle définition développée, un nouveau modèle topologique flou I_{4*4} de 4*4-Intersections sera proposé et les 152 relations topologiques identifiées par ce modèle seront l'objet de l'étude dans la section 5.7.

Notre première contribution dans ce chapitre est le modèle topologique flou I_{4*4} . L'inconvénient de ce modèle est que le temps de calcul est élevé à cause du coût élevé de calcul de 16 (4*4) intersections. Pour réduire le temps de calcul, nous proposons de réduire le nombre d'intersections dans le modèle I_{4*4} en intégrant l'opérateur de différence comme dans le modèle ID. En introduisant l'opérateur de différence, un nouveau modèle topologique flou d'Intersection et Différence (FID) de 8-Intersections et 8-Différences sera développé et les 152 relations topologiques identifiées par ce modèle FID seront l'objet de l'étude dans la section 5.8.

Notre deuxième contribution dans ce chapitre est le modèle topologique flou d'Intersection et de Différence (FID). Ce modèle FID est l'extension du modèle ID pour identifier et décrire les relations topologiques floues entre régions spatiales floues.

Dans la section 5.9, nous allons comparer les deux modèles proposés I_{4*4} et FID avec les autres modèles étudiés dans la littérature par rapport à leur capacité à identifier des relations

topologiques et à distinguer deux configurations spatiales. Les propriétés des 152 relations topologiques du modèle FID (la distance topologique, la complexité topologique et le graphe conceptuel de voisinage) seront étudiées dans la section 5.10.

Les 152 relations topologiques sont exprimées par des matrices de 4*4-éléments ayant des valeurs vides ou non-vides pour chaque élément. Dans l'objectif d'exprimer ces relations par des expressions qualitatives floues, le regroupement de ces 152 relations du modèle FID dans les huit relations topologiques qualitatives de base du système RCC8 sera indispensable. Dans la section 5.11, le regroupement sera basé sur la définition de quatre niveaux flous des huit clusters des relations du système RCC8 : (1) Completely (Complètement), (2) Strongly (Fortement), (3) Fairly (Assez), et (4) Weakly (Faiblement).

Une méthode optimale d'identification et d'extraction des relations qualitatives floues du modèle FID est basée sur la construction d'arbre de décision. Dans la section 5.12, nous montrons comment construire un arbre de décision en employant les relations qualitatives du système RCC8. Cet arbre est très utile pour l'interrogation des relations floues par des requêtes spatiales.

Finalement, nous allons chercher et valider l'existence des relations qualitatives floues du système RCC8 dans des images satellites dans la section 5.13. Les relations qualitatives peuvent être introduites et employées dans la méthode de détection de changement afin d'identifier des changements topologiques dans la structure d'une région géographique dans une image satellite dans le but de mettre à jour des SIG.

Nous concluons ce chapitre en rappelant nos contributions majeures dans le domaine de la description qualitative des relations topologiques floues du système RCC8.

5.2. État de l'Art : Modèles Topologiques Flous et Régions Spatiales Floues

Les relations topologiques ont une signification importante dans la modélisation des SIG car elles sont la base pour la modélisation, les requêtes, l'analyse et le raisonnement spatial. Comment identifier les relations topologiques entre régions spatiales est un point critique dans la modélisation spatiale des SIG.

Dans les chapitres précédents, nous avons présenté et étudié les relations topologiques entre régions simples qui ont été beaucoup étudiées dans la littérature [Egenhofer 1989] [Egenhofer et al. 1991b] [Clementini et al. 1993] [Chen et al. 1998] [Deng et al. 2007a].

Récemment, étudier et modéliser les relations topologiques entre régions spatiales floues à partir des images satellites et pour les SIG est devenu un thème de recherche très actif pour la détection des changements [Cheng 2002] [Cheng et al. 2004] [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2005].

Dans cette section, nous allons présenter les modèles topologiques et les représentations spatiales des régions floues étudiées dans la littérature.

Avant de commencer cette section, nous avons trouvé dans les travaux cités ci-dessous les synonymes suivantes de « région floue » [Cheng et al. 2004] [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2006] : imprécise [Winter 2000] [Deng et al. 2004], incertaine [Cohn et al. 1997a&b] [Tossebro 2002], ambiguë ou vague [Cohn et al. 1995] [Winter et al. 2002] [Pauly et al. 2005], ou avec frontière indéterminée [Cohn et al. 1995] [Clementini et al. 1996] [Roy et al. 2001] [Du et al. 2008a&b].

La topologie des régions spatiales simples (voir Figure 5.1) est définie par les composantes spatiales suivantes : l'intérieur, la fermeture, l'extérieur et la frontière sur lesquelles les modèles

topologiques développés dans les travaux [Egenhofer et al. 1991a] [Clementini et al. 1993] [Chen et al. 1998] [Deng et al. 2007a] [Liu et al. 2008] sont basés.

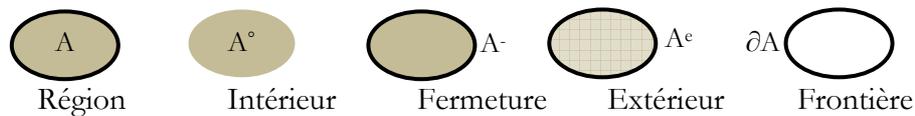


Fig. 5.1: Intérieur, Fermeture, Extérieur, Frontière d'une région spatiale simple

Ces modèles impliquent dans leurs développement les faits suivants dans l'espace topologique général : (1) l'intérieur, la frontières et l'extérieur d'un sous-ensemble spatial simple (basé sur la topologie générale) sont des invariants topologiques, (2) ces invariants topologiques sont mutuellement disjoints, et (3) le contenu vide/non-vide des intersections entre ces trois parties topologiques de deux sous-ensembles spatiaux simples est aussi considéré comme invariant topologique. En revanche, pour les régions floues, l'intérieur, la frontière et l'extérieur d'un ensemble flou ne peuvent pas être mutuellement disjoints les uns des autres et l'utilisation des modèles [Egenhofer et al. 1991a] [Clementini et al. 1993] [Deng et al. 2007a] n'est plus valide. De ce fait vient l'importance de la représentation spatiale des régions floues et la description de leurs relations topologiques dans des SIG s'en trouve accrue.

Des phénomènes géographiques dans des SIG avec frontières incertaines peuvent être modélisés par régions avec limites (frontières) indéterminées (Regions with Broad Boundaries (BBRs)) comme dans les travaux de Clementini [Clementini et al. 1996] [Clementini 2008] et de Du [Du et al. 2008a&b]. Une région avec frontière indéterminée est une extension d'une région avec une frontière simple représentée par une région simple (référence à des régions simples avec des trous comme dans le travail [Egenhofer et al. 1994]). Les régions avec frontières indéterminées tel que définies dans [Clementini et al. 1996] [Clementini 2008] sont des régions spatiales, dont les frontières simples sont remplacées par un espace (ou région) permettant de représenter la frontière incertaine.

Le modèle I_9 (9-intersections) est étendu dans [Clementini et al. 1996] pour décrire les relations topologiques entre régions incertaines (BBRs) par le remplacement de la frontière simple dans le modèle I_9 avec la frontière incertaine. La matrice de ce modèle est donnée par :

$$M = I_9(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \Delta B & A^\circ \cap B^- \\ \Delta A \cap B^\circ & \Delta A \cap \Delta B & \Delta A \cap B^- \\ A^- \cap B^\circ & A^- \cap \Delta B & A^- \cap B^- \end{bmatrix}$$

Chaque intersection de cette matrice prend une valeur vide ou non-vide. En utilisant ce modèle de 3*3-intersections, 44 relations topologiques entre régions spatiales floues sont déterminées. Pour les régions composites dont les frontières sont aussi indéterminées, il y a 14 autres relations topologiques de plus [Clementini 2008]. La Figure 5.2 représente une région avec frontière indéterminée (ΔA) qui est considérée comme une région floue simple. Le problème de la génération de la représentation spatiale de telles régions à partir des données spatiales (images satellites ou données SIG) n'est pas étudié dans ces travaux.



Fig. 5.2: Représentation spatiale de région avec Frontière Indéterminée

Le modèle Egg-Yolk [Cohn et al. 1994] [Cohn et al. 1995] [Cohn et al. 1997a&b] [Cohn 2008] décrit une région spatiale floue par une paire de deux régions simples, l'une incluse dans l'autre (voir Figure 5.3). La région intérieure appelée le jaune (Yolk) représente la partie certaine de la région floue. Alors que la région extérieure appelée le blanc (White) représente la frontière incertaine ou floue de la région floue. Les deux régions, le jaune (Yolk) et le blanc (White), forment ensemble l'œuf qui est pris comme une région simple pour identifier la relation topologique. La relation topologique entre deux régions floues est composée de quatre relations entre ces deux régions simples (Egg et Yolk) et elle est donnée par la matrice :

$$Egg - Yolk = \begin{bmatrix} R(Egg1, Egg2) & R(Egg1, Yolk2) \\ R(Yolk1, Egg2) & R(Yolk1, Yolk2) \end{bmatrix}$$

où $R(Egg1, Egg2)$, $R(Egg1, Yolk2)$, $R(Yolk1, Egg2)$, et $R(Yolk1, Yolk2)$ sont des relations topologiques du système RCC5 entre deux régions simples. En utilisant ce modèle Egg-Yolk, 46 relations entre régions floues sont identifiées. Le problème [Clementini 2008] de la génération de la représentation spatiale de telles régions à partir des données spatiales (images ou données SIG) persiste ici.

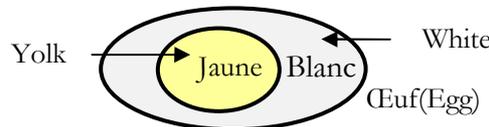


Fig. 5.3: Représentation spatiale et interprétation du modèle Egg-Yolk

Une autre méthode appelée la représentation des relations topologiques par 4-tuples entre deux régions BBRs est utilisée dans [Du et al. 2008a] pour déduire de nouvelles informations topologiques. La représentation 4-tuples est équivalente à ces deux modèles : I_9 étendu et Egg-Yolk (voir Figure 5.4). La relation topologique entre deux régions floues est composée de quatre relations du système RCC8 entre ces deux régions simples, donnée par la matrice :

$$\text{Représentation 4-Tuple} = \begin{bmatrix} R(a1, b1) & R(a1, b2) \\ R(a2, b1) & R(a2, b2) \end{bmatrix}$$

La représentation 4-tuples peut aussi distinguer les mêmes (44) relations topologiques telles qu'elles sont identifiées par le modèle I_9 étendu. Cependant, cette représentation 4-tuples peut être appliquée au raisonnement spatial des relations topologiques entre régions BBRs car elle utilise la composition des relations topologiques entre régions simples afin de déterminer les relations topologiques entre régions BBRs complexes [Du et al. 2008b].

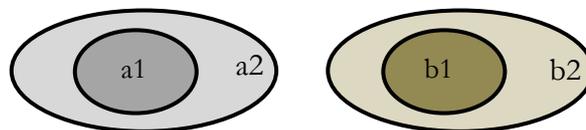


Fig. 5.4: Représentation spatiale de la représentation 4-Tuples

Pour traiter les relations topologiques entre régions ambiguës dans une image de type maillage (raster), [Winter et al. 2002] ont proposé un modèle d'intersection Intérieur/Extérieur basé sur une matrice de quatre intersections pour deux régions simples appartenant à une région ambiguë (voir Figure 5.5). La région ambiguë est définie par trois régions simples : Définitivement à l'intérieur (Definitely inside) notée I, Peut-être (Maybe) notée M, Définitivement à l'extérieur (Definitely outside) notée E.

Neuf règles pour ces trois régions simples (I, M, E) sont définies par le modèle de 4-intersections pour déterminer la relation topologique entre deux régions ambiguës. Chaque élément de la matrice de 4-intersections a une valeur logique égale à une de ces trois : vrai (True), faux (False), et peut-être (Maybe). L'importance de ce modèle est qu'il permet de déterminer les relations topologiques entre régions ambiguës par une hiérarchie (une pyramide). Le problème de ce modèle est qu'il y a beaucoup (six au moins) de matrices de 4-intersections pour désigner une relation entre régions.

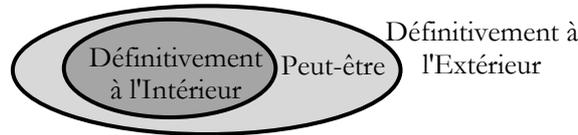


Fig. 5.5: Représentation spatiale d'une région ambiguë

Zadeh dans [Zadeh 1965] a proposé la théorie célèbre des ensembles flous en 1965. Les ensembles flous et la logique floue sont l'outil le plus puissant pour résoudre les problèmes flous de description des relations topologiques.

Les relations topologiques entre objets spatiaux flous (régions, lignes et points) ont été étudiées en se basant sur la théorie des ensembles flous [Zadeh 1965] dans les travaux de Tang [Tang et al. 2002] [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2005] [Tang et al. 2006] [Tang et al. 2007]. Dans ces travaux, le modèle I_9 a été repris pour reconstruire une matrice de 3*3-intersections [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2006] afin de déterminer les relations topologiques entre régions floues simples. La région floue simple est définie dans un espace topologique flou simple par ses trois composantes topologiques : Intérieur (A°), Frontière (∂A) et Extérieur (A^e) (Figure 5.6). La matrice (M_{3*3}) de 3*3-intersections est équivalente au modèle I_9 étendu dans [Clementini et al. 1996] et est donnée par :

$$M_{3*3} = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B^e \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^e \\ A^e \cap B^\circ & A^e \cap \partial B & A^e \cap B^e \end{bmatrix} \equiv I_9(A, B)$$



Fig. 5.6: Représentation spatiale d'une région spatiale floue selon la matrice M_{3*3}

Chaque élément de la matrice (M_{3*3}) prend une valeur égale à 0 ou 1.

Par cette matrice M_{3*3} , 44 relations topologiques entre régions spatiales floues sont déterminées (voir Appendix 1. dans [Tang et al. 2004]). Ces relations sont les mêmes que celles identifiées dans les travaux [Cohn et al. 1995] [Clementini et al. 1996] [Du et al. 2008a].

Un modèle (I_{4*4}) donné par une matrice de 4*4-intersections a été construit en utilisant les propriétés topologiques des ensembles flous [Tang et al. 2002] [Tang et al. 2004]. Pour ce modèle I_{4*4} , la région floue simple est définie dans un espace topologique flou simple par ses quatre composantes topologiques : Intérieur (A°), Extérieur (A^e), Intérieur de la Frontière ($(\partial A)^\circ$), Frontière de la Frontière ($\partial(\partial A)$) (voir Figure 5.7).

Le modèle I_{4*4} est donné par la matrice suivante de 4*4-intersections :

$$I_{4*4} = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap (\partial B)^\circ & A^\circ \cap B^e \\ \partial(\partial A) \cap B^\circ & \partial(\partial A) \cap \partial B & \partial(\partial A) \cap (\partial B)^\circ & \partial(\partial A) \cap B^e \\ (\partial A)^\circ \cap B^\circ & (\partial A)^\circ \cap \partial B & (\partial A)^\circ \cap (\partial B)^\circ & (\partial A)^\circ \cap B^e \\ A^e \cap B^\circ & A^e \cap \partial B & A^e \cap (\partial B)^\circ & A^e \cap B^e \end{bmatrix}$$

Chaque élément de ce modèle I_{4*4} prend une valeur égale à 0 ou 1. 152 relations topologiques entre régions floues sont identifiées en utilisant le modèle I_{4*4} (voir Appendix 2. dans [Tang et al. 2004]). En outre, dans le travail de Tang [Tang et al. 2004, Chapitre 3] [Tang et al. 2005], une matrice de 5*5-intersections peut être construite sur la base de la décomposition de la frontière floue d'une région sous certaines conditions.

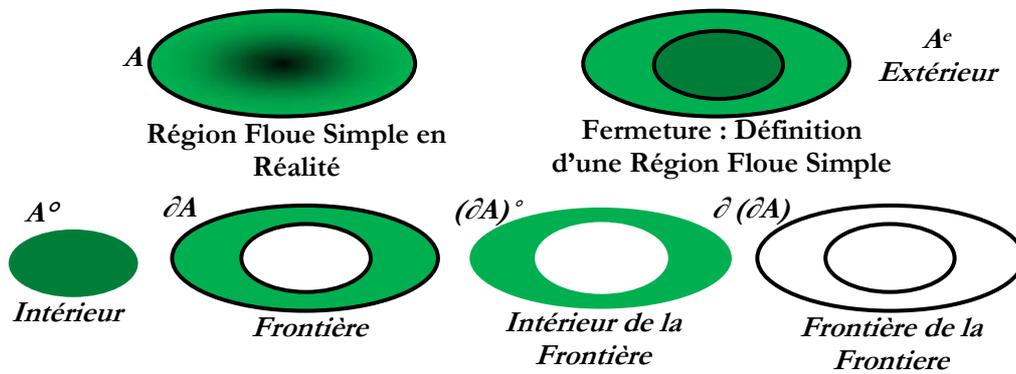


Fig. 5.7: Représentation spatiale d'une région spatiale floue simple selon le modèle I_{4*4}

Pour s'approcher de la réalité des régions dans des images satellites, l'introduction d'une nouvelle définition des ensembles flous dans [Tang et al. 2007] a permis de modéliser des régions floues réelles en se basant sur deux nouveaux concepts : la base (Core notée A^\oplus) et la frange (Fringe notée ℓA). Dans un espace topologique flou général, la base est équivalente à l'intérieur avec $A^\oplus \subseteq A^\circ$ et la frange est équivalente à la frontière avec $\ell A \subseteq \partial A$ (voir Figure 5.8). L'extérieur de la région A est noté A^- . Ces trois composantes topologiques sont mutuellement disjointes. En intégrant ces concepts, un nouvel I_{3*3} a été développé dans [Tang et al. 2004, Chapitre 4] [Tang et al. 2007] pour modéliser les relations topologiques entre régions floues simples et réelles. Ce modèle I_{3*3} est exprimé par la matrice suivante de 3*3-intersections :

$$I_{3*3} = \begin{pmatrix} A^\oplus \cap B^\oplus & A^\oplus \cap \ell B & A^\oplus \cap B^- \\ \ell A \cap B^\oplus & \ell A \cap \ell B & \ell A \cap B^- \\ A^- \cap B^\oplus & A^- \cap \ell B & A^- \cap B^- \end{pmatrix} \quad I_{3*3} = \begin{pmatrix} \emptyset | = & \emptyset | \supseteq & \emptyset | = \\ \emptyset | \subseteq & \emptyset | \supseteq | \subseteq | \neq | = & \emptyset | \subseteq \\ \emptyset | = & \emptyset | \supseteq & = \end{pmatrix}$$

Chaque élément de ce modèle I_{3*3} prend une valeur égale à : 0, =, \supseteq , \subseteq , \neq . 77 relations topologiques entre régions floues simples et réelles sont identifiées en utilisant ce modèle I_{3*3} (voir Appendix 3. dans [Tang et al. 2004]).

Deux autres modèles (I_{3*3} et I_{4*4}) ont été aussi développés dans [Tang et al. 2004, Chapitre 4] en décomposant la frange (ℓA) en deux parties : l'intérieur (internal) de la frange ($\ell^i A$) et la frontière (frontier) de la frange ($\ell^e A$).

La différence entre ces modèles (M_{3*3} , I_{3*3} et I_{4*4}) dépend de l'espace topologique (simple, flou simple, ou flou général) dans lequel les régions spatiales sont représentées et traitées [Tang et

al. 2004]. Le problème de la génération de la représentation spatiale de telles régions à partir des données spatiales (images satellites de types LANDSAT) est résolu dans les travaux de Tang [Tang et al. 2004].

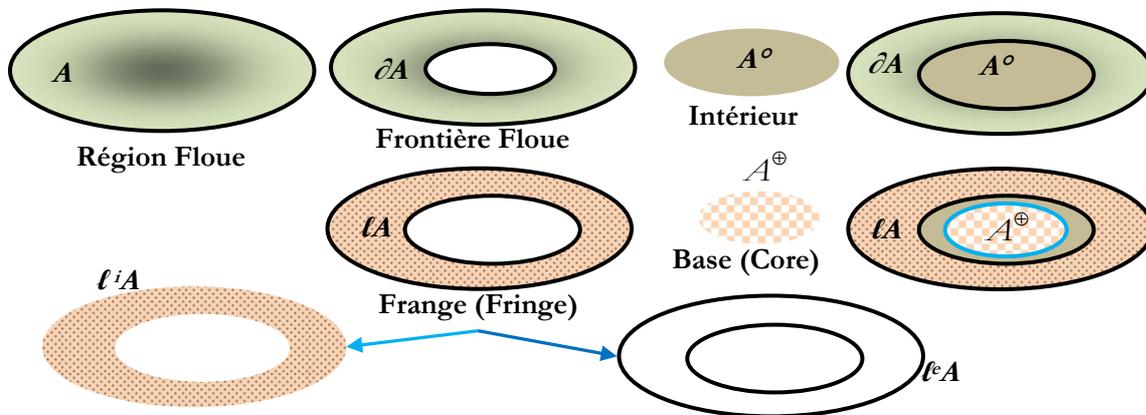


Fig. 5.8: Représentation spatiale d'une région spatiale floue d'après Tang [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2007] avec les relations entre : Base et Intérieur, Frange et Frontière Floue

Les régions ambiguës sont modélisées dans les travaux [Erwig et al. 1997] [Pauly et al. 2008a&b] comme une paire de deux ensembles disjoints : le kernel (partie certaine) et la frontière ambiguë (partie incertaine) avec quatre opérations spatiales ambiguës (union, intersection, différence, et complément) pour traiter les prédicats topologiques (synonyme des relations topologiques) entre régions ambiguës. Dans ce contexte, les relations topologiques entre régions ambiguës complexes sont définies par l'utilisation du modèle 9-intersections dans [Behr et al. 2001] [Schneider et al. 2006].

Les ensembles "Rough" sont utilisés pour modéliser les relations topologiques entre régions vagues dans [Gao et al. 2005] [Beaubouef et al. 2007]. Une matrice de 4*4-intersections a été développée dans [Gao et al. 2005] pour exprimer les relations topologiques entre régions vagues par les relations du système RCC5 dans l'espace discret (maillage/raster). Le modèle 9-intersections a été adapté et étendu dans [Beaubouef et al. 2007] pour modéliser les relations topologiques dans l'ensemble "Rough" par les relations du système RCC5.

Plusieurs travaux ont proposé de formaliser les relations topologiques entre deux régions floues sur des mesures quantitatives numériques [Deng et al. 2004] [Liu et al. 2009] ou par la théorie de la morphologie mathématique [Bloch et al. 2005]. Par exemple, les auteurs de [Deng et al. 2004] ont proposé de raisonner sur la relation topologique entre régions imprécises en se basant sur la possibilité relative (concept de probabilité) des relations incertaines.

Parmi les travaux étudiés dans la littérature, les modèles et les matrices topologiques proposés (M_{3*3} , I_{3*3} et I_{4*4}) par Tang [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2005] [Tang et al. 2006] [Tang et al. 2007] sont les plus précieux et intéressants à plusieurs raisons : (1) Possibilité d'identifier des relations topologiques floues (152, et 77 relations) non-identifiables par d'autres modèles (I , étendu, Egg-Yolk, et représentation 4-tuples, etc.); et (2) Possibilité de générer ces régions spatiales floues à partir des images satellites de type LANDSAT, contrairement aux travaux [Cohn et al. 1994] [Cohn et al. 1995] [Clementini et al. 1996] [Du et al. 2008a].

En revanche, les inconvénients des matrices proposées par Tang [Tang et al. 2004] sont les suivants : (1) Manque d'expression qualitative topologique floue ou de relations qualitatives du système RCC8 pour les relations identifiées ; (2) Manque de graphe conceptuel, et d'étude de la complexité et de la distance topologique des relations topologiques floues comme pour les

modèles topologiques (I_1 , ID, etc.) des relations du système RCC8 dans [Egenhofer et al. 1992] [Deng et al. 2007a] ; (3) Construction de toutes les matrices basée seulement sur des opérations d'intersections (3×3 , 4×4 , ou 5×5 -intersections) et problème des coûts de calcul très élevés ; et (4) Impossibilité d'identifier certaines relations (voir Figure 5.9).

Dans ce contexte, nous nous intéressons à la modélisation des relations topologiques entre régions spatiales floues simples en essayant d'éviter les inconvénients des matrices proposées par Tang [Tang et al. 2004].

Dans la section suivante, nous allons présenter la problématique abordée dans ce chapitre.

5.3. Problématique

Après cette enquête sur les relations topologiques floues entre régions spatiales floues par rapport à ces modèles étudiés dans la littérature, nous avons trouvé que la question clé dans la description topologique des régions spatiales floues est : **comment définir leur frontière floue ?** [Cohn et al. 1994] [Clementini et al. 1996] [Winter et al. 2002] [Tang et al. 2004] [Clementini 2008]. Explorer de nouvelles pistes de la modélisation des régions spatiales reste un thème de recherche très actif.

La deuxième question est : **combien de relations topologiques y-a-t-il exactement entre deux régions floues simples?** Nous illustrons cette interrogation dans la Figure 5.9 par des configurations de relations topologiques floues qui ne peuvent pas être identifiées par les modèles étudiés dans l'état de l'art.

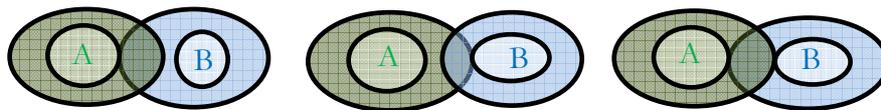


Fig. 5.9: Configurations des relations topologiques non-identifiables

La troisième question est : **comment générer et extraire des régions spatiales floues à partir des images satellites (voir Figure 5.10) ?**

La quatrième question concerne les relations topologiques du système RCC8 et leur intégration dans la description qualitative floue des relations topologiques entre régions spatiales floues, ce qui n'a été abordé que par des travaux tels que : le modèle I9 étendu [Clementini 2008], le modèle Egg-Yolk [Cohn et al. 1994], la représentation 4-tuples [Du et al. 2008a] et les matrices ($M_{3 \times 3}$, $I_{3 \times 3}$ et $I_{4 \times 4}$) [Tang et al. 2004], qui ont proposé de distribuer les relations du système RCC5 aux relations floues.

Pour répondre à ces questions, nous allons étendre le modèle 4-intersection et le modèle ID avec une nouvelle définition de la frontière floue pour modéliser les relations topologiques floues entre régions floues simples extraites à partir des images satellites.

5.4. Objectif & Motivation

L'objectif de cette étude est concentré sur la modélisation des relations topologiques et les régions spatiales floues, ou régions avec frontière indéterminée. Le but est de proposer une nouvelle définition des régions floues et de nouveaux modèles topologiques flous.

La motivation de cette étude à terme est de tenter de construire un nouveau modèle topologique pour l'identification de toutes relations topologiques floues possibles entre régions floues.

Les avantages de notre modèle seront : (1) réduire les coûts de calculs par l'introduction de l'opérateur de différence (-) ; (2) étudier les propriétés des relations topologiques identifiées en cherchant la distance et la complexité topologiques, le graphe conceptuel et l'arbre de décision de ces relations ; (3) exprimer les relations topologiques floues par les relations qualitatives du système RCC8.

Notre motivation porte sur les réponses à ces questions :

(1) Serait-t-il possible d'étendre le modèle topologique d'Intersection et de Différence (ID) pour identifier les relations topologiques entre régions spatiales floues ?

(2) Quel est la contribution et l'apport de cette extension du modèle ID pour décrire les relations topologiques floues par les relations qualitatives du système RCC8 ?

(3) Comment générer et modéliser les régions spatiales floues à partir des images satellites issues des capteurs LANDSAT et SPOT (voir Figure 5.10) ?

(4) Étudier la possibilité d'intégrer et d'utiliser les relations topologiques floues dans la méthode de détection des changements proposée dans le chapitre 3.

La Figure 5.10 présente deux images satellites de type SPOT et LANDSAT avec les résultats de classification obtenus par l'aide du logiciel ENVI 4.7. Les régions spatiales produites par une étape de segmentation sont simples et les relations topologiques du système RCC8 (étudiées dans les chapitres précédents) sont bien adaptées pour ces régions.

Certains pixels appartiennent à une classe définitive, existe dans les résultats de toutes les méthodes classiques de classification. Or cette classification est incertaine pour les pixels à la limite entre deux classes. Dans le but de gérer et exprimer cette incertitude, il est très utile de produire des régions floues pour chaque classe par une méthode de classification floue (C-Means par exemple [Arnot et al. 2007]) [Cheng et al. 1997] [Cheng et al. 2001] [Tang et al. 2004, Chapitre 6] suivie par une étape de segmentation floue pour transformer des classes incertaines dans des régions spatiales floues qui peuvent être adoptées et très utiles pour nos objectifs.

Dans la section suivante, nous allons présenter l'espace topologique flou simple adopté dans cette étude pour définir des régions floues.

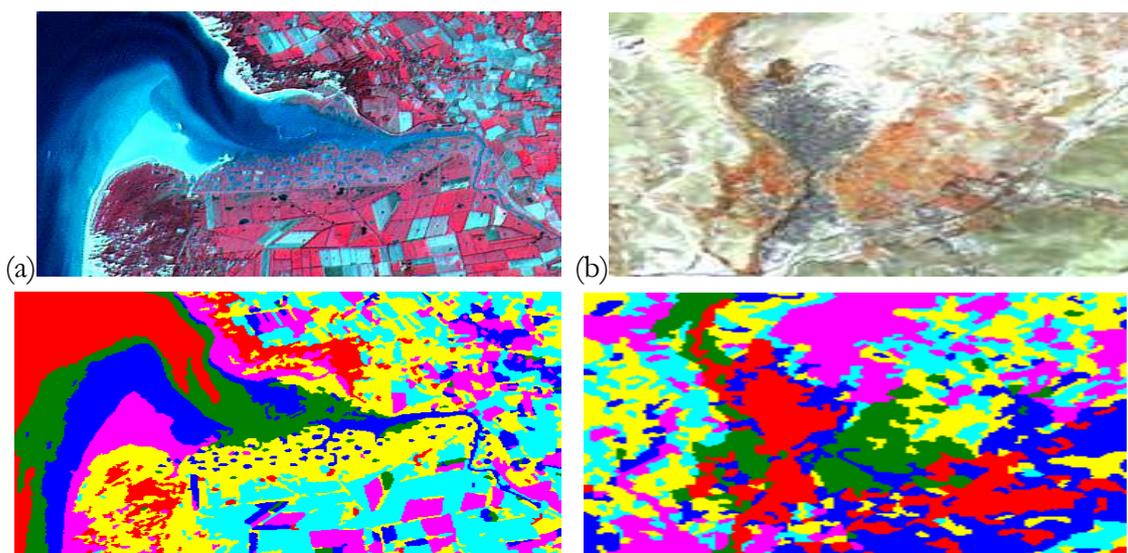


Fig. 5.10: Images satellites : (a) SPOT, (b) LANDSAT, et (c) Résultats de classification (ENVI 4.7)

5.5. Rappel : Espace Topologique Flou Simple

La topologie floue simple est construite sur la base des ensembles flous [Zadeh 1965]. Il est aussi une extension de la topologie générale [Chang 1968] [Tang et al. 2004, Chapitre 2].

Soit A un sous-ensemble flou d'un ensemble ordinaire (simple) X , et $\wp(X) = [0, 1]^X$ est la puissance des ensembles flous X . Le rang $[0, 1]^X$ peut être classiquement considéré comme un réseau dans lequel un supremum (ou joint) est désigné par \vee et un inférieur (ou touche) par \wedge . Ils (supremum et inférieur) correspondent à l'union et l'intersection, respectivement.

$\forall \delta \in \wp(X)$, Si (1) $\emptyset, X \subseteq \delta$, (2) $\forall A_i \in \delta, \vee A_i \in \delta$, (3) $\forall U, V \in \delta, U \wedge V \in \delta$, alors δ est appelée la topologie floue sur l'ensemble X ($i \in I$ est un ensemble d'indices). (X, δ) est appelé un espace topologique flou simple (F^TS) tel que défini dans [Chang 1968] [Tang et al. 2002] [Tang et al. 2004, Chapitre 2].

Chaque élément de δ est appelé un ensemble ouvert (flou) dans (X, δ) . Un ensemble A est défini comme ensemble fermé (flou) si son complément A^c est ouvert. L'union de tous les ensembles ouverts contenus dans A est définie comme l'intérieur de A , noté A° . L'intersection de tous les ensembles fermés contenant A est appelé la fermeture de A , notée \bar{A} . L'extérieur de A est le complément de la fermeture \bar{A} et il est désigné par $A^e = (\bar{A})^c$. De toute évidence, il (A^e) est un ensemble ouvert. La frontière ∂A d'un sous-ensemble A est l'intersection de la fermeture de A avec la fermeture du complément de A .

La frontière d'un sous-ensemble peut également avoir son intérieur et sa frontière (la frontière de la frontière). D'autre part, l'intérieur et la fermeture d'un sous-ensemble ont aussi leurs frontières. Par exemple, la frontière de la frontière d'un ensemble flou A est l'union de la frontière de la fermeture et la frontière de l'intérieur d'un ensemble flou [Tang et al. 2004, Chapitre 2].

Sur la base de ces informations topologiques qui n'ont jamais été exploitées par les modèles présentés dans l'état de l'art, nous pouvons définir un maximum de quatre invariants topologiques tels qu'ils sont définis dans [Tang et al. 2004, Chapitre 2] pour chaque région spatiale floue : l'intérieur, la frontière, la frontière intérieure de la frontière (ou la frontière de l'intérieure de la région floue), et la frontière extérieure de la frontière (ou la frontière extérieure de la région floue) dans la section suivante. La génération de telles régions spatiales floues sera aussi étudiée par la suite.

5.6. Nouvelle Définition et Génération des Régions Spatiales Floues Simples

Dans cette section, nous allons élaborer une nouvelle définition des régions spatiales floues simples, la frontière floue des régions floue et leurs propriétés. Nous proposons une méthode pour l'objectif de la génération de ces régions floues. Cette méthode sera basée sur la méthode de classification floue C-Means [Cheng et al. 1997] [Cheng et al. 2001], la segmentation floue et l'indentification des frontières des régions floues.

5.6.1. Nouvelle Définition des Régions Floues Simples

Nous avons présenté dans la section précédente les modélisations des régions floues étudiées dans la littérature. Dans cette section, nous allons présenter une nouvelle définition pour modéliser des régions floues simples.

Une région simple est définie dans une espace topologique simple. De même, une région floue devrait être définie dans une espace topologique floue simple (FTS) [Tang et al. 2002] [Tang et al. 2004, Chapitre 2]. Nous définissons maintenant une région floue simple dans FTS.

Une région floue simple est composée de deux régions simples A_1 et A_2 avec $A_1 \subset A_2$ (A_2 contient A_1) (voir Figure 5.11), et chaque région floue simple est décomposée en quatre composantes topologiques comme suit (voir Figure 5.11) :

- (1) L'intérieur de A (A°) est égal à l'intérieur de A_1 : $A^\circ = (A_1)^\circ$ où A° est un sous-ensemble ouvert et connecté de A ;
- (2) La frontière intérieure de A ($\partial^i(A)=A^i$) est égale à la frontière de A_1 et à la frontière de l'intérieur de A (A°) : $A^i = \partial(A_1) = \partial(A^\circ)$ où A^i est un sous-ensemble fermé et connecté de A ;
- (3) La frontière de A (∂A) est définie comme l'intérieur de la différence entre A_2 et A_1 : $\partial A = \partial(A_2 - A_1)^\circ$ où ∂A est un sous-ensemble ouvert et connecté de A . Cette frontière est considérée la frontière floue d'une région floue ;
- (4) La frontière extérieure de A ($\partial^e(A)=A^e$) est égale à la frontière de A_2 : $A^e = \partial(A_2)$ où A^e est un sous-ensemble fermé et connecté de A ;

En plus de ces composantes, l'intersection de tous les ensembles fermés contenant A est appelée la fermeture de A , notée \bar{A} . Figure 5.11 montre la représentation spatiale de cette modélisation d'une région spatiale floue simple avec ses quatre composantes.

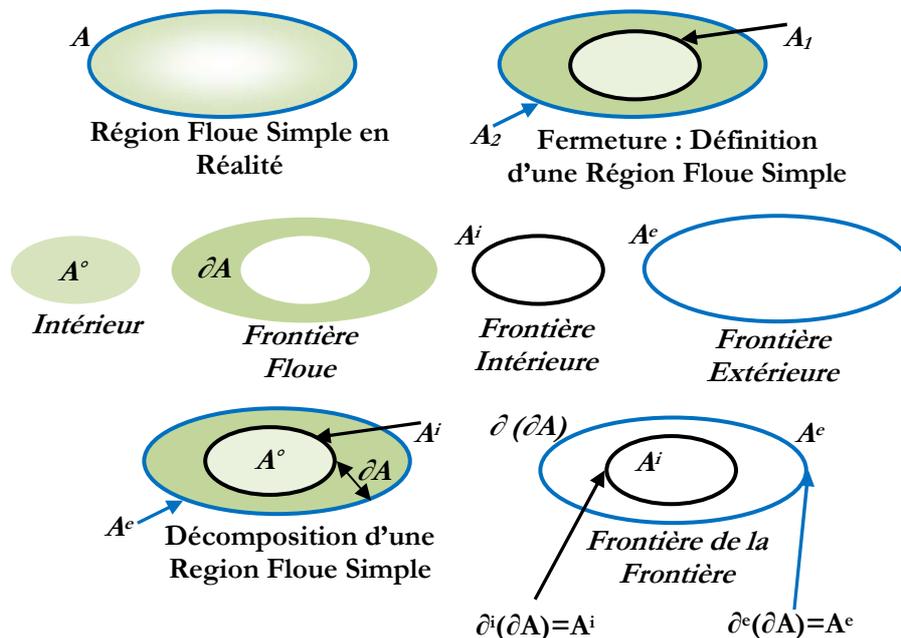


Fig. 5.11: Représentation spatiale d'une région spatiale floue simple

En comparaison avec les travaux de Tang [Tang et al. 2002] [Tang et al. 2004], cette définition est considérée comme la décomposition de la frontière en sous-ensembles mutuellement disjoints tels que la frontière intérieure de la frontière, la frontière extérieure de la frontière, et l'intérieur de la frontière avec la condition que la frontière ne peut pas être égale à l'ensemble vide.

Nous appelons frontière de A (∂A) la frontière floue. Cette définition des régions floues simples est très intéressante dans le but d'identifier toutes relations topologiques possibles entre régions floues simples que d'autres modèles (le modèle I9 étendu, le modèle Egg-Yolk, la représentation 4-tuples et les matrices : M_{3*3} , I_{3*3} et I_{4*4}) ne peuvent pas identifier.

Dans les sections 7 et 8, nous allons prouver cela par l'élaboration d'une matrice de 4*4-intersections et d'un nouveau modèle de 8-intersections et 8-différences. Dans la section suivante, nous allons définir les propriétés de la frontière floue.

5.6.2. Propriétés de la Frontière Floue

Soit A un ensemble flou dans une espace topologique floue simple $FTS(X, \delta)$. Sur la base de la définition des régions floues simples, nous trouvons les propriétés de la frontière floue (∂A) comme suit :

- (1) ∂A est un sous-ensemble ouvert de A ;
- (2) $\partial A = \neg \emptyset$ est un sous-ensemble non-vide ;
- (3) La frontière floue de A (∂A) est égale à la frontière de l'intérieur de la différence entre la frontière extérieure (A°) et la frontière intérieure (A^i) de A : $\partial A = \partial(A^\circ - A^i)^\circ$;
- (4) L'union ($A^i \cup \partial A \cup A^\circ$) de la frontière intérieure (A^i), la frontière floue (∂A) et la frontière extérieure de (A°) de A est un sous-ensemble fermé de A : $A^i \cup \partial A \cup A^\circ \subset A$;
- (5) La frontière intérieure (∂^i) de la frontière floue (∂A) de A est égale à la frontière intérieure (A^i) de A : $\partial^i(\partial A) = A^i = \partial(A^\circ)$;
- (6) La frontière extérieure (∂°) de la frontière floue (∂A) de A est égale à la frontière extérieure (A°) de A : $\partial^\circ(\partial A) = A^\circ = \partial^\circ(A)$.

Nous constatons également que les intersections entre A° , A^i , ∂A , et A° sont respectivement vides et l'union de ces quatre composantes est égale à A comme suit : $A^\circ \cap A^i = \emptyset$; $A^i \cap \partial A = \emptyset$; $\partial A \cap A^\circ = \emptyset$; $A^\circ \cap A^i \cap \partial A \cap A^\circ = \emptyset$; et $A^\circ \cup A^i \cup \partial A \cup A^\circ = A$.

Il peut également être facilement prouvé par les intersections ci-dessus que l'intérieur (A°), frontière intérieure (A^i), la frontière floue (∂A), et la frontière extérieure (A°) d'une région spatiale floue simple (A) sont mutuellement disjoints.

Afin d'identifier toutes les relations topologiques possibles, la condition de disjonction mutuelle de ces quatre composantes d'une région spatiale floue simple (A) est importante pour proposer, construire et former une nouvelle matrice d'intersection. Dans les sections 7 et 8, une nouvelle matrice de 4*4-intersections et un nouveau modèle flou d'intersection et de différence seront proposés sur la base de cette définition d'une région floue.

Dans la section suivante, nous allons proposer une méthode pour générer et produire de telles régions spatiales floues simples à partir des images satellites.

5.6.3. Génération et Extraction des Régions Floues des Images Satellites

L'application des méthodes de classification et de segmentation est essentielle et indispensable dans l'extraction des régions à partir des données d'observation des terrains et des images de télédétection. Lorsque des régions doivent être extraites à partir des images, alors l'incertitude des classes d'images a un effet direct sur l'incertitude de la détermination de l'étendue spatiale des régions.

L'objectif de cette section n'est pas de discuter les méthodes de classification floue et segmentation, mais de discuter la dérivation de l'étendue spatiale floue des régions floues à partir des résultats incertains de classification floue. Cette dérivation a des effets sur les relations spatiales entre régions floues, et par conséquent sur les contraintes de l'interprétation floue de leur étendue spatiale à l'égard de leurs relations topologiques.

Dans ce contexte, générer et extraire des régions floues à partir des images satellites et aériennes est un grand défi dans la littérature [Cheng et al. 1997] [Zhang et al. 1999] [Cheng et al. 2001] [Tang et al. 2004] [Shi et al. 2007] [Lizarazo et al. 2008] et également dans notre étude.

Dans ce sens, [Zhang et al. 1999] ont proposé une méthode pour définir et dériver quantitativement les frontières floues des objets de la couverture du sol à partir des photographies aériennes et des images satellites (SPOT et LANDSAT TM) en utilisant les trois critères suivantes : (1) la valeur maximale de la fonction floue d'appartenance, (2) la mesure de l'indice de confusion, et (3) la mesure de l'entropie. L'algorithme « Fuzzy C-Means (FCM) » [Bezdek et al. 1984] dans [Zhang et al. 1999] a été employé pour la classification non-supervisée floue des images issues des capteurs SPOT et LANDSAT TM.

Une procédure générale a été proposée dans [Cheng et al. 1997] [Cheng et al. 1998] [Cheng et al. 1999] [Cheng et al. 2000] pour identifier des objets flous à partir des données d'observation des terrains. Cette procédure consiste en six étapes : (1) observer des valeurs sur les terrains ; (2) interpoler les valeurs des hauteurs pour chaque pixel du domaine ; (3) classification floue des pixels dans des classes prédéfinies pour chaque intervalle de hauteur ; (4) grouper des pixels classés dans des régions (segmentation) ; (5) fusion des régions des classes ; (6) identification des objets flous représentés par des régions avec leurs frontières. Cette procédure a été appliquée pour la détection de changements flous des objets du paysage côtier [Cheng et al. 2000] en développant trois modèles d'objets flous : (1) modèle d'objet « Crisp-Fuzzy » où les frontières sont simples et la partie intérieure (core) floue ; (2) modèle d'objet « Fuzzy-Fuzzy » où les frontières sont floues et la partie intérieure floue ; (3) modèle d'objet « Fuzzy-Crisp » où les frontières sont floues et la partie intérieure simple. Dans le même contexte, une méthode de formalisation des objets flous en employant des résultats de classification incertaine des images de télédétection (TM images) a été proposée dans [Cheng et al. 2001] [Cheng 2002]. Dans ces travaux, les auteurs ont changé la définition des modèles des objets flous comme suit : (1) le modèle d'objet « Crisp-Fuzzy » où la description du contenu thématique est certaine et la description spatiale incertaine ; (2) le modèle d'objet « Fuzzy-Fuzzy » où la description thématique est incertaine et la description spatiale aussi incertaine ; (3) le modèle d'objet « Fuzzy-Crisp » où la description thématique est incertaine et la description spatiale certaine. Les étapes utilisées pour identifier des objets flous sont : la classification floue, la segmentation, la fusion des régions et l'identification des frontières des objets flous. Les objets flous identifiés ont été aussi utilisés pour la détection des changements des zones côtières.

Plus récemment, une autre procédure générale a été proposée dans [Tang et al. 2004, Chapitre 6] pour générer et identifier des objets spatiaux flous à partir d'images satellites (LANDSAT TM) afin d'identifier les relations topologiques floues entre elles. Cette procédure générale comprend trois étapes : (1) l'analyse de type des objets flous, (2) le calcul des valeurs de la fonction d'appartenance (initialisation, assignement, et réajustement), et (3) l'évaluation de l'exactitude et la vérification des objets flous. Une approche de classification supervisée floue (la méthode du maximum de vraisemblance) a été choisie pour calculer les valeurs initiales de la fonction floue d'appartenance de chaque type d'objet de la couverture du sol.

[Shi et al. 2007] ont développé la topologie floue de calcul basée sur deux opérateurs d'intérieur et de fermeture. Les composants élémentaires (intérieur, frontière et extérieur du modèle I9) sont calculés quantitativement sur la base de la topologie floue de calcul pour des objets spatiaux des SIG, extraits à partir des photographies aériennes.

Dans le but d'identifier des objets flous à partir des images LiDAR et aériennes, une méthode de segmentation floue de texture a été appliquée dans [Lucieer et al. 2005].

Dans l'objectif d'une analyse quantitative de la couverture du sol dans [Lizarazo 2010], la dérivation des régions floues à partir des images LANDSAT TM est également basée une méthode de segmentation floue (modèle additif généralisé supervisé (supervised Generalized Additive Model (GAM)). Les régions floue-floue issues de la segmentation floue ont été transformées en trois modèles de régions : (1) régions simples produites par la valeur maximale de la fonction d'appartenance, (2) régions simple-floue produites par une frontière simple et la valeur maximale de la fonction d'appartenance pour l'intérieur flou, et (3) régions floue-simple produites par la valeur maximale de la fonction d'appartenance pour la frontière floue et un intérieur simple. L'étape de segmentation est suivie par une étape d'analyse des primitives, visant à identifier les propriétés spatiales et spectrales des régions floues, qui dépend sur des mesures de : l'indice de confusion, l'entropie, l'indice de forme et le moyenne.

Après cette investigation sur les méthodes de génération des régions spatiales floues, nous résumons que : (1) les auteurs dans la plupart de ces travaux n'ont pas cherché de régions floues adaptées pour identifier des relations topologiques qualitatives sauf [Tang et al. 2004, Chapitre 6] ; (2) les étapes suffisantes pour générer des régions floues sont : la classification floue, la segmentation et la fusion, et l'identification des frontières des objets flous en prenant également en compte (si nécessaire) les mesures de l'indice de confusion et entropie [Zhang et al. 1999] [Cheng 2002] [Lizarazo 2010].

Dans cette étude, nous proposons une méthode pour générer des régions floues à partir des images satellites (SPOT et LANDSAT) dans l'objectif d'identifier des relations topologiques floues. La méthode proposée (voir Figure 5.12) ici comprend les étapes suivantes : (1) la classification non-supervisée floue par l'algorithme Fuzzy C-Means (FCM) permettant aussi de trouver des fonctions d'appartenance ($MF[P, C]=MF[\text{Pixel}, \text{Classe}]$) de chaque pixel (P) à une classe donnée (C), (2) la segmentation des régions en intérieur et frontière flous en fonction des valeurs de la fonction d'appartenance, (3) la fusion des régions floues et l'identification de leurs frontières avec leur réajustement pour vérifier que l'intérieur de chaque région floue est vraiment entouré par la frontière (l'intérieur doit être contenu dans la frontière).

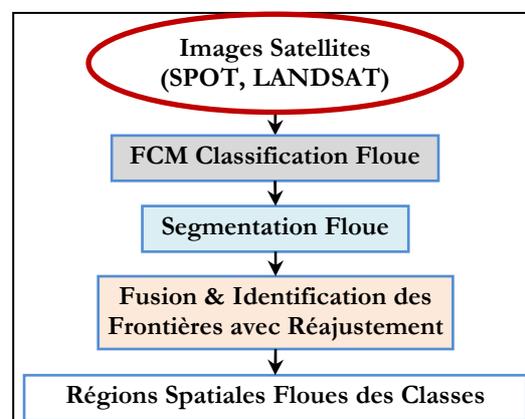


Fig. 5.12: Méthode de génération des régions spatiales floues

L'algorithme Fuzzy C-Means (FCM), les ensembles flous et les fonctions floues d'appartenance ont été discutés dans [Robinson et al. 2003] pour leur utilité et leur importance dans des SIG.

Nous présentons l'algorithme Fuzzy C-Means (FCM) de classification non-supervisée floue [Bezdek et al. 1984] [Zhang et al. 1999] [Arnot et al. 2007]. Issu de l'algorithme des C-moyennes (C-Means), il introduit la notion d'ensemble flou dans la définition des classes : chaque point dans l'ensemble des données appartient à chaque cluster avec un certain degré, et tous les clusters sont caractérisés par leur centre de gravité. Comme les autres algorithmes de classification non-supervisée, il utilise un critère de minimisation des distances intra-classe et de maximisation des distances inter-classe, mais en donnant un certain degré d'appartenance à chaque classe pour chaque pixel ($MF[P_i, C_k]$).

Cet algorithme nécessite la connaissance préalable du nombre (N) de clusters et génère les classes par un processus itératif en minimisant une fonction objective. Ainsi, il permet d'obtenir une partition floue de l'image en donnant à chaque pixel un degré d'appartenance (compris entre 0 et 1) à une classe donnée. Le cluster auquel est généralement associé un pixel est celui dont le degré d'appartenance sera le plus élevé (le maximum) pour la classification classique simple. Les principales étapes de l'algorithme Fuzzy C-Means sont : (1) la fixation arbitraire d'une matrice d'appartenance (ou la fonction d'appartenance de chaque pixel à des classes notée $MF[P, C]$) ; (2) le calcul des centroïdes des classes ; (3) le réajustement de la matrice d'appartenance suivant la position des centroïdes ; (4) le calcul du critère de minimisation et retour à l'étape 2 s'il y a non-convergence de critère.

Par exemple, par l'algorithme FCM, la fonction d'appartenance de pixel (P_i avec $1 \leq i \leq M$) à ($N=6$) classes est donnée par : $MF[P_i, C] = \{0.1113, 0.0592, 0.0425, 0.0586, 0.3994, 0.3290\}$ et l'ensemble de tous ses valeurs égale à 1 ($\sum MF[P_i, C_k]=1$ avec $1 \leq k \leq N$, et $1 \leq i \leq M$).

La classification classique simple par FCM permet de déterminer un pixel appartenant à une classe en prenant la valeur maximale de $MF[P_i, C]$ ($\max(MF[P_i, C])= 0.3994$) et la classe auquel est associé ce pixel est la classe 5 (C_5) avec certain degré égal à 0.3994. En revanche, la valeur $MF[P_i, C_6]= 0.3290$ est très proche de la valeur maximale (0.3994) et dans ce cas il y a incertaine dans les résultats de classification des pixels. Pour représenter cette incertaine (l'incertitude de la classification), nous allons reprendre les fonctions d'appartenance ($MF[P, C]$) produites par l'algorithme FCM pour segmenter et regrouper les pixels en intérieur et frontière d'une région floue pour chaque classe. Dans notre étude, les régions adjacentes (dans le cas de la classification classique simple) seront en relation de chevauchement entre régions floues via la zone de transition (entre elles) transformée en frontière floue pour chaque région.

La fonction d'appartenance ($MF[P_i, C]$ avec $1 \leq i \leq M$) a des valeurs maximales et minimales pour chaque pixel appartenant à une classe et les pixels appartenant à une classe n'ont pas toujours la même valeur maximale ce qui nous permet de jouer sur ce point pour créer l'intérieur et la frontière des régions floues dans l'étape de la segmentation floue.

Supposons que la matrice d'appartenance $U_{M \times N}=MF[P, C]$ avec $1 \leq k \leq N$, et $1 \leq i \leq M$, alors les valeurs maximales pour chaque pixel $U_{\max}(P_i)=\max(MF[P_i, C])$ et les valeurs minimales $U_{\min}(P_i)=\min(MF[P_i, C])$. Enfin, nous avons un vecteur de valeurs maximales : $U_{\max} = [U_{\max}(P_1), U_{\max}(P_2), \dots, U_{\max}(P_i), \dots, U_{\max}(P_M)]$ et un vecteur de valeurs minimales : $U_{\min} = [U_{\min}(P_1), U_{\min}(P_2), \dots, U_{\min}(P_i), \dots, U_{\min}(P_M)]$ et ces valeurs elles-mêmes ne sont pas identiques.

En outre, U_{\max} a une valeur maximale ($\max(U_{\max})$) et une valeur minimale ($\min(U_{\max})$), et U_{\min} a également une valeur maximale ($\max(U_{\min})$) et une autre minimale ($\min(U_{\min})$). Ces quatre

valeurs ($\max(U_{\max})$, $\min(U_{\max})$, $\max(U_{\min})$, et $\min(U_{\min})$) peuvent être utiles pour définir un seuil afin de déterminer la limite entre les trois composantes topologiques (intérieur, frontière, et extérieur) d'une région floue (voir Figure 5.13).

La limite se traduit par un seuil dans la matrice d'appartenance U , ou la fonction $MF[P_i, C]$ où deux seuils sont possibles : $S1 = \min(U_{\max})$ et $S2 = \max(U_{\min})$. Dans la Figure 5.13, les valeurs de : U , U_{\max} , U_{\min} , $\max(U_{\max})$ et $S1 = \min(U_{\max})$, $S2 = \max(U_{\min})$ et $\min(U_{\min})$ sont présentées. L'interprétation de ces valeurs est comme suit : U_{\max} définit l'intérieur de la région floue, U_{\min} définit l'extérieur de la région floue, et les deux seuils permettent de définir deux frontières de la région : la frontière $S1$ pour $S1 = \min(U_{\max})$ et la frontière $S2$ pour $S2 = \max(U_{\min})$. Nous devons choisir un seuil pour la frontière.

Par comparaison des deux frontières $S1$ et $S2$, nous trouvons que le nombre de pixels qui peuvent appartenir à la frontière pour $S2 = \max(U_{\min})$ est supérieur à celui de $S1 = \min(U_{\max})$ et le chevauchement entre les composants (intérieur, frontière, et extérieur) est plus grand (voir Figure 5.13).

En conséquence, nous choisissons la valeur maximale des valeurs minimales de U : $S2 = \max(U_{\min})$ comme seuil et cette valeur nous indique aussi les classes auxquelles un pixel de frontière peut être associé.

L'algorithme pour définir les composantes topologiques (intérieur, frontière, et extérieur) d'une région floue est donné comme suit :

Début

Pour (chaque pixel P_i) $i=1$ à M , et **Pour** (chaque classe C_j) $j=1$ à N , répéter :

- **Si** ($MF[P_i, C_k] = U_{\max}(P_i)$), alors P_i appartient à **l'intérieur** de la région floue de la classe C_k avec la décision : $D[P_i, C_k] = 1$ avec $1 \leq k \leq N$;
- **Sinon si** ($\max(U_{\min}) \leq MF[P_i, C_{L \neq k}] < U_{\max}(P_i)$), alors P_i appartient à **la frontière** de la région floue de la classe $C_{L \neq k}$ avec la décision $D[P_i, C_{L \neq k}] = 0.5$ avec $1 \leq L \neq k \leq N$;
- **Sinon si** ($0 \leq MF[P_i, C_k] < \max(U_{\min})$), alors P_i n'appartient ni à l'intérieur ni à la frontière mais P_i appartient à **l'extérieur** de la région floue de la classe C_k avec la décision prise : $D[P_i, C_k] = 0$ avec $1 \leq k \leq N$.

Fin

La fusion des pixels de chaque classe permet ensuite de transformer ces pixels en régions fermées et de construire ainsi des régions floues. Dans ce but, nous prenons l'élément de structure 8-connexions et les contraintes suivantes : (1) les pixels d'intérieur doivent être entourés par des pixels d'intérieur et de frontière et non d'extérieur ; (2) si un pixel de frontière ou d'extérieur est entouré par des pixels d'intérieur seulement, alors, ce pixel est transformé en pixel d'intérieur.

L'identification des frontières passe par la vérification que : (1) les pixels de frontière sont entourés par des pixels d'intérieur, ou/et de frontières ou/et d'extérieur ; (2) la frontière contient toujours l'intérieur, sinon, un réajustement des pixels des frontières est nécessaire pour être conforme avec cette contrainte.

Enfin, nous obtenons des régions floues composées d'intérieur, de frontière, et d'extérieur (voir Figure 5.15) et ces régions peuvent être vectorisées (un exemple présenté dans la Figure 5.14).

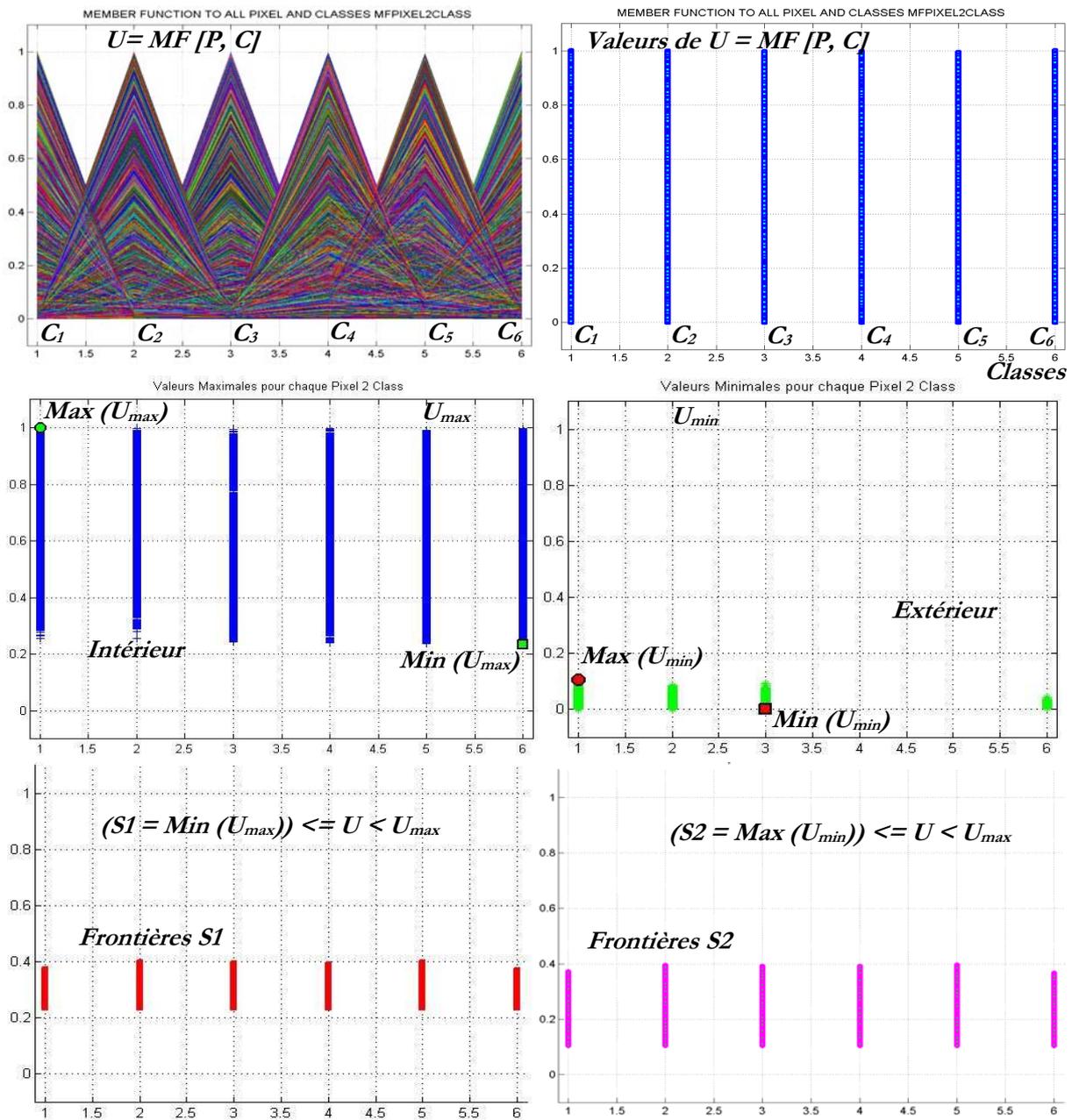


Fig. 5.13: Exemple des valeurs de : U , U_{max} , U_{min} , $max(U_{max})$ et $S1 = min(U_{max})$, $S2 = max(U_{min})$ et $min(U_{min})$

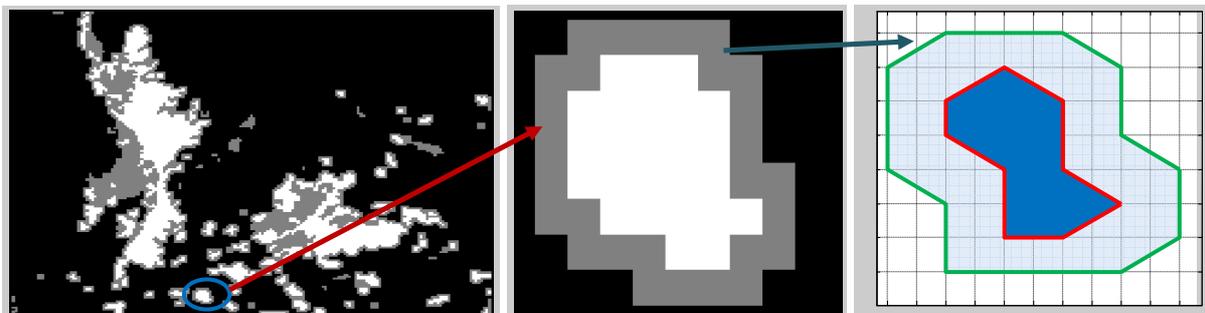


Fig. 5.14: Conversion des régions floues en données vectorielles

Dans la Figure 5.15, nous présentons les résultats de l'application de cette méthode sur une image satellite (SPOT) (Figure 5.15-a) avec l'extraction de toutes les régions spatiales floues des classes prédéfinies pour l'algorithme FCM. Les régions spatiales floues (intérieur, frontière, et extérieur) des classes sont présentées dans la Figures 5.15 : 5.15-c, 5.15-d, 5.15-e, 5.15-f, 5.15-g, 5.15-h.

Il est difficile de reconstruire le résultat final des régions spatiales floues des classes extraites par la classification floue car elles sont en relation de chevauchement. Deux méthodes existent pour représenter les régions spatiales floues superposées de l'image satellite à partir de ces résultats.

La première consiste à normaliser l'ensemble des valeurs des pixels de toutes les régions à la fin de la troisième étape (étape : fusion des régions floues et identification de leurs frontières avec réajustement) de la méthode de génération des régions spatiales floues. Le résultat de cette méthode est présenté dans la Figure 5.15-i.

La deuxième méthode consiste à reprendre les valeurs maximales des pixels de toutes les régions floues à la fin de cette troisième étape ; le résultat de cette méthode est présenté dans la Figure 5.15-j. Les résultats de classification par le logiciel ENVI 4.7 sont présentés dans la Figure 5.15-b afin des fins comparaisons (Figures 5.15-i et 5.15-j). Nous trouvons que les résultats prenant en compte les valeurs maximales sont plus faciles à interpréter et beaucoup proches de ceux produits par ENVI.

La même méthode de génération des régions spatiales floues est également appliquée sur une image satellite issue de capteur LANDSAT TM (datée du 08/03/2002) pour la ville de « Al-Talle » (proche de Damas) en Syrie (voir sa localisation PP. 254). Les résultats de l'application de cette méthode sont aussi présentés dans la Figure 5.16.

Dans la section suivante, nous allons présenter le développement du nouveau modèle topologique flou de 4*4-intersections.

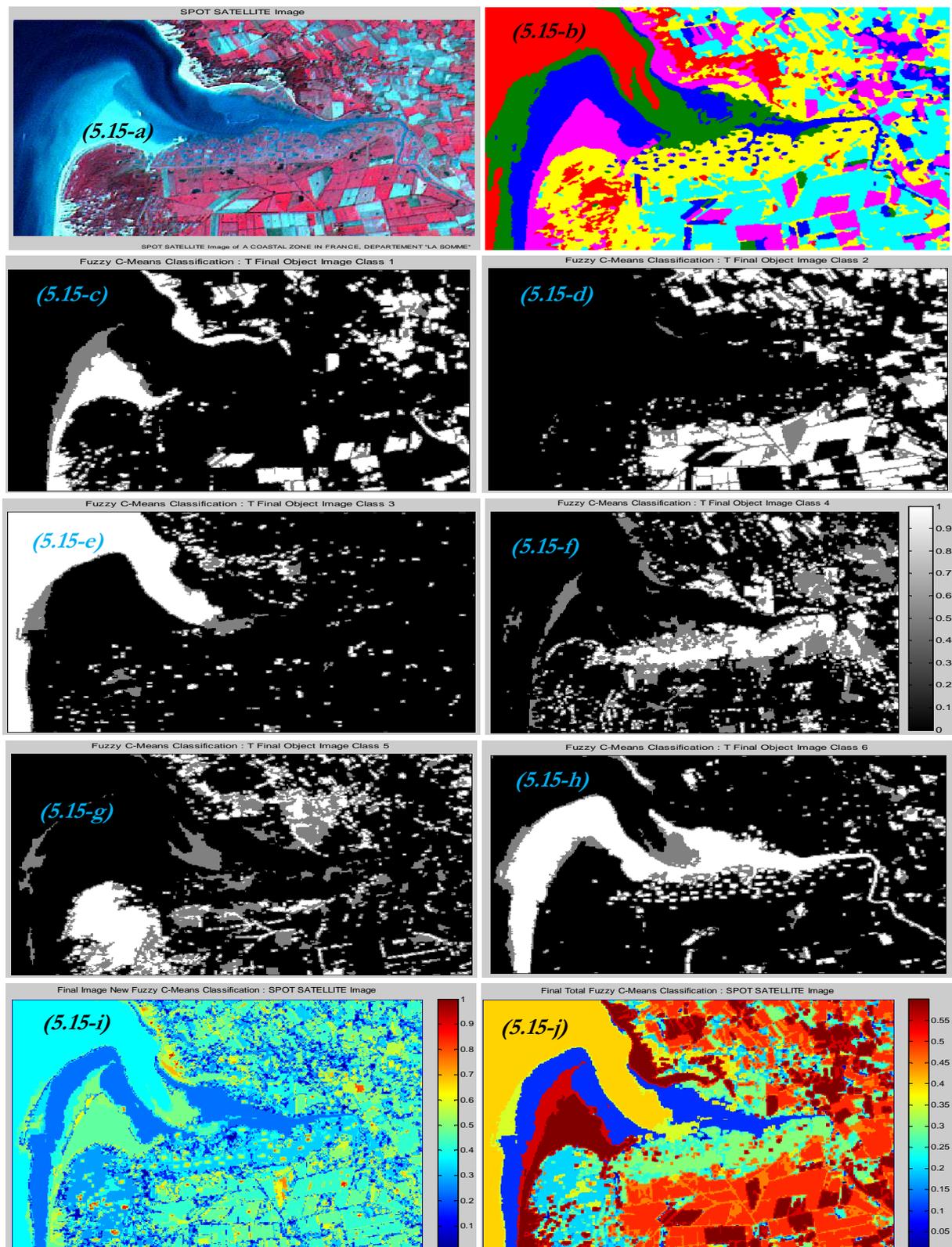


Fig. 5.15: Résultats d'application de la méthode de génération des régions floues : (a) Image satellite (SPOT), (b) Résultat de classification par ENVI 4.7, (c, d, e, f, g, h) Régions floues des classes dans l'image SPOT, (i) Normalisation des résultats de la classification floue, et (j) Valeur maximale des résultats de la classification floue pour chaque classe

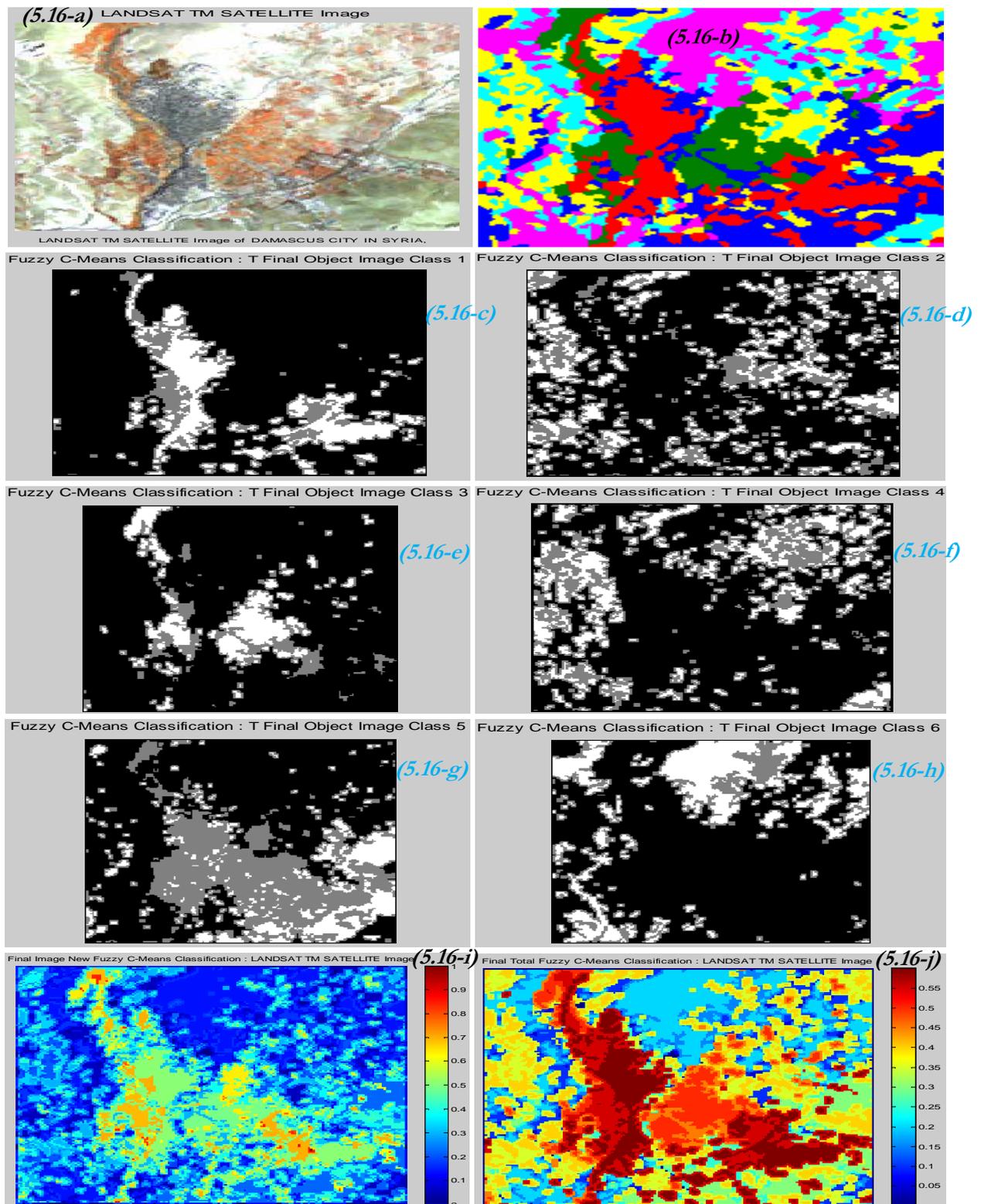


Fig. 5.16: Résultats d'application de la méthode de génération des régions floues : (a) Image satellite (LANDSAT), (b) Résultat de classification par ENVI 4.7, (c, d, e, f, g, h) Régions floues des classes dans l'image LANDSAT, (i) Normalisation des résultats de la classification floue, et (j) Valeur maximale des résultats de la classification floue pour chaque classe

5.7. Contribution I : Nouveau Modèle I_{4*4} de 4*4 - Intersections

Dans cette section, nous allons développer le premier modèle topologique flou pour identifier des relations topologiques entre deux régions spatiales floues simples. Supposons qu'il y a deux régions floues simples A et B dans l'espace topologique FTS, nous adoptons les quatre composantes topologiques de la définition présentée dans la section 5.6 : l'intérieur (A°), la frontière intérieure (A^i), la frontière floue (∂A), et la frontière extérieure (A^e) d'une région spatiale floue simple (A) afin de formaliser de nouveaux modèles topologiques dans la suite.

La première contribution de cette étude est le modèle topologique flou (I_{4*4}) et l'identification des 152 relations topologiques floues entre régions floues.

5.7.1. Nouvelle Matrice de 4*4 - Intersections

Dans la première contribution, nous développons le modèle (I_{4*4}) qui est donné par une nouvelle matrice de 4*4-intersections et utilise l'opérateur d'intersection (\cap) entre les quatre composantes topologiques (A° , A^i , ∂A , A^e) de la région spatiale floue définie dans la section 5.6.1. Entre deux régions spatiales floues simples A et B, la construction de cette nouvelle matrice de 4*4-intersections est similaire à celles proposées dans les travaux [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2002] [Clementini et al. 1996] [Cohn et al. 1994] et elle est donnée dans la Table. 5.1 :

\cap	B°	B^i	∂B	B^e
A°	$A^\circ \cap B^\circ$	$A^\circ \cap B^i$	$A^\circ \cap \partial B$	$A^\circ \cap B^e$
A^i	$A^i \cap B^\circ$	$A^i \cap B^i$	$A^i \cap \partial B$	$A^i \cap B^e$
∂A	$\partial A \cap B^\circ$	$\partial A \cap B^i$	$\partial A \cap \partial B$	$\partial A \cap B^e$
A^e	$A^e \cap B^\circ$	$A^e \cap B^i$	$A^e \cap \partial B$	$A^e \cap B^e$

Table. 5.1: Nouvelle Matrice de 4*4-Intersections

En se basant sur cette matrice, le nouveau modèle (I_{4*4}) de 4*4-intersections appliqué à deux régions floues simples est exprimé par l'expression suivante :

$$I_{4*4}(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap B^i & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B^e \\ A^i \cap B^\circ & A^i \cap B^i & A^i \cap \partial B & A^i \cap B^e \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap B^i & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^e \\ A^e \cap B^\circ & A^e \cap B^i & A^e \cap \partial B & A^e \cap B^e \end{bmatrix}$$

Ce nouveau modèle (I_{4*4}) de 4*4-intersections est considéré comme une extension du modèle (I_4) de 4-intersections [Egenhofer 1989] [Egenhofer et al. 1991a] pour des régions floues simples. L'identification des relations topologiques floues par ce modèle sera étudiée par la suite.

5.7.2. Identification des 152 Relations Topologiques par le Modèle I_{4*4}

Dans cette section, nous nous concentrons sur l'identification de toutes les relations topologiques floues possibles entre des régions floues simples en utilisant le modèle I_{4*4} .

Soit A et B deux régions floues simples, pour l'identification de la relation entre elles, chaque intersection (élément de la matrice) dans la matrice de 4*4-intersections prend une valeur vide (\emptyset) ou non-vide ($\neg\emptyset$). Chaque ensemble des valeurs des éléments de la matrice 4*4-intersections décrit une relation topologique différente. Certaines valeurs de cette matrice n'ont pas de sens pour la relation topologique, il faut donc les éliminer.

En général, il y a $2^{4*4} = 2^{16} = 65\,536$ relations entre deux régions floues simples en utilisant la matrice de 4*4-intersections. Pour la définition proposée dans la section 5.6.1, certaines conditions limitent le nombre total de ces relations comme dans [Tang et al. 2004] [Clementini 2008] [Cohn 2008].

Pour l'identification des relations par le modèle I_{4*4} , en respectant la définition dans la section 5.6, nous balayons toutes les configurations possibles entre deux régions floues A et B en deux étapes de la manière suivante :

(1) Si l'intersection entre la frontière extérieure de A (A^e) et la frontière extérieure de B (B^e) est non-vide ($A^e \cap B^e = \neg\emptyset$), nous cherchons toutes les relations topologiques possibles entre A et B : nous trouvons 105 relations ;

(2) Dans le cas inverse, si l'intersection entre la frontière extérieure de A (A^e) et la frontière extérieure de B (B^e) est vide ($A^e \cap B^e = \emptyset$), nous cherchons toutes les relations topologiques possibles entre A et B, et trouvons 47 relations.

Le nombre total de relations topologiques floues identifiées par le modèle I_{4*4} (entre A et B) est donc égal à 152 relations (voir Annexe A).

Certaines de ces relations ne sont ni identifiées et ni déterminées dans les travaux précédents [Cohn et al. 1994] [Clementini et al. 1996] [Tang et al. 2002] [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2005] [Tang et al. 2006] [Tang et al. 2007] [Clementini 2008] [Cohn 2008]. Nous présentons quelques exemples (dans les Figures 5.17, et 5.18) de ces relations topologiques non-identifiables dans les travaux cités.

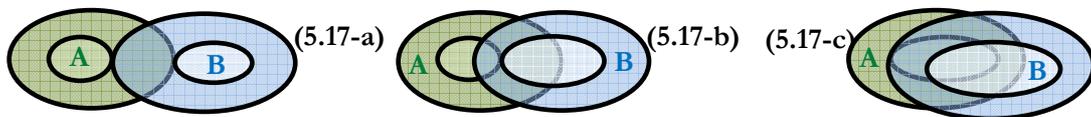


Fig. 5.17: Exemples des configurations spatiales floues (I_{4*4}) pour $A^e \cap B^e = \neg\emptyset$

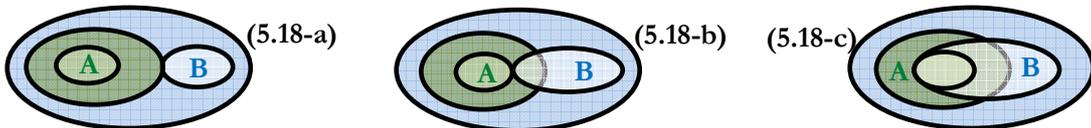


Fig. 5.18: Exemples des configurations spatiales floues (I_{4*4}) pour $A^e \cap B^e = \emptyset$

Les matrices de 4*4-intersections correspondantes pour les configurations spatiales : (5.17-a), (5.17-b), et (5.17-c) présentées dans la Figure 5.17, et pour les configurations : (5.18-a), (5.18-b), et (5.18-c) dans la Figure 5.18 sont données, respectivement, comme suit :

$$I_{4*4}(A,B)_{\text{Fig. 5.17-a}} = \begin{bmatrix} \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & \neg\phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix} \quad I_{4*4}(A,B)_{\text{Fig. 5.17-c}} = \begin{bmatrix} \phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix}$$

$$I_{4*4}(A,B)_{\text{Fig. 5.17-b}} = \begin{bmatrix} \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix} \quad I_{4*4}(A,B)_{\text{Fig. 5.18-a}} = \begin{bmatrix} \phi & \phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \end{bmatrix}$$

$$I_{4*4}(A,B)|_{\text{Fig. 5.18-b}} = \begin{bmatrix} \phi & \phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \end{bmatrix} \quad (I_{4*4}(A,B)|_{\text{Fig. 5.18-c}} = \begin{bmatrix} \neg\phi & \phi & \phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \end{bmatrix})$$

Les avantages et les inconvénients en seront présentés dans la section suivante.

5.7.3. Avantages et Inconvénients du Modèle I_{4*4}

L'avantage du modèle I_{4*4} est qu'il permet d'identifier et de décrire des configurations spatiales non-identifiables par les matrices et les modèles dans les travaux précédents [Cohn et al. 1994] [Clementini et al. 1996] [Tang et al. 2002] [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2005] [Tang et al. 2006] [Tang et al. 2007] [Clementini 2008] [Cohn 2008]. L'utilité et l'importance de cette identification est qu'elle permet de distinguer deux configurations spatiales par leurs relations.

L'inconvénient du modèle I_{4*4} est que l'opérateur d'intersection (\cap) est peut-être le terme le plus coûteux en termes de calcul. Afin de réduire le coût de calcul de ce modèle I_{4*4} , nous allons l'étendre à un nouveau modèle flou d'intersection et de différence en remplaçant certaines intersections par des différences. Ceci est présenté dans la section suivante.

5.8. Contribution II : Modèle Topologique Flou d'Intersection et Différence (FID)

Dans cette section, nous allons développer le deuxième modèle topologique flou en nous basant sur le modèle flou I_{4*4} , et en reprenant les composants (A° , A^i , ∂A , et A^e), ainsi qu'en intégrant l'opérateur de différence (-) dans le modèle I_{4*4} .

La deuxième contribution de cette étude est donc la construction du nouveau modèle topologique flou d'Intersection et de Différences (FID) et l'identification de 152 relations topologiques floues par ce modèle.

5.8.1. Modèle FID

Dans ce modèle, nous allons introduire l'opérateur de différence (-).

Afin d'éviter les opérations spatiales entre les composantes topologiques avec différentes dimensions (par exemple : A° , B° , ∂A , ∂B de 2-dimensions (2-D) ; et A^i , B^i , A^e , B^e de 1-dimension (1-D)), nous remplacerons l'intersection dans les termes : $A^\circ \cap B^i$, $A^\circ \cap B^e$, $A^i \cap B^\circ$, $A^i \cap \partial B$, $\partial A \cap B^i$, $\partial A \cap B^e$, $A^e \cap B^\circ$ et $A^e \cap \partial B$ dans le modèle flou I_{4*4} avec les différences présentées dans la matrice suivante (voir Table. 5.2).

Dans la Table. 5.2, ces différences représentent les différences entre les frontières possibles de chaque composante topologique de A° , B° , ∂A , ∂B (de 2-dimensions (2-D)). La frontière possible de B° et A° est respectivement B^i et A^i . Les frontières possibles de ∂A et ∂B sont respectivement B^i et B^e , A^i et A^e ,

où les quatre intersections ($A^\circ \cap B^\circ$, $A^\circ \cap \partial B$, $\partial A \cap B^\circ$, $\partial A \cap \partial B$) avec des composantes topologiques de 2-dimensions (2-D) et les quatre intersections ($A^i \cap B^i$, $A^i \cap B^e$, $A^e \cap B^i$, $A^e \cap B^e$) avec des composantes topologiques de 1-dimension (1-D) restent aussi sans aucune modification et de façon similaire au modèle ID dans [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009a] [Alboody et al. 2009b] [Deng et al. 2007a].

\cap	\mathbf{B}°	\mathbf{B}^i	$\partial\mathbf{B}$	\mathbf{B}^e	-
\mathbf{A}°	$\mathbf{A}^\circ \cap \mathbf{B}^\circ$	$\mathbf{A}^i - \mathbf{B}^i$	$\mathbf{A}^\circ \cap \partial\mathbf{B}$	$\mathbf{A}^i - \mathbf{B}^e$	\mathbf{A}°
\mathbf{A}^i	$\mathbf{B}^i - \mathbf{A}^i$	$\mathbf{A}^i \cap \mathbf{B}^i$	$\mathbf{B}^i - \mathbf{A}^i$ $\mathbf{B}^e - \mathbf{A}^i$	$\mathbf{A}^i \cap \mathbf{B}^e$	\mathbf{A}^i
$\partial\mathbf{A}$	$\partial\mathbf{A} \cap \mathbf{B}^\circ$	$\mathbf{A}^e - \mathbf{B}^i$ $\mathbf{A}^i - \mathbf{B}^i$	$\partial\mathbf{A} \cap \partial\mathbf{B}$	$\mathbf{A}^e - \mathbf{B}^e$ $\mathbf{A}^i - \mathbf{B}^e$	$\partial\mathbf{A}$
\mathbf{A}^e	$\mathbf{B}^i - \mathbf{A}^e$	$\mathbf{A}^e \cap \mathbf{B}^i$	$\mathbf{B}^i - \mathbf{A}^e$ $\mathbf{B}^e - \mathbf{A}^e$	$\mathbf{A}^e \cap \mathbf{B}^e$	\mathbf{A}^e

Table. 5.2: Nouvelle Matrice d'Intersections et de Différences

Par simplification et arrangement de cette matrice d'intersections et de différences, nous obtenons deux matrices d'intersections et deux matrices de différences (voir Table. 5.3). La simplification est faite comme suit : (1) dans la ligne de \mathbf{A}^i , nous trouvons que le terme $(\mathbf{B}^i - \mathbf{A}^i)$ se trouve dans les deux cases \mathbf{B}° et $\partial\mathbf{B}$, donc, nous le supprimons de la case $\partial\mathbf{B}$ et le conservons dans la case \mathbf{B}° ; (2) dans la ligne de \mathbf{A}^e , nous trouvons que le terme $(\mathbf{B}^i - \mathbf{A}^e)$ se trouve dans les deux cases \mathbf{B}° et $\partial\mathbf{B}$, donc, nous le supprimons de la case $\partial\mathbf{B}$ et le conservons dans la case \mathbf{B}° ; (3) dans la colonne de \mathbf{B}^i , nous trouvons que le terme $(\mathbf{A}^i - \mathbf{B}^i)$ se trouve dans les deux cases \mathbf{A}° et $\partial\mathbf{A}$, donc, nous le supprimons de la case $\partial\mathbf{A}$ et le conservons dans la case \mathbf{A}° ; (4) dans la colonne de \mathbf{B}^e , nous trouvons que le terme $(\mathbf{A}^i - \mathbf{B}^e)$ se trouve dans les deux cases \mathbf{A}° et $\partial\mathbf{A}$, donc, nous le supprimons de la case $\partial\mathbf{A}$ et le conservons dans la case \mathbf{A}° . Les termes supprimés de la matrice sont indiqués en couleur rouge dans la Table. 5.2. Nous arrangeons les matrices comme suit :

\cap	\mathbf{B}°	$\partial\mathbf{B}$
\mathbf{A}°	$\mathbf{A}^\circ \cap \mathbf{B}^\circ$	$\mathbf{A}^\circ \cap \partial\mathbf{B}$
$\partial\mathbf{A}$	$\partial\mathbf{A} \cap \mathbf{B}^\circ$	$\partial\mathbf{A} \cap \partial\mathbf{B}$

\cap	\mathbf{B}^i	\mathbf{B}^e
\mathbf{A}^i	$\mathbf{A}^i \cap \mathbf{B}^i$	$\mathbf{A}^i \cap \mathbf{B}^e$
\mathbf{A}^e	$\mathbf{A}^e \cap \mathbf{B}^i$	$\mathbf{A}^e \cap \mathbf{B}^e$

-	\mathbf{B}^i	\mathbf{B}^e
\mathbf{A}^i	$\mathbf{A}^i - \mathbf{B}^i$	$\mathbf{A}^i - \mathbf{B}^e$
\mathbf{A}^e	$\mathbf{A}^e - \mathbf{B}^i$	$\mathbf{A}^e - \mathbf{B}^e$

-	\mathbf{A}^i	\mathbf{A}^e
\mathbf{B}^i	$\mathbf{B}^i - \mathbf{A}^i$	$\mathbf{B}^i - \mathbf{A}^e$
\mathbf{B}^e	$\mathbf{B}^e - \mathbf{A}^i$	$\mathbf{B}^e - \mathbf{A}^e$

Table. 5.3: Deux matrices de 2*2-Intersections et deux matrices de 2*2-Différences

Le modèle topologique flou d'intersection et de différence (FID) est exprimé et donné comme suit :

$$\text{FID}_{4*4}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^\circ \cap \mathbf{B}^\circ & \mathbf{A}^\circ \cap \partial\mathbf{B} & \mathbf{A}^i - \mathbf{B}^i & \mathbf{A}^i - \mathbf{B}^e \\ \partial\mathbf{A} \cap \mathbf{B}^\circ & \partial\mathbf{A} \cap \partial\mathbf{B} & \mathbf{A}^e - \mathbf{B}^i & \mathbf{A}^e - \mathbf{B}^e \\ \mathbf{A}^i \cap \mathbf{B}^i & \mathbf{A}^i \cap \mathbf{B}^e & \mathbf{B}^i - \mathbf{A}^i & \mathbf{B}^i - \mathbf{A}^e \\ \mathbf{A}^e \cap \mathbf{B}^i & \mathbf{A}^e \cap \mathbf{B}^e & \mathbf{B}^e - \mathbf{A}^i & \mathbf{B}^e - \mathbf{A}^e \end{bmatrix}$$

Le modèle FID combine deux opérateurs (Intersection (\cap) et Différence (-)).

Ce nouveau modèle FID de 8-intersections et 8-différences est considéré comme une extension du modèle ID de 2-intersections et 2-différences [Alboody et al. 2010a] [Alboody et al. 2009a] [Alboody et al. 2009b] [Deng et al. 2007a] pour extraire les relations topologiques floues

entre régions spatiales floues simples. L'identification des relations topologiques floues par ce modèle sera étudiée par la suite.

5.8.2. Identification des 152 Relations Topologiques par le Modèle FID

Dans cette section, nous nous concentrons sur la détermination de toutes les relations topologiques floues possibles entre régions floues en utilisant le modèle FID.

En général, il y a $2^{4*4} = 2^{16} = 65\,536$ relations entre deux régions floues simples en utilisant le modèle FID. Pour la définition proposée dans la section 5.6.1, certaines conditions limitent le nombre total de ces relations comme pour le modèle I_{4*4} dans la section 5.7.2.

Nous réappliquons les deux étapes développées (pour le modèle I_{4*4}) pour l'identification des relations par le modèle FID :

(1) Si l'intersection entre la frontière extérieure de A (A^e) et la frontière extérieure de B (B^e) est non-vide ($A^e \cap B^e = \neg\emptyset$), nous cherchons toutes les relations topologiques possibles entre A et B, nous trouvons 105 relations ;

(2) Dans le cas inverse, si l'intersection entre la frontière extérieure de A (A^e) et la frontière extérieure de B (B^e) est vide ($A^e \cap B^e = \emptyset$), nous cherchons toutes les relations topologiques possibles entre A et B, nous trouvons 47 relations.

Le nombre total de relations floues identifiées par le modèle FID est donc égal à 152 relations. Ces 152 relations topologiques sont toutes présentées dans l'annexe B.

Nous trouvons donc que le nombre total de relations topologiques floues et configurations spatiales par les deux modèles FID et I_{4*4} est le même.

Dans les Figures 5.19 et 5.20, nous présentons des exemples des relations topologiques non-identifiables dans les travaux cités dans l'état de l'art.

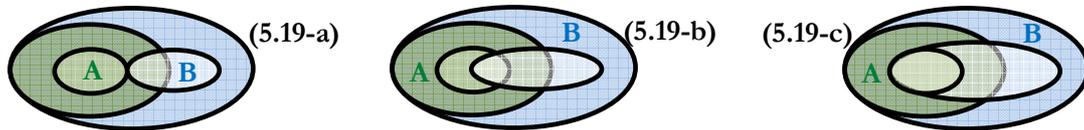


Fig. 5.19: Exemples des configurations spatiales floues (FID) pour $A^e \cap B^e = \neg\emptyset$

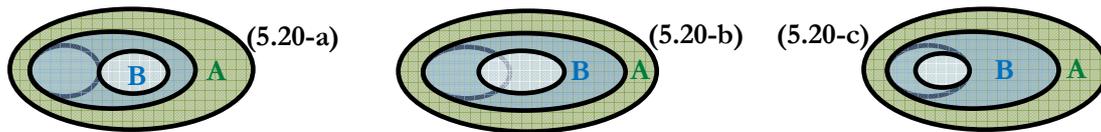


Fig. 5.20: Exemples des configurations spatiales floues (FID) pour $A^e \cap B^e = \emptyset$

Les matrices correspondantes du modèle FID pour les configurations spatiales : (5.19-a), (5.19-b), et (5.19-c) présentées dans la Figure 5.19, et pour les configurations : (5.20-a), (5.20-b) et (5.20-c) dans la Figure 5.20 sont données, respectivement, comme suit :

$$\text{FID}(A,B)_{\text{Fig. 5.19-a}} = \begin{bmatrix} \phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix} \quad \text{FID}(A,B)_{\text{Fig. 5.19-b}} = \begin{bmatrix} \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FID}(A,B) \Big|_{\text{Fig. 5.19-c}} &= \begin{bmatrix} \neg\phi & \phi & \phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix} & \text{FID}(A,B) \Big|_{\text{Fig. 5.20-a}} &= \begin{bmatrix} \phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \phi \end{bmatrix} \\
 \text{FID}(A,B) \Big|_{\text{Fig. 5.20-b}} &= \begin{bmatrix} \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \phi \end{bmatrix} & \text{FID}(A,B) \Big|_{\text{Fig. 5.20-c}} &= \begin{bmatrix} \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \phi \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Les avantages et les inconvénients du modèle flou FID seront présentés dans la section suivante.

5.8.3. Avantages et Inconvénients du Modèle FID

Le modèle FID a deux avantages par rapport au modèle I_{4*4} : d'abord, il réduit la complexité de calcul en évitant les opérations spatiales entre les composantes topologiques avec des dimensions différentes, et deuxièmement, il réduit le coût de calcul en raison du nombre de 8 intersections et 8 différences (dans la matrice du modèle FID) au lieu des 16 intersections dans le modèle I_{4*4} . Heureusement, nous n'avons pas trouvé d'inconvénients du modèle FID.

5.9. Comparaison des deux Modèles I_{4*4} et FID avec les Autres Modèles

L'avantage des deux modèles développés (I_{4*4} et FID) dans cette étude est qu'ils ont la capacité de décrire et de définir 152 relations topologiques floues différentes sur les matrices et les modèles présentés dans l'état de l'art.

Le seul modèle proche et comparable est le modèle I_{4*4} proposé par Tang [Tang et al. 2004] qui peut aussi distinguer 152 relations topologiques floues (voir Appendix 2. dans [Tang et al. 2004]) mais en adoptant 12 contraintes topologiques entre les quatre composantes topologiques : intérieur (A°), extérieur (A^e), intérieur de la frontière ($(\partial A)^\circ$), frontière de la frontière ($\partial(\partial A)$). Dans ce modèle, des régions floues ayant des représentations spatiales présentées dans la Figure 5.21 sont possibles et traitées. Dans ces représentations, la possibilité que les composantes ne soient pas parfaitement fermées et mutuellement disjointes existe. Par exemple, la frontière de la frontière ($\partial(\partial A)$) (voir Figures 5.21-b, et 5.21-c) est connectée, ce qui n'est pas le cas dans la Figure 5.21-a.

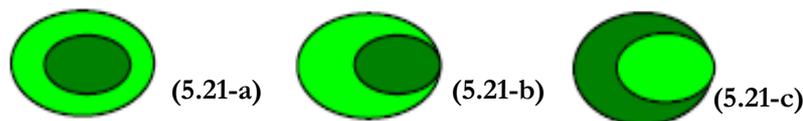


Fig. 5.21: Représentation spatiale des régions floues selon Tang [Tang et al. 2004, PP. 89]

Par rapport au modèle I_{4*4} proposé par Tang, 96 nouvelles relations topologiques (voir Annexe C) entre régions floues sont identifiées en utilisant nos modèles topologiques flous (I_{4*4} et FID) et les relations en commun sont 56.

Nous pensons que le nombre total des relations distinguées par les modèles (I_{4*4} et FID) peut être égal ou supérieur à $(152 + 96 = 248)$ relations en adoptant dans la définition des régions

floues (voir la section 5.6) que l'intersection entre A^e et A^i n'est pas vide et la frontière n'est pas vide non plus : $A^e \cap A^i = \neg\emptyset$ et $\partial A = \neg\emptyset$, avec d'autres contraintes topologiques sur leur fermeture et connectivité.

Dans la section suivante, nous allons étudier les propriétés (la complexité topologique pour chaque relation topologique, la distance topologique entre deux relations topologiques, et le graphe conceptuel de voisinage) des 152 relations du modèle FID.

5.10. Étude des Propriétés des 152 Relations Topologiques du Modèle FID

En général, l'étude des propriétés des relations topologiques permet de raisonner sur des changements graduels des relations topologiques causées par un changement géométrique. Les deux mesures de la complexité et la distance topologiques nous permettent de construire un graphe conceptuel de voisinage des relations topologiques [Egenhofer et al. 1992] [Deng et al. 2007a]. Ce graphe est particulièrement utile pour prédire les relations topologiques les plus susceptibles d'intervenir (ou d'apparaître) après un changement géométrique se produit. Par la suite, nous allons présenter les propriétés des 152 relations du modèle FID.

5.10.1. Complexité Topologique

Intuitivement, la complexité d'une sorte de relation topologique correspond au nombre de valeurs non-vides des éléments de la matrice du modèle FID, parce que la valeur non-vide peut être utile pour des invariants topologiques (par exemple : la dimension et le nombre de séparations) étudiés dans les travaux suivants [Deng et al. 2007a] [Alboody et al. 2010a].

La complexité topologique a été étudiée pour les relations topologiques simples produites par les deux modèles : I9 (9-Intersections) [Egenhofer et al. 1992] et ID (Intersection et Différence) [Deng et al. 2007a].

Dans cette section, nous allons reprendre cette complexité topologique pour étudier les relations topologiques floues produites par le modèle FID. La complexité topologique sera mesurée pour chaque relation topologique floue des 152 relations du modèle FID.

Il est possible de définir la complexité topologique notée $C_T(\text{FID})$ des relations topologiques obtenues par le modèle FID comme suit :

$$C_T(\text{FID}) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \delta(e_{ij})$$

avec e_{ij} ($1 \leq i, j \leq 4$) est la valeur de l'élément de la $i^{\text{ème}}$ ligne et la $j^{\text{ème}}$ colonne de la matrice de la relation topologique déterminée par le modèle FID. Le symbole $\delta(e_{ij})$ est une fonction de mapping des valeurs vides (\emptyset) et non-vides ($\neg\emptyset$) en valeurs entières de 0 et 1. Le symbole $\delta(e_{ij})$

peut être représenté par l'expression : $\delta(e_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{Si } e_{ij} = \neg\emptyset \\ 0, & \text{Si } e_{ij} = \emptyset \end{cases}$. Autrement dit, par sa définition,

la complexité topologique $C_T(\text{FID})$ est égale à la somme de toutes les valeurs non-vides ($\neg\emptyset$) dans la matrice de la relation topologique floue identifiée par le modèle FID.

Nous utilisons les numéros de 1 à 152 pour les notations des relations topologiques identifiées par le modèle FID. Dans les deux exemples suivants, la complexité topologique des relations topologiques 17 et 21 sont notées $C_T(\text{FID}^{17})$ et $C_T(\text{FID}^{21})$.

Par exemple, la relation topologique floue (FID^{21}) donnée par la matrice :

$$FID^{21} = \begin{bmatrix} \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix}$$

et sa complexité topologique $C_T(FID^{21})$ est égale à 12 comme suit

$$: C_T(FID^{21}) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \delta(e_{ij}) = 12.$$

Autre exemple : la relation topologique floue (FID^{17}) donnée par la matrice :

$$FID^{17} = \begin{bmatrix} \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix}$$

et sa complexité topologique $C_T(FID^{17})$ est égale à 16 comme suit

$$: C_T(FID^{17}) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \delta(e_{ij}) = 16.$$

La complexité topologique $C_T(FID)$ des 152 relations topologiques floues obtenues par le modèle FID entre régions spatiales floues peut être calculée en utilisant l'expression de $C_T(FID)$. Nous avons mesuré $C_T(FID)$ pour ces relations et nous avons trouvé que $C_T(FID)$ peut avoir onze (11) valeurs différentes égales à : 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, et 16. Les 152 relations topologiques floues peuvent être regroupées dans onze groupes en fonction de la valeur de la complexité topologique $C_T(FID)$ de chaque relation comme suit (Table. 5.4) :

- (1) $C_T(FID) = 6$: le groupe 1 contient les relations topologiques floues : 85, 137, 138, 139, 140, 151, 152 ;
- (2) $C_T(FID) = 7$: le groupe 2 contient les relations topologiques floues : 84, 95, 96, 133, 134, 136, 142, 143, 144, 145 ;
- (3) $C_T(FID) = 8$: le groupe 3 contient les relations topologiques floues : 1, 74, 75, 77, 87, 91, 94, 97, 114, 116, 117, 128, 129, 132, 135, 141, 146, 147, 148 ;
- (4) $C_T(FID) = 9$: le groupe contient les relations topologiques floues : 2, 54, 55, 58, 65, 70, 73, 76, 78, 83, 86, 90, 92, 98, 109, 110, 113, 115, 118, 123, 124, 127, 130, 149 ;
- (5) $C_T(FID) = 10$: le groupe 5 contient les relations topologiques floues : 3, 7, 37, 39, 50, 52, 56, 57, 59, 64, 66, 69, 71, 79, 82, 88, 93, 99, 104, 105, 108, 111, 119, 122, 125, 131, 150 ;
- (6) $C_T(FID) = 11$: le groupe 6 contient les relations topologiques floues : 4, 6, 8, 11, 25, 26, 33, 38, 40, 45, 46, 49, 51, 60, 63, 67, 72, 80, 89, 100, 103, 105, 106, 112, 120 ;
- (7) $C_T(FID) = 12$: le groupe 7 contient les relations topologiques floues : 5, 9, 12, 13, 21, 24, 27, 31, 34, 41, 44, 47, 53, 61, 68, 81, 101, 107, 121 ;
- (8) $C_T(FID) = 13$: le groupe 8 contient les relations topologiques floues : 10, 14, 18, 20, 28, 32, 35, 42, 48, 62, 102 ;
- (9) $C_T(FID) = 14$: le groupe 9 contient les relations topologiques floues : 15, 19, 22, 29, 36, 43 ;
- (10) $C_T(FID) = 15$: le groupe 10 contient les relations topologiques floues : 16, 23, 30 ;
- (11) $C_T(FID) = 16$: le groupe 11 contient une seule relation topologique floue : 17.

Nous trouvons que le groupe 1 des relations topologiques correspond aux relations topologiques qui ont la valeur minimale de la complexité topologique avec $C_T(\text{FID})=6$. Le groupe 1 contient les relations topologiques du modèle FID (85, 137, 139, 140, 151, 152) ayant la complexité topologique la plus faible ($C_T(\text{FID})=6$). En revanche, le groupe 11 des relations topologiques correspond aux relations topologiques qui ont la valeur minimale de la complexité topologique avec $C_T(\text{FID})=16$. Le groupe 11 contient une seule relation topologique du modèle FID (la relation 17) ayant la complexité topologique la plus élevée ($C_T(\text{FID})=16$). Les relations topologiques ayant une complexité topologique $C_T(\text{FID})$ plus que la valeur minimale ($C_T(\text{FID}) > 6$) et moins que la valeur maximale ($C_T(\text{FID}) < 16$) ont une complexité plus élevée. Ces relations sont complètement distinguées par le modèle FID et regroupées selon leur complexité topologique dans les groupes, du groupe 2 au groupe 10, dans la Table. 5.4.

L'enquête ci-dessus montre que, d'une part la complexité topologique définie par $C_T(\text{FID})$ peut être utilisée comme une mesure pour faire une classification en profondeur de ces relations floues dans le but de construire le graphe conceptuel de voisinage des relations dans la section 5.10.3, et d'autre part que le modèle FID paraît utile pour représenter et montrer efficacement la complexité potentielle de ce grand nombre des relations topologiques entre régions floues. La valeur minimale de la complexité représente le niveau le plus bas du graphe conceptuel de voisinage alors que la valeur maximale représente le niveau le plus haut (voir Figure 5.23).

Dans la section suivante, nous allons concentrer notre étude sur la mesure de distance topologique entre les 152 relations topologiques identifiées par le modèle FID.

Groupes des Relations Topologiques	Relations Topologiques du Modèle FID	Complexité Topologique $C_T(\text{FID})$	Nombre des Relations Topologiques
Groupe 1	85, 137, 138, 139, 140, 151, 152	6	7
Groupe 2	84, 95, 96, 133, 134, 136, 142, 143, 144, 145	7	10
Groupe 3	1, 74, 75, 77, 87, 91, 94, 97, 114, 116, 117, 128, 129, 132, 135, 141, 146, 147, 148	8	19
Groupe 4	2, 54, 55, 58, 65, 70, 73, 76, 78, 83, 86, 90, 92, 98, 109, 110, 113, 115, 118, 123, 124, 127, 130, 149	9	24
Groupe 5	3, 7, 37, 39, 50, 52, 56, 57, 59, 64, 66, 69, 71, 79, 82, 88, 93, 99, 104, 105, 108, 111, 119, 122, 125, 131, 150	10	27
Groupe 6	4, 6, 8, 11, 25, 26, 33, 38, 40, 45, 46, 49, 51, 60, 63, 67, 72, 80, 89, 100, 103, 106, 112, 120, 126	11	25
Groupe 7	5, 9, 12, 13, 21, 24, 27, 31, 34, 41, 44, 47, 53, 61, 68, 81, 101, 107, 121	12	19
Groupe 8	10, 14, 18, 20, 28, 32, 35, 42, 48, 62, 102	13	11
Groupe 9	15, 19, 22, 29, 36, 43	14	6
Groupe 10	16, 23, 30	15	3
Groupe 11	17	16	1

Table. 5.4: Groupes des relations topologiques du modèle FID en fonction des valeurs de la complexité topologique pour chaque relation

5.10.2. Distance Topologique

Comme la relation topologique peut passer d'un cas à l'autre avec des changements géométriques d'une ou des régions floues concernées, tels que l'emplacement, l'orientation, la forme et la taille [Egenhofer et al. 1992] [Deng et al. 2007a], un changement topologique se produit si la modification de la géométrie d'une région floue affecte sa relation par rapport à une autre région floue. La mesure de la distance topologique entre deux relations permet de déterminer la relation la plus susceptible d'apparaître après ces changements provoqués.

Prenant comme exemple la Figure 5.22, la relation topologique entre A et B pour (a) est la relation (1) notifiée "**Completely Disjoint**". Avec le déplacement de la région B vers A, la relation est changée en relation (9) notifiée "**Fairly Meets**" en (b), puis changée en relation (17) notifiée "Complètement en relation de Chevauchement" (**Completely Overlaps**) en (c). Cet exemple indique qu'il y a différents degrés de similitude et d'ordre de transformations des relations topologiques dans l'illustration du processus de changements topologiques.

Egenhofer et Al-Taha [Egenhofer et al. 1992] ont utilisé le modèle 9-intersections comme un modèle topologique de base pour décrire l'ordre d'occurrence des relations topologiques entre régions simples, et ont fourni une mesure afin d'évaluer dans quelle mesure deux (ou plus) relations sont séparées les unes des autres.

Dans la discussion suivante, une définition similaire de la distance topologique définie par Egenhofer et Al-Taha dans [Egenhofer et al. 1992] est prise dans notre travail sur la base du modèle FID. La mesure de la distance topologique a été également appliquée pour les relations topologiques (entre régions simples) identifiées par le modèle ID dans [Deng et al. 2007a].

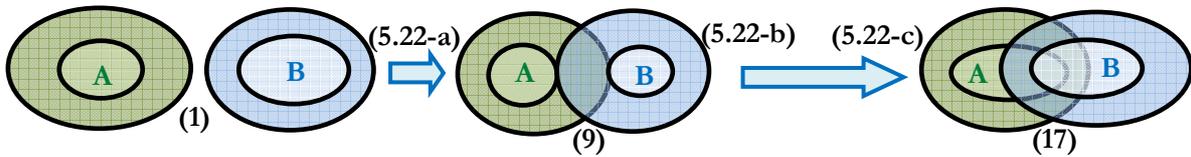


Fig. 5.22: Illustration du processus de changements topologiques des relations floues du modèle FID : à partir de (a) "**Completely Disjoint**" (Relation (1)), ensuite changement (b) "**Fairly Meets**" (Relation (9)), puis changement (c) "**Completely Overlaps**" (Relation (17)) (voir Annexe C)

Pour deux relations topologiques floues (entre deux régions floues) des 152 relations obtenues par le modèle FID, la matrice du modèle FID est représentée comme FID^k et FID^m , respectivement avec $1 \leq k, m \leq 152$.

En outre, la distance topologique notée $TD_T(FID^k, FID^m)$ entre ces deux relations topologiques floues peut être définie comme dans [Egenhofer et al. 1992] [Deng et al. 2007a] par l'expression suivante :

$$TD_T(FID^k, FID^m) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 |\delta(e_{ij}^k) - \delta(e_{ij}^m)|$$

avec e_{ij} ($1 \leq i, j \leq 4$) est la valeur de l'élément de la $i^{\text{ème}}$ ligne et la $j^{\text{ème}}$ colonne de la matrice de la relation topologique déterminée (FID^k , ou FID^m) par le modèle FID.

Le symbole delta $\delta(e_{ij})$ est une fonction de mapping des valeurs vides (\emptyset) et non-vides ($\neg\emptyset$) en valeurs entières 0 et 1, respectivement.

Le symbole $\delta(e_{ij})$ peut être représenté par l'expression :

$$\delta(e_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{Si } e_{ij} = \neg\emptyset \\ 0, & \text{Si } e_{ij} = \emptyset \end{cases}$$

En utilisant l'expression de $TD_T(FID^k, FID^m)$, la distance topologique (TD_T) entre deux relations topologiques floues peut être déterminée. Par exemple, en prenant les deux relations topologiques floues ($k = 5$, et $m = 127$) données par les matrices du modèle FID comme suit :

$$FID^k = FID^5 = \begin{bmatrix} \phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix} \text{ et } FID^m = FID^{127} = \begin{bmatrix} \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \phi \end{bmatrix}$$

Ensuite, la distance topologique entre ces deux relations (FID^5 , et FID^{127}) peut être calculée en utilisant l'expression de $TD_T(FID^k, FID^m)$ comme suit:

$$TD_T(FID^k, FID^m) = TD_T(FID^5, FID^{127}) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 |\delta(e_{ij}^5) - \delta(e_{ij}^{127})|$$

$$TD_T(FID^5, FID^{127}) = |0 - 1| + |0 - 1| + |1 - 1| + |1 - 0| + |1 - 0| + |1 - 1| + |1 - 1| + |1 - 1| + |0 - 1| + |0 - 1| + |1 - 0| + |1 - 0| + |1 - 0| + |1 - 0| + |1 - 1| + |1 - 0|$$

$$TD_T(FID^5, FID^{127}) = 1 + 1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 + 1 = 11$$

De façon similaire à cette mesure, les distances topologiques peuvent être déterminées entre toutes les relations topologiques floues du modèle FID (voir un extrait dans la Table. 5.5).

MATLAB Variable Editor: Topological_Distance															
janv. 14, 2010															
Page 1															
2-42-5															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	2	3	4	5	4	3	4	5	5	6	4	5	6
2	1	0	1	2	3	4	3	2	3	4	4	5	3	4	5
3	2	1	0	1	2	3	2	1	2	3	3	4	2	3	4
4	3	2	1	0	1	2	3	2	1	2	4	3	3	2	3
5	4	3	2	1	0	1	2	3	2	1	3	2	4	3	2
6	5	4	3	2	1	0	1	4	3	2	2	1	5	4	3
7	4	3	2	3	2	1	0	3	4	3	1	2	4	5	4
8	3	2	1	2	3	4	3	0	1	2	2	3	1	2	3
9	4	3	2	1	2	3	4	1	0	1	3	2	2	1	2
10	5	4	3	2	1	2	3	2	1	0	2	1	3	2	1
11	5	4	3	4	3	2	1	2	3	2	0	1	3	4	3
12	6	5	4	3	2	1	2	3	2	1	1	0	4	3	2
13	4	3	2	3	4	5	4	1	2	3	3	4	0	1	2
14	5	4	3	2	3	4	5	2	1	2	4	3	1	0	1
15	6	5	4	3	2	3	4	3	2	1	3	2	2	1	0
16	7	6	5	4	3	4	5	4	3	2	4	3	3	2	1
17	8	7	6	5	4	5	6	5	4	3	5	4	4	3	2
18	6	5	4	5	4	3	2	3	4	3	1	2	2	3	2
19	8	7	6	5	4	3	4	5	4	3	3	2	4	3	2
20	7	6	5	6	5	4	3	4	5	4	2	3	3	4	3
21	6	5	4	5	4	3	2	3	4	3	1	2	2	3	2
22	8	7	6	7	6	5	4	5	6	5	3	4	4	5	4
23	9	8	7	6	5	4	5	6	5	4	4	3	5	4	3
24	8	7	6	7	8	7	6	5	6	7	5	6	4	5	6
25	7	6	5	6	7	6	5	4	5	6	4	5	3	4	5
26	5	4	3	4	5	6	5	2	3	4	4	5	1	2	3
27	6	5	4	3	4	5	6	3	2	3	5	4	2	1	2
28	7	6	5	4	3	4	5	4	3	2	4	3	3	2	1
29	8	7	6	5	4	5	6	5	4	3	5	4	4	3	2
30	9	8	7	6	5	6	7	6	5	4	6	5	5	4	3
31	8	7	6	5	4	3	4	5	4	3	3	2	4	3	2
32	9	8	7	6	5	4	5	6	5	4	4	3	5	4	3
33	7	6	5	6	5	4	3	4	5	4	2	3	3	4	3
34	8	7	6	7	6	5	4	5	6	5	3	4	4	5	4

Table. 5.5: Matrice des distances topologiques entre deux relations floues du modèle FID

$$TD_T(FID^k, FID^m) = TD_T(FID^{63}, FID^{136}) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 |\delta(e_{ij}^{63}) - \delta(e_{ij}^{136})|$$

$$TD_T(FID^{63}, FID^{136}) = |1-1| + |0-1| + |0-1| + |0-1| + |1-0| + |1-0| + |1-1| + |0-1| \\ + |1-0| + |0-1| + |1-0| + |1-0| + |1-0| + |1-0| + |1-0| + |1-0|$$

$$TD_T(FID^{63}, FID^{136}) = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 14$$

Le second cas (2) est : les deux relations topologiques floues ($k = 84$, et $m=103$) données par les matrices suivantes du modèle FID :

$$FID^k = FID^{84} = \begin{bmatrix} -\phi & \phi & \phi & \phi \\ -\phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & -\phi & -\phi \\ -\phi & \phi & -\phi & -\phi \end{bmatrix} \text{ et } FID^m = FID^{103} = \begin{bmatrix} -\phi & -\phi & -\phi & -\phi \\ \phi & -\phi & -\phi & -\phi \\ -\phi & -\phi & \phi & \phi \\ \phi & -\phi & -\phi & \phi \end{bmatrix}$$

Ensuite, la distance topologique entre ces deux relations (FID^{84} , et FID^{103}) peut être calculée en utilisant l'expression de $TD_T(FID^k, FID^m)$ comme suit :

$$TD_T(FID^k, FID^m) = TD_T(FID^{84}, FID^{103}) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 |\delta(e_{ij}^{84}) - \delta(e_{ij}^{103})|$$

$$TD_T(FID^{84}, FID^{103}) = |1-1| + |0-1| + |0-1| + |0-1| + |1-0| + |0-1| + |0-1| + |0-1| + |0-1| \\ + |0-1| + |1-0| + |1-0| + |1-0| + |0-1| + |1-1| + |1-0|$$

$$TD_T(FID^{84}, FID^{103}) = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 + 1 = 14$$

Propriété.5. Rang des Valeurs : En se basant sur les valeurs minimales et maximales de la distance topologique, nous constatons que les valeurs de la distance topologique ont le rang suivant : $0 \leq TD_T(FID^k, FID^m) \leq 14$.

Propriété.6. Propriété de l'Inégalité Triangulaire : $TD_T(FID^k, FID^m) + TD_T(FID^m, FID^n) \geq TD_T(FID^k, FID^n)$ avec $1 \leq k, m, n \leq 152$. Cette propriété est prouvée de la même manière que dans le travail [Egenhofer et al. 1992].

Par exemple, la distance topologique entre les relations topologiques floues pour ($k = 7$, $m = 3$, et $n=5$) est utilisée pour la propriété de l'inégalité triangulaire : $(TD_T(FID^7, FID^3) + TD_T(FID^3, FID^5)) \geq TD_T(FID^7, FID^5) \Rightarrow 2 + 2 \geq 2$ (voir Table. 5.5).

Dans les propriétés (1) à (6) de la distance topologique, les notations FID^k , FID^m , et FID^n représentent les matrices de trois relations topologiques identifiées par le modèle FID, respectivement.

Par rapport à la définition de la distance dans l'espace métrique, il est facile d'observer que la distance topologique est très similaire à la distance de Manhattan [Egenhofer et al. 1992]. Par conséquent, la distance topologique peut être prise comme une autre mesure des relations topologiques floues, en plus de la complexité topologique définie dans la section précédente.

Dans la section suivante, les relations de voisinage et le graphe de voisinage conceptuel peuvent être définis sur la base de cette étude de la complexité et la distance topologique.

5.10.3. Graphe Conceptuel de Voisinage

De la propriété de la valeur minimale non-zéro (non-nulle) de la distance topologique telle que présenté dans la Table. 5.5, nous savons que la distance topologique minimale entre deux relations topologiques floues différentes est égale à un :

$$TD_T(FID^k, FID^m) \geq 1 \quad \text{Pour } FID^k \neq FID^m$$

où FID^k et FID^m représentent les matrices de deux relations topologiques identifiées par le modèle FID. En se basant sur cette propriété, nous définissons la relation de voisinage à deux relations satisfaisant à la propriété de la valeur minimale non-zéro (non-nulle) comme suit :

$$TD_T(FID^k, FID^m) = 1$$

autrement dit, si $TD_T(FID^k, FID^m) = 1$, alors la relation topologique FID^k est une relation de voisinage de la relation FID^m . Par exemple, la relation topologique FID^{17} a trois relations de voisinage qui sont les relations suivantes : FID^{16} , FID^{23} , et FID^{30} . Nous prenons les deux relations ($k = 17$, et $m = 30$) données par les matrices du modèle FID comme suit :

$$FID^k = FID^{17} = \begin{bmatrix} \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix} \text{ et } FID^m = FID^{30} = \begin{bmatrix} \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix}$$

Ensuite, la distance topologique est donnée par :

$$\begin{aligned} TD_T(FID^k, FID^m) &= TD_T(FID^{17}, FID^{30}) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 |\delta(e_{ij}^{17}) - \delta(e_{ij}^{30})| \\ TD_T(FID^{17}, FID^{30}) &= |1-1| + |1-1| + |1-1| + |1-0| + |1-1| + |1-1| + |1-1| + |1-1| \\ &\quad + |1-1| + |1-1| + |1-1| + |1-1| + |1-1| + |1-1| + |1-1| + |1-1| \\ TD_T(FID^{17}, FID^{30}) &= 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 1 \end{aligned}$$

D'après la Table. 5.6, nous pouvons constater que chacune des relations topologiques : 1, 85, 137, 139, 140, 151, 152 ne possède qu'une seule relation de voisinage. Par exemple, la relation floue numéro 1 (du modèle FID) a la relation numéro 2 comme seule relation de voisinage, et la relation floue numéro 85 a la relation numéro 84 comme seule relation de voisinage.

En considérant la complexité topologique ($C_T(\text{FID})$) définie ci-dessus, un graphe conceptuel de voisinage pour les 152 relations topologiques floues peut être construit, comme illustré dans la Figure 5.23, où chaque nœud (représenté par la forme carrée et le nombre de relations topologiques du modèle FID donné à l'intérieur) représente une relation topologique, et chaque arc solide (en rouge) représente la propriété voisine de relations topologiques (relations de voisinage avec $TD_T = 1$), et chaque forme rectangle (en vert, avec la valeur de la complexité topologique C_T donnée à l'intérieur) représente le même niveau de complexité topologique (représentée par $C_T(\text{FID})$).

A partir de ce graphe conceptuel, nous pouvons voir clairement que, d'une part les 152 relations entre régions spatiales floues ont différentes complexités, et d'autre part qu'un ordre de transformation existe entre elles.

FID Relations	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	2	1, 3	2, 4, 8	3, 5, 9	4, 6, 10	5, 7, 12	6, 11, 98	3, 9, 13	4, 8, 10, 14
FID Relations	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	5, 9, 12, 15	7, 12, 21, 99	6, 10, 11, 18	8, 14, 26	9, 13, 15, 27	10, 14, 16, 18, 28	15, 17, 19, 29	16, 23, 30	12, 15, 19, 21, 31
FID Relations	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	16, 18, 20, 23, 32	19, 21, 22, 34, 101	11, 18, 20, 33, 100	20, 23, 35, 102	17, 19, 22, 36	25, 38, 103	24, 37, 104	13, 27, 39	14, 26, 28, 40
FID Relations	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	15, 27, 29, 31, 41	16, 28, 30, 32, 42	17, 29, 36, 43	18, 28, 32, 33, 46	19, 29, 31, 34, 36, 47	21, 31, 34, 52, 105	20, 32, 33, 35, 51, 106	22, 34, 36, 53, 107	23, 30, 32, 35, 48
FID Relations	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	25, 38, 55, 109	24, 37, 56, 108	26, 40, 58	27, 39, 41, 59	28, 40, 42, 46, 60	29, 41, 43, 47, 61	30, 42, 48, 62	45, 49, 63	44, 50, 64
FID Relations	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	31, 41, 47, 52, 66	32, 42, 46, 48, 51, 67	36, 43, 47, 53, 68	44, 50, 57, 69	45, 49, 54, 70	34, 47, 52, 53, 71, 111	33, 46, 51, 65, 110	35, 48, 51, 72, 112	50, 57, 74, 114
FID Relations	55	56	57	58	59	60	61	62	63
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	37, 56, 75, 116	38, 55, 76, 115	49, 54, 73, 113	39, 59, 77	40, 58, 60, 78	41, 59, 61, 66, 79	42, 60, 62, 67, 80	43, 61, 68, 81	44, 64, 69, 82
FID Relations	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	45, 63, 70, 83	52, 66, 71, 87, 148	46, 60, 65, 67, 86	47, 61, 66, 68, 71, 88	48, 62, 67, 72, 89	49, 63, 70, 73, 90	50, 64, 69, 74, 91	51, 65, 67, 72, 92, 149	53, 68, 71, 93, 150
FID Relations	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	57, 69, 74, 94, 147	54, 70, 73, 95, 144	55, 76, 96, 145	56, 75, 97, 146	58, 78	59, 77, 79	60, 78, 80, 86	61, 79, 81, 88	62, 80, 89
FID Relations	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	63, 83, 90	64, 82, 91	85, 151	84	66, 79, 87, 88	65, 86, 92	67, 80, 86, 89, 92	68, 81, 88, 93	69, 82, 91, 94
FID Relations	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	70, 83, 90, 95	71, 87, 88, 93	72, 89, 92	73, 90, 95	74, 91, 94	75, 97	76, 96	7, 99, 117	11, 98, 100, 118
FID Relations	100	101	102	103	104	105	106	107	108
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	21, 99, 101, 105, 119	20, 100, 102, 106, 120	22, 101, 107, 121	24, 104, 108, 122	25, 103, 109, 123	33, 100, 106, 110, 124	34, 101, 105, 107, 111, 125	35, 102, 106, 112, 126	38, 103, 109, 115, 127
FID Relations	109	110	111	112	113	114	115	116	117
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	37, 104, 108, 116, 128	52, 105, 111, 129, 148	51, 106, 110, 112, 130, 149	53, 107, 111, 131, 150	57, 114, 132, 147	54, 113, 133, 144	56, 108, 116, 135, 146	55, 109, 115, 134, 145	98, 118
FID Relations	118	119	120	121	122	123	124	125	126
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	99, 117, 119	100, 118, 120, 124	101, 119, 121, 125	102, 120, 126	103, 123, 127	104, 122, 128	105, 119, 125, 129	106, 120, 124, 126, 130	107, 121, 125, 131
FID Relations	127	128	129	130	131	132	133	134	135
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	108, 122, 128, 135	109, 123, 127, 134	110, 124, 130	111, 125, 129, 131	112, 126, 130	113, 133	114, 132	116, 128, 135	115, 127, 134
FID Relations	136	137	138	139	140	141	142	143	144
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	137, 152	136	142, 143	139	142	142, 143	138, 140, 141	138, 139, 141	74, 114, 147
FID Relations	145	146	147	148	149	150	151	152	
Relations de Voisinage : $TD_T = 1$	75, 116, 146	76, 115, 145	73, 113, 144	65, 110, 149	71, 111, 148, 150	72, 112, 149	84	136	

Table. 5.6: Matrice des relations de voisinage pour chaque relation topologique floue des 152 relations topologiques du modèle FID

Pour cette dernière configuration spatiale du processus de changements topologiques, présentée dans la Figure 5.22, il est particulièrement utile pour prédire les relations topologiques les plus susceptibles de se produire après un changement géométrique d'une ou deux régions floues. Par exemple, la relation (1) ("**Completely Disjoint**") sera probablement la relation (2) ("**Weakly Meets**"), et la relation (2) ("**Weakly Meets**") sera probablement la relation (3) ("**Weakly Overlaps**") après qu'un changement se produise. Ces niveaux flous de la fonction d'appartenance des relations topologiques floues seront expliqués dans la section suivante. Les relations floues du modèle FID seront regroupées dans huit clusters qualitatifs des relations qualitatives du système RCC8.

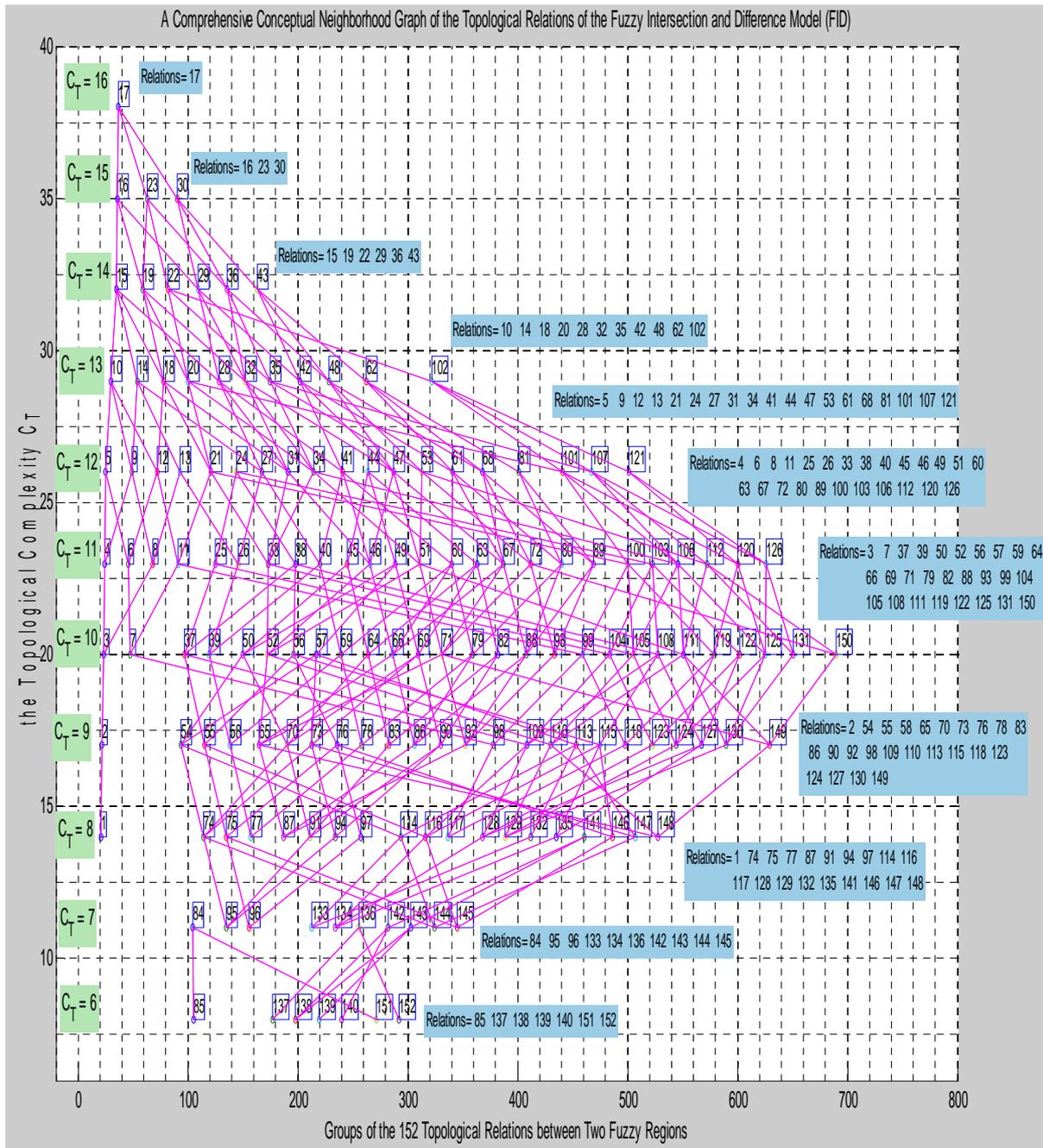


Fig. 5.23: Graphe conceptuel de voisinage des 152 relations topologiques floues du modèle FID (C_T : complexité topologique, numéros des relations de 1 à 152)

5.11. Système RCC8 et Regroupement des 152 Relations du Modèle FID

Dans ce travail, le modèle FID proposé est expressif en termes de relations topologiques floues entre régions spatiales floues. Par conséquent, 152 relations topologiques sont distinguées.

Dans cette section, le regroupement de ces relations floues est une étape importante car il est très difficile de garder à l'esprit ce grand nombre de relations. Il est également indispensable de trouver un nom qualitatif pour chacune entre elles pour que l'utilisateur n'ait pas de difficultés à trouver l'opérateur approprié pour exprimer une requête spatiale.

Dans ce contexte, l'objectif dans cette section est d'exprimer ces 152 relations par des expressions qualitatives floues. Le regroupement de ces 152 relations du modèle FID dans les huit clusters des relations qualitatives de base du système RCC8 sera indispensable. Le regroupement sera basé sur la définition de quatre niveaux flous des relations du système RCC8 : (1) Completely (Complètement), (2) Strongly (Fortement), (3) Fairly (Assez), et (4) Weakly (Faiblement).

Nous montrerons que les 152 relations topologiques identifiées par le modèle FID peuvent être décomposées en quatre sous-relations topologiques qualitatives du système RCC8 comme dans [Bejaoui et al. 2008]. Ensuite, la relation est selon la définition d'une région spatiale floue (A) qui se compose de deux régions spatiales simples A_1 et A_2 avec $A_1 \subset A_2$ (voir Figure 5.24) où A_2 contient A_1 .

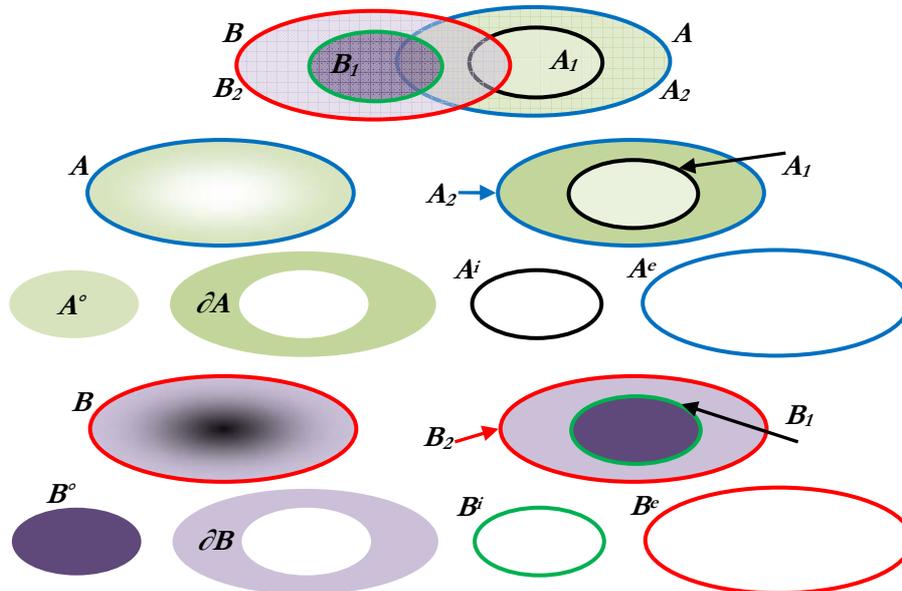


Fig. 5.24: Représentation spatiale de deux régions spatiales floues simples

Dans ce cas, nous pouvons réécrire le modèle FID comme quatre sous-modèles du modèle ID [Alboody et al. 2010a] [Deng et al. 2007a] comme suit :

Matrice	$\cap / -$	B°	B^i
M11	A°	$A^\circ \cap B^\circ$	$A^i - B^i$
	A^i	$B^i - A^i$	$A^i \cap B^i$

Le sous-modèle ID du modèle FID pour cette matrice (M11) est donné par :

$$M11 = ID_{2 \times 2}(A_1, B_1) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^i - B^i \\ B^i - A^i & A^i \cap B^i \end{bmatrix}$$

Matrice M12	$\cap / -$	∂B	B^e
	A°	$A^\circ \cap \partial B$	$A^i - B^e$
	A^i	$B^e - A^i$	$A^i \cap B^e$

Le sous-modèle ID du modèle FID pour cette matrice (M12) est donné par :

$$M12 = ID_{2*2}(A_1, B_2) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap \partial B & A^i - B^e \\ B^e - A^i & A^i \cap B^e \end{bmatrix}$$

Matrice M21	$\cap / -$	B°	B^i
	∂A	$\partial A \cap B^\circ$	$A^e - B^i$
	A^e	$B^i - A^e$	$A^e \cap B^i$

Le sous-modèle ID du modèle FID pour cette matrice (M21) est donné par :

$$M21 = ID_{2*2}(A_2, B_1) = \begin{bmatrix} \partial A \cap B^\circ & A^e - B^i \\ B^i - A^e & A^e \cap B^i \end{bmatrix}$$

Matrice M22	$\cap / -$	∂B	B^e
	∂A	$\partial A \cap \partial B$	$A^e - B^e$
	A^e	$B^e - A^e$	$A^e \cap B^e$

Le sous-modèle ID du modèle FID pour cette matrice est (M22) donné par :

$$M22 = ID_{2*2}(A_2, B_2) = \begin{bmatrix} \partial A \cap \partial B & A^e - B^e \\ B^e - A^e & A^e \cap B^e \end{bmatrix}$$

Sur la base de ces quatre sous-modèles du modèle ID, le modèle flou FID est réécrit comme suit :

$$FID_{4*4}(A, B) = \left[\begin{array}{c|c} M11 & M12 \\ \hline M21 & M22 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} ID_{2*2}(A_1, B_1) & ID_{2*2}(A_1, B_2) \\ \hline ID_{2*2}(A_2, B_1) & ID_{2*2}(A_2, B_2) \end{array} \right]$$

$$FID_{4*4}(A, B) = \left[\begin{array}{cc|cc} A^\circ \cap B^\circ & A^i - B^i & A^\circ \cap \partial B & A^i - B^e \\ B^i - A^i & A^i \cap B^i & B^e - A^i & A^i \cap B^e \\ \hline \partial A \cap B^\circ & A^e - B^i & \partial A \cap \partial B & A^e - B^e \\ B^i - A^e & A^e \cap B^i & B^e - A^e & A^e \cap B^e \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cc|cc} A^\circ \cap B^\circ & A^i - B^i & A^\circ \cap \partial B & A^i - B^e \\ B^i - A^i & A^i \cap B^i & B^e - A^i & A^i \cap B^e \\ \hline \partial A \cap B^\circ & A^e - B^i & \partial A \cap \partial B & A^e - B^e \\ B^i - A^e & A^e \cap B^i & B^e - A^e & A^e \cap B^e \end{array} \right]$$

Chaque sous-modèle ID de ces quatre sous-modèles donne une relation des huit relations topologiques (entre deux régions simples) du système RCC8 : (1) Disjoint (DC), (2) Meets (EC), (3) Overlaps (PO), (4) CoveredBy (TPP), (5) ContainedBy (Inside) (NTPP), (6) Covers (TPPi), (7) Contains (NTPPi), (8) Equal (EQ) [Alboody et al. 2010a] [Deng et al. 2007a] comme le montre la Table. 5.7.

Expression RCC8	DC	EC	PO	TPP	NTPP	TPPi	NTPPi	EQ
Expression ID	Disjoint	Meets	Overlaps	CoveredBy	Inside	Covers	Contains	Equal
Matrice du Modèle ID	$\begin{bmatrix} \phi & -\phi \\ -\phi & \phi \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \phi & -\phi \\ -\phi & -\phi \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\phi & -\phi \\ -\phi & -\phi \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\phi & \phi \\ -\phi & -\phi \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\phi & \phi \\ -\phi & \phi \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\phi & -\phi \\ \phi & -\phi \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\phi & -\phi \\ \phi & \phi \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\phi & \phi \\ \phi & -\phi \end{bmatrix}$

Table. 5.7: Matrice des relations du modèle ID avec les relations de base du système RCC8

Ainsi, une relation topologique floue ne devient possible que si elle apparaît au moins une fois dans la matrice du modèle FID. Cette possibilité augmente en fonction du nombre de sous-relations similaires du modèle FID. A partir des huit valeurs possibles (vide et non-vide) ou quatre sous-relations topologiques dans la matrice du modèle FID, nous pouvons distinguer huit clusters qualitatifs de base que nous appelons par les noms qualitatifs des relations de base du système RCC8 : (1) Disjoint, (2) Meets, (3) Overlaps, (4) CoveredBy, (5) Inside (ContainedBy), (6) Covers, (7) Contains, et (8) Equal.

Chaque cluster contient les relations topologiques où au moins l'une des quatre sous-relations porte le même nom qualitatif. Par exemple, la Figure 5.25 montre la relation topologique FID^{14} qui peut appartenir aux clusters qualitatifs suivant : Disjoint, Meets, et Overlaps.

Néanmoins, elle appartient au cluster Overlaps plus fortement qu'avec autres clusters (Disjoint et Meets) car deux sous-relations sur 4 sont égales à la relation Overlaps dans la matrice du FID^{14} .

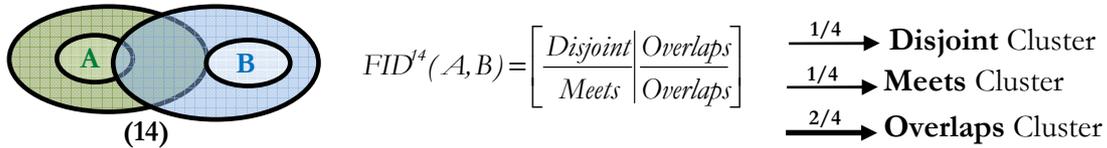


Fig. 5.25: Exemple de clustering de la relation topologique FID^{14}

Pour chacun des huit clusters qualitatifs de base, nous identifions quatre niveaux flous de fonction d'appartenance des 152 relations topologiques floues du modèle FID comme suit : (1) **Completely** (4 sur 4), (2) **Strongly** (3 sur 4), (3) **Fairly** (2 sur 4), et (4) **Weakly** (1 sur 4) (voir la Table. 5.8 et Annexe C) [Tang et al. 2004, Chapitre 7] [Bejaoui et al. 2008].

Une relation topologique appartient au niveau flou « **Completely** » du cluster étiqueté, lorsque quatre sous-relations sur quatre sont similaires. Toutefois, il appartient au niveau appelé « **Strongly** » alors que seulement trois sous-relations sur les quatre ont le même nom que le cluster. Le niveau flou appelé « **Fairly** » contient toutes les relations où deux sous-relations sur les quatre ont le même nom que le cluster. Enfin, le niveau appelé « **Weakly** » contient les relations pour lesquelles une seule sous-relation sur quatre a le même nom que le cluster.

Dans la Table. 5.8, nous présentons les huit clusters qualitatifs des relations floues avec les niveaux flous possibles de chaque cluster et les relations topologiques correspondantes des 152 relations topologiques floues du modèle FID pour chaque niveau flou.

D'après la Table. 5.8, quatre clusters qualitatifs : Meet, Covers, CoveredBy, et Equal n'ont aucune relation topologique du modèle FID avec les deux niveaux flous « **Completely** » et « **Strongly** ».

La Figure 5.26 présente quelques relations qui appartiennent respectivement à différents niveaux flous des clusters : Disjoint, Meets, et Overlaps, en fonction du contenu des sous-relations du modèle FID. Par exemple, la relation topologique floue (1) du modèle FID peut être décrite par le niveau flou « **Completely** » du cluster qualitatif « Disjoint » parce que les quatre sous-relations (Disjoint) sur quatre sont similaires à celles du cluster qualitatif « Disjoint ».

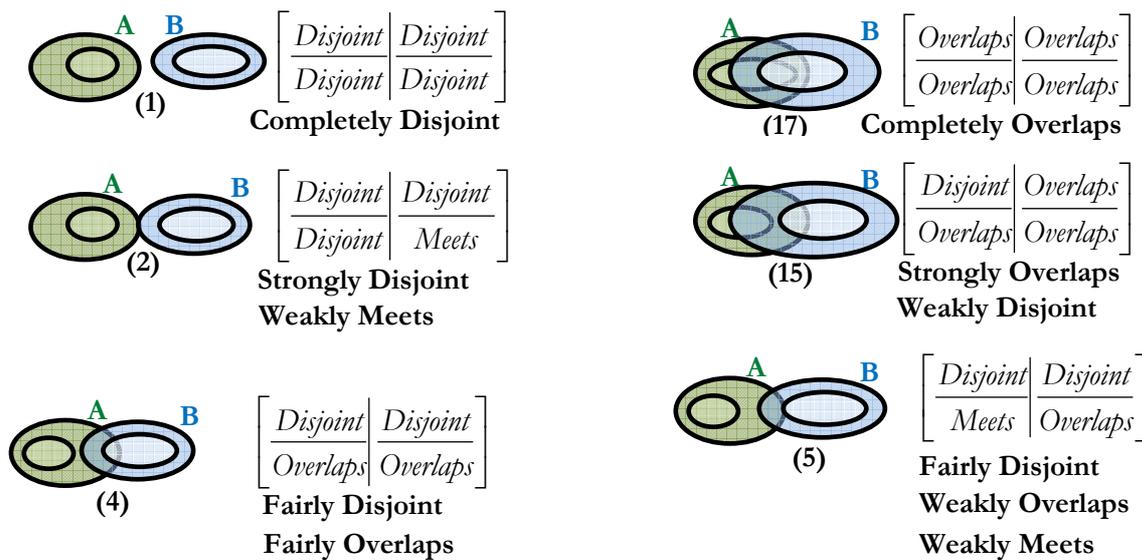


Fig. 5.26: Exemple de qualification et de clustering des relations topologiques en fonction de quatre niveaux flous (voir Annexe C)

Le résultat principal de ce processus de classification des relations topologiques du modèle FID est une classification hiérarchique des relations topologiques présentées dans la Table. 5.8.

Le niveau supérieur est constitué de huit clusters de base, où chacun d'eux contient généralement quatre niveaux flous : (1) **Completely**, (2) **Strongly**, (3) **Fairly**, et (4) **Weakly**. Les trente-deux sous-clusters résultant se chevauchent les uns avec les autres, car une relation topologique appartient généralement aux différents clusters avec différents niveaux flous en même temps.

Par exemple, la relation topologique avec le nombre 9 (Voir Table. 5.8 et Annexe B) appartient aux trois différents clusters avec trois différents niveaux flous comme suit : (1) « **Fairly** » au cluster **Meets**, (2) « **Weakly** » au cluster **Disjoint**, et (3) « **Weakly** » au cluster **Overlaps**. Le niveau bas de la classification contient les 152 relations qui apparaissent en différents sous-clusters.

Sur la base des sous-relations du modèle FID, nous allons essayer dans la section suivante de trouver un arbre de décision comme méthode optimale pour obtenir ces relations qualitatives floues.

Noms des Clusters Qualitatifs	Nombre de Sous-Relations pour Chaque Niveau Flou	Niveau Flou	Numéros des Relations Topologiques du Model FID
Disjoint	4	Completely	1
	3	Strongly	2, 3
	2	Fairly	4, 5, 6, 7, 8, 13, 26, 39, 58, 77, 98, 117
	1	Weakly	9, 10, 11, 12, 14, 15, 18, 21, 27, 28, 31, 33, 40, 41, 46, 52, 59, 60, 65, 66, 78, 86, 87, 99, 100, 105, 110, 118, 119, 124, 129, 148
Meets	4	Completely	-
	3	Strongly	-
	2	Fairly	5, 9
	1	Weakly	2, 4, 8, 10, 11, 12, 14, 16, 19, 20, 27, 29, 32, 34, 40, 42, 47, 51, 59, 61, 67, 71, 78, 79, 80, 88, 92, 99, 101, 106, 111, 118, 120, 125, 130, 149
Overlaps	4	Completely	17
	3	Strongly	15, 16, 25, 30, 43
	2	Fairly	10, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 24, 28, 29, 35, 36, 41, 42, 44, 45, 48, 53, 62, 81, 102, 121
	1	Weakly	3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 22, 23, 26, 27, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 63, 64, 68, 72, 79, 80, 82, 83, 89, 93, 100, 101, 103, 104, 107, 112, 119, 120, 122, 123, 126, 131, 141, 150
Contains	4	Completely	137
	3	Strongly	123, 128, 134, 136
	2	Fairly	25, 37, 55, 96, 104, 109, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 139, 145, 152
	1	Weakly	7, 11, 20, 21, 22, 24, 33, 34, 35, 38, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 65, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 87, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 149, 150
Inside	4	Completely	85
	3	Strongly	83, 84, 91, 95, 96, 97, 151
	2	Fairly	45, 50, 54, 64, 70, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 114, 133, 140, 144
	1	Weakly	39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 75, 76, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 129, 130, 131, 132, 134, 135, 138, 139, 141, 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150
Covers	4	Completely	-
	3	Strongly	-
	2	Fairly	103, 108, 115
	1	Weakly	6, 12, 18, 19, 23, 24, 31, 32, 36, 38, 46, 47, 48, 49, 50, 56, 66, 67, 68, 69, 70, 76, 86, 88, 89, 90, 91, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 122, 127, 135, 136, 143, 146
CoveredBy	4	Completely	-
	3	Strongly	-
	2	Fairly	63, 69, 73
	1	Weakly	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 44, 49, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 82, 84, 90, 94, 105, 106, 107, 108, 109, 113, 124, 125, 126, 127, 128, 132, 142, 147
Equal	4	Completely	-
	3	Strongly	-
	2	Fairly	138
	1	Weakly	139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152

Table. 5.8: Résultats du regroupement qualitatif des 152 relations topologiques floues (identifiées par le modèle FID) dans huit clusters qualitatifs du système RCC8

où dans la Figure 5.27, les huit relations du système RCC8 : DC, EC, PO, TPP, NTPP, TPPi, NTPPi, et EQ sont équivalentes aux huit relations topologiques qualitatives : Disjoint, Meets, Overlaps, CoveredBy, Inside, Covers, Contains, and Equal (voir les chapitres précédents).

Les notations $(D^1[-, -] = A^i - B^e)$, et $(D^2[-, -] = B^e - A^i)$ font référence à deux différences dans la matrice (M12) du modèle ID. Les notations $I[i, e] = A^i \cap B^e$, et $I[o, \partial] = A^o \cap \partial B$ se réfèrent à deux intersections de la matrice (M12) du modèle ID.

Cet arbre de décision parfaitement équilibré peut être réutilisé de façon similaire pour chaque matrice (M11, M12, M21, et M22) du modèle FID.

En se basant sur les quatre sous-relations des matrices (M11, M12, M21, et M22), un arbre de décision pour les relations qualitatives floues du modèle FID est défini dans la Figure 5.28.

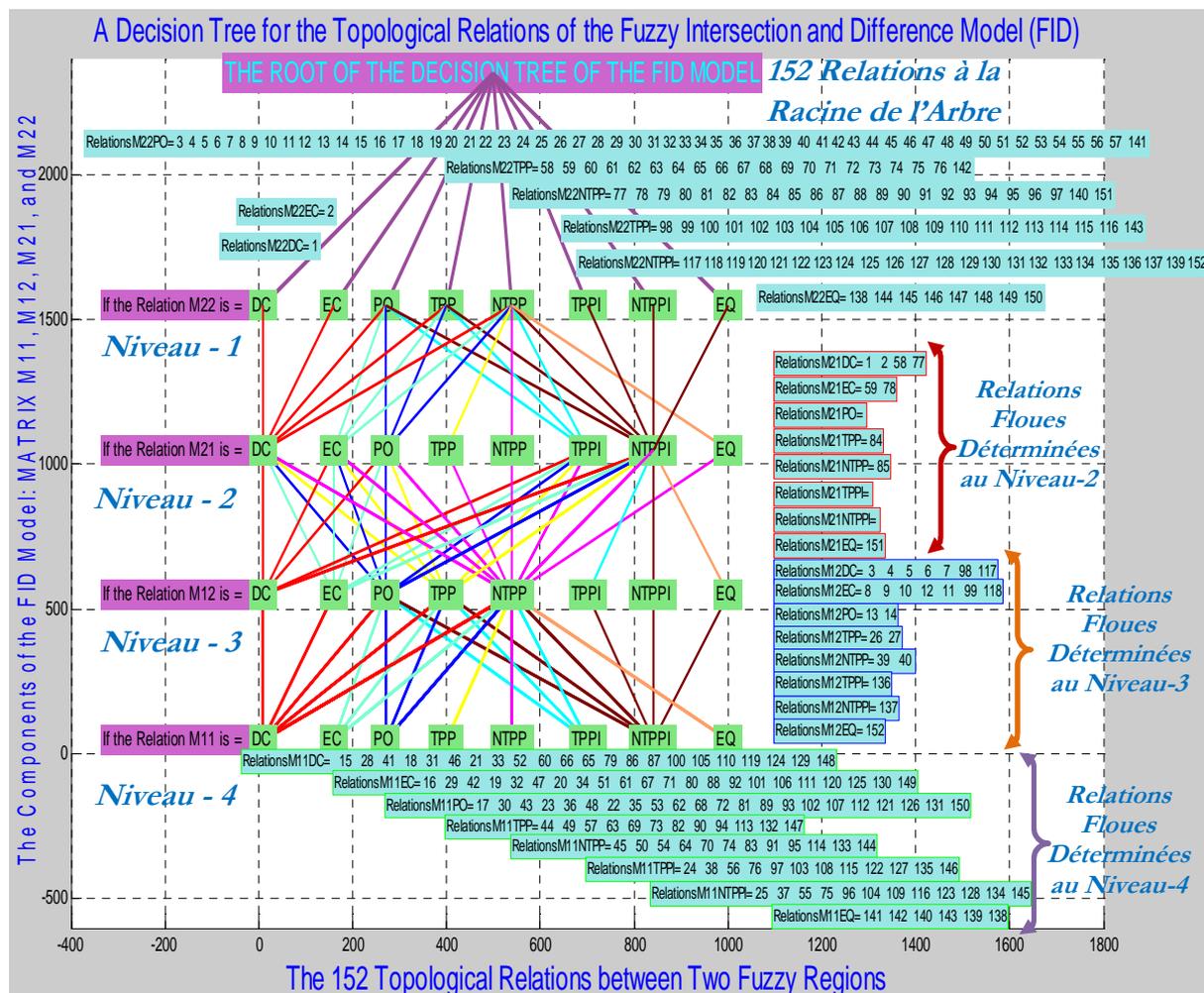


Fig. 5.28: Arbre de décision des 152 relations topologiques floues du modèle FID

Pour construire cet arbre, quatre conditions à vérifier respectivement sont les quatre matrices : M22, M21, M12, et M11 où chaque matrice décrit une relation des huit relations du système RCC8 : DC, EC, PO, TPP, NTPP, TPPi, NTPPi, et EQ.

Cet arbre de décision n'est pas binaire et il se compose de quatre niveaux. La racine regroupe les 152 relations floues du modèle FID (voir Figure 5.28).

Au niveau-1, la matrice M22 est d'abord testée en fonction de la relation qu'elle décrit. Par exemple, la relation 1 est la seule relation floue dont la matrice M22 décrit la relation DC (notée : RelationsM22DC = 1 dans la Figure 5.28). A ce niveau, il n'y a pas de relation déterminée comme relation aux feuilles de l'arbre.

Puis, au niveau-2, la matrice M21 est testée en fonction de la relation décrite par la matrice M22. A ce niveau-2, neuf relations peuvent être identifiées comme relations dans les feuilles de l'arbre. Ces relations du modèle FID sont : 1, 2, 58, et 77 (si M21=DC) ; 59, et 78 (si M21=EC) ; 84 (si M21=TPP) ; 85 (si M21=NTPP) ; 151 (si M21=EQ) (voir Figure 5.28). Autrement dit, nous pouvons identifier ces neuf relations en regardant seulement les relations des matrices M22 et M21. Par exemple, la relation 1 est la seule relation floue dont les matrices M22 et M21 décrivent la relation DC (voir Annexe C, et Figure 5.28).

Ensuite, au niveau-3, nous testons la matrice M12 en fonction des relations décrites par les matrices M22 et M21, respectivement. A ce niveau-3, nous trouvons vingt-trois relations qui peuvent être identifiées comme relations dans les feuilles de l'arbre. Ces relations déterminées au niveau-3 sont : 3, 4, 5, 6, 7, 98, 117 (si M12=DC) ; 8, 9, 10, 11, 12, 99, et 118 (si M12=EC) ; 13, et 14 (si M12=PO) ; 26, et 27 (si M12=TPP) ; 39, 40, (si M12=NTPPi) ; 136 (si M12=TPPi) ; 137 (si M12=NTPPi) ; 152 (si M12=EQ) (voir Figure 5.28). Par exemple, si la relation de M22 est égale à PO, et si la relation de M21 est égale à DC, et si la relation de M12 est égale à DC, alors, la relation floue déterminée par cet arbre est la relation 3 (voir Annexe C, et Figure 5.28).

Enfin, au niveau-4, la quatrième condition est de tester la matrice M11 en fonction des relations décrites par les matrices M22, et M21, et M12, respectivement. 120 relations du modèle FID peuvent être identifiées comme relations dans les feuilles de l'arbre de décision au niveau-4 (voir Figure 5.28). Ces relations déterminées au niveau-4 sont les relations restantes (152-9-23=120) des 152 relations du modèle FID :

- 15, 18, 21, 28, 31, 33, 41, 46, 52, 60, 65, 66, 79, 86, 87, 100, 105, 110, 119, 124, 129, et 148 (si M11=DC) ;
- 16, 19, 20, 29, 32, 34, 42, 47, 51, 61, 67, 71, 80, 88, 92, 101, 106, 111, 120, 125, 130, et 149 (si M11=EC) ;
- 17, 22, 23, 30, 35, 36, 43, 48, 53, 62, 68, 72, 81, 89, 93, 102, 107, 112, 121, 126, 131, et 150 (si M11=PO) ;
- 44, 49, 57, 63, 69, 73, 82, 90, 94, 113, 132, et 147 (si M11=TPP) ;
- 45, 50, 54, 64, 70, 74, 83, 91, 95, 114, 133, et 144 (si M11=NTPP) ;
- 24, 38, 56, 76, 97, 103, 108, 115, 122, 127, 135, et 146 (si M11=TPPi) ;
- 25, 37, 55, 75, 96, 104, 109, 116, 123, 128, 134, et 145 (si M11=NTPPi) ;
- 138, 139, 140, 141, 142, et 143 (si M11=EQ) (voir Figure 5.28).

Par exemple, si la relation de M22 est égale à PO, et si la relation de M21 est égale à PO, et si la relation de M12 est égale à PO, et si la relation de M11 est égale à EC, alors, la relation floue déterminée par cet arbre est la relation 16 (voir Annexe C, et Figure 5.28).

Le nombre de relations dans les feuilles de chaque niveau (9 au niveau-2, 23 au niveau-3, et 120 au niveau-4 : $9+23+120=152$) est égal au nombre total (152) des relations topologiques du modèle FID.

A chaque niveau de l'arbre de décision du modèle FID représenté dans la Figure 5.28, les relations topologiques floues qui peuvent être identifiées en testant chaque matrice de ces quatre matrices (M22, M21, M12, et M11) sont notifiées à coté de la matrice testée et la relation correspondante du système RCC8. En utilisant cet arbre de décision des 152 relations du modèle FID, nous pouvons facilement identifier la relation topologique possible entre régions spatiales floues.

Par exemple, pour une relation identifiée ((1) ou FID¹ du modèle FID), il suffit de regarder les relations de deux matrices M22 et M21 (d'après l'arbre de décision) : si M22=DC et M21=DC, alors la relation topologique floue est la relation (1) ou FID¹.

$$(1) \text{ ou } FID^1 = \left[\frac{M11}{M21} \middle| \frac{M12}{M22} \right] = \left[\frac{Disjo\ int}{Disjo\ int} \middle| \frac{Disjo\ int}{Disjo\ int} \right] = \left[\frac{DC}{DC} \middle| \frac{DC}{DC} \right]$$

Autre exemple : pour une relation déterminée ((15) ou FID¹⁵ du modèle FID), il faut parfois regarder les quatre relations des matrices M22, M21, M12, et M11 (d'après l'arbre de décision) : si M22=DC, M21=PO, M12=PO, et M11=PO, alors la relation topologique floue est la relation (15) ou FID¹⁵.

$$(15) \text{ ou } FID^{15} = \left[\frac{M11}{M21} \middle| \frac{M12}{M22} \right] = \left[\frac{Disjo\ int}{Overlaps} \middle| \frac{Overlaps}{Overlaps} \right] = \left[\frac{DC}{PO} \middle| \frac{PO}{PO} \right]$$

En conclusion, notre modèle FID et ses relations qualitatives floues avec tous les niveaux flous de chaque cluster qualitatif du système RCC8 peut être facilement intégré dans un système de bases de données spatiales.

En effet, le langage SQL peut être étendu avec ses relations floues afin de récupérer et chercher les régions spatiales floues en se fondant sur les informations qualitatives fournies par l'utilisateur au sujet de leur relation topologique.

En fait, une relation topologique entre régions spatiales floues peut être identifiée par la combinaison de quatre opérateurs spatiaux correspondants aux quatre sous-relations qualitatives du modèle FID.

Nous prenons comme exemple une requête spatiale pour expliquer l'intégration de notre modèle FID dans un système de bases de données spatiales où l'utilisateur donne une description grossière de la relation topologique lorsqu'il introduit la spécification « **Fairly Meets** ». Les résultats de la requête doivent contenir les zones urbaines liées à la zone A par la relation qualitative floue appartenant au cluster qualitatif sous le nom : **Fairly Meets**.

Exemple : **Select** *Urban_Area.geometry* **From** *Urban_Area* **Where**
 Fuzzy_Relation (*Urban_Area.geometry*, *A.geometry*, **Fairly Meets**);

Dans nos perspectives, le développement et la structuration des requêtes spatiales spécifiques pour l'interrogation des relations qualitatives floues du modèle FID représente un grand intérêt et dans de nombreuses applications dans des SIG et des bases des images (satellites, médicales, naturelles, etc.).

Le modèle FID et ses relations qualitatives regroupées dans huit clusters qualitatifs du système RCC8 représentent une contribution majeure de l'extension du modèle ID pour la description des relations topologiques entre régions floues.

Dans la section suivante, nous allons présenter et étudier les applications du modèle FID avec ses relations qualitatives floues identifiées par les huit relations du système RCC8.

5.13. Applications et Discussions

Les deux modèles (I_{4*4} , et FID) permettent de déterminer et d'identifier les relations topologiques floues entre régions spatiales floues pour des applications dans des SIG, des images médicales, des images satellites et des bases de données spatiales [Bassiri et al. 2008].

Nous allons chercher et valider l'existence des relations qualitatives floues du système RCC8 dans des images satellites dans cette section.

Pour cette application, nous présentons dans la Figure 5.29 deux images satellites (issue de capteur LANDSAT TM datées de 2002 et de 1987) pour la ville de « Al-Talle » (proche de Damas) en Syrie (voir sa localisation PP. 254) pour chercher certaines relations qualitatives floues du modèle FID.

Nous appliquons la méthode de génération des régions floues pour identifier les régions floues spatiales des classes dans l'image.

Les résultats sont présentés dans la Figure 5.29 comme suit : les régions floues des classes extraites de ces images (Zones urbaines (Figure 5.29-c), Végétation de trois types : Type 1 pour végétation des herbes avec densité moyenne (Figure 5.29-f) ; Type 2 pour végétation des herbes avec densité élevée (Figure 5.29-e) ; Type 3 pour végétation des arbres (Figure 5.29-d)), Sols déserts de deux types : Type 1 pour les sols déserts denses (sans végétation) (Figure 5.30-a) ; Type 2 pour les sols déserts avec petite végétation (Figure 5.30-b)).

Par la suite, nous présentons des exemples d'extraction et d'identification des relations qualitatives floues en nous basant sur ces résultats.

Par exemple, entre régions floues de deux classes (A) Zones urbaines (Figure 5.29-c) et (B) Végétation de Type 3 (Figure 5.29-d), les relations topologiques sont données par les matrices du modèle FID comme suit :

$$FID(A, B) = \begin{bmatrix} \phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix} = FID^3 \quad FID(A, B) = \begin{bmatrix} \phi & \phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \\ \phi & \neg\phi & \neg\phi & \neg\phi \end{bmatrix} = FID^8$$

Nous réécrivons ces relations par les huit relations qualitatives du système RCC8 et dans les huit clusters qualitatifs comme suit :

$$(3) \text{ ou } FID^3 = \left[\begin{array}{c|c} M11 & M12 \\ \hline M21 & M22 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} Disjo\ int & Disjo\ int \\ \hline Disjo\ int & Overlaps \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} DC & DC \\ \hline DC & PO \end{array} \right]$$

avec les descriptions qualitatives de deux clusters du système RCC8 avec deux niveaux flous (ou avec un certain degré) : « **Strongly Disjoint** » et « **Weakly Overlaps** »

$$(8) \text{ ou } FID^8 = \left[\frac{M11}{M21} \middle| \frac{M12}{M22} \right] = \left[\frac{Disjoint}{Disjoint} \middle| \frac{Meets}{Overlaps} \right] = \left[\frac{DC}{DC} \middle| \frac{EC}{PO} \right]$$

avec les descriptions qualitatives de trois clusters du système RCC8 : « **Fairly Disjoint** », « **Weakly Meets** », et « **Weakly Overlaps** » (voir Annexe C).

Ces relations qualitatives du modèle FID peuvent être aussi utilisées afin d'évaluer le processus de détection des changements des régions géographiques (zones côtières, forêts, zones urbaines, etc.) représentées dans des images satellites (LANDSAT TM, et SPOT) comme dans les travaux [Tang et al. 2005] [Tang et al. 2004] [Cheng et al. 2004] [Cheng 2002].

Le modèle FID et ses relations qualitatives regroupées dans huit clusters qualitatifs du système RCC8 a un intérêt pour détecter et identifier des changements topologiques. Dans cet objectif, nous avons étudié la possibilité d'intégrer et d'utiliser les relations qualitatives floues dans la méthode de détection des changements proposée dans le chapitre 3. En déterminant les relations topologiques floues entre les régions spatiales floues extraites, la méthode de détection de changements basée sur l'analyse topologique du système RCC8 ne peut pas être simplement utilisée pour détecter les changements survenus.

Cet objectif est donc à l'ordre du jour de nos perspectives : nous devrions revoir et réétudier les règles topologiques définies pour les régions simples pour modifier et adapter ces règles afin qu'elles soient utilisables pour les régions floues. La méthode proposée dans le chapitre 3 utilise huit relations pour définir les règles car les régions sont simples. En revanche, pour les régions floues, les règles topologiques deviennent complexes ce qui nécessitera travaux ultérieurs en vue de leur définition. Nous pensons que le nombre de règles topologiques doit être supérieur au nombre (152) de relations floues comme pour la méthode proposée où le nombre de règles est supérieur à huit (huit relations du système RCC8) et il est précisément égal à $(2*8=16)$ règles pour les deux sens de détection de changements (de V (carte) vers I (image), et de I (image) vers V (carte)). Donc, nous estimons qu'il y aura environ $(2*152=304)$ règles topologiques floues pour la détection de changements des régions floues. En se basant sur les règles floues, des types flous de changements seront définies pour détecter : nouveaux objets, objets disparus, etc.

Dans la section suivante, nous concluons ce chapitre en rappelant les contributions et les apports du modèle FID pour la modélisation des relations topologiques floues du système RCC8.

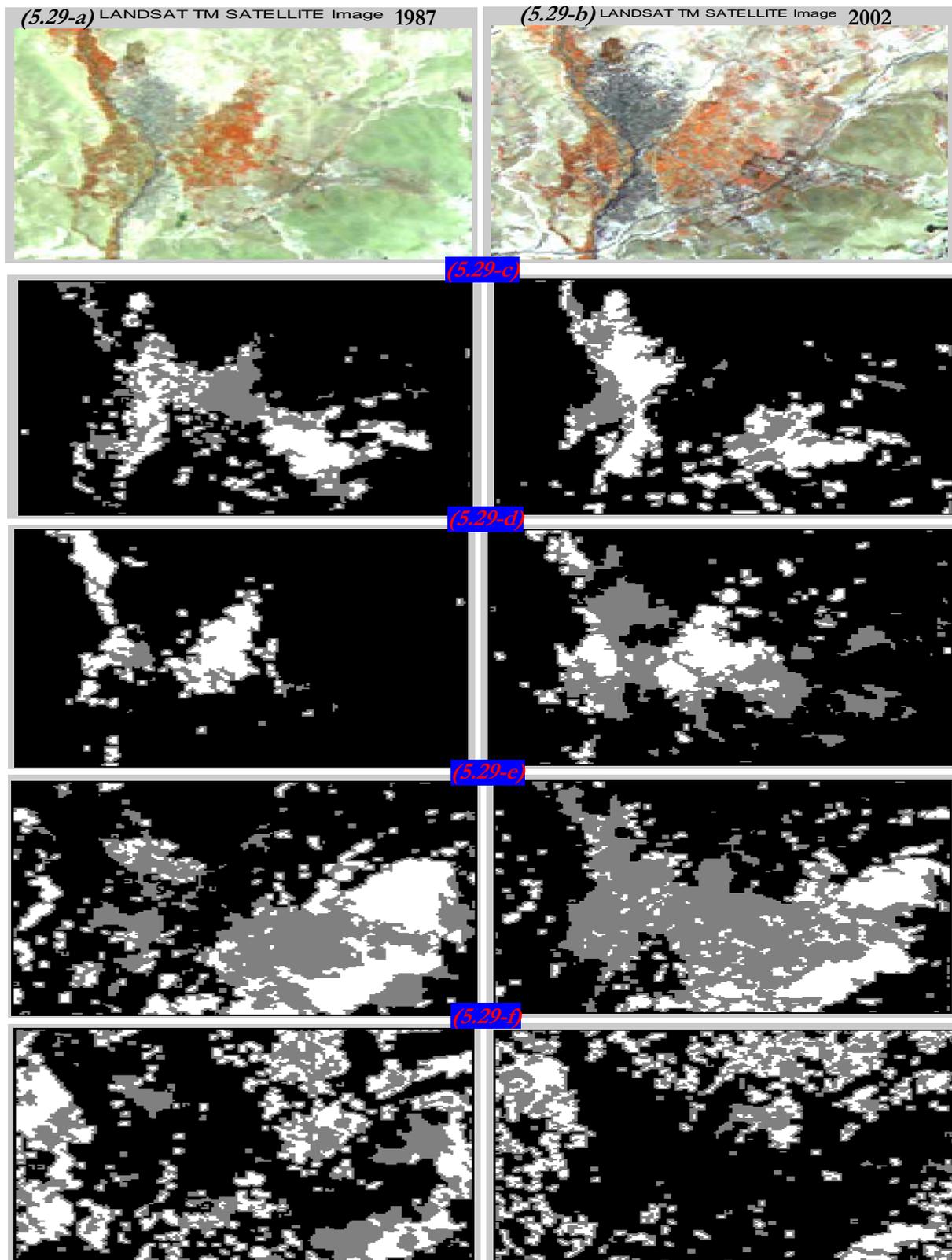


Fig. 5.29: Résultats de la méthode de génération des régions floues : (a) Image satellite (LANDSAT TM 1987), (b) Image satellite (LANDSAT TM 2002) ; (c, d, e, f) Régions spatiales floues des classes : (c) Zones Urbaines, (d) Végétation de type 3, (e) Végétation de type 2, (f) Végétation de type 1

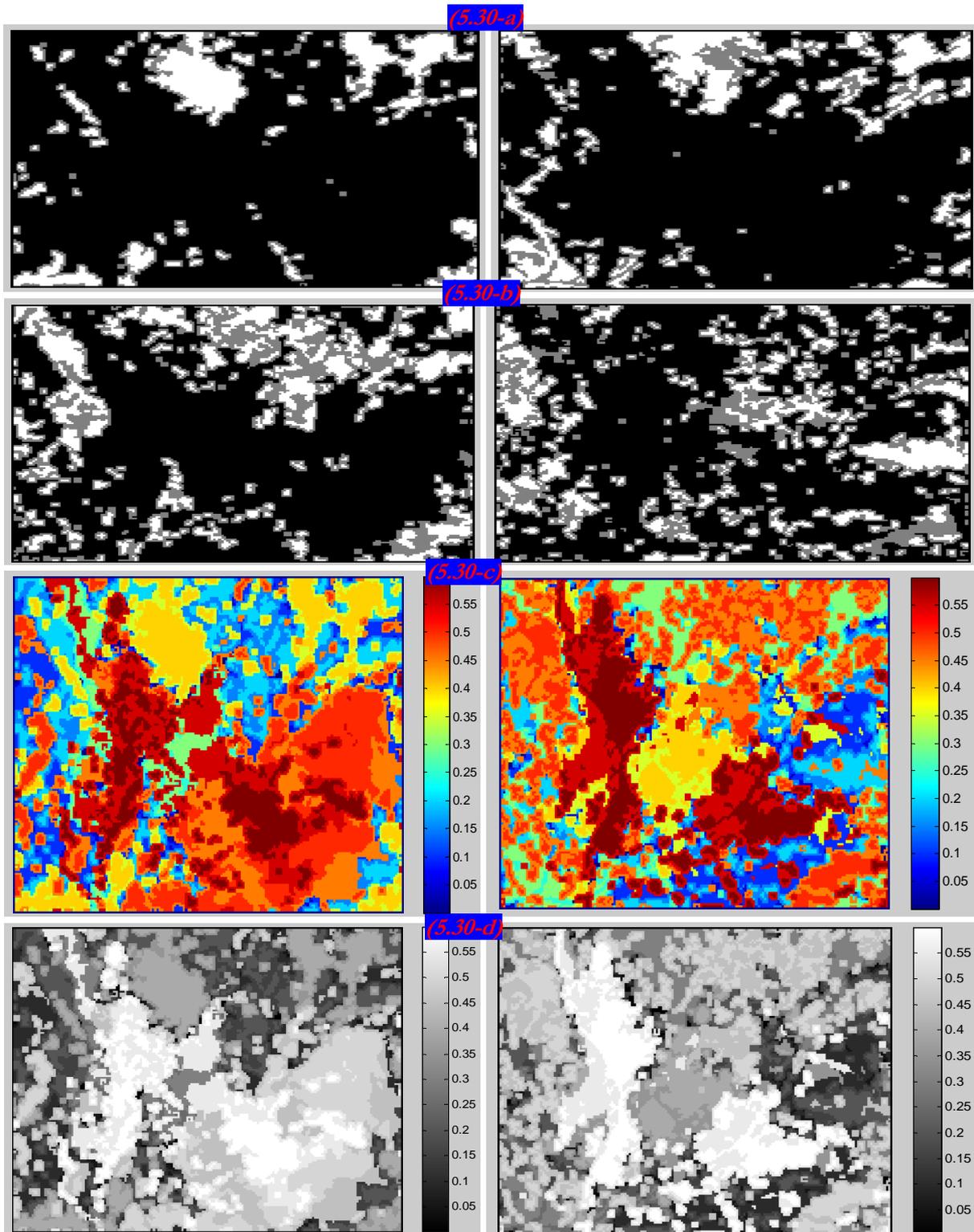


Fig. 5.30: Résultats de la méthode de génération des régions floues : (a, b) Régions spatiales floues des classes : (a) Sols déserts de type 1; (b) Sols déserts de type 2, (c) Valeur maximale des résultats de la classification floue pour chaque classe pour 1987 et 2002 (en couleur), (d) Valeur maximale des résultats de la classification floue pour chaque classe pour 1987 et 2002 (en niveau de gris)

5.14. Conclusion & Perspectives

Dans ce chapitre, les relations topologiques floues entre régions spatiales floues et leurs descriptions par rapport au système RCC8 ont été abordées.

Nous avons proposé une nouvelle définition d'une région spatiale floue en décomposant chaque région floue en quatre composantes topologiques : intérieur, frontière, frontière intérieure, frontière extérieure. Sur la base de ces quatre composantes, une matrice de 4*4-intersections (modèle I_{4*4}) et un nouveau modèle d'Intersection et de Différence (FID) sont développés pour identifier toutes les relations topologiques possibles entre deux régions spatiales floues.

Les deux contributions principales de ce chapitre sont les deux modèles I_{4*4} et FID avec leurs 152 relations topologiques floues identifiées sur la base du contenu vide/non-vide. Parmi ces 152, 100 nouvelles relations ne peuvent être identifiées comme relations différentes par d'autres modèles (modèle I_{4*4} développé par Tang).

La complexité topologique pour chaque relation et la distance topologique des 152 relations topologiques floues sont calculées pour construire le graphe conceptuel de voisinage des 152 relations qualitatives du modèle FID.

Ensuite, les 152 relations topologiques entre régions spatiales floues sont regroupées en huit clusters qualitatifs (selon les noms qualitatifs des relations de base du système RCC8) comme suit : Disjoint, Meets, Overlaps, CoveredBy, Inside, Covers, Contains, et Equal.

Le regroupement est basé sur la définition de quatre niveaux flous des huit clusters du système RCC8 : (1) **Completely**, (2) **Strongly**, (3) **Fairly**, et (4) **Weakly**.

Enfin, l'amélioration dans cette étude porte sur plusieurs aspects : le modèle FID contient 8-intersections et 8-différences alors que le modèle I_{4*4} de Tang contient 16 intersections ce qui permet de réduire le temps de calcul des relations ; les relations topologiques sont exprimées par des noms qualitatifs flous du système RCC8 ce qui n'a pas été étudié pour le modèle I_{4*4} ; l'étude des propriétés topologiques des relations floues identifiées (complexité et distance topologique, graphe conceptuel de voisinage, arbre de décision) n'est pas développée dans la littérature.

L'utilité du modèle FID pour la modélisation des relations qualitatives floues est justifiée dans de nombreuses applications comme les SIG, des bases des images satellites et médicales.

La suite de ces travaux s'intéressera à la détection des changements topologiques entre deux images satellites à haute résolution en nous basant sur une méthode d'analyse topologique des changements par les 152 relations qualitatives floues du modèle FID.

Dans nos perspectives, l'interrogation des relations qualitatives floues du modèle FID par la structuration des requêtes spatiales représente un thème important à aborder pour plusieurs applications dans des SIG et des bases des images (satellites, médicales, etc.).

Dans le prochain chapitre, nous concluons ce travail de thèse en rappelant nos contributions majeures et l'originalité de notre travail. Le bilan général aborde également la critique de nos contributions dans le domaine de l'analyse d'image satellite par enrichissement du système RCC8, en précisant ses limites et les perspectives de recherche envisageables pour la suite de ces travaux.

Chapitre 6

Conclusion Générale & Perspectives

Sommaire

6.1. Contributions	191
6.2. Bilan	192
6.3. Perspectives	193

Dans cette thèse, l'enrichissement du système de raisonnement spatial RCC8 a été abordé dans le but de l'exploiter pour l'analyse des images satellites et la détection de changements afin de mettre à jour des SIG.

Nous avons présenté dans cette étude les généralités englobant le sujet abordé sur la mise à jour des SIG, la détection de changements, et le raisonnement spatial.

Dans un premier temps, l'enrichissement du système RCC8 a donné naissance à deux nouveaux systèmes RCC-16 au niveau-1 et niveau-2 pour l'identification des relations qualitatives entre régions simples. Ces deux systèmes ont été utilisés pour la détection des changements entre deux images satellites (image/image), et deux cartes vectorielles (carte/carte).

Dans un deuxième temps, l'enrichissement du système RCC8 a été également étudié pour l'identification des 152 relations qualitatives floues (entre deux régions floues extraites à partir des images satellites) regroupées dans huit clusters qualitatifs des relations de base du système RCC8.

Nous allons rappeler nos contributions, les critiques et nos perspectives par la suite.

6.1. Contributions

Le point de départ de l'enrichissement du système RCC8 a été l'étude et la comparaison des modèles et des relations topologiques (entre régions simples) proposées et étudiées dans la littérature afin de choisir un modèle topologique comme modèle de départ. Le modèle choisi a été le modèle ID.

L'extension du modèle ID en employant des invariants topologiques (nombre de séparations et types des éléments spatiaux) nous a permis de proposer deux nouveaux systèmes de raisonnement spatial.

Nos deux premières contributions sont résumées par les systèmes RCC-16 au niveau-1 et niveau-2 comme suit :

- 1)- Le système RCC-16 au niveau-1 contient les 16 relations topologiques : DC, EC_{mL} , EC_{nP} , $EC_{mL,nP}$, PO_{mL} , PO_{nP} , $PO_{mL,nP}$, TPP_{mLT} , TPP_{nPPT} , $TPP_{mLT,nPT}$, NTPP, $TPPi_{mLT}$, $TPPi_{nPPT}$, $TPPi_{mLT,nPT}$, NTPPi, EQ. Ce système a été développé en utilisant l'invariant topologique du nombre de séparations des éléments spatiaux (lignes : mL/mLT, et points : nP/nPT) de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière entre deux régions spatiales simples.

- 2)- Le système RCC-16 au niveau-2 contient les 16 relations topologiques : DC, $EC_{m(TOL)}$, $EC_{n(TOP)}$, $EC_{m(TOL),n(TOP)}$, $PO_{m(TOL)}$, $PO_{n(TOP)}$, $PO_{m(TOL),n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL)}$, $TPP_{n(TOP)}$, $TPP_{m(TOL),n(TOP)}$, NTPP, $TPPi_{m(TOL)}$, $TPPi_{n(TOP)}$, $TPPi_{m(TOL),n(TOP)}$, NTPPi, EQ. Ce système a été développé en utilisant l'invariant topologique du type des éléments spatiaux (lignes : $m(TOL)$, et points : $n(TOP)$) de l'ensemble spatial de l'intersection frontière-frontière entre deux régions spatiales simples.

L'intérêt des relations du système RCC-16 réside dans le fait qu'elles permettent de détecter automatiquement les différents niveaux de détails topologiques et les changements topologiques.

Développer deux niveaux de détail (niveau-1 et niveau-2) pour ces relations topologiques a été réalisé dans l'objectif de mieux décrire l'équivalence et la similarité topologiques entre deux configurations spatiales, d'identifier des changements topologiques dans la structure d'une région spatiale, et de préciser la relation topologique entre régions spatiales dans des images satellites et des données des SIG.

Nous avons proposé une méthode de détection de changements basée sur l'analyse topologique par le système RCC-16. Cette analyse par le système RCC-16 est faite en exploitant les relations topologiques du système RCC-16 entre régions géographiques représentées dans des images satellites et cartes vectorielles. L'intérêt de cette méthode réside dans le fait qu'elle permet de détecter automatiquement les différents changements en détails (apparition, disparition, déplacement, fusion et division d'objet, etc.). L'application de cette méthode de détection de changement a été étudiée dans deux cas : (1) entre deux images satellites acquises à dates différentes, (2) entre deux cartes numériques à dates différentes.

La représentation spatiale des régions pour les systèmes RCC8 et RCC-16 s'avère relativement simple. En revanche, de nombreuses régions géographiques ont des caractéristiques floues ce qui nous a permis de les représenter dans une représentation spatiale floue. Nous avons modélisé les régions spatiales floues en proposant des nouvelles définitions des régions floues et leurs relations topologiques floues en développant deux modèles topologiques flous.

Nos contributions dans le domaine de la modélisation des relations topologiques floues sont résumées par les deux nouveaux modèles topologiques flous avec leurs 152 relations qualitatives floues comme suit :

- 1)- Modèle Flou (I_{4*4}) de 4*4-Intersections
- 2)- Modèle Flou d'Intersection et Différence (FID)

Les 152 relations topologiques du modèle FID ont été exprimées par des expressions qualitatives floues en les regroupant dans huit clusters qualitatifs des relations de base du système RCC8 avec quatre niveaux flous : (1) **Completely** (Complètement), (2) **Strongly** (Fortement), (3) **Fairly** (Assez), et (4) **Weakly** (Faiblement).

Les huit clusters qualitatifs sont : (1) Disjoint, (2) Meets, (3) Overlaps, (4) CoveredBy, (5) Inside (ContainedBy), (6) Covers, (7) Contains, et (8) Equal.

Une méthode de génération des régions floues à partir des images satellites issues de capteurs LANDSAT et SPOT a été proposé pour extraire les relations qualitatives entre elles.

6.2. Bilan

Le point fort de la contribution menant au système RCC-16 est la fiabilité des descriptions discriminantes entre deux configurations spatiales différentes.

L'inconvénient des relations du système RCC-16 est que les trois relations topologiques (DC, NTPP, et NTPPi) ne sont pas enrichies.

Pour cela, nous avons proposé d'ajouter de nouvelles informations, l'ordre d'occurrence et les termes non-vides dans la description des relations topologiques qui ont une importance spécifique pour identifier des changements des relations et des configurations spatiales. Il reste à bien étudier les termes non-vides des relations : DC, NTPP, et NTPPi.

Un avantage de la méthode de détection de changements est qu'elle permet de détailler les changements topologiques, de détecter les nouveaux objets et les objets disparus, identifier les types des changements, et suivre l'état de changements de chaque objet.

L'avantage de l'enrichissement du système RCC8 pour la modélisation des relations topologiques floues est qu'il donne 152 relations qualitatives floues extraites à partir des images satellites et exprimées par les relations de base du système RCC8 grâce au modèle FID.

Le modèle FID et ses relations qualitatives regroupées dans huit clusters qualitatifs du système RCC8 représentent une contribution majeure de l'extension du modèle ID pour la description des relations topologiques entre régions floues.

L'inconvénient de ce modèle FID est que les régions floues traitées dans notre étude sont peu complexes, ne permettant pas de traiter les régions floues extraites à partir des images satellites à haute résolution à cause de leur complexité élevée.

6.3. Perspectives

Dans nos perspectives, nous envisageons d'élargir les idées présentées à la fin de chaque chapitre de cette thèse dans nos futurs travaux pour atteindre les perspectives scientifiques, industrielles et applicatives présentées comme suit.

Perspectives scientifiques :

- Établir la nouvelle table de composition du système RCC8 en nous basant sur les 16 relations du système RCC-16 au niveau-1 sera fondamental pour connaître les effets des relations du système RCC-16 sur l'ancienne table de composition [Egenhofer 1994]. Nous envisageons de construire cette table de composition du système RCC-16 au niveau-1 qui permettra de raisonner en détail sur les relations topologiques. A partir des 16 relations topologiques, nous allons donc avoir 16×16 (256) compositions du système RCC-16 au lieu de 8×8 (64) compositions du système RCC8. Nous pensons que certaines compositions de la nouvelle table sont intéressantes à étudier en détail car elles nous conduisent peut-être à éliminer certaines relations résultantes de ces compositions dans la table traditionnelle [Egenhofer 1994].
- Il est nécessaire et indispensable d'étudier les propriétés des relations du système RCC-16 au niveau-1 et niveau-2 : complexité et distance topologiques, construction de graphes conceptuels de voisinage, construction d'arbres de décision et sémantiques de ces relations pour les requêtes spatiales.
- Étudier les termes non-vides pour les trois relations : (1) DC : A-B, et B-A ; (2) NTPP : $A \overset{\circ}{\cap} B$, et B-A ; (3) NTPPi : $A \overset{\circ}{\cap} B$, et A-B (voir Table 2.5, Chapitre 2) permettra d'enrichir ces relations afin de les intégrer dans le système RCC-16. Nous pensons que l'étude approfondie de ces termes permettra d'ajouter de nouvelles informations et de donner de nouvelles descriptions détaillées de ces relations.

- Intégrer l'analyse topologique par le système RCC-16 pour la mesure de similarité de scènes spatiales et la détection d'objets dans d'images satellites à haute-résolution,
- Développer, formuler et identifier des règles topologiques floues afin de détecter et d'extraire des changements topologiques entre régions floues a pour objectif de les rendre utilisables dans la méthode de détection de changements. En se basant sur les règles floues identifiées, des types flous de changements seront définies pour détecter : nouveaux objets, objets disparus, etc.
- Étudier l'extension du langage SQL avec les relations qualitatives floues afin de récupérer et chercher les régions spatiales floues en se fondant sur les informations qualitatives fournies par l'utilisateur au sujet de leur relation topologique.
- Développer et structurer des requêtes spatiales spécifiques pour l'interrogation des relations qualitatives floues du modèle FID et des relations du système RCC1-6.
- Explorer la théorie de graphes pour les mesures de similarité étudiées dans la méthode proposée de détection de changements afin de réduire la complexité des calculs,

Perspectives industrielles et applicatives :

Les applications envisagées de la méthode proposée de détection de changements sont :

- Détecter de changements de zones urbaines et périurbaines de la ville de Damas en Syrie en utilisant des images de télédétection à très haute résolution. Les changements détectés vont servir à savoir et à identifier les nouveaux bâtiments construits illégalement à partir d'une date et à mettre à jour la carte cartographique de Damas.
- Mettre en évidence du phénomène de déforestation (dégradation des forêts) et de désertification (phénomène naturel lié à la couverture végétale) en Syrie à partir d'images satellites diverses (Images LANDSAT, SPOT, QuickBird, IKONOS, etc.).
- Évaluer les conséquences, et les dégâts provoqués après une catastrophe naturelle (séisme, inondations, tempêtes, etc.). Par exemple, l'évaluation des dommages après le séisme à Haïti (causées par le tremblement de Terre à Haïti) peut être étudiée par notre méthode de détection de changements à travers notamment des images satellitaires à très haute résolution.
- La détection, le suivi et l'évolution de changements d'occupation et d'utilisation des sols (par exemple, pour mettre à jour les données de la base CLC),
- La surveillance satellitaire des pollutions marines d'origine pétrolière,
- L'analyse spatiale dans des SIG par le système RCC-16,
- Utiliser l'analyse topologique par les relations du système RCC-16 pour la recherche d'images par similarité et les systèmes de recherche d'images par le contenu (Content-Based Image Retrieval (CBIR)) dans des bases d'images (naturelles, médicales, satellites, ou autres), mesurer la similarité spatiale de deux scènes d'images [Bruns et al. 1996] [Petraakis et al. 1997] [El-Kwae et al. 1999] [Nedas et al. 2008].

La suite de ces travaux s'intéressera à établir la nouvelle table de composition du système RCC8, à la détection des changements topologiques entre deux images satellites à haute résolution et le développement des requêtes spatiales qui prennent en compte les 152 relations qualitatives floues.

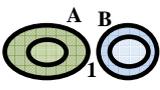
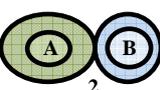
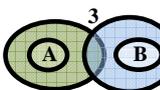
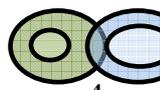
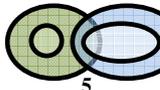
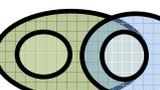
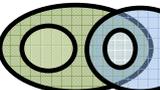
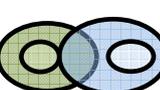
Annexes

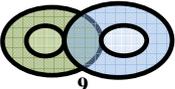
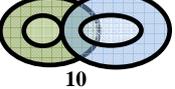
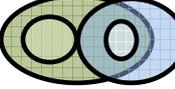
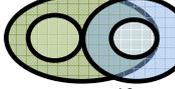
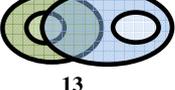
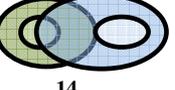
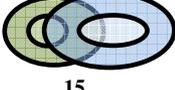
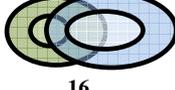
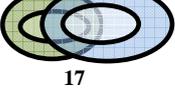
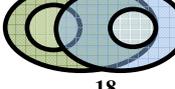
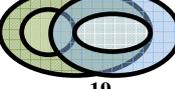
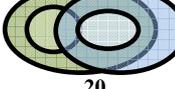
- Annexe. A. Contribution I :** Cent cinquante deux (152) Relations Topologiques Floues entre Deux Régions Spatiales Floues Identifiées par le Modèle Topologique Flou I_{4*4} de 4*4-Intersections 207
- Annexe. B. Contribution II :** Cent cinquante deux (152) Relations Topologiques entre Deux Régions Spatiales Floues Identifiées par le Modèle Topologique Flou d'Intersection et de Différence (FID) 212
- Annexe. C. Pour la Contribution II :** Regroupement des cent cinquante deux (152) Relations Topologiques Qualitatives entre Deux Régions Spatiales Floues Identifiées par le Modèle Topologique Flou d'Intersection et de Différence FID dans Huit Clusters des Relations Qualitatives de Base du Système RCC8 217

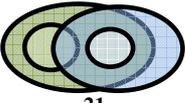
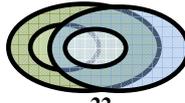
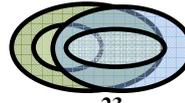
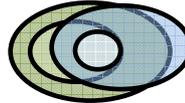
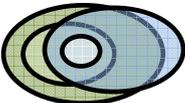
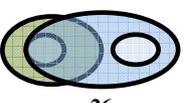
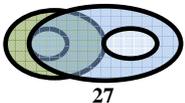
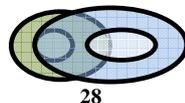
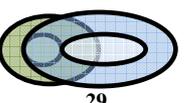
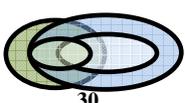
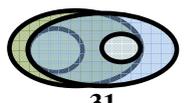
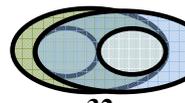
Annexe. C. Pour la Contribution II : Regroupement des 152 Relations Topologiques Qualitatives entre Deux Régions Spatiales Floues Identifiées par le Modèle Topologique Flou d’Intersection et de Différence FID dans Huit Clusters des Relations Qualitatives de Base du Système RCC8

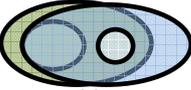
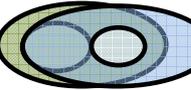
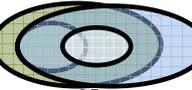
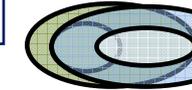
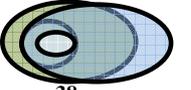
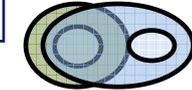
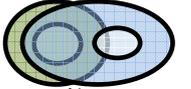
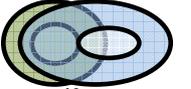
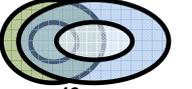
$$FID_{4*4}(A, B) = \left[\begin{array}{c|c} M11 & M12 \\ \hline M21 & M22 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} ID_{2*2}(A_1, B_1) & ID_{2*2}(A_1, B_2) \\ \hline ID_{2*2}(A_2, B_1) & ID_{2*2}(A_2, B_2) \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cc|cc} A^\circ \cap B^\circ & A^i - B^i & A^\circ \cap \partial B & A^i - B^e \\ B^i - A^i & A^i \cap B^i & B^e - A^i & A^i \cap B^e \\ \hline \partial A \cap B^\circ & A^e - B^i & \partial A \cap \partial B & A^e - B^e \\ B^i - A^e & A^e \cap B^i & B^e - A^e & A^e \cap B^e \end{array} \right]$$

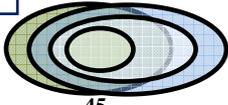
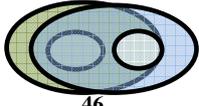
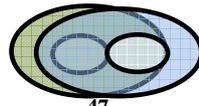
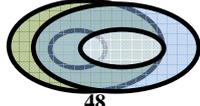
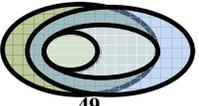
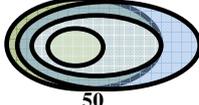
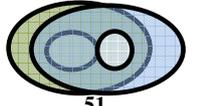
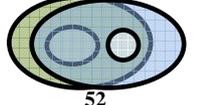
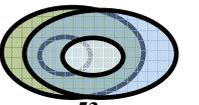
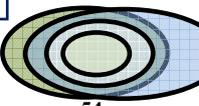
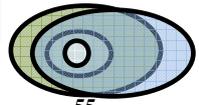
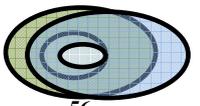
Pour chaque relation identifiée par le modèle FID, la relation qualitative du modèle FID est décrite en matrice de quatre sous-relations qualitatives du système RCC8 : (1) Disjoint (DC), (2) Meets (EC), (3) Overlaps (PO), (4) CoveredBy (TPP), (5) Inside (ContainedBy) (NTPP), (6) Covers (TPPi), (7) Contains (NTPPi), and (8) Equals (EQ). Chaque relation floue du modèle FID appartient au moins à un cluster qualitatif (de huit clusters du système RCC8) avec un niveau flou de ces quatre : (1) **Completely**, (2) **Strongly**, (3) **Fairly**, et (4) **Weakly**. Dans cette annexe, "N" indique que la relation du modèle FID est nouvelle par rapport aux relations présentées dans [Tang et al. 2004, Appendix. 2.] et le numéro (1, 2, 3, etc.) dans le coin gauche indique la relation équivalente d’après [Tang et al. 2004, Appendix. 2.] à la relation du modèle FID.

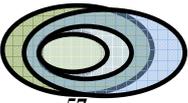
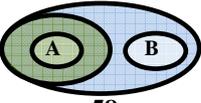
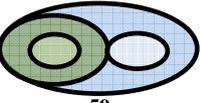
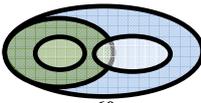
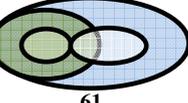
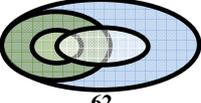
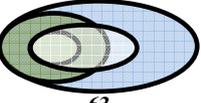
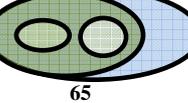
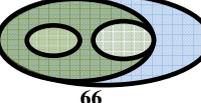
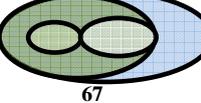
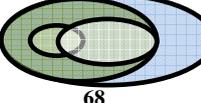
Illustration & Matrice	Illustration & Matrice	Illustration & Matrice	Illustration & Matrice
<p>1</p>  $\left[\begin{array}{c c} Disjoint & Disjoint \\ \hline Disjoint & Disjoint \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c c} DC & DC \\ \hline DC & DC \end{array} \right]$ <p>Cluster Qualitatif : (1) « Completely Disjoint »</p>	<p>2</p>  $\left[\begin{array}{c c} Disjoint & Disjoint \\ \hline Disjoint & Meets \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c c} DC & DC \\ \hline DC & EC \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs : (1) « Strongly Disjoint », (2) « Weakly Meets »</p>	<p>3</p>  $\left[\begin{array}{c c} Disjoint & Disjoint \\ \hline Disjoint & Overlaps \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c c} DC & DC \\ \hline DC & PO \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs : (1) « Strongly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps »</p>	<p>N</p>  $\left[\begin{array}{c c} Disjoint & Disjoint \\ \hline Meets & Overlaps \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c c} DC & DC \\ \hline EC & PO \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs : (1) « Strongly Disjoint », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Overlaps »</p>
<p>20</p>  $\left[\begin{array}{c c} Disjoint & Disjoint \\ \hline Overlaps & Overlaps \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c c} DC & DC \\ \hline PO & PO \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs : (1) « Fairly Disjoint », (2) « Fairly Overlaps »</p>	<p>N</p>  $\left[\begin{array}{c c} Disjoint & Disjoint \\ \hline Covers & Overlaps \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c c} DC & DC \\ \hline TPPi & PO \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs : (1) « Fairly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>26</p>  $\left[\begin{array}{c c} Disjoint & Disjoint \\ \hline Contains & Overlaps \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c c} DC & DC \\ \hline NTPPi & PO \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs : (1) « Fairly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Contains »</p>	<p>N</p>  $\left[\begin{array}{c c} Disjoint & Meets \\ \hline Disjoint & Overlaps \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c c} DC & EC \\ \hline DC & PO \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs : (1) « Fairly Disjoint », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Overlaps »</p>

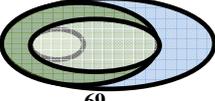
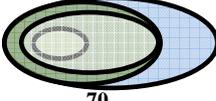
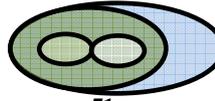
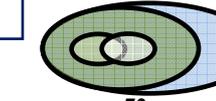
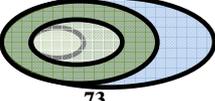
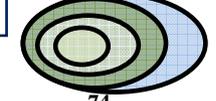
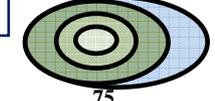
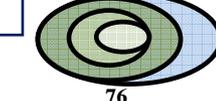
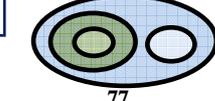
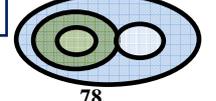
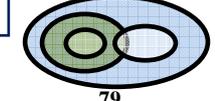
<p>N</p>  <p>9</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Meets} \\ \hline \text{Meets} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{EC} \\ \hline \text{EC} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Meets », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Overlaps »</p>	<p>N</p>  <p>10</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Meets} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{EC} \\ \hline \text{PO} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Meets »</p>	<p>N</p>  <p>11</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Meets} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{EC} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Overlaps », (4) « Weakly Contains »</p>	<p>N</p>  <p>12</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Meets} \\ \hline \text{Covers} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{EC} \\ \hline \text{TPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Overlaps », (4) « Weakly Covers »</p>
<p>7</p>  <p>13</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Disjoint} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{PO} \\ \hline \text{DC} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Disjoint », (2) « Fairly Overlaps »</p>	<p>N</p>  <p>14</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Meets} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{PO} \\ \hline \text{EC} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Meets »</p>	<p>33</p>  <p>15</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{PO} \\ \hline \text{PO} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Overlaps », (2) « Weakly Disjoint »</p>	<p>N</p>  <p>16</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{PO} \\ \hline \text{PO} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Overlaps », (2) « Weakly Meets »</p>
<p>66</p>  <p>17</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{PO} \\ \hline \text{PO} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Cluster Qualitatif :</p> <p>(1) « Completely Overlaps »</p>	<p>N</p>  <p>18</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Covers} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{PO} \\ \hline \text{TPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>19</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Covers} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{PO} \\ \hline \text{TPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>20</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{PO} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Contains »</p>

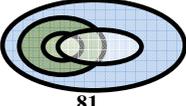
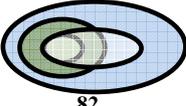
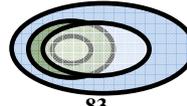
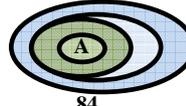
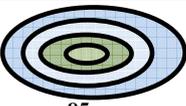
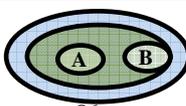
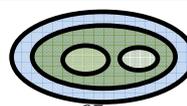
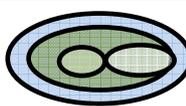
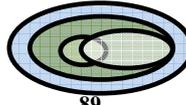
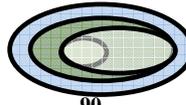
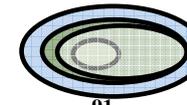
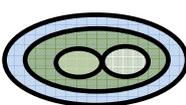
<p>48</p>  <p>21</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{Overlaps} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{PO} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Contains »</p>	<p>90</p>  <p>22</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{PO} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Overlaps », (2) « Weakly Contains »</p>	<p>N</p>  <p>23</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{PO} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Overlaps », (2) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>24</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Covers} & \textit{Overlaps} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPPi} & \textit{PO} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers »</p>
<p>132</p>  <p>25</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPPi} & \textit{PO} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Fairly Contains »</p>	<p>N</p>  <p>26</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Disjoint} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{DC} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>27</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Meets} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{EC} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Overlaps », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>28</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>N</p>  <p>29</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>30</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Overlaps », (2) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>31</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>32</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>

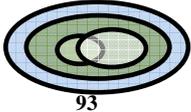
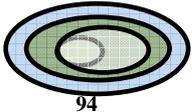
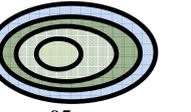
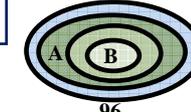
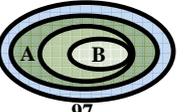
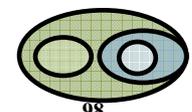
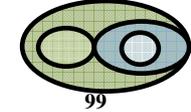
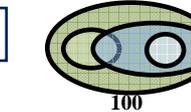
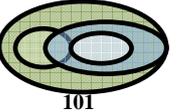
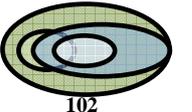
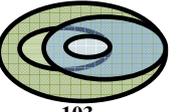
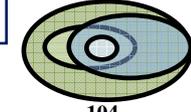
<p>N </p> <p>33</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Contains », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N </p> <p>34</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Contains », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N </p> <p>35</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N </p> <p>36</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Covers », (3) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>N </p> <p>37</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Contains} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPPi} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N </p> <p>38</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Covers} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPPi} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>13 </p> <p>39</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Disjoint} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{DC} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>N </p> <p>40</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Meets} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{EC} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Overlaps », (4) « Weakly Inside »</p>
<p>40 </p> <p>41</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>N </p> <p>42</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>78 </p> <p>43</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Overlaps », (2) « Weakly Inside »</p>	<p>N </p> <p>44</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{CoveredBy} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly CoveredBy »</p>

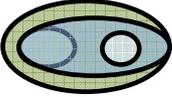
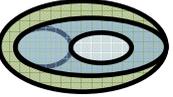
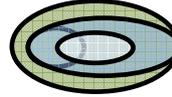
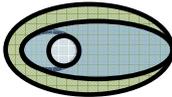
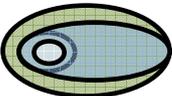
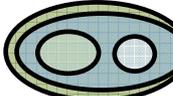
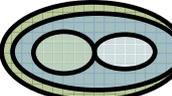
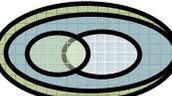
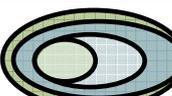
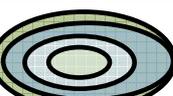
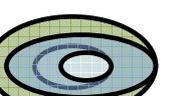
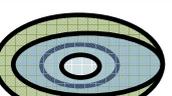
<p>115</p>  <p>45</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{PO} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Fairly Inside »</p>	<p>N</p>  <p>46</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>47</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>48</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers »</p>
<p>N</p>  <p>49</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{CoveredBy} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPPi} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>50</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>51</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Contains »</p>	<p>56</p>  <p>52</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Contains »</p>
<p>102</p>  <p>53</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Contains »</p>	<p>119</p>  <p>54</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Contains »</p>	<p>136</p>  <p>55</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Contains} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPPi} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>N</p>  <p>56</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Covers} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPPi} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Covers »</p>

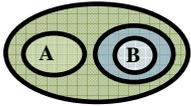
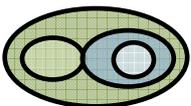
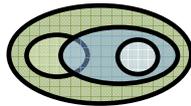
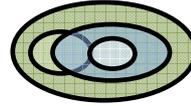
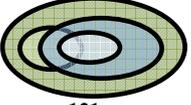
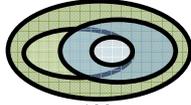
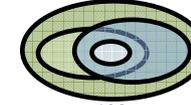
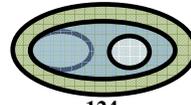
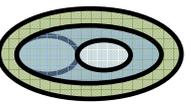
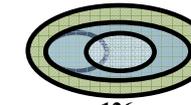
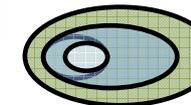
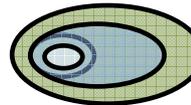
<p>N</p>  <p>57</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{CoveredBy} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>18</p>  <p>58</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Disjoint} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{DC} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Disjoint », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>59</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Meets} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{EC} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>60</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{PO} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>N</p>  <p>61</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Inside} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{PO} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>62</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{Inside} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{NTPP} \\ \hline \text{PO} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>63</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{CoveredBy} & \text{Inside} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{PO} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly CoveredBy », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>N</p>  <p>64</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{PO} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>62</p>  <p>65</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>66</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPPi} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>67</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPPi} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>68</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPPi} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>

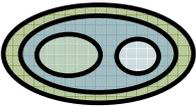
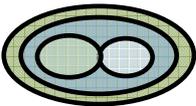
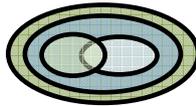
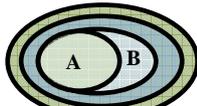
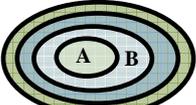
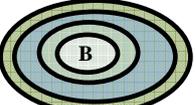
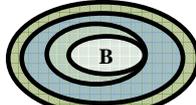
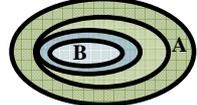
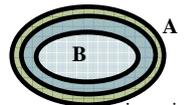
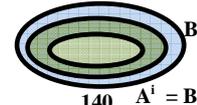
<p>N</p>  <p>69</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{CoveredBy} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs:</p> <p>(1) « Fairly CoveredBy », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>70</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs:</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Covers », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>71</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Inside} \\ \hline \text{Covers} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{TPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>72</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>N</p>  <p>73</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{CoveredBy} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly CoveredBy », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>122</p>  <p>74</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>142</p>  <p>75</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Contains} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP}_i & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>76</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Covers} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPP}_i & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>17</p>  <p>77</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Disjoint} & \text{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{DC} & \text{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Disjoint », (2) « Fairly Inside »</p>	<p>N</p>  <p>78</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Meets} & \text{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{EC} & \text{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Meets »</p>	<p>44</p>  <p>79</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{PO} & \text{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Overlaps »</p>	<p>N</p>  <p>80</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Inside} \\ \hline \text{Overlaps} & \text{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{PO} & \text{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs:</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Overlaps »</p>

<p>86</p>  <p>81</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Fairly Inside »</p>	<p>N</p>  <p>82</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{CoveredBy} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>110</p>  <p>83</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Inside} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Overlaps} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{PO} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Inside », (2) « Weakly Overlaps »</p>	<p>112</p>  <p>84</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Inside} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{CoveredBy} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{TPP} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Inside », (2) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>144</p>  <p>85</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Inside} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Inside} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPP} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Cluster Qualitatifs :</p> <p>(1) « Completely Inside »</p>	<p>N</p>  <p>86</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>61</p>  <p>87</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Contains »</p>	<p>N</p>  <p>88</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Covers »</p>
<p>N</p>  <p>89</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>90</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{CoveredBy} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Covers », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>91</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Inside} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Covers} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{TPPi} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Inside », (2) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>92</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Contains »</p>

<p>104</p>  <p>93</p> $\left[\frac{\textit{Overlaps}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Inside}}{\textit{Inside}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{PO}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{NTPPi}}{\textit{NTPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Contains »</p>	<p>N</p>  <p>94</p> $\left[\frac{\textit{CoveredBy}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Inside}}{\textit{Inside}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{TPPi}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{NTPPi}}{\textit{NTPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>121</p>  <p>95</p> $\left[\frac{\textit{Inside}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Inside}}{\textit{Inside}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{NTPPi}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{NTPPi}}{\textit{NTPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Inside », (2) « Weakly Contains »</p>	<p>141</p>  <p>96</p> $\left[\frac{\textit{Contains}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Inside}}{\textit{Inside}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{NTPPi}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{NTPPi}}{\textit{NTPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Fairly Contains »</p>
<p>N</p>  <p>97</p> $\left[\frac{\textit{Covers}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Inside}}{\textit{Inside}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{TPPi}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{NTPPi}}{\textit{NTPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>31</p>  <p>98</p> $\left[\frac{\textit{Disjoint}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Disjoint}}{\textit{Covers}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{DC}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{DC}}{\textit{TPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Disjoint », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>99</p> $\left[\frac{\textit{Disjoint}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Meets}}{\textit{Covers}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{DC}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{EC}}{\textit{TPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Contains », (4) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>100</p> $\left[\frac{\textit{Disjoint}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Overlaps}}{\textit{Covers}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{DC}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{PO}}{\textit{TPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Contains », (4) « Weakly Covers »</p>
<p>N</p>  <p>101</p> $\left[\frac{\textit{Meets}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Overlaps}}{\textit{Covers}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{EC}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{PO}}{\textit{TPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Contains », (4) « Weakly Covers »</p>	<p>98</p>  <p>102</p> $\left[\frac{\textit{Overlaps}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Overlaps}}{\textit{Covers}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{PO}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{PO}}{\textit{TPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>103</p> $\left[\frac{\textit{Covers}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Overlaps}}{\textit{Covers}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{TPPi}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{PO}}{\textit{TPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Covers », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Contains »</p>	<p>N</p>  <p>104</p> $\left[\frac{\textit{Contains}}{\textit{Contains}} \mid \frac{\textit{Overlaps}}{\textit{Covers}} \right]$ $= \left[\frac{\textit{NTPPi}}{\textit{NTPPi}} \mid \frac{\textit{PO}}{\textit{TPPi}} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Covers »</p>

<p>N</p>  <p>105</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>106</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EC} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>107</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>108</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Covers} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPPi} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Covers », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>N</p>  <p>109</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Contains} & \textit{CoveredBy} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPPi} & \textit{TPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Covers », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>59</p>  <p>110</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>111</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>112</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Covers »</p>
<p>N</p>  <p>113</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{CoveredBy} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>125</p>  <p>114</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Inside} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>N</p>  <p>115</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Covers} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPPi} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Covers », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>139</p>  <p>116</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Contains} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPPi} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers »</p>

<p>30</p>  <p>117</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Disjoint} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{DC} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Disjoint », (2) « Fairly Contains »,</p>	<p>N</p>  <p>118</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Meets} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{EC} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Meets »</p>	<p>52</p>  <p>119</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{PO} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Overlaps »</p>	<p>N</p>  <p>120</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{PO} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Overlaps »</p>
<p>N</p>  <p>121</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{PO} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Overlaps », (2) « Fairly Contains »</p>	<p>N</p>  <p>122</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Covers} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPP}_i & \text{PO} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>127</p>  <p>123</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Contains} & \text{Overlaps} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP}_i & \text{PO} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Contains », (2) « Weakly Overlaps »</p>	<p>N</p>  <p>124</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{CoveredBy} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{TPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>N</p>  <p>125</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{CoveredBy} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{TPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>126</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{CoveredBy} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{TPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>127</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Covers} & \text{CoveredBy} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPP}_i & \text{TPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Covers », (3) « Weakly CoveredBy »</p>	<p>N</p>  <p>128</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Contains} & \text{CoveredBy} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP}_i & \text{TPP} \\ \hline \text{NTPP}_i & \text{NTPP}_i \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Contains », (2) « Weakly CoveredBy »</p>

<p>58</p>  <p>129</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Disjoint} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{DC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Disjoint », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>N</p>  <p>130</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Meets} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EC} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Meets », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>106</p>  <p>131</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Overlaps} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{PO} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Overlaps », (3) « Weakly Inside »</p>	<p>N</p>  <p>132</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{CoveredBy} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly CoveredBy »</p>
<p>124</p>  <p>133</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Inside} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPP} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Fairly Contains »</p>	<p>138</p>  <p>134</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Contains} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPPi} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Contains », (2) « Weakly Inside »</p>	<p>N</p>  <p>135</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Covers} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{TPPi} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers »</p>	<p>129</p>  <p>136</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Contains} & \textit{Covers} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPPi} & \textit{TPPi} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Contains », (2) « Weakly Covers »</p>
<p>145</p>  <p>137</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Contains} & \textit{Contains} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Cluster Qualitatifs :</p> <p>(1) « Completely Contains »</p>	<p>146</p>  <p>138</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Equal} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Equal} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EQ} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{EQ} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Equals », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Contains »</p>	<p>149</p>  <p>139</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Equal} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EQ} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Equals »</p>	<p>147</p>  <p>140</p> $\left[\begin{array}{c c} \textit{Equal} & \textit{Inside} \\ \hline \textit{Contains} & \textit{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \textit{EQ} & \textit{NTPP} \\ \hline \textit{NTPPi} & \textit{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Equals »</p>

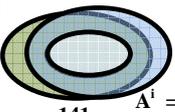
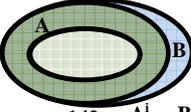
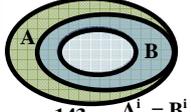
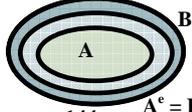
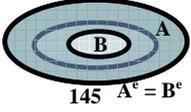
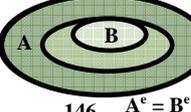
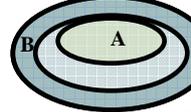
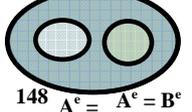
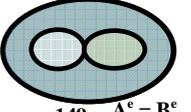
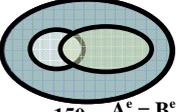
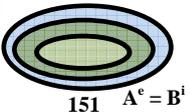
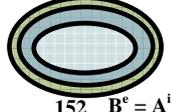
<p>151</p>  <p>141 $A^i = B^i$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Equal} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Overlaps} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EQ} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{PO} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Equals »</p>	<p>19</p>  <p>142 $A^i = B^i$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Equal} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{CoveredBy} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EQ} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{TPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly CoveredBy », (4) « Weakly Equals »</p>	<p>N</p>  <p>143 $A^i = B^i$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Equal} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Covers} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EQ} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{TPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly Equals »</p>	<p>126</p>  <p>144 $A^e = B^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Equal} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{EQ} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Inside », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Equals »</p>
<p>N</p>  <p>145 $A^e = B^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Contains} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Equal} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPPi} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{EQ} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Fairly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Equals »</p>	<p>60</p>  <p>146 $A^e = B^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Covers} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Equal} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPPi} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{EQ} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly Covers », (4) « Weakly Equals »</p>	<p>N</p>  <p>147 $A^e = B^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{CoveredBy} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Equal} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{TPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{EQ} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Contains », (2) « Weakly Inside », (3) « Weakly CoveredBy », (4) « Weakly Equals »</p>	<p>64</p>  <p>148 $A^e = A^e = B^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Disjoint} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Equal} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{DC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{EQ} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Disjoint », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Equals »</p>
<p>N</p>  <p>149 $A^e = B^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Meets} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Equal} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{EC} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{EQ} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Meets », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Equals »</p>	<p>108</p>  <p>150 $A^e = B^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Overlaps} & \text{Inside} \\ \hline \text{Contains} & \text{Equal} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{PO} & \text{NTPP} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{EQ} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Weakly Overlaps », (2) « Weakly Contains », (3) « Weakly Inside », (4) « Weakly Equals »</p>	<p>N</p>  <p>151 $A^e = B^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Inside} & \text{Inside} \\ \hline \text{Equal} & \text{Inside} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPP} & \text{NTPP} \\ \hline \text{EQ} & \text{NTPP} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Inside », (2) « Weakly Equals »</p>	<p>143</p>  <p>152 $B^e = A^e$</p> $\left[\begin{array}{c c} \text{Contains} & \text{Equal} \\ \hline \text{Contains} & \text{Contains} \end{array} \right]$ $= \left[\begin{array}{c c} \text{NTPPi} & \text{EQ} \\ \hline \text{NTPPi} & \text{NTPPi} \end{array} \right]$ <p>Clusters Qualitatifs :</p> <p>(1) « Strongly Contains », (2) « Weakly Equals »</p>

Table des Figures

Fig. 1.1 :	Classification des méthodes de détection des changements	7
Fig. 1.2 :	Quelques règles topologiques polygonales tirées de [ESRI France 2004]	12
Fig. 1.3 :	Représentations graphiques multiples ((1.3-a) circulaire, et (1.3-b) polygonale) pour les huit relations topologiques de base du système de raisonnement spatial RCC8	14
Fig. 1.4 :	Plusieurs changements : géométrique, topologique et thématique	16

Fig. 2.1 :	Exemple : Configurations des relations du système RCC8	23
Fig. 2.2 :	Définitions : Intérieur, Fermeture, Extérieur, Frontière	25
Fig. 2.3 :	Relation topologique DC (N°. 1, et N°. 2) du système RCC8 se distinguant par le modèle VI9	29
Fig. 2.4 :	Exemples de relations dimensionnelles	30
Fig. 2.5 :	Problème d'identification de « Crossing in » et « Crossing out »	37
Fig. 2.6 :	Identification des types des éléments spatiaux de l'intersection frontière-frontière	40
Fig. 2.7 :	Identification des relations topologiques par trois matrices : (2.7-a) H pour Overlaps (PO), (2.7-b) R pour CoveredBy (TPP), (2.7-c) L pour Covers (TPPi)	41
Fig. 2.8 :	Problèmes de description détaillée avec la matrice H pour la relation Overlaps (PO)	42
Fig. 2.9 :	Deux ensembles spatiaux A et B et la représentation du modèle ID avec les invariants topologiques : nombre de séparations des éléments spatiaux, régions d'intersection (RI), région "limitée" ($R = (A \cup B)_b^-$) (bornée ou bounded), voisinages des points et type des éléments spatiaux	49

Fig. 3.1 :	La relation topologique EC (A, B) sous plusieurs représentations graphiques	58
Fig. 3.2 :	La relation topologique PO (A, B) sous plusieurs représentations graphiques	62
Fig. 3.3 :	La relation topologique TPP (A, B) sous plusieurs représentations graphiques	65
Fig. 3.4 :	La relation topologique TPPi (A, B) sous plusieurs représentations graphiques	67
Fig. 3.5 :	Exemples d'avantages des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1	69
Fig. 3.6 :	Exemples de configurations spatiales de problèmes de confusions des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1	70
Fig. 3.7 :	Méthode de détection de changement par analyse topologique du système RCC-16 au niveau-1	73
Fig. 3.8 :	(1) Objets de la carte V de SIG, (2) Objets extraits de l'image satellite I	75

Fig. 3.9 : Cartes de changements pour : (3) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus (Vert), (4) Objets disparus ou "en partie" disparus (Rouge), (5) Objets non-changés ou "en partie" non-changés (Bleu)	83
Fig. 3.10 : Application de la méthode de détection de changement entre deux cartes vectorielles de la base CLC par analyse topologique du système RCC-16	84
Fig. 3.11 : Deux cartes vectorielles de la base CLC : (1) V1 : CLC1990 (en Bleu), (2) V2 : CLC2000 (en Rouge), (3) Deux cartes superposées pour le département du Loiret en France	85
Fig. 3.12 : Objets géographiques (département "Loiret") de deux cartes vectorielles de la base CLC : (1) V1(CLC1990), (2) V2 (CLC2000), (3) Objets de deux cartes superposées	86
Fig. 3.13 : Cartes de changements détectés : (1) Nouveaux objets, (2) Objets disparus, (3) Objets non-changés (sans changement)	88
Fig. 3.14 : Objets géographiques (département "La Somme") de deux cartes vectorielles de la base CLC : (1) V1(CLC1990), (2) V2 (CLC2000), (3) Objets de deux cartes superposées	89
Fig. 3.15 : Cartes de changements détectés : (1) Nouveaux objets, (2) Objets disparus, (3) Objets non-changés (sans changement)	89
Fig. 3.16 : Application de la méthode de détection de changement entre deux images satellites par analyse topologique du système RCC-16	91
Fig. 3.17 : (1) Image satellite (I1) LANDSAT (Date 01-10-1987), (2) Classification ENVI, (3) Objets du résultat R2V, pour la région et la ville de Lattaquié en Syrie (Lac : 16 Octobre)	92
Fig. 3.18 : (1) Image satellite (I2) LANDSAT (Date 26-26-2007), (2) Classification ENVI, (3) Objets du résultat R2V, pour la région et la ville de Lattaquié en Syrie (Lac : ALSEN)	92
Fig. 3.19 : Objets géographiques de la classe « zones d'eau hors la Mer Méditerranée » extraite de deux images satellites (LANDASAT1987 et LANDASAT2007) présentées en données vectorielles polygonales (1987 en Bleu et, 2007 en Rouge)	92
Fig. 3.20 : Cartes de changements des zones d'eau : (1) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus (Vert), (2) Objets disparus ou "en partie" disparus (Rouge), (3) Objets non-changés ou "en partie" non-changés (Bleu)	94
Fig. 3.21 : Résultats de détection de changements des classes par post-classification (ENVI)	96
Fig. 3.22 : Résultats statistiques des changements par post-classification (ENVI)	97
Fig. 3.23 : Cas étudié - détection de changements du lac "16 Octobre"	97
Fig. 3.24 : Types de changements topologiques : <i>Disparition, Apparition et Stabilité d'objet</i>	101
Fig. 3.25 : Types de changements topologiques : <i>Élargissement (Extension), et Fusion avec déformation d'objets</i>	101
Fig. 3.26 : Types de changements topologiques : <i>Rétrécissions et Extension</i>	101
Fig. 3.27 : Types de changements topologiques : <i>Déformation, Extension et Rétrécissions</i>	102
Fig. 3.28 : Types de changements topologiques : <i>Fusion et Split</i>	102

Fig. 3.29 : Types de changements topologiques : <i>Fusion</i> et <i>Split</i>	102
Fig. 3.30 : Types de changements topologiques : <i>Déplacement d'objet</i>	103
Fig. 3.31 : Types de changements topologiques : <i>Déplacement de A</i> et <i>Rotation de B</i>	103
Fig. 3.32 : Types de changements topologiques : <i>Réallocation</i>	103
Fig. 3.33 : Types de changements topologiques : <i>Rectification</i>	104
Fig. 3.34 : Types de changements topologiques complexes à très haut niveau	104

Fig. 4.1 : Voisinages et types des points	109
Fig. 4.2 : Représentations graphiques des types de points	110
Fig. 4.3 : Exemples des types de lignes	111
Fig. 4.4 : Représentations graphiques des types des lignes	112
Fig. 4.5 : Continue : Représentations graphiques des types des lignes	114
Fig. 4.6 : Configurations des relations du système RCC-16 au niveau-2	117
Fig. 4.7 : Changements des relations topologiques provoqués par changements des régions spatiales	121
Fig. 4.8 : Exemples d'avantages des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2. . .	122
Fig. 4.9 : Exemples de configurations spatiales de problèmes de confusions des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2	124
Fig. 4.10 : Deux scènes spatiales pour la détection de changements	128
Fig. 4.11 : Résultats de détection de changements en employant les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2	129
Fig. 4.12 : Résultats de détection de changements en employant les relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1	129
Fig. 4.13 : Cas étudié – détection de changements des parties disparues de l'objet géographique du lac "16 Octobre"	130
Fig. 4.14 : Objets géographiques de la classe « zones d'eau hors la Mer Méditerranée » extraite de deux images satellites (LANDASAT1987 et LANDASAT2007) présentées en données vectorielles polygonales (1987 en Bleu et, 2007 en Rouge)	131
Fig. 4.15 : Cartes de changements des zones d'eau : (1) Nouveaux objets ou objets "en nouvelle partie" apparus (Vert), (2) Objets disparus ou "en partie" disparus (Rouge), (3) Objets non-changés ou "en partie" non-changés (Bleu)	132
Fig. 4.16 : Objets géographiques (département "La somme") de deux cartes vectorielles de la base CLC : (1) V1(CLC1990), (2) V2 (CLC2000), (3) Objets de deux cartes superposées	133
Fig. 4.17 : Cartes de changements détectés : (1) Nouveaux objets, (2) Objets disparus, (3) Objets non-changés (sans changement)	134
Fig. 4.18 : Exemples de configurations spatiales de problèmes de confusions des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2	136

Fig. 4.19 :	Illustration de la résolution d'un problème de confusions des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2	137

Fig. 5.1:	Intérieur, Fermeture, Extérieur, Frontière d'une région spatiale simple	142
Fig. 5.2:	Représentation spatiale de région avec Frontière Indéterminée	142
Fig. 5.3:	Représentation spatiale et interprétation du modèle Egg-Yolk	143
Fig. 5.4:	Représentation spatiale de la représentation 4-Tuples	143
Fig. 5.5:	Représentation spatiale d'une région ambiguë	144
Fig. 5.6:	Représentation spatiale d'une région spatiale floue selon la matrice $M_{3 \times 3}$	144
Fig. 5.7:	Représentation spatiale d'une région spatiale floue simple selon le modèle $I_{4 \times 4}$	145
Fig. 5.8:	Représentation spatiale d'une région spatiale floue d'après Tang [Tang et al. 2004] [Tang et al. 2007] avec les relations entre : Base et Intérieur, Frange et Frontière Floue	146
Fig. 5.9:	Configurations des relations topologiques non-identifiables	147
Fig. 5.10:	Images satellites : (a) SPOT, (b) LANDSAT, et (c) Résultats de classification (ENVI 4.7)	148
Fig. 5.11:	Représentation spatiale d'une région spatiale floue simple	150
Fig. 5.12:	Méthode de génération des régions spatiales floues	153
Fig. 5.13:	Exemple des valeurs de : U , U_{\max} , U_{\min} , $\max(U_{\max})$ et $S1 = \min(U_{\max})$, $S2 = \max(U_{\min})$ et $\min(U_{\min})$	156
Fig. 5.14:	Conversion des régions floues en données vectorielles	156
Fig. 5.15:	Résultats d'application de la méthode de génération des régions floues : (a) Image satellite (SPOT), (b) Résultat de classification par ENVI 4.7, (c, d, e, f, g, h) Régions floues des classes dans l'image SPOT, (i) Normalisation des résultats de la classification floue, et (j) Valeur maximale des résultats de la classification floue pour chaque classe	158
Fig. 5.16:	Résultats d'application de la méthode de génération des régions floues : (a) Image satellite (LANDSAT), (b) Résultat de classification par ENVI 4.7, (c, d, e, f, g, h) Régions floues des classes dans l'image LANDSAT, (i) Normalisation des résultats de la classification floue, et (j) Valeur maximale des résultats de la classification floue pour chaque classe	159
Fig. 5.17:	Exemples des configurations spatiales floues ($I_{4 \times 4}$) pour $A^c \cap B^c = \neg \emptyset$	161
Fig. 5.18:	Exemples des configurations spatiales floues ($I_{4 \times 4}$) pour $A^c \cap B^c = \emptyset$	161
Fig. 5.19:	Exemples des configurations spatiales floues (FID) pour $A^c \cap B^c = \neg \emptyset$	164
Fig. 5.20:	Exemples des configurations spatiales floues (FID) pour $A^c \cap B^c = \emptyset$	164
Fig. 5.21:	Représentation spatiale des régions floues selon Tang [Tang et al. 2004, PP. 89]	165

- Fig. 5.22:** Illustration du processus de changements topologiques des relations floues du modèle FID : A partir de (a) "**Completely Disjoint**" (Relation (1)), ensuite changement (b) "**Fairly Meets**" (Relation (9)), puis changement (c) "**Completely Overlaps**" (Relation (17)), (voir Annexe C) 169
- Fig. 5.23:** Graphe conceptuel de voisinage des 152 relations topologiques floues du modèle FID (C_T : complexité topologique, numéros des relations de 1 à 152) 175
- Fig. 5.24:** Représentation spatiale de deux régions spatiales floues simples 176
- Fig. 5.25:** Exemple de clustering de la relation topologique FID¹⁴ 178
- Fig. 5.26:** Exemple de qualification et de clustering des relations topologiques en fonction de quatre niveaux flous 179
- Fig. 5.27:** Arbre de décision binaire parfaitement équilibré pour déterminer les relations qualitatives du système RCC8 basées sur le modèle ID 181
- Fig. 5.28:** Arbre de décision des 152 relations topologiques floues du modèle FID 182
- Fig. 5.29:** Résultats de la méthode de génération des régions floues : (a) Image satellite (LANDSAT TM 1987), (b) Image satellite (LANDSAT TM 2002) ; (c, d, e, f) Régions spatiales floues des classes : (c) Zones Urbaines, (d) Végétation de type 3, (e) Végétation de type 2, (f) Végétation de type 1 187
- Fig. 5.30:** Résultats de la méthode de génération des régions floues : (a, b) Régions spatiales floues des classes : (a) Sols déserts de type 1; (b) Sols déserts de type 2, (c) Valeur maximale des résultats de la classification floue pour chaque classe pour 1987 et 2002 (en couleur), (d) Valeur maximale des résultats de la classification floue pour chaque classe pour 1987 et 2002 (en niveau de gris) 188

Liste des Tableaux

Table. 2.1 : Comparaison des modèles topologiques au niveau sans détail	32
Table. 2.2 : Comparaison des modèles et relations topologiques au niveau sans détail	33
Table. 2.3 : Comparaison des modèles topologiques au niveau détaillé	43
Table. 2.4 : Comparaison des modèles et relations topologiques au niveau détaillé	44-45
Table. 2.5 : Matrice du modèle ID et équivalence avec le système RCC8	47
Table. 2.6 : Exemples sur les invariants topologiques : nombre de séparations, concept de voisinage d'un élément spatial et type des éléments spatiaux	51
Table. 3.1 : Enrichissement de la relation topologique EC au Niveau-1	60
Table. 3.2 : La relation EC enrichie au Niveau-1 pour les configurations dans la Figure 3.1	61
Table. 3.3 : Enrichissement de la relation topologique PO au Niveau-1	63
Table. 3.4 : La relation PO enrichie au Niveau-1 pour les configurations dans la Figure 3.2	63
Table. 3.5 : Enrichissement de la relation topologique TPP au Niveau-1	65
Table. 3.6 : La relation TPP enrichie au Niveau-1 pour les configurations dans la Figure 3.3	66
Table. 3.7 : Enrichissement de la relation topologique TPPi au Niveau-1	67
Table. 3.8 : Enrichissement de quatre relations topologiques du système RCC8 (EC, PO, TPP, TPPi) au Niveau-1	68
Table. 3.9 : Exemples d'avantages des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 en comparaison avec les modèles : $I_4 (I_{4, \dim, x})$, SD, et $M_{2*2} (H, L, R)$	69
Table. 3.10 : Types de changements (A : <i>Objet d'une carte vectorielle</i> , et B : <i>Objet extrait d'image</i>)	73
Table. 3.11 : Matrice Relation $M_{VI_{7*8}}$: R12 - Matrice des relations topologiques entre les objets de la carte V et les objets de l'image I	75
Table. 3.12 : Matrice Relation $M_{IV_{8*7}}$: R21 - Matrice des relations topologiques entre les objets de l'image I et les objets de la carte V	75
Table. 3.13 : Matrice Relation $M_{VV_{7*7}}$: R11 - Matrice des relations topologiques entre les objets de la carte V	75
Table. 3.14 : Matrice Relation $M_{II_{8*8}}$: R22 - Matrice des relations topologiques entre les objets de l'image I	76
Table. 3.15 : Matrice de similarité de relations « Sim_Rel_VI » pour chaque objet V_j de la carte V vers tous les objets de l'image I	77
Table. 3.16 : Matrice de similarité de relations « Sim_Rel_IV » pour chaque objet I_i de l'image I vers tous les objets de la carte V	77
Table. 3.17 : Matrice de similarité des objets « Sim_Obj_VI » pour chaque objet V_j de carte V vers tous les objets de l'image I	78

Table. 3.18 : Matrice de similarité des objets « Sim_Objet_IV » pour chaque objet I_i de l'image I vers tous les objets de la carte V	78
Table. 3.19 : Matrice de similarité des objets « Sim_Objet_Vec2Img » de l'objet V_j de la carte V vers tous les objets de l'image I	79
Table. 3.20 : Matrice de similarité des objets « Sim_Objet_Img2Vec » de l'objet I_i de l'image I vers tous les objets de la carte V	79
Table. 3.21 : Règles topologiques du système RCC-16 pour identifier et détecter les changements entre objet V_j de la carte V et objet I_i de l'image I	81
Table. 3.22 : Règles topologiques du système RCC-16 pour identifier et détecter les changements entre objet I_i de l'image I et objet V_j de la carte V	81-82
Table. 3.23 : Détection de changements de la carte V vers l'image satellite I	82
Table. 3.24 : Détection de changements de l'image satellite I vers la carte V	82
Table. 3.25 : Détection de changements de la nouvelle carte V2 (CLC2000) " Vec ² " vers l'ancienne carte V1 (CLC1990) " Vec ¹ " pour le département du Loiret en France ...	87
Table. 3.26 : Détection de changements de l'ancienne carte V1 (CLC1990) " Vec ¹ " vers la nouvelle carte V2 (CLC2000) " Vec ² " pour le département du Loiret en France	87
Table. 3.27 : Détection de changements de la nouvelle carte V2 (CLC2000) "Vec ² " vers l'ancienne carte V1 (CLC1990) "Vec ¹ " pour le département de "La Somme" en France	90
Table. 3.28 : Détection de changements de l'ancienne carte V1 (CLC1990) "Vec ¹ " vers la nouvelle carte V2 (CLC2000) "Vec ² " pour le département de "La Somme" en France	90
Table. 3.29 : Détection de changements de l'image satellite I2 (Img ²) vers l'image satellite I1 (Img ¹)	95
Table. 3.30 : Détection de changements de l'image satellite I1 (Img ¹) vers l'image satellite I2 (Img ²)	96
Table. 3.31 : Classification des types de changements topologiques : Changements de base et complexes	99
Table. 4.1 : Définitions des types de points par la notion du voisinage	110
Table. 4.2 : Exemples des relations topologiques du système RCC-16 exprimées par les types de points pour les configurations de la Figure 4.2	110
Table. 4.3 : Définitions des types de lignes par les définitions des types de points	113
Table. 4.4 : Exemples des relations topologiques du système RCC-16 exprimées par les types de lignes pour certaines configurations des Figures 4.4 et 4.5	113
Table. 4.5 : Relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 exprimées par les types de points et de lignes pour les configurations de la Figure 4.6	117
Table. 4.6 : Relations topologiques du système RCC-16 au Niveau-2	119
Table. 4.7 : Relations topologiques multi – niveaux	120

Table. 4.8 : Exemples des relations topologiques multi – niveaux	120
Table. 4.9 : Exemples d'avantages des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 en comparaison avec les systèmes RCC8 au niveau-0 et RCC-16 au niveau-1, et les modèles : I4 ($I_{4, \text{dim}, x, \text{séquence}}$), et TN	123
Table. 4.10 : Matrice Relation $M_{VI_{5*5}}$: R12 - Matrice des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-2 entre les objets de la carte V et les objets de l'image I	128
Table. 4.11 : Matrice Relation $M_{VI_{5*5}}$: R12 - Matrice des relations topologiques du système RCC-16 au niveau-1 entre les objets de la carte V et les objets de l'image I	128
Table. 5.1: Nouvelle Matrice de 4*4-Intersections	160
Table. 5.2: Nouvelle Matrice d'Intersections et de Différences	163
Table. 5.3: Deux matrices de 2*2-Intersections et deux matrices de 2*2-Différences	163
Table. 5.4: Groupes des relations topologiques du modèle FID en fonction des valeurs de la complexité topologique pour chaque relation	168
Table. 5.5: Matrice des distances topologiques entre deux relations floues du modèle FID . . .	170
Table. 5.6: Matrice des relations de voisinage pour chaque relation topologique floue des 152 relations topologiques du modèle FID	174
Table. 5.7: Matrice des relations du modèle ID avec les relations de base du système RCC8	177
Table. 5.8: Résultats du regroupement qualitatif des 152 relations topologiques floues (identifiées par le modèle FID) dans huit clusters qualitatifs du système RCC8 . . .	180

Bibliographie

[A]

- [Adams et al. 2004] B. J. Adams, C. K. Huyck, B. Mansouri, R. T. Eguchi and M. Shinozuka, “Application of High-Resolution Optical Satellite Imagery for Post-Earthquake Damage Assessment : The 2003 Boumerdes (Algeria) and Bam (Iran) Earthquakes”, In *Emergency Response and Recovery*, PP. 173-186, 2004. Buffalo, NY : MCEER. http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccom/04-SP01/12_Eguchi.pdf
- [Alberti et al. 2004] M. Alberti, R. Weeks and S. Coe, “Urban Land-Cover Change Analysis in Central Puget Sound”, In *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 70, N°. 9, PP. 1043-1052, 2004.
- [Alboody et al. 2010a] A. Alboody, F. Sèdes and J. Inglada, “Enriching the Qualitative Spatial Reasoning System RCC8”, In Shyamanta M. Hazarika (Eds.), “Qualitative Spatio-Temporal Representation and Reasoning: Trends and Future Directions”, In IGI Global, Information Science Reference Publishing, (To appear in November 2010), 2010. <http://www.igi-global.com/Bookstore/TitleDetails.aspx?TitleId=41779>
- [Alboody et al. 2010b] A. Alboody, F. Sèdes and J. Inglada, “Modeling Topological Relations between Uncertain Spatial Regions in Geo-spatial Databases : Uncertain Intersection and Difference Topological Model”, In *The Second International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications (DBKDA2010)*, Menuires, The Three Valleys, France, , IEEE Computer Society, PP. 7-15, 11-16 Avril 2010. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5477154
- [Alboody et al. 2009a] A. Alboody, J. Inglada and F. Sèdes, “Enriching the Spatial Reasoning System RCC8”, In *16th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS 2008)*, The SIGSPATIAL Special, Vol. 1, N°. 1, PP.14-20, March 2009.
- [Alboody et al. 2009b] A. Alboody, F. Sèdes and J. Inglada, “Multi-Level Topological Relations of the Spatial Reasoning System RCC-8”, In *Proceedings of The First International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications (DBKDA 2009)*, IARIA Conferences - GlobeNet2009, IEEE Computer Society, PP. 13-21, March 2009.
- [Alboody et al. 2009c] A. Alboody, F. Sèdes and J. Inglada, “Fuzzy Intersection and Difference Model for Topological Relations”, In *International Fuzzy Systems Association World Congress and Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (IFSA-EUSFLAT 2009)*, Calouste Gulbenkian Foundation, Lisbon, Portugal, 20-24 July 2009. Vol. IFSA-EUSFLAT 2009 Proceedings, [IFSA-EUSFLAT 2009 Proceedings](http://www.eusflat.org/publications/proceedings/IFSA-EUSFLAT_2009/proceedings/IFSA-EUSFLAT_2009_Proceedings), PP. 1079-1084, 2009. http://www.eusflat.org/publications/proceedings/IFSA-EUSFLAT_2009/pdf/tema_1079.pdf
- [Alboody et al. 2008a] A. Alboody, J. Inglada and F. Sèdes, “Post-Classification and Spatial Reasoning : New Approach to Change Detection for Updating GIS Database”, In *IEEE International Conference on Information and Communication Technologies : from Theory to Applications (ICTTA 2008)*, PP. 1-7, Damascus, Syria, 7-11 April 2008. <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?reload=true&url=/iel5/4520396/4529902/04530039.pdf?arnumber=4530039>

- [Alboody et al. 2008b] A. Alboody, F. Sèdes and J. Inglada, “Analysis of Satellite Imagery for Updating Spatio-Temporal Databases : Application to GIS and CLC. In International Conference on Geographic Information Systems (ICGIS 2008), Istanbul, Turkey, Vol. I, N°. 324, Fatih University Publications, G70.212.I581 (9789753030960) N° (0064558-0064563), PP. 102-110, 02-05 July 2008. <http://icgis2008.fatih.edu.tr/?Bilpos&Lang=En>
- [Al-Idrisi 1154] M. B. Al-Idrisi, “Nuzhat Al-Mushtaq Fî Ikhtiraq Al-âfâq (Amusement Pour Qui Désire Parcourir les Différentes Parties du Monde)”, In Book “Le Livre de Roger d'Al-Idrisi”, Palerme, 1154 (Au XII° Siècle). In Copie Maghrébine du Début XIVE Siècle, Manuscrit sur Papier, 352 Feuilles, 26 x 21 cm, BNF. <http://classes.bnf.fr/idrisi/>
- [Al-Khudhairi et al. 2005] D. H. A. Al-Khudhairi, I. Caravaggi and S. Giada, “Structural Damage Assessments from Ikonos Data Using Change Detection, Object-Oriented Segmentation, and Classification Techniques”, In American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 71, N°. 7, PP. 825-837, July 2005.
- [Allen 1983] J. F. Allen, “Maintaining Knowledge about Temporal Intervals”, In Communications of the ACM, ACM Press, ISSN 0001-0782, Vol. 26, N°. 11, PP. 832-843, 1983.
- [Almeida et al. 2007] J. P. de Almeida, J. G. Morley and I. J. Dowman, “Graph Theory in Higher Order Topological Analysis of Urban Scenes”, In Journal of Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 31, PP. 426-440, 2007. Publisher : Science Direct, Elsevier.
- [Armenakis et al. 2002] C. Armenakis, I. Cyr and E. Papanikolaou, “Change Detection Methods for the Revision of Topographic Databases”, In Proceeding of ISPRS Symposium on “Geospatial Theory, Processing and Applications”, Commission IV, Vol. XXXIV, 2002. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part4/pdfpapers/460.pdf>
- [Armstrong 1983] M. A. Armstrong, “Basic Topology”, In Springer-Verlag, 1st Edition, New York, 1983.
- [Arnot et al. 2007] C. Arnot and P. Fisher, “Mapping Type 2 Change in Fuzzy Land Cover”, In NATO Security through Science Series : “Geographic Uncertainty in Environmental Security”, A. Morris and S. Kokhan (Eds.), PP. 167-186, 2007.

[B]

- [Bailloeuil et al. 2003] T. Bailloeuil, J. Duan, V. Prinnet and B. Serra, “Urban Digital Map Updating From Satellite High Resolution Images Using GIS Data as A Priori Knowledge”, In Proceedings of the 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion on Urban Areas, URBAN'03, PP. 283-287, Berlin, Germany, May 2003. <http://kepler.ia.ac.cn/publications/pub/2003/tb2003.pdf>
- [Bartelme 2010] N. Bartelme, “Chapter 6: Geographic Information Systems”, Part. A/6, PP. 1-31, Publisher : Springer. http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9783540726784-c1.pdf?SGWID=0-0-45-857899-p173740630 (Consulter le 10 Mars 2010).
- [Bassiri et al. 2008] A. Bassiri, A. Alesheikh and M. R. Malek, “Spatio-Temporal Object Modeling in Fuzzy Topological Space”, In The International Archives of the Photogrammetric, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, N°. B2, PP. 131-134, 2008.
- [Beaubouef et al. 2007] T. Beaubouef, F. E. Petry and R. Ladner, “Spatial Data Methods and Vague Regions : A Rough Set Approach”, In Applied Soft Computing Vol. 7, Issue. 1, PP. 425-440, 2007.

- [Bedel 2009] O. Bedel, "GEOLIS : Un Système d'Information Logique pour l'Organisation et la Recherche de Données Géo Localisées", PhD Thesis, Thèse de l'université de Rennes 1, Équipe LIS – IRISA, 22 Janvier 2009. <ftp://ftp.irisa.fr/techreports/theses/2009/bedel.pdf>
- [Behr et al. 2001] T. Behr and M. Schneider, "Topological Relationships of Complex Points and Complex Regions", In Proceedings of the 20th International Conference on Conceptual Modeling, LNCS, Vol. 2224, PP. 56-69, 2001.
- [Bejaoui et al. 2008] L. Bejaoui, Y. Bedard, F. Pinet and M. Schneider, "Fuzzy Spatial Objects and Their Topological Relations", In CiteSeerX - Scientific Literature Digital Library and Search Engine (United States), 2008. http://sirs.scg.ulaval.ca/YvanBedard/reserve/download/article/501_soumis.pdf
- [Beyen et al. 1998] J. Beyen and J. Henrion, "Updating Topographic Databases with ARCINFO: Client-Fitted Creation of Change-Only Information", In D. Fritsch, M. Englich and M. Sester (Eds.), "GIS-Between Visions and Applications", ISPRS Symposium, IAPRS, Commission IV, Vol. 32, Part. 4, PP. 59-64, 1998.
- [Bezdek et al. 1984] J.C. Bezdek, R. Ehrlich and W. Full, "FCM: the Fuzzy C-Means Clustering Algorithm", In Computers and Geosciences, Vol. 10, PP. 191-203, 1984.
- [Billen et al. 2009] R. Billen and N. Van de Weghe, "Qualitative Spatial Reasoning", In N. Thrift and R. Kitchin (Eds.) "International Encyclopedia of Human Geography", PP. 12-18, 2009. Publisher : Elsevier, Science Direct.
- [Billen et al. 2008] R. Billen and Y. Kurata, "Refining Topological Relations between Regions Considering Their Shapes", In Proceedings of the 5th International Conference on Geographic Information Science (GIScience2008), In T. J. Cova et al. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin, Vol. 5266, PP. 20-37, 2008.
- [Billen et al. 2002] R. Billen, S. Zlatanova, P. Mathonet and F. Boniver, "The Dimensional Model: A Framework to Distinguish Spatial Relationships", In Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa 2002, In D. Richardson and P. Van Oosterom (Eds.), "Advances in Spatial Data Handling", PP. 285-298, 2002.
- [Blaschke et al. 2008] T. Blaschke, S. Lang and G. J. Hay, "Object-Based Image Analysis Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications", In Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Series Editors : William Cartwright, Georg Gartner, Liqiu Meng, Michael P. Peterson, 2008.
- [Blaschke 2005] T. Blaschke, "Toward a Framework for Change Detection Based on Image Objects", In Erasmi, S., Cyffka, B., Kappas, M. (Eds.), "Remote Sensing & GIS for Environmental Studies", Göttinger Geographische Abhandlungen, Göttingen, Vol. 113, PP. 1-9, 2005. http://www.ecognition.com/sites/default/files/281_ggrs2004_blaschke_g001.pdf
- [Bloch et al. 2005] I. Bloch, "Fuzzy Spatial Relationships for Image Processing and Interpretation : A Review", In Image and Vision Computing, Vol. 23, PP. 89-110, 2005.
- [Bouziani et al. 2009] M. Bouziani, K. Goïta and D.-C. Heb, "Automatic Change Detection of Buildings in Urban Environment from Very High Spatial Resolution Images using Existing Geodatabase and Prior Knowledge", In ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Vol. 65, PP. 143-153, 2009.
- [Bredon 1983] E. G. Bredon, "Topology and Geometry", In Springer, 1st Edition, Berlin, 1983.
- [Brennan et al. 1998] J. Brennan and A. Sowmya, "Satellite Image Interpretation Using Spatial Reasoning", In Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Vol. 1, Sydney Australia, 20-24 July 1998. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.39.6506>

- [Bruns et al. 1996] H. T. Bruns and M. J. Egenhofer, "Similarity of Spatial Scenes", In J.-M. Kraak and M. Molenaar (Eds.), the 7th Symposium on Spatial Data Handling, PP. 173-184, 1996.
- [Bruzzone et al. 2000] L. Bruzzone and D. F. Prieto, "Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection", In IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 38, N° 3, PP. 1171-1182, 2000.
- [Busch 1998] A. Busch, "Revision of Built-Up Areas in a GIS Using Satellite Imagery and GIS Data", In D. Fritsch, M. English and M. Sester (Eds.), "GIS-Between Visions and Applications", ISPRS Symposium, Commission IV, IAPRS, Vol. 32, Part. 4, PP. 1-8, Stuttgart, Germany, 1998.
- [Busch et al. 2004] A. Busch, M. Gerke, D. Grünreich, C. Heipke, C.-E. Liedtke and S. Müller, "Automated Verification of a Topographic Reference Dataset: System Design and Practical Results", In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Part. B2, PP. 735-740, 2004.
- [Busch et al. 2006] A. Busch, M. Gerke, D. Grünreich, C. Heipke, P. Helmholz, C.-E. Liedtke and S. Müller, "Automated Verification of a Topographic Dataset Using IKONOS Imagery". International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, Part. 4, PP. 134-139, 2006.

[C]

- [Champion 2007] N. Champion, "2D Building Change Detection from High Resolution Aerial Images and Correlation Digital Surface Models", In U. Stilla (Eds.), "Photogrammetric Image Analysis, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", PIA'07, Vol. 36, Part. 3/W49A, PP. 197-202, 2007. http://www.pf.bv.tum.de/isprs/pia07/publ/PIA07_Champion.pdf
- [Chang 1968] C. L. Chang, "Fuzzy Topological Spaces", In Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol. 24, PP. 182-190, 1968.
- [Cheng et al. 1997] T. Cheng, M. Molenaar and T. Bouloucos, "Identification of Fuzzy Objects from Field Observation Data", In "Spatial Information Theory : A Theoretical Basis for GIS", LNCS, Vol. 1329, PP.241-259, 1997, Publisher : Springer-Verlag, Berlin.
- [Cheng et al. 1998] T. Cheng and M. Molenaar, "The Identification and Monitoring of Objects with Fuzzy Spatial Extent", In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, PP. 207-212, 1998.
- [Cheng et al. 1999] T. Cheng and M. Molenaar, "Objects with Fuzzy Spatial Extent", In Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 65, PP. 797-801, 1999.
- [Cheng et al. 2000] T. Cheng, "Fuzzy Spatial Objects and Their Dynamics", In ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 55, PP. 164-175, 2000.
- [Cheng et al. 2001] T. Cheng, M. Molenaar and H. Lin, "Formalizing Fuzzy Objects from Uncertain Classification Results", In International Journal of Geographical Information Science, Vol. 15, PP. 27-42, 2001.
- [Cheng 2002] T. Cheng, "Fuzzy Objects : Their Changes and Uncertainties", In The Journal of the American Society for Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 2, N° 1, PP. 41-49, 2002.
- [Cheng et al. 2004] T. Cheng, P. Fisher and Z. Li, "Double Vagueness : Uncertainty in Multi-Scale Fuzzy Assignments of Duneness", In The Revue of Geo-Spatial Information Science, Springer, Vol. 7, N° 1, PP. 58-66, 2004.

- [Chen et al. 2007] J. Chen, X. Zhou and Z. Li, "Event-Driven Incremental Updating of Cadastral Spatial Database Considering Topological Integrity", In ISPRS Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs, PP. 185-196, 2007. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/4-W54/papers/185-195%20Jun%20Chen.pdf>
- [Chen et al. 2001] J. Chen, C. Li, Z. L. Li and C. Gold, "A Voronoi-Based 9-Intersection Model for Spatial Relations", In International Journal of Geographical Information Science, Vol. 15, N° 3, PP. 201-220, 2001.
- [Chen et al. 1998] J. Chen, Z. Li, C. Li and C. M. Gold, "Describing Topological Relations with Voronoi-Based 9-Intersection Model", In D. Fritsch, M. Englich and M. Sester (Eds.), "GIS-Between Visions and Applications", ISPRS Symposium, Commission IV, IAPRS, Vol. 32, Part. 4, PP. 99-104, 1998.
- [Claramunt et al. 1999] C. Claramunt, C. Parent, S. Spaccapietra and M. Thériault, "Database Modelling for Environmental and Land Use Changes", Chapter 10 In "Geographical Information and Planning : European Perspectives", S. Geertman, S. Openshaw and J. Stillwell (Eds.), PP. 181-202, 1999. Publisher : Springer-Verlag. <http://christophe.claramunt.free.fr/images/papers/GISPlanning.zip>
- [Claramunt et al. 1997] C. Claramunt, M. Thériault and C. Parent, "A Qualitative Representation of Evolving Spatial Entities in Two-dimensional Topological Spaces", In Innovations in GIS V, Carver, S. Ed., Taylor & Francis, PP. 119-129, 1997. <http://christophe.claramunt.free.fr/images/papers/Innov5.zip>
- [Claramunt et al. 1995] C. Claramunt and M. Thériault, "Managing Time in GIS : An Event Oriented Approach", In Proceedings of the International Workshop on Temporal Databases: Recent Advances in Temporal Databases, PP. 23-42, 1995. <http://christophe.claramunt.free.fr/images/papers/TimeZurich.zip>
- [Clementini 2008] E. Clementini, "Objects with Broad Boundaries", In "Encyclopedia of GIS", S. Shekhar and H. Xiong (Eds.), PP. 793-799, 2008. Publisher : Springer, US.
- [Clementini et al. 1996] E. Clementini and P. Di Felice, "An Algebraic Model for Spatial Objects with Indeterminate Boundaries", In "Geographic Objects with Indeterminate Boundaries", P. Burrough, A. Frank (Eds.), PP. 155-169, 1996. Publisher : Taylor & Francis.
- [Clementini et al. 1995] E. Clementini and P. Di Felice, "A Comparison of Methods for Representing Topological Relationships", In International Journal of Information Sciences-Applications, Vol. 3, Issue. 3, PP. 149 - 178, 1995.
- [Clementini et al. 1994] E. Clementini, J. Sharma and M.J. Egenhofer, "Modeling Topological Spatial Relations : Strategies for Query Processing", In Journal of Computers and Graphics, Vol. 18, N° 6, PP. 815-822, 1994.
- [Clementini et al. 1993a] E. Clementini, P. Di Felice and P. Van Oosterom, "A Small Set of Formal Topological Relationships Suitable for End-User Interaction", In D. Abel and B. C. Ooi (Eds.), Advances in Spatial Databases, Lecture Note of Computer Science 692, Springer-Verlag, Singapore, PP. 277-295, 1993.
- [Clementini et al. 1993b] E. Clementini and P. Di Felice, "An Object Calculus for Geographic Databases", In Proceedings of the Symposium on Applied Computing : States of the Art and Practice (ACM-SAC-SIGAPP), PP. 302-308, 1993, USA.

- [Cohn et al. 1994] A. G. Cohn and N. M. Gotts, "Spatial Regions with Undetermined Boundaries", In Topological Foundations of Cognitive Science, Paper on the Workshop at the 1st international Summer Institute in Cognitive Science, CiteSeerX - Scientific Literature Digital Library and Search Engine <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.35.138>
- [Cohn et al. 1995] A. G. Cohn and N. M. Gotts, "The Egg-Yolk Representation of Regions with Indeterminate Boundaries", In CiteSeerX - Scientific Literature Digital Library and Search Engine, PP. 171-187, 1995. Publisher : Francis Taylor. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.30.1000>
- [Cohn et al. 1997a] A. G. Cohn, B. Bennett, J. Gooday and M. M. Gotts, "Qualitative Spatial Representation and Reasoning with the Region Connection Calculus", In GeoInformatica, Vol. 1, PP. 275-316, 1997.
- [Cohn et al. 1997b] A. G. Cohn, B. Bennett, J. Gooday and N. M. Gotts, "4 : Representing and Reasoning with Qualitative Spatial Relations about Regions", In O. Stock (Eds.), "Spatial and Temporal Reasoning", PP. 97-134, 1997. Publisher : Kluwer Academic.
- [Cohn 2008] A. G. Cohn, "Representing Regions with Indeterminate Boundaries", In "Encyclopedia of GIS", S. Shekhar and H. Xiong (Eds.), PP. 957-960, 2008. Publisher : Springer, US.
- [Coppin et al. 2004] P. Coppin, I. Jonckheere, K. Nackaerts and B. Muys, "Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring : A Review", In International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, N°. 9, PP. 1565-1596, 2004.
- [Coppin et al. 1996] P. Coppin and M. Bauer, "Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Digital Imagery", In Remote Sensing Reviews, International Journal of Remote Sensing, Vol. 13, Issue. 3 & 4 , PP. 207-234, 1996.
- [Crispi et al. 2009] A.T. Crispi, H. Sahli, M.O. Monteagudo, D. H. Pacheco and A. F. Ruiz, "Chapter XXVII : Anomaly Detection in Medical Image Analysis", In T.P. Exarchos et al. (Eds.), Handbook of Research on Advanced Techniques in Diagnostic Imaging and Biomedical Applications, PP. 426- 446, 2009. Publisher : IGI Global, Medical Information Science Reference.
- [Cui et al. 1993] Z. Cui, A. G. Cohn and D. A. Randelle, "Qualitative and Topological Relationships in Spatial Databases", In Proceedings of the Third Symposium on Large Spatial Databases - Lecture Notes in Computer Science, Vol. 692, PP. 296-315, 1992.

[D]

- [Deer 1998] P. J. Deer, "Digital Change Detection in Remotely Sensed Imagery Using Fuzzy Set Theory", Ph.D. Thesis, In Computer Science Department, The University of Adelaide, Australia, 1998.
- [Dekker et al. 2009] R. Dekker, C. Kuenzer, M. Lehner, P. Reinartz, I. Niemeyer, S. Nussbaum, V. Lacroix, V. Sequeira, E. Stringa and E. Schöpfer, "Chapter 9 : Change Detection Tools", In B. Jasani, M. Pesaresi, S. Schneiderbauer and G. Zeug (Eds.), "Remote Sensing from Space, Supporting International Peace and Security", PP. 119-140, 2009. Publisher : Springer Science.
- [Del Mondo et al. 2010] G. Del Mondo, J. G. Stell, C. Claramunt and R. Thibaud, "A Graph Model for Spatio-Temporal Evolution", In Journal of Universal Computer Science, Special Issue on Advances on Spatial and Temporal Reasoning, Vol. 16, N°.11, PP. 1452-1477, 2010. http://www.jucs.org/jucs_16_11/a_graph_model_for

- [Deng 2008] M. Deng, "A Hierarchical Representation of Line-Region Topological Relations", In the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part. B2, PP. 25-30, 2008.
- [Deng et al. 2007a] M. Deng, T. Cheng, X. Chen and Z. Li, "Multi-Level Topological Relations Between Spatial Regions Based Upon Topological Invariants", In *GeoInformatica*, Springer Science, Vol. 11, N° 2, PP. 239-267, 2007.
- [Deng et al. 2007b] M. Deng, Z. Li, G. Li and X. Zhang, "The Four Intersection-and-Difference Model for Line-Line Topological Relations", In *Geo-Spatial Information Science*, Vol. 10, Issue. 4, PP. 293-298, 2007.
- [Deng et al. 2004] M. Deng, X. Chen, M. Kusanagi and H. N. Phien, "Reasoning of Topological Relations between Imprecise Regions", In *Geographic Information Sciences*, Vol. 10, N° 1, PP. 73-81, 2004.
- [Domínguez et al. 2009] J. Domínguez and I. Pinedo-Pascua, "GIS Tool for Rural Electrification with Renewable Energies in Latin America", In *International Conference on Advanced Geographic Information Systems & Web Services (GEOWS'2009)*, IEEE, PP. 171-176, 2009.
- [Dowman 1998] I. Dowman, "Automated Procedures for Integration of Satellite Images and Map Data for Change Detection: The ARCHANGEL Project", In D. Fritsch, M. Englich and M. Sester (Eds.), "GIS-Between Visions and Applications", *ISPRS Symposium, Commission IV, IAPRS*, Vol. 32, Part. 4, PP. 162-169, 1998.
- [Du et al. 2008a] S. Du, Q. Qin, Q. Wang and H. Ma, "Reasoning about Topological Relations between Regions with Broad Boundaries", In *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 47, N° 2, PP. 219-232, 2008.
- [Du et al. 2008b] S. Du, L. Guo, Q. Wang and Q. Qin, "Efficiently Computing and Deriving Topological Relation Matrices between Complex Regions with Broad Boundaries", In *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 63, N° 2, PP. 593-609, 2008.
- [Duckham et al. 2006] M. Duckham, J. Lingham, K. Mason and M. Worboys, "Qualitative Reasoning about Consistency in Geographic Information", In *Information Sciences*, Vol. 176, PP. 601-627, 2006.
- [Duckham et al. 2010] M. Duckham, J. G. Stell, M. Vasardani and M. F. Worboys, "Qualitative Change to 3-Valued Regions", In *GIScience*, PP. 249-263, 2010.

[E]

- [Egenhofer 1989] M. J. Egenhofer, "A Formal Definition of Binary Topological Relationships", In *Third International Conference on Foundations of Data Organization and Algorithms (FODO)*, Paris, France, W. Litwin and H. Schek (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Vol. 367, PP. 457-472, 1989.
- [Egenhofer et al. 1990] M. J. Egenhofer and J. Herring, "A Mathematical Framework for the Definition of Topological Relationships", In *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling*, PP. 803-813, 1990. <http://www.spatial.maine.edu/~max/MJEJRH-SDH1990.pdf>
- [Egenhofer 1991] M. J. Egenhofer, "Topology and Reasoning: Reasoning about Binary Topological Relations", In *Second Symposium on Large Spatial Databases*, In O. Gunther and H.-J. Schek (Eds.), *LNCS in Advances in Spatial Databases*, Springer-Verlag, Vol. 525, PP. 141-160, 1991.

- [Egenhofer et al. 1991a] M. J. Egenhofer and R. Franzosa, "Point-Set Topological Spatial Relations", In *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 5, N°. 2, PP. 161-174, 1991.
- [Egenhofer et al. 1991b] M. J. Egenhofer and J. Herring, "Categorizing Binary Topological Relationships between Regions, Lines, and Points in Geographic Databases", In *Technical Report*, Department of Surveying Engineering, University of Maine, Oronoi, PP. 1-29, 1991. <http://www.spatial.maine.edu/~max/9intReport.pdf>
- [Egenhofer et al. 1992] M. J. Egenhofer and K. Al-Taha, "Reasoning about Gradual Changes of Topological Relationships", In A. Frank, I. Campari and U. Formentini (Eds.), "Theory and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Vol. 639, PP. 196-219, 1992.
- [Egenhofer 1993] M. J. Egenhofer, "A Model for Detailed Binary Topological Relationships", In *International Journal of Geomatica*, Vol. 47, N°. 3 & 4, PP. 261-273, 1993.
- [Egenhofer et al. 1993a] M. J. Egenhofer and J. Sharma, "Topological Relations Between Regions in R2 and Z2", In *Advances in Spatial Databases-Third International Symposium on Large Spatial Databases, SSD'93*, Singapore, D. Abel and B. C. Ooi (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Vol. 692, PP. 316-336, 1993.
- [Egenhofer et al. 1993b] M. J. Egenhofer, J. Sharma and D. M. Mark, "A Critical Comparison of the 4-Intersection and 9-Intersection Models for Spatial Relations: Formal Analysis", In *Autocarto 11*, R. McMaster and M. Armstrong (Eds.), Minneapolis, MN, October 1993. <http://www.spatial.maine.edu/~max/CP24.html>
- [Egenhofer 1994] M. J. Egenhofer, "Deriving the Composition of Binary Topological Relations", In *Journal of Visual Languages and Computing*, Vol. 5, N°. 2, PP. 133-149, 1994.
- [Egenhofer et al. 1994] M. J. Egenhofer, E. Clementini and P. D. Felice, "Topological Relations between Regions with Holes", In *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol. 8, N°. 2, PP. 129-144, 1994.
- [Egenhofer et al. 1995] M. J. Egenhofer and R. Franzosa, "On the Equivalence of Topological Relations", In *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 9, N°. 2, PP. 133-152, 1995.
- [Egenhofer 1997] M. J. Egenhofer, "Query Processing in Spatial-Query-by-Sketch", In *Journal of Visual Languages and Computing*, Vol. 8, N°. 4, PP. 403-424, 1997.
- [Egenhofer et al. 2006] M. J. Egenhofer and D. Wilmsen, "Changes in Topological Relations when Splitting and Merging Regions", In *12th International Symposium on Spatial Data Handling*, Vienna, Austria, A. Riedl, W. Kainz, and G. Elmes (Eds.), PP. 339-352, 2006. Publisher : Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <http://www.spatial.maine.edu/~max/mergingSplitting.pdf>
- [El-Geresy et al. 2004] B. A. El-Geresy and A. I. Abdelmoty, "SPARQS : A Qualitative Spatial Reasoning Engine", In *International Journal on Knowledge-Based Systems (KBS)*, Elsevier, Vol. 17, PP. 89-102, 2004.
- [El-Kwae et al. 1999] E.A. El-Kwae and M. R. Kabuka, "A Robust Framework for Content-Based Retrieval by Spatial Similarity in Image Databases", In *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 17, N°. 2, PP. 174-198, April 1999.
- [Erwig et al. 1997] M. Erwig and M. Schneider, "Vague Regions", In the *5th International Symposium on Advances in Spatial Databases (SSD'97)*, LNCS, Vol. 1262, PP. 298-320, 1997.
- [ESRI 2003] ESRI, "ArcGIS™ : Working With Geodatabase Topology", In an ESRI White Paper, May 2003. <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/geodatabase-topology.pdf>

[ESRI France 2004] ESRI France, “Règles de Topologie de Géodatabase ArcGIS 9.3”, 2004. <http://www.arcopole.fr/LinkClick.aspx?fileticket=XfKHMXED6%2Bk%3D&tabid=61>

[ESRI 2005] ESRI, “GIS Topology”, In an ESRI White Paper, July 2005. http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/gis_topology.pdf

[ESRI 2010] ESRI , The GIS Software Leader, 2010. <http://www.esri.com/>

[F]

[Farah et al. 2008] C. Farah, C. Zhong, M. Worboys and S. Nittel, “Detecting Topological Change Using a Wireless Sensor Network”, In GIScience 2008, T.J. Cova et al. (Eds.), LNCS, Vol. 5266, PP. 55-69, 2008. Publisher : Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[Feranec et al. 2007] J. Feranec, G. Hazeu, S. Christensen and G. Jaffrain, “Corine Land Cover Change Detection in Europe (Case Studies of the Netherlands and Slovakia)”, In Land Use Policy, Science Direct, Vol. 24, Issue. 1, PP. 234-247, 2007.

[Frauman et al. 2006] E. Frauman and E. Wolff, “Change Detection in Urban Areas Using Very High Resolution Satellite Images : Case Study in Brussels”, In the First EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing, PP. 1-21, Berlin, 2006. http://www2.hu-berlin.de/hu-geomatics/projects/earsel/CD_content/PDF/Poster1_Frauman.pdf

[G]

[Galton 1997] A. Galton, “Continuous Change in Spatial Region”, In COSIT, PP. 1-13, 1997.

[Galton 2009] A. Galton, “Spatial and Temporal Knowledge Representation”, In Earth Science Informatics, Vol. 2, N°. 3, PP. 169-187, 2009. Publisher: Springer.

[Gao 2009a] J. Gao, “Chapter 13 : Multi-Temporal Image Analysis”, In J. Gao (Eds), “Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery”, PP. 525-566, 2009. Publisher : The McGraw-Hill Companies.

[Gao 2009b] J. Gao, “Chapter 14 : Integrated Image Analysis”, In J. Gao (Eds.), “Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery”, PP. 567-617, 2009. Publisher : The McGraw-Hill Companies.

[Gao et al. 2005] Z. Gao, Y. Liu, Y. Zhou and S. Qin, “Study of Topological Relations between Vague Regions in Discrete Space Based on Rough Sets”, In Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2005), IEEE, ISBN : 0-7803-9050-4, 2005.

[Gautama et al. 2006] S. Gautama, J. D'Haeyer and W. Philips, “Graph-Based Change Detection in Geographic Information using VHR Satellite Images”, In International Journal of Remote Sensing, Vol. 27, Issue. 9, PP. 1809-1824, 2006.

[Ghazal et al. 2010] M. Ghazal and F. Sèdes, “Système de Recherche d'Informations Spatiales Basé sur le Croquis à Main Levée”, Conférence en Recherche d'Informations et Applications (CORIA), PP. 337-348, 2010.

[Ghazal et al. 2009] M. Ghazal and F. Sèdes, “Remodelling Geographic Data to Facilitate the Interrogation by Sketch”, In IEEE International Conference on Signal-Image Technologies & Internet-based Systems (SITIS), Maroc, November 2009.

[Gooday et al. 1997] J. Gooday and A. Galton, “The Transition Calculus: A High-Level Formalism for Reasoning about Action and Change”, In Journal of Theoretical and Experimental Artificial Intelligence, Vol. 9, N°.1, PP. 51-66, 1997.

- [Grigni et al. 1995] M. Grigni, D. Papadias and C. Papadimitriou, “Topological Inference”, In Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '95), Vol. 1, PP. 901-907, 1995.
- [Guo et al. 2003] P. Guo, H.-F. Tao and Y. Luo, “Research on the Relationship between 4-Intersection and Classifying Invariant Based on the Simple Regions”, In Proceeding of International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE Xplore Digital Library, Vol. 3, PP. 1642-1647, 2003.
- [Gusella et al. 2005] L. Gusella, B. J. Adams, G. Bitelli and C. K. Huyck, “Object-Oriented Image Understanding and Post-Earthquake Damage Assessment for the 2003 Bam, Iran, Earthquake”, In Earthquake Spectra, Vol. 21, N°. S1, PP. S225-S238, December 2005.

[H]

- [Hall et al. 2003] O. Hall and G. Hay, “A Multiscale Object-Specific Approach to Digital Change Detection”, In International Journal of Applied Earth Observation and GeoInformation, Vol. 4, Issue. 4, PP. 311-327, 2003.
- [Hazarika 2005] S. M. Hazarika, “Qualitative Spatial Change : Space-Time Histories and Continuity”, In Ph. D Thesis, The University of Leeds, School of Computing, 2005, <http://www.comp.leeds.ac.uk/research/pubs/theses/hazarika.pdf>
- [Heipke et al. 2008] C. Heipke, P. A. Woodsford and M. Gerke, “Chapetr 26: Updating Geospatial Databases from Images”, In Z. Li, J. Chen and E. Baltsavias (Eds.) “Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, ISPRS Congress Book, PP. 355-362, 2008. Publisher : Taylor & Francis Group, London.
- [Helmholz et al. 2007] P. Helmholz, C. Becker, C. Heipke, S. Müller, J. Ostermann, M. Pahl and M. Ziems, “Semi-Automatic Verification of Geodata for Quality Management and Updating of GIS”, In ISPRS Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs, PP. 9-13, 2007. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/4-W54/papers/9-13%20P.%20Helmholz.pdf>
- [Hester et al. 2010] D. B. Hester, S. A. C. Nelson, H. I. Cakir, S. Khorram and H. Cheshire, “High-resolution Land Cover Change Detection Based on Fuzzy Uncertainty Analysis and Change Reasoning”, In Journal of Remote Sensing, Vol. 31, N°.2, PP. 455-475, 2010.
- [Hodé et al. 2007] Y. Hodé and A. Deruyver, “Qualitative Spatial Relationships for Image Interpretation by Using Semantic Graph”, In F. Escolano and M. Vento (Eds.), “Graph-Based Representations in Pattern Recognition”, GbRPR 2007, LNCS Vol. 4538, PP. 240-250, 2007. Publisher : Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [Hornsby et al. 1997] K. Hornsby and M. J. Egenhofer, “Qualitative Representation of Change”, In S. Hirtle, A. Frank (Eds.), “Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS”, Proceedings of the International Conference (COSIT '97), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1329, PP. 15-33, 1997. Publisher: Springer-Verlag.
- [Hornsby et al. 2000] K. Hornsby and M. J. Egenhofer, “Identity-Based Change: A Foundation for Spatio-Temporal Knowledge Representation”, In International Journal of Geographical Information Science, Vol. 14, PP. 207-224, 2000.
- [Hornsby et al. 2002] K. Hornsby and M. J. Egenhofer, “Modeling Moving Objects over Multiple Granularities”, In Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, Vol. 36, N°.1-2, PP.177-194, 2002.

[I]

- [Im et al. 2007]** J. Im, J. Rhee, J. R. Jensen and M. E. Hodgson, “An Automated Binary Change Detection Model Using a Calibration Approach”, In *Journal of Remote Sensing of Environment*, Vol. 106, Issue. 1, PP. 89-105, 2007. Publisher : Science Direct, Elsevier.
- [Inglada et al. 2009]** J. Inglada and J. Michel, “Qualitative Spatial Reasoning for High-Resolution Remote Sensing Image Analysis”, In *IEEE Transactions on GeoScience and Remote Sensing*, Vol. 47, N°. 2, PP. 599-612, 2009.

[J]

- [Jiang 2009]** J. Jiang, “Specifying and Detecting Topological Changes to an Areal Object”, Ph.D. Dissertation, University of Maine, 2009. <http://130.111.64.156/theses/pdf/JiangJ2009.pdf>
- [Jiang et al. 2009b]** J. Jiang, M. Worboys and S. Nittel, “Qualitative Change Detection Using Sensor Networks Based on Connectivity Information”, In *GeoInformatica Journal*, PP.1-24, 2009. http://www.spatial.maine.edu/~worboys/SensorProj/TR_2.pdf
- [Jiang et al. 2009c]** J. Jiang and M. Worboys, “Event-Based Topology for Dynamic Planar Areal Objects”, In *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 23 , Issue. 1, PP. 33-60, 2009. Publisher : Taylor & Francis.
- [Jiang et al. 2009d]** J. Jiang and M. Worboys, “Preliminaries for Topological Change Detection Using Sensor Networks”, In *GeoSensor Networks (GSN)*, N. Trigoni, A. Markham, and S. Nawaz (Eds.), LNCS, Vol. 5659, PP. 112-121, 2009. Publisher : Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [Jiang et al. 2008]** J. Jiang and M. Worboys, “Detecting Basic Topological Changes in Sensor Networks by Local Aggregation”, In *16th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS 2008)*, Session : Geo-Sensing, Irvine, California, USA, 2008. <http://www.spatial.maine.edu/~jixiang.jiang/acmgisppt.pdf>
- [Jianya et al. 2008a]** G. Jianya, S. Haigang, S. Kaimin, M. Guorui and L. Junyi, “Object-Level Change Detection Based on Full-Scale Image Segmentation and its Application to Wenchuan Earthquake”, In *Science in China Series E : Technological Sciences*, Vol. 51, Supp. II, PP. 110-122, December 2008. Publisher : Springer.
- [Jianya et al. 2008b]** G. Jianya, S. Haigang, M. Guorui and Z. Qiming, “A Review of Multi-Temporal Remote Sensing Data Change Detection Algorithms”, In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Commission VII, WG VII/5 , Vol. XXXVII, Part. B7, PP. 757-762, 2008.
- [Jinghui et al. 2005]** D. Jinghui, P. Veronique and L. Hanqing, “Building Change Analysis Between GIS Data and Satellite Image”, In *Proceedings of International Symposium in GeoScience and Remote Sensing (IGARSS '05)*, IEEE, Vol. 6, PP. 3975-3978, 2005.
- [Jouili et al. 2008]** S. Jouili, and S. Tabbone, “Applications des Graphes en Traitement d'Images”, In *International Conference on Relations, Orders and Graphs : Interaction with Computer Science -ROGICS'08*, PP. 434 - 442, 2008.

[K]

- [Kaynig et al. 2008]** V. Kaynig, B. Fischer and J.M. Buhmann, “Probabilistic Image Registration and Anomaly Detection by Nonlinear Warping”, In *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, ISBN : 978 -1- 4244 - 2242 - 5, 2008. <http://mplab.ucsd.edu/wp-content/uploads/CVPR2008/Conference/data/papers/403.pdf>

- [Konecny 2003] G. Konecny, "Chapter 4: Geographic Information Systems", In G. Konecny (Eds.), "Geoinformation: Remote sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems", PP. 183-224, 2003. Publisher : Taylor & Francis.
- [Kremenova et al. 2004] O. Kremenova and R. Sunila, "Fuzzy Applications for Geographical Information Science : Uncertainty in Soil Maps", In Proceedings of Fuzziness, Finland, 2004. http://users.tkk.fi/rsunila/Fuzziness2004_Kremenova_Sunila.pdf
- [Kurata 2008] Y. Kurata, "The 9⁺-Intersection: A Universal Framework for Modeling Topological Relations", In Proceedings of the 5th International Conference on Geographic Information Science (GIScience2008), In T. J. Cova et al. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol. 5266, PP. 181-198, 2008.
- [L]**
- [Lacroix et al. 2006] V. Lacroix, M. Idrissa, A. Hincq, H. Bruynseels and O. Swartenbroekx, "Detecting Urbanization Changes Using SPOT5", In Pattern Recognition Letters in Remote Sensing (PRRS 2006), Vol. 27, Issue. 4, PP. 226-233, 2006.
- [Leyk et al. 2005] S. Leyk, R. Boesch and R. Weibel, "A Conceptual Framework for Uncertainty Investigation in Map-based Land Cover Change Modelling", In Transactions in GIS, Vol. 9, N°.3, PP. 291-322, 2005.
- [Li et al. 2002] D. Li, H. Sui and P. Xiao, "Automatic Change Detection of Geo-Spatial Data from Imagery", In ISPRS Symposium on "Integrated System for Spatial Data Production, Custodian and Decision Support", Commission II, IC WG II/IV, Vol. XXXIV, Part. 2, PP. 245-251, 2002. http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part2/paper/043_023.pdf
- [Li et al. 2002a] Z. Li, R. Zhao and J. Chen, "A Voronoi-Based Spatial Algebra for Spatial Relations", In Progress in Natural Science, Vol. 12, N°.7, PP. 528-536, 2002. http://pub.nsf.gov.cn/pins_en/abstract/12/7/528.htm
- [Li et al. 1998] J. Z. Li, M. T. Özsu and M. Tamer, "Point-Set Topological Relations Processing In Image Databases", In the First International Forum on Multimedia and Image Processing, 1998. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.31.8553>
- [Li 2007] S. Li, "Combining Topological and Directional Information for Spatial Reasoning", In Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI2007), PP. 435-440, 2007.
- [Liu et al. 2009] K. Liu and W. Shi, "Quantitative Fuzzy Topological Relations of Spatial Objects by Induced Fuzzy Topology", In International Journal of Applied Earth Observation and GeoInformation, Vol. 11, PP. 38-45, 2009.
- [Liu et al. 2008] Y. Liu, Q. Guo and M. Kelly, "A Framework of Region-Based Spatial Relations for Non-Overlapping Features and its Application in Object Based Image Analysis", In ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 63, PP. 461-475, 2008.
- [Liu et al. 2007] K. Liu and W. Shi, "Extended Model of Topological Relations between Spatial Objects in Geographic Information Systems", In International Journal of Applied Earth Observation and GeoInformation, Vol. 9, PP. 264-275, 2007.
- [Lizarazo 2006] I. Lizarazo, "Urban Land Cover and Land Use Classification Using High Spatial Resolution Images and Spatial Metrics", In Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover, PP. 292-298, 28-30 September 2006.
- [Lizarazo et al. 2008] I. Lizarazo and P. Elsner, "Fuzzy Regions for Handling Uncertainty in Remote Sensing Image Segmentation", In Proceeding of the International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2008), O. Gervasi et al. (Eds.), Part I, LNCS, Vol. 5072, PP. 724-739, 2008. Publisher : Springer -Verlag Berlin Heidelberg.

- [Lizarazo 2010] I. Lizarazo, “Fuzzy Image Regions for Quantitative Land Cover Analysis”, In Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA 2010), ISPRS WG IV “Landscape Modeling and Visualization”, Commission IV/4, Ghent University, Belgium, 2010. http://geobia.ugent.be/proceedings/papers%20proceedings/Lizarazo_ID_Fuzzy_image_Regions.pdf
- [Longley et al. 2005a] P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire and D. Rhind, “Analysis, Chapter 12: Cartography and Map Production”, In Longley et al. (Eds.), “Geographical Information Systems and Science 2nd Edition”, Part. IV, PP. 263-287, 2005. Publisher : John Wiley & Son, USA.
- [Longley et al. 2005b] P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire and D. Rhind, “Introduction, Chapter 2: A Gallery of Applications”, In Longley et al. (Eds.), “Geographical Information Systems and Science 2nd Edition”, Part. I, PP. 35-60, 2005. Publisher : John Wiley & Son, USA.
- [Lopez-Ornelas et al. 2005a] É. Lopez-Ornelas, F. Sèdes and G. Flouzat, “Une Approche Pour la Description et l'Interrogation d'Images Satellitaires à Très Haute Résolution Spatiale”, In Ingénierie des Systèmes d'Information, Vol. 10, N°. 4, PP. 119-137, 2005.
- [Lopez-Ornelas et al. 2005b] É. Lopez-Ornelas, F. Sèdes, G. Flouzat and F. Laporterie-Déjean, “Une Approche Objet Pour la Description des Images à Très Haute Résolution Spatiale et l'Extraction de Connaissances”, In Télédétection, Contemporary Publishing International, Vol. 5, N°. 1-2-3, PP. 261-273, 2005.
- [Lu et al. 2002] W. Lu and T. Doihara, “GIS Data Maintenance and Management with Spatio-Temporal Model”, In Geospatial Theory, Processing and Applications, ISPRS Commission IV, Symposium, Ottawa, Canada, July 9-12, 2002, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part4/pdfpapers/331.pdf>
- [Lu et al. 2004] D. Lu, P. Mausel, E. Brondizio and E. Moran, “Change Detection Techniques”, In International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, N°. 12, PP. 2365-2407, 2004. Publisher : Taylor & Francis.
- [Lucieer et al. 2005] A. Lucieer, P. Fisher and A. Stein, “Texture-Based Segmentation of Remotely Sensed Imagery to Identify Fuzzy Coastal Objects”, In “GeoDynamics”, P. Atkinson, G. Foody, S. Darby and F. Wu (Eds.), CRC Press LLC, PP. 87-102, 2005.

[M]

- [Mas 1999] J. F. Mas, “Monitoring Land-Cover Changes: A Comparison of Change Detection Techniques”, In International Journal of Remote Sensing, Vol. 20, N°. 1, PP. 139-152, 1999.
- [Matikainen et al. 2004] L. Matikainen, J. Hyypä and H. Kaartinen, “Automatic Detection of Changes from LASER Scanner and Aerial Image Data for Updating Building Maps”, In International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing (IAPRS), and Spatial Information Sciences, ISPRS Symposium, Commission II, Vol. 35, Part. 2, PP. 434-439, 2004. <http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm2/papers/168.pdf>
- [McInerney et al. 1996] T. McInerney and D. Terzopoulos, “Deformable Models in Medical Image Analysis : A Survey”, In Medical Image Analysis Journal, Vol. 1, PP. 91-108, 1996. <http://www.cs.ucla.edu/~dt/papers/mia96/mia96.pdf>
- [Moeller et al. 2006] M. Moeller and T. Blaschke, “Urban Change Extraction from High Resolution Satellite Image”, In International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing (IAPRS), and Spatial Information Sciences, ISPRS Technical Commission II Symposium, Vol. XXXVI, Part. 2, PP. 151-156, 2006.

[N]

- [Nedas et al. 2008] K. Nedas and M. J. Egenhofer, "Spatial-Scene Similarity Queries", In Transactions in GIS, Vol. 12, N^o.6, PP. 661-681, 2008.
- [Niemeyer et al. 2008] I. Niemeyer, P. R. Marpu and S. Nussbaum, "Chapter 2.5: Change Detection Using Object Features", In T. Blaschke, S. Lang and G. J. Hay (Eds.), "Object-Based Image Analysis : Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications", In Series Editors: W. Cartwright, G. Gartner, L. Meng and M. P. Peterson, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, PP. 185-201, 2008. Publisher: Springer-Verlag Berlin.
- [Nussbaum et al. 2007] S. Nussbaum and I. Niemeyer, "Automated Extraction of Change Information from MultiSpectral Satellite Imagery", In ESARDA Bulletin (The European Safeguards Research and Development Association), N^o. 36, PP. 19-25, July 2007. http://esarda2.jrc.it/db_proceeding/mfile/B_2007_036_04.pdf

[O]

- [OGC 2005] Open GIS Consortium (OGC) Inc., "OpenGIS® Implementation Specification for Geographic information - Simple Feature Access - Part 1: Common Architecture", In K. Ryden (Eds.), Reference number document OGC 05-126, Version 1.1.0, PP. 20-28. 2005.
- [OGC 1999] Open GIS Consortium (OGC) Inc., "OpenGIS® Simple Features Specification for SQL, Revision 1.1", In OpenGIS Project Document 99-049, Part. 2, PP. 12-20, 1999.
- [Olsen 2004] B. P. Olsen, "Automatic Change Detection for Validation of Digital Map Databases", In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS 2004), Vol. XXXIV, Part B2, 2004. <http://www.cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm2/papers/193.pdf>
- [Olsen et al. 2002] B. P. Olsen, T. Knudsen and P. Frederiksen, "Hybrid Raster/Vector Change Detection for Map Database Update", In Proceedings of "Dansk Selskab for Automatisk Genkendelse af Monstre" (DSAGM'2002), PP. 416-422, 2002. <http://geodesy.spacecenter.dk/~bpo/dsagm2002/dsagm2002paper.pdf>
- [OTB 2010] OTB Development Team, "Chapter 19: Change Detection", In "The ORFEO Tool Box Software Guide Updated for OTB-3.2", CNES (Centre National d'Études Spatiales de Toulouse - France), PP. 519-538, January 22, 2010. <http://www.orfeo-toolbox.org>
- [Ouma et al. 2008] Y. O. Ouma, S. S. Josaphat and R. Tateishi, "Multiscale Remote Sensing Data Segmentation and Post - Segmentation Change Detection Based on Logical Modeling : Theoretical Exposition and Experimental Results for Forestland Cover Change Analysis", In Journal of Computers & Geosciences, Vol. 34, Issue. 7, PP. 715-737, 2008. Publisher : Elsevier.

[P]

- [Pauly et al. 2005] A. Pauly and M. Schneider, "Topological Predicates between Vague Spatial Objects", In 9th International Symposium on Spatial and Temporal Databases (SSDT), LNCS, PP. 418-432, 2005. Publisher : Springer. <http://www.cise.ufl.edu/~apauly/files/PS05SSDT.pdf>
- [Pauly et al. 2008a] A. Pauly and M. Schneider, "Spatial Vagueness and Imprecision in Databases", In Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing (SAC'08), PP. 875-879, 2008.
- [Pauly et al. 2008b] A. Pauly and M. Schneider, "Vague Spatial Data Types", In "Encyclopedia of GIS", S. Shekhar and H. Xiong (Eds.), PP. 1213-1217, 2008. Publisher : Springer, US.

- [Petit et al. 2001] C. Petit and E. Lambin, "Integration of Multi-Source Remote Sensing Data for Land Cover Change Detection", In International Journal of Geographical Information Science, Vol. 15, N° 8, PP. 785-803, 2001.
- [Petrakis et al. 1997] E. Petrakis and C. Faloutsos, "Similarity Searching in Medical Image Databases", In IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 9, N° 3, PP. 435-447, June 1997.
- [Petzold et al. 1999] B. Petzold and V. Walter, "Revision of Topographic Databases by Satellite Images", In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS'1999), "Sensors and Mapping from Space 1999" of the Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4, 1999. <http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/petzold.pdf> (Dernière Consultation - le 12 Mars 2010)
- [Podestà et al. 2007] P. Podestà, B. Catania and A. Belussi, "Chapter 8: Using Qualitative Information in Query Processing Over MultiResolution Maps", In A. Belussi, B. Catania, E. Clementini and E. Ferrari (Eds.), "Spatial Data on the Web Modeling and Management", Partie. II, PP. 159-186, 2007. Publisher : Springer Berlin Heidelberg.
- [Poulain et al. 2009] V. Poulain, J. Inglada, M. Spigai, J-Y. Tourneret and P. Marthon, "Utilisation d'Images Satellites Haute Résolution Optique et Radar pour la Mise à Jour de Bases de Données Cartographiques", In Groupe de Recherche et d'Etudes du Traitement du Signal et des Images (GRETSI 2009), 2009. <http://hdl.handle.net/2042/28939>

[Q]

- [Qiu et al. 2004] Z. G. Qiu, S. T. Zhang, C. L. Zhang and J. Y. Fang, "Automatic Building Detection from High Resolution Images Based on Multiple Features", In International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing (IAPRS), and Spatial Information Sciences, ISPRS Symposium, Commission II, Vol. 35, Part. 2, PP. 616 -620, 2004. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm2/papers/201.pdf>

[R]

- [Ramirez 1998] J. R. Ramirez, "Revision of Geographic Data: A Framework", In D. Fritsch, M. Englich and M. Sester (Eds.), "GIS-Between Visions and Applications", ISPRS Symposium, Commission IV, IAPRS, Vol. 32, Part. 4, PP. 487-493, 1998.
- [Randell et al. 1992] D. A. Randell, Z. Cui and A. G. Cohn, "A Spatial Logic Based on Regions and Connection", In 3rd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, PP. 165-176, 1992. Publisher : Morgan Kaufmann.
- [Remolina et al. 2004] E. Remolina and B. Kuipers, "Towards a General Theory of Topological Maps", In Artificial Intelligence, Vol.152, Issue. 1, PP. 47-104, 2004.
- [Renz 2002] J. Renz, "4. The Region Connection Calculus", In J. Renz (Eds.), "Qualitative Spatial Reasoning with Topological Information", LNCS, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol. 2293, PP. 41-50, 2002.
- [Robinson et al. 2003] V. B. Robinson, "A Perspective on the Fundamentals of Fuzzy Sets and their Use in Geographic Information Systems", In Transactions in GIS, Vol. 7, N° 1, PP. 3-30, 2003.
- [Roy et al. 2001] A. J. Roy and J. G. Stell, "Spatial Relations between Indeterminate Regions", In International Journal of Approximate Reasoning, Vol. 27, Issue. 3, PP. 205-234, 2001.

[S]

- [Sadeq et al. 2008] M. J. Sadeq and M. Duckham, "Effect of Neighborhood on In-Network Processing in Sensor Networks", In GIScience2008, T.J. Cova et al. (Eds.), LNCS, Vol. 5266, PP. 133-150, 2008. Publisher : Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [Samadzadegan et al. 2004] F. Samadzadegan, R. A. Abbaspour and M. Hahn, "Automatic Change Detection of Geospatial Databases Based on A Decision-Level Fusion Technique", In International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing (IAPRS), and Spatial Information Sciences, ISPRS Symposium, Commission II, Vol. 35, Part. 2, PP. 489-491, 2004. <http://isprsserv.ifp.uni-stuttgart.de/congresses/istanbul2004/comm2/papers/178.pdf>
- [Schneider et al. 2006] M. Schneider and T. Behr, "Topological Relationships between Complex Spatial Objects", In ACM Transactions on Database Systems (TODS), Vol. 31, N°1, PP. 39-81, 2006.
- [Schöpfer et al. 2008] E. Schöpfer, S. Lang and F. Albrecht, "Chapter 8.4, Object-Fate Analysis: Spatial Relationships for the Assessment of Object Transition and Correspondence", In T. Blaschke, S. Lang and G. J. Hay (Eds.), "Object-Based Image Analysis Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications", Lecture Notes in GeoInformation and Cartography, PP. 785-801, 2008.
- [Schultz et al. 2006] C. P. L. Schultz, T. R. Clephane, H. W. Guesgen and R. Amor, "Utilization of Qualitative Spatial Reasoning in Geographic Information Systems", In 12th International Symposium on Spatial Data Handling, and In A. Riedl, W. Kainz and G. A. Eles (Eds.), LNCS in Progress in Spatial Data Handling, PP. 27-42, 2006.
- [Seelig et al. 2007] B. Seelig and J. Alfonso "Chapter 1: Application of GIS to Integrated Pest Management on U.S. Fish and Wildlife Service Land", In F. J. Pierce (Eds.), "GIS Applications in Agriculture", PP. 1-34, 2007. Publisher : Taylor & Francis Group.
- [Seixas et al. 1994] J. Seixas and J. Aparicio, "A Framework for Spatial Reasoning the Task of Image Interpretation", In EGIS Foundation, Fifth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Vol. 1, 1994. <http://libraries.maine.edu/Spatial/gisweb/spatdb/egis/eg94015.html>
- [Shamsi 2005] U. M. Shamsi, "Chapter 1: GIS Applications", In U. M. Shamsi (Eds) "GIS Applications for Water, WasteWater, and StromWater Systems", PP. 1-25, 2005. Publisher : Taylor & Francis Group.
- [Shi et al. 2000] Z. Shi and R. Shibasaki, "GIS Database Revision -- The Problems and Solutions", In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Group IC WG IV/III.2, Vol. XXXIII, Part. B2, PP. 494-501, 2000.
- [Shi et al. 2007] W. Shi and K. Liu, "A Fuzzy Topology for Computing the Interior, Boundary, and Exterior of Spatial Objects Quantitatively in GIS", In Computers & Geosciences, Elsevier, Vol. 33, PP. 898 - 915, 2007.
- [Shi et al. 2010] M. Shi and S. Winter, "Detecting Change in Snapshot Sequences", In GIScience2010, S.I. Fabrikant et al. (Eds.), LNCS, Vol. 6292, PP. 219-233, 2010. Publisher : Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [Skogan 2001] D. Skogan, "Managing Resolution in Multi-Resolution Databases", In Proceedings of the 8th Scandinavian Research Conference, PP.99-113, 2001. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.25.2283>
- [Singh 1989] A. Singh, "Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data", In International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, N° 6, PP. 989-1003, 1989.

- [Spaccapietra 2000] S. Spaccapietra, "Project MURMUR: Multi-Representations and Multiple-Resolutions in Geographic Databases", In IST Programme of the European Community, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et Laboratoire Bases de Données (LBD), Lausanne, 2002, from <http://lbd.epfl.ch/e/MurMur/>
- [Spaccapietra et al. 2000] S. Spaccapietra, C. Parent and C. Vangenot, "GIS Databases: From Multiscale to MultiRepresentation", In Proceedings 4th International Symposium of Abstraction, Reformulation, and Approximation (SARA 2000), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1864, PP. 57-70, 2000. <http://www.springerlink.com/content/4a8fw3xxm35459w8/>
- [Stell et al. 2008] J. G. Stell and Michael F. Worboys, "A Theory of Change for Attributed Spatial Entities", In GIScience, PP. 308-319, 2008.
- [Stell 2003] J. G. Stell, "Granularity in Change over Time", In Duckham, M, Goodchild, M, Worboys, M (Eds.), "Foundations of Geographic Information Science", PP. 95-115, 2003. Publisher: Taylor & Francis.
- [Strobl 2008] C. Strobl, "Dimensionally Extended Nine-Intersection Model (DE-9IM)", In S. Shekar and H. Xiong (Eds.), "Encyclopedia of GIS", PP. 240-245, 2008.
- [Sui et al. 2008] H. Sui, Q. Zhou, J. Gong and G. Ma, "Chapetr 17 : Processing of MultiTemporal Data and Change Detection", In Z. Li, J. Chen and E. Baltsavias (Eds.) "Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", ISPRS Congress Book, PP. 227-247, 2008. Publisher : Taylor & Francis Group, London.

[T]

- [Tang et al. 2002] X. Tang and W. Kainz, "Analysis of Topological Relations between Fuzzy Regions in a General Fuzzy Topological Space", In Proceedings of Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Canada, Ottawa, 2002.
- [Tang et al. 2004] X. Tang and W. Kainz, "Spatial Object Modeling in Fuzzy Topological Spaces with Applications to Land Cover Change", In Ph.D Thesis, 9 January 2004. www.itc.nl/library/Papers_2004/phd/xinming.pdf
- [Tang et al. 2005] X. Tang, Y. Fang and W. Kainz, "Topological Matrices for Topological Relations between Fuzzy Regions", In Proceedings of the 4th International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition (SPIE), PP. 6045-604524, Wuhan, China, 2005.
- [Tang et al. 2006] X. Tang, Y. Fang and W. Kainz, "Fuzzy Topological Relations between Fuzzy Spatial Objects", In Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, LNCS, Vol. 4223, PP. 324-333, 2006. Publisher : Springer Berlin.
- [Tang et al. 2007] X. Tang, W. Kainz and H. Zhang, "Some Topological Invariants and a Qualitative Topological Relation Model between Fuzzy Regions", In 4th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, IEEE, Vol. 1, N°. (24 - 27), PP. 241- 246, 2007.
- [Tasse 2009] G. F. Tasse, "Cognitive Approach to Robot Spatial Mapping", PhD Thesis, PP.14-24, Rhodes University, 9 November 2009. <http://research.ict.ru.ac.za/g09f5474/CSHnsThesis.pdf>
- [Tobler 1970] W. Tobler, "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region", In Economic Geography, Vol. 46, N°. 2, PP. 234-240, 1970.
- [Tøssebro 2002] E. Tøssebro, "Representing Uncertainty in Spatial and Spatiotemporal Databases", In Ph. D. Thesis, 2002. <http://www.idi.ntnu.no/grupper/su/publ/phd/tossebro-thesis.pdf>

[U]

[Victor et al. 1999] J. S. Victor, R. Vassallo and H. Schneebeli, "Topological Maps for Visual Navigation", In Proceedings of the First International Conference on Computer Vision Systems, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1542, PP. 21-36, 1999.

[V]

[W]

[Walter 2005] V. Walter, "Object-Based Classification of Integrated MultiSpectral and LiDAR Data for Change Detection and Quality Control in Urban Areas", In Proceedings of the 3rd International Symposium on Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005), Phoenix, Arizona, USA, 2005.
http://www.ecognition.com/sites/default/files/269_walter_urs2005.pdf

[Walter 2004a] V. Walter, "Object-Based Classification of Remote Sensing Data for Change Detection", In ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 58, PP. 225-238, 2004.

[Walter 2004b] V. Walter, "Object-Based Evaluation of LiDAR and MultiSpectral Data for Automatic Change Detection in GIS Databases", In Proceedings of XXth ISPRS Congress on "Geo-Imagery Bridging Continents", ISPRS'04, Commission II, Paper. 723 ff, Istanbul, 2004.
<http://isprsserv.ifp.uni-stuttgart.de/congresses/istanbul2004/comm2/papers/222.pdf>

[Walter 2002] V. Walter, "Classification of GIS-Objects for Change Detection", In Journal GIS - GeoInformations System, Vol. 14, N°.12, PP. 23-29, 2002. Publisher : Wichmann Verlag, Heidelberg, Germany.

[Walter et al. 2000] V. Walter and D. Fritsch, "Automated Revision of GIS Databases", Proceedings of the Eight ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems, ACMGIS2000, PP. 129-134, Washington D.C., USA, 2000.

[Walter 2000] V. Walter, "Automatic Change Detection in GIS Databases Based on Classification of Multispectral Data", In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol. XXXIII, Part. B4, PP. 1138-1145, Amsterdam, 2000.

[Walter 1999] V. Walter, "Comparison of the Potential of Different Sensors for an Automatic Approach for Change Detection in GIS Databases", In P. Agouris and A. Stefanidis (Eds.), "Integrated Spatial Databases", ISD'99, LNCS, Vol. 1737, PP. 47-64, 1999. Publisher: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[Walter 1998] V. Walter, "Automatic Classification of Remote Sensing Data for GIS Database Revision", In D. Fritsch, M. English and M. Sester (Eds.), "GIS-Between Visions and Applications", ISPRS Commission IV Symposium, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol. 32, Part. 4, PP. 641-648, Stuttgart, Germany, 1998.

[Walter et al. 1998] V. Walter and D. Fritsch, "Automatic Verification of GIS Data Using High Resolution Multispectral Data", In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Vol. XXXII, Part. 3/1, PP. 485-489, 1998.

[Wang et al. 2009] H. Wang, L. Pan, H. Zheng and P. Liu, "Automatic Detection Technique of Residential Area Change Based on Topological Analysis", In International Society for

- Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs, PP. 29-33, 2007.
<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/4-W54/papers/29-33%20Hua%20Wang.pdf>
- [Wang et al. 2009a]** W.-J. Wang, Z.-M. Zhao and H.-Q. Zhu, "Object-Oriented Multi-feature Fusion Change Detection Method for High Resolution Remote Sensing Image", In 17th International Conference on GeoInformatics, IEEE, DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5293463, 2009.
- [Willhauck 2000]** G. Willhauck, "Comparison of Object Oriented Classification Techniques and Standard Image Analysis for the Use of Change Detection between SPOT MultiSpectral Satellite Images and Aerial Photos", In International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.
http://www.ecognition.com/sites/default/files/407_willhauckisprs.pdf
- [Winter et al. 2000]** S. Winter and A. U. Frank, "Topology in Raster and Vector Representation", In GeoInformatica, Vol. 4, N° 1, PP. 35-65, 2000.
- [Winter 2000]** S. Winter, "Uncertain Topological Relations between Imprecise Regions", In International Journal of Geographical Information Science, Vol. 14, Issue. 5, PP. 411-430, 2000. <ftp://ftp.geoinfo.tuwien.ac.at/winter/winter00uncertain.pdf>
- [Winter et al. 2002]** S. Winter and T. Bittner, "Hierarchical Topological Reasoning with Vague Regions", In W. Shi, P. Fisher, M. F. Goodchild (Eds.), Spatial Data Quality, PP. 35-49, 2002. Publisher : Taylor & Francis, London.
- [Winter 1998]** S. Winter, "Bridging Vector and Raster Representation in GIS", In Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACMGIS'98), PP. 57-62, 1998.
- [Wolff et al. 1998]** E. Wolff and E. Frauman, "Détection de Changement en Milieu Urbain à Partir d'Images Satellitaires à Très Haute Résolution Spatiale", Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire, Université Libre de Bruxelles ULB, GDR 2340 SIGMA dit Cassini ,7 Novembre 2005. <http://cassini.univ-lr.fr/>
- [Wolter 2006]** V. D. Wolter, "Spatial Representation and Reasoning for Robot Mapping -A Shape-Based Approach", PhD Thesis, PP.57-60, Bremen University, 2006.
<http://www.cis.temple.edu/~latecki/Dissertations/Wolterdiss.pdf>
- [Worboys et al. 2004]** M. Worboys and K. Hornsby, "From Objects to Events: GEM, the Geospatial Event Model", In Geographic Information Science, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3234, PP. 327-343, 2004.

[X]

[Y]

- [Yan et al. 2005]** X. Yan, P. S. Yu and J. Han, "Substructure Similarity Search in Graph Databases", In Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD), Maryland, 14-16 June, USA, PP. 766-777, 2005.

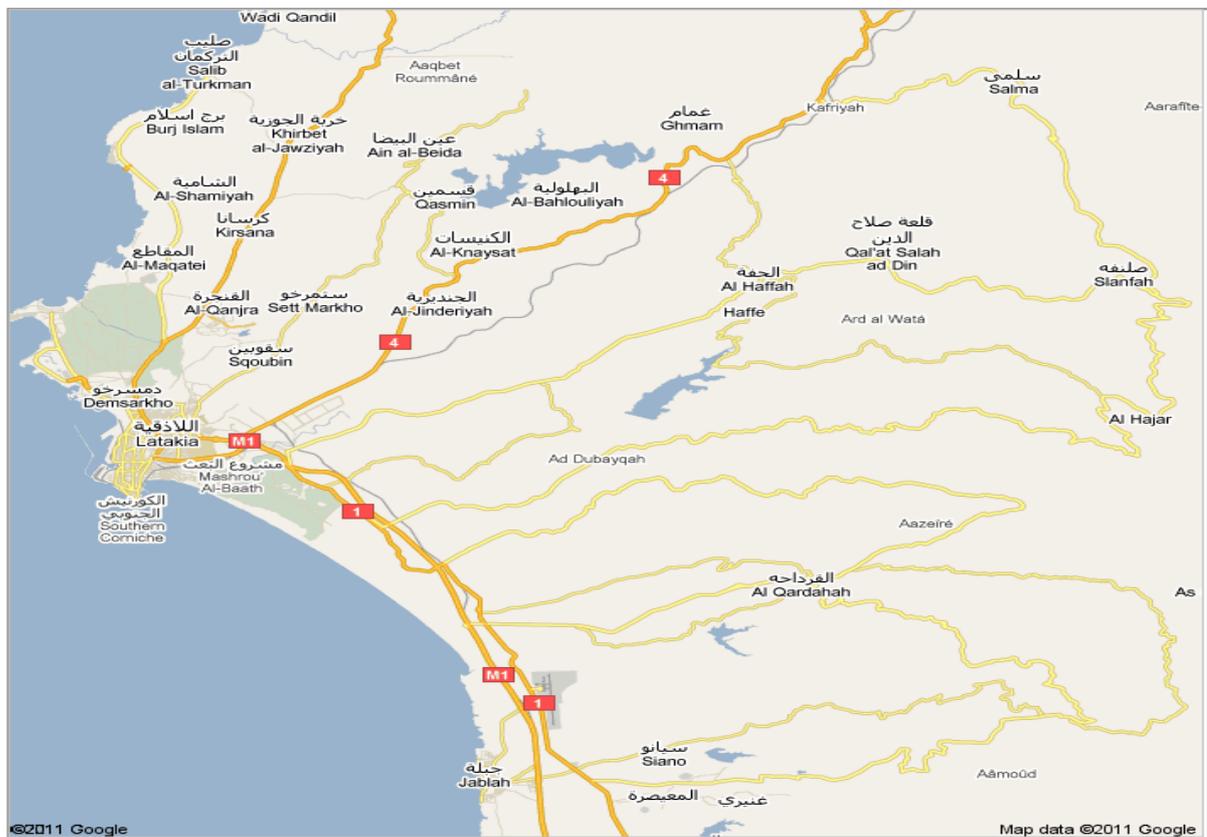
[Z]

- [Zadeh 1965]** L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", In Information and Control, Vol. 8, PP. 338-353, 1965.
- [Zeiler 1999]** M. Zeiler, "Chapter 3 : GIS Data Representations", In M. Zeiler (Eds.), "Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design", PP. 44-60, 1999. Publisher : Inc. Environmental Systems Research Institute, California.

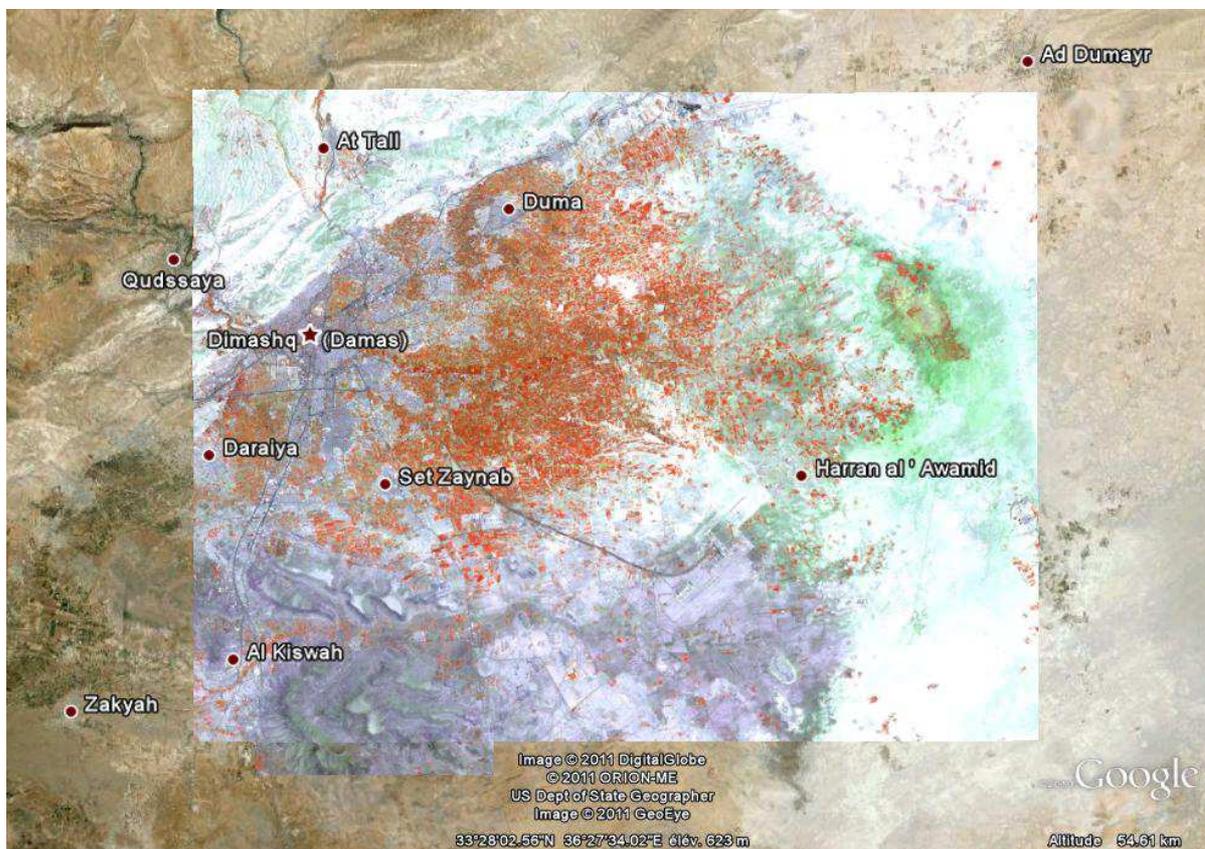
- [Zender et al. 2008] H. Zender, O. M. Mozos, P. Jensfelt, G.-J. M. Kruijff and W. Burgard, "Conceptual Spatial Representations for Indoor Mobile Robots", In *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 56, N°.6, PP. 493-502, 2008. http://www.dfki.de/~zender/publications/zender_etal08-ras-aam.pdf
- [Zhang et al. 1999] J. Zhang and R. P. Kirby, "Alternative Criteria for Defining Fuzzy Boundaries Based on Fuzzy Classification of Aerial Photographs and Satellite Images", In *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 65, N°. 12, PP. 1379-1387, 1999. http://www.asprs.org/publications/pers/99journal/december/1999_dec_1379-1387.pdf
- [Zhang et al. 2004] Q. Zhang and I. Couloigner, "A Framework for Road Change Detection and Map Updating", In *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing (IAPRS), and Spatial Information Sciences, ISPRS Symposium, Commission II, Vol. 35, Part. 2, PP. 729-734, 2004.* <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm2/papers/223.pdf>
- [Zhang et al. 2005] Q. Zhang and I. Couloigner, "Spatio-Temporal Modeling in Road Network Change Detection and Updating", In *Proceedings of the International Symposium on Spatio-temporal Modeling, Spatial Reasoning, Analysis, Data Mining and Data Fusion, Commission II, WGII/1, 2, 7 and Commission VII, WG VII/6, Peking University, China, 2005.* <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/2-W25/source/SPATIO-TEMPORAL%20MODELING%20IN%20ROAD%20NETWORK%20CHANGE%20DETECTION%20AND%20UPDATING.pdf>
- [Zhou et al. 2004a] Q. Zhou, B. Li and C. Zhou, "Detecting and Modeling Dynamic Land Use Change Using Multi-Temporal and Multi-Sensor Imagery", In *Proceedings of ISPRS Congress on "Geo-Imagery Bridging Continents", ISPRS'04 , Commission II, Vol. 35, Part. 2, PP. 697-702, Istanbul, 2004.* <http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm2/papers/217.pdf>
- [Zhou et al. 2004b] X. Zhou, J. Chen, J. Jiang, J.-J. Zhu and Z.-L. Li, "Event-Based Incremental Updating of Spatio-Temporal Database", In *Journal of Central South University of Technology*, Vol. 11, N°. 2, PP. 192-198, 2004.
- [Zhou et al. 2008a] Q. Zhou, B. Li and A. Kurban, "Trajectory Analysis of Land Cover Change in Arid Environment of China", In *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, N°. 4, PP. 1093-1107, 2008.
- [Zhou et al. 2008b] X. Zhou, J. Chen and M. Madden, "Classification and Identification of Cadastral Structure Change", In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B4, PP. 1437-1445, Beijing 2008. http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/253.pdf



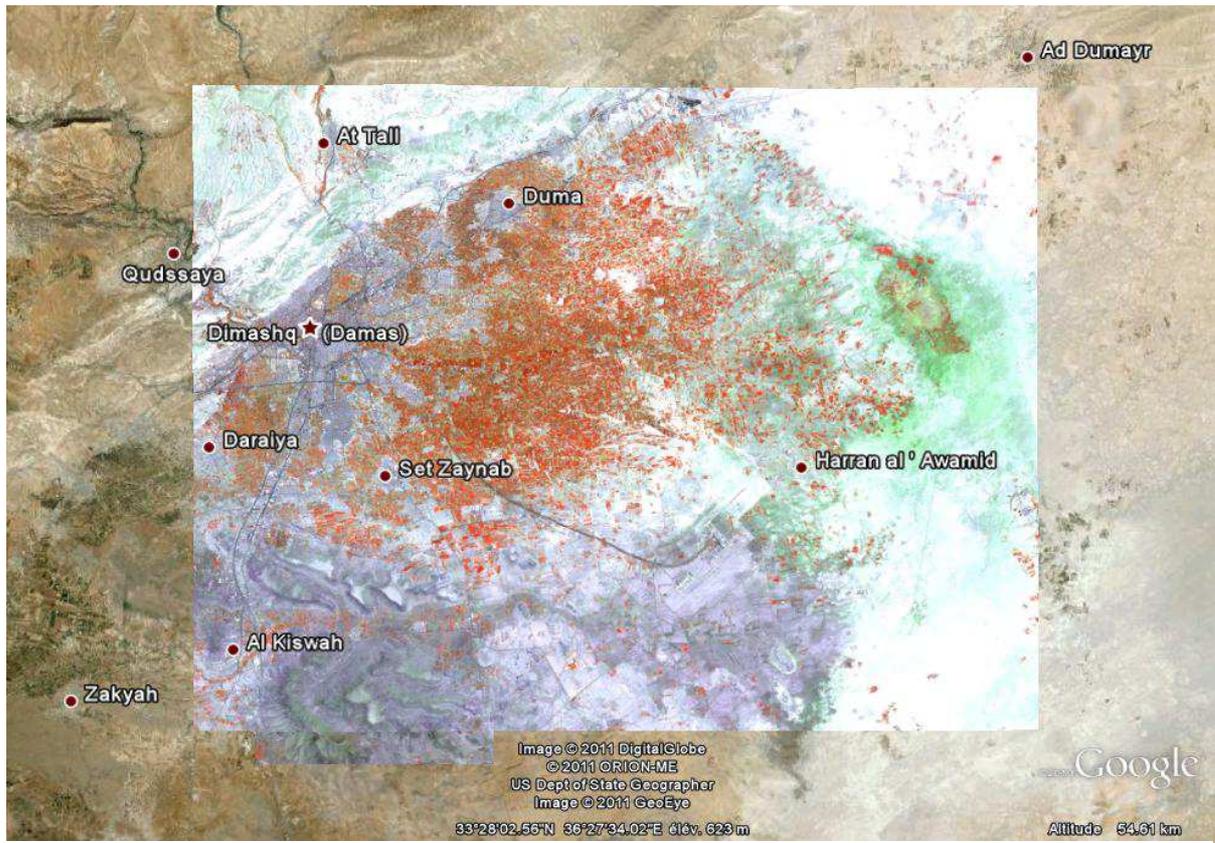
La localisation de la ville de Lattaquié et sa région en Syrie par Google



La localisation de la ville de Lattaquié et sa région en Syrie



La localisation de la ville de Damas et sa région ave « Al-Tall » en Syrie



La localisation de la ville de Damas et sa région ave « Al-Tall » en Syrie



La localisation de la Syrie

