

Modélisation des contraintes d'intégrité spatiale,
théorie et exemples d'applications
Version finale

Essai par :
Pierre Normand B.Sc.
Candidat à la maîtrise

2 Décembre 1999

Centre de Recherche en Géomatique
Département des Sciences Géomatiques
Université Laval

Résumé

Il existe plusieurs études sur la validation des bases de données topographiques. Ces études concernent pour la plupart le nettoyage graphique des bases de données et la validation de la topologie des éléments. Par contre, peu d'études tiennent compte de la sémantique des objets lors de la vérification de la topologie. Dans cette présentation, nous proposons une méthode générique permettant de définir et de représenter les contraintes d'intégrité spatiale pour les bases de données spatiales. Cette méthode est basée sur le modèle à neuf intersections pour la définition des relations topologiques. Les relations ont été regroupées de façon à les rendre intuitives et faciles à utiliser. La méthode a été implantée dans un outil et utilisée pour définir les contraintes d'intégrité spatiale de la Base de Données Topographiques et Administratives (BDTA) du Québec, la Base de Données Topographiques du Québec (BDTQ) et la Base Nationale de Données Topographiques (BNDT-Canada). Les concepts théoriques sur lesquels est basée la définition des contraintes d'intégrité spatiale, la méthode de définition et de représentation, l'outil développé et les résultats de la modélisation seront présentés dans cet essai.

Avant-Propos

La réalisation d'études de deuxième cycle est une entreprise qui demande du temps et des efforts mais également le soutien de plusieurs personnes et organismes. Je ne peux passer sous silence l'aide que ceux-ci m'ont apporté dans la réalisation de cet essai. C'est pourquoi je voudrais remercier les personnes suivantes :

Le Dr Yvan Bédard, mon directeur de maîtrise, pour ses conseils éclairés, sa patience et son entrain contagieux pour tout ce qui concerne la recherche.

Suzie Larrivée, professionnelle de recherche au CRG, pour les discussions animées que nous avons eues concernant mon travail.

Yves van Chestein, pour son aide et la correction du français dans ce travail.

Le Ministère de Ressources Naturelles du Québec pour le financement de cette étude.

Romain Métivier du MRNQ, pour sa contribution lors de la réalisation de ce travail.

Tous ceux au Département des Sciences Géomatique et au Centre de Recherche en Géomatique qui ont contribué à me faire découvrir et aimer la géomatique depuis le début de mes études universitaires.

Mes parents, pour m'avoir donné le goût d'apprendre et pour leur soutien moral et financier.

Finalement, Stéphanie, mon amie pour son soutien et sa compréhension tout au long de mes études.

Table des matières

RÉSUMÉ	2
AVANT-PROPOS	3
TABLE DES MATIÈRES	4
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES FIGURES	7
1 INTRODUCTION	10
2 MÉTHODES EXISTANTES : REVUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE	13
2.1 REVUE DES MODÈLES THÉORIQUES DE RELATIONS SPATIALES TOPOLOGIQUES	13
2.1.1 <i>Modèle à quatre intersections de Egenhofer et Franzosa</i>	13
2.1.2 <i>Modèle à neuf intersections de Egenhofer et Herring</i>	15
2.1.3 <i>Modèle 3-D de Champoux et Bédard</i>	17
2.1.4 <i>Modèle à quatre intersections étendu de Clementini, di Felice et Van Oosterom</i>	19
2.1.5 <i>Modèle à neuf intersections étendu de Clementini et di Felice</i>	20
2.1.6 <i>Calculus Based Method (CBM) de Clementini</i>	21
2.2 REVUE DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE UTILISÉES AILLEURS	24
2.2.1 <i>Base nationale de données topographiques (BNDT) du gouvernement canadien</i>	24
2.2.2 <i>Norme SAIF (Colombie-Britannique et Canada)</i>	29
2.2.3 <i>Modèle proposé par Hadzilacos et Tryfona</i>	34
2.2.4 <i>Thèse de doctorat de Thierry Ubeda</i>	35
2.2.5 <i>MADS</i>	38
2.2.6 <i>Formalisme Object Constraint Language</i>	40

3	MÉTHODE PROPOSÉE : MODÉLISATION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE	41
3.1	CHOIX DU MODÈLE DE RELATIONS SPATIALES TOPOLOGIQUES.....	41
3.2	REGROUPEMENT DES RELATIONS EN CATÉGORIES UTILISABLES POUR LES CONTRAINTES	44
3.2.1	<i>Définition formelle des catégories.....</i>	46
3.3	DÉFINITION D'UNE MÉTHODE DE REPRÉSENTATION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE	53
3.3.1	<i>Portée de la méthode de représentation à définir.....</i>	53
3.3.2	<i>Types de formalisme</i>	54
3.3.3	<i>Objets vs Classes d'objets.....</i>	57
3.3.4	<i>Contraintes alternatives</i>	57
3.3.5	<i>Influence de la représentation géométrique multiple des objets.....</i>	58
3.3.6	<i>Méthode proposée</i>	58
3.4	DÉFINITION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE POUR BDTA-BDTQ	63
4	PRÉSENTATION DU LOGICIEL G6 DÉVELOPPÉ POUR LA GESTION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE	64
4.1	MODÈLE CONCEPTUEL DE DONNÉES.....	64
4.2	CAS D'UTILISATION	64
4.2.1	<i>Les acteurs.....</i>	65
4.2.2	<i>Description des cas d'utilisation.....</i>	65
4.2.3	<i>Les diagrammes de séquence</i>	66
4.3	UTILISATION DE L'APPLICATION.....	80
4.3.1	<i>Le formulaire Navigation</i>	80
4.3.2	<i>Le formulaire Classe.....</i>	82

4.3.3	<i>Le formulaire Requete_rel</i>	83
4.3.4	<i>Le formulaire Inventaire</i>	85
4.3.5	<i>Le formulaire Form_rel</i>	88
5	CONCLUSION	89
6	BIBLIOGRAPHIE	91
	ANNEXES	93
6.1	INVENTAIRE DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE	93
6.2	RELATIONS SPATIALES TOPOLOGIQUES CLASSÉES PAR NOM DE RELATIONS	121
6.3	RELATIONS SPATIALES TOPOLOGIQUES CLASSÉES SELON LES TYPES D'ÉLÉMENTS QUI LES COMPOSENT.....	158

Liste des tableaux

TABLEAU 1.	NOMBRE DE RELATIONS POSSIBLES POUR CHAQUE COMBINAISON DE DIMENSIONS DANS UN UNIVERS 3-D.....	19
TABLEAU 2.	LA MÉTHODE À NEUF INTERSECTIONS ÉTENDUE.....	21
TABLEAU 3.	LA REPRÉSENTATION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ DE LA BNDT DANS LE DICTIONNAIRE DE DONNÉES (ADAPTÉ DU DICTIONNAIRE DES DONNÉES DE LA BNDT)	26
TABLEAU 4.	TABLE ÉNUMÉRANT LES RELATIONS ET LA CARDINALITÉ D'ADJACENCE ET DE SUPERPOSITION ENTRE LES COMBINAISONS DE VALEURS D'ATTRIBUTS (ADAPTÉ DU DICTIONNAIRE DES DONNÉES DE LA BNDT)	27
TABLEAU 5.	TABLE ÉNUMÉRANT LES RELATIONS ET LES CARDINALITÉS DE CONNEXION ENTRE LES COMBINAISONS DE VALEURS D'ATTRIBUTS (ADAPTÉ DU : DICTIONNAIRE DES DONNÉES DE LA BNDT).....	28
TABLEAU 6.	TABLEAU PRÉSENTANT LES RELATIONS ET LES CARDINALITÉS DE PARTAGE ENTRE LES COMBINAISONS DE VALEURS D'ATTRIBUTS (ADAPTÉ DU DICTIONNAIRE DES DONNÉES DE LA BNDT).....	29
TABLEAU 7.	LES RELATIONS TOPOLOGIQUES DE LA NORME SAIF (ADAPTÉ DE SPATIAL ARCHIVE AND INTERCHANGE FORMAT : FORMAL DEFINITION)	30
TABLEAU 8.	EXEMPLE D'UTILISATION DU FORMALISME DE HADZILACOS ET TRYFONA AVEC TRADUCTION ...	35
TABLEAU 9.	LES SOUS-ENSEMBLES DE RELATIONS TOPOLOGIQUES (ADAPTÉ DE [UBEDA, 1997])	36

TABLEAU 10. LES GROUPES DE RELATIONS MUTUELLEMENT EXCLUSIFS DE LA MÉTHODE DE THIERRY UBEDA (ADAPTÉ DE [UBEDA, 1997])	38
TABLEAU 11. LES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE DÉFINITION DES RELATIONS TOPOLOGIQUES	41
TABLEAU 12. LES CINQ CATÉGORIES DE RELATIONS DIVISÉES EN ONZE SOUS-CATÉGORIES	46
TABLEAU 13. LA DISTINCTION ENTRE LES DIFFÉRENTS TYPES D'ADJACENCE	48
TABLEAU 14. LES DIFFÉRENTS TYPES DE FORMALISME (ADAPTÉ DE [BÉDARD ET AL, 1996])	54
TABLEAU 15. LES FORCES ET FAIBLESSES DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE REPRÉSENTATION	56
TABLEAU 16. TABLEAU RELIANT LES CAS D'UTILISATION ET LES ACTEURS	65

Liste des figures

FIGURE 1 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	12
FIGURE 2. LA MÉTHODE À QUATRE INTERSECTIONS (OÙ "∩" SIGNIFIE INTERSECTION)	14
FIGURE 3. LES RELATIONS POSSIBLES ENTRE DEUX POLYGONES	14
FIGURE 4. LE MANQUE DE SPÉCIFICITÉ DE LA MÉTHODE À QUATRE INTERSECTIONS	15
FIGURE 5. LE MODÈLE À NEUF INTERSECTIONS	16
FIGURE 6. LA DIFFÉRENCE DE RELATION DUE AU SENS DE LECTURE	17
FIGURE 7. LA MÉTHODE DE CHAMPOUX-BÉDARD.....	18
FIGURE 8 LA MÉTHODE À QUATRE INTERSECTIONS ÉTENDUE.....	20
FIGURE 9. LA MÉTHODE À NEUF INTERSECTIONS ÉTENDUE	20
FIGURE 10. COMPARAISON ENTRE LA MÉTHODE À NEUF INTERSECTIONS ET LES MÉTHODES À NEUF INTERSECTIONS ÉTENDUE ET CBM	23
FIGURE 11. LA RELATION <i>DISJOINT</i>	31
FIGURE 12. EXEMPLES DE LA RELATION <i>DISJOINT</i>	31
FIGURE 13. LA RELATION <i>INTERSECTS</i>	31
FIGURE 14. EXEMPLES DE LA RELATION <i>INTERSECTS</i>	31
FIGURE 15. LA RELATION <i>CONTAINS</i>	32
FIGURE 16. EXEMPLES DE LA RELATION <i>CONTAINS</i>	32
FIGURE 17. LA RELATION <i>ENCLOSES</i>	32
FIGURE 18. EXEMPLES DE LA RELATION <i>ENCLOSES</i>	32
FIGURE 19. LA RELATION <i>OVERLAPS</i>	33
FIGURE 20. EXEMPLES DE LA RELATION <i>OVERLAPS</i>	33
FIGURE 21. LA RELATION <i>ADJACENT</i>	33
FIGURE 22. EXEMPLES DE LA RELATION <i>ADJACENT</i>	33
FIGURE 23. LA RELATION <i>EQUALS</i>	34
FIGURE 24. EXEMPLES DE LA RELATION <i>EQUALS</i>	34
FIGURE 25. LES TYPES DE RELATIONS TOPOLOGIQUES DE MADS (ADAPTÉ DE [PARENT ET AL., 1997])	39
FIGURE 26 EXEMPLE DE CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE DANS MADS (ADAPTÉ DE [PARENT ET AL., 1997])	40

FIGURE 27. LE MANQUE DE RICHESSE DE LA MÉTHODE HYBRIDE	43
FIGURE 28. DÉFINITION DE LA RELATION DE DISJONCTION	46
FIGURE 29. EXEMPLES DE LA RELATION DE DISJONCTION	47
FIGURE 30. DÉFINITION DE LA RELATION D'ADJACENCE.....	47
FIGURE 31. EXEMPLES DE LA RELATION D'ADJACENCE	47
FIGURE 32. EXEMPLES DES DIFFÉRENTS TYPES D'ADJACENCE	48
FIGURE 33. DÉFINITION DE LA RELATION D'INTERSECTION LIMITE.....	48
FIGURE 34. EXEMPLES DE LA RELATION D'INTERSECTION LIMITE	48
FIGURE 35. DÉFINITION DE LA RELATION D'INTERSECTION INTÉRIEURE	49
FIGURE 36. EXEMPLES DE LA RELATION D'INTERSECTION INTÉRIEURE.....	49
FIGURE 37. DÉFINITION DE LA RELATION "INCLUT LIMITE"	49
FIGURE 38. EXEMPLES DE LA RELATION "INCLUT LIMITE"	49
FIGURE 39. DÉFINITION DE LA RELATION "INCLUT TOTALEMENT"	50
FIGURE 40. EXEMPLES DE LA RELATION "INCLUT TOTALEMENT"	50
FIGURE 41. DÉFINITION DE LA RELATION "EST INCLUS LIMITE"	50
FIGURE 42. EXEMPLES DE LA RELATION "EST INCLUS LIMITE"	50
FIGURE 43. DÉFINITION DE LA RELATION "EST INCLUS TOTALEMENT"	51
FIGURE 44. EXEMPLES DE LA RELATION "EST INCLUS TOTALEMENT"	51
FIGURE 45. DÉFINITION DE LA RELATION D'ÉGALITÉ.....	51
FIGURE 46. EXEMPLES DE LA RELATION D'ÉGALITÉ	51
FIGURE 47. LA COMPLEXITÉ DES CONTRAINTES LORSQU'ON UTILISE LES MATRICES D'INTERSECTIONS.....	52
FIGURE 48. LA CONTRAINTE D'INTÉGRITÉ SPATIALE POUR LA CLASSE D'OBJETS "HÉLIPORT"	58
FIGURE 49. LES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE POUR LA CLASSE D'OBJETS "CANAL"	59
FIGURE 50. ILLUSTRATION DE LA SIGNIFICATION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE POUR LA CLASSE D'OBJET "CANAL"	62
FIGURE 51. MODÈLE CONCEPTUEL DE DONNÉES DE L'APPLICATION G6	64
FIGURE 52. DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION	66
FIGURE 53. CONSULTATION DU GUIDE DE L'USAGER	67
FIGURE 54. CONSULTATION DES RELATIONS TOPOLOGIQUES	68
FIGURE 55. CONSULTATION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE	69
FIGURE 56. CONSULTATION DES CLASSES D'OBJETS	69
FIGURE 57. MODIFIER UNE CONTRAINTE.....	70
FIGURE 58. AJOUTER UNE CONTRAINTE	71
FIGURE 59. AJOUTER UNE CONTRAINTE ALTERNATIVE	73
FIGURE 60. EFFACER UNE CONTRAINTE	74
FIGURE 61. MODIFIER UN COMMENTAIRE	76
FIGURE 62. MODIFICATIONS DES CLASSES D'OBJETS	77

FIGURE 63. AJOUTER UNE CLASSE D'OBJETS	78
FIGURE 64. MODIFIER UNE GÉOMÉTRIE.....	79
FIGURE 65. LE FORMULAIRE DE NAVIGATION DANS L'APPLICATION.....	80
FIGURE 66. LE FORMULAIRE DE GESTION DES CLASSES D'OBJETS.....	82
FIGURE 67. LE FORMULAIRE DE REQUÊTE SUR LES RELATIONS TOPOLOGIQUES SPATIALES.....	83
FIGURE 68. LE FORMULAIRE INVENTAIRE	85
FIGURE 69. LE FORMULAIRE DE REPRÉSENTATION DES RELATIONS TOPOLOGIQUES.....	88

1 Introduction

Le contrôle de la qualité des bases de données spatiales a fait l'objet de nombreuses études par le passé. La plupart de ces études concernaient le nettoyage graphique des données (éliminations des éclisses, dépassements, etc.) et la validation de la topologie (fermeture de polygone, etc.) des éléments de la base de données. De plus, ces dernières études ne concernaient que la validation topologique au niveau de la primitive géométrique. Même si la sémantique des objets peut avoir une influence importante sur la qualité des données, bien peu d'études en tiennent compte lors de la vérification de la topologie dans la base de données. En effet, lorsque le nettoyage graphique des primitives géométriques et la validation de la topologie sont terminés, il est possible que certaines incohérences soient toujours présentes dans les données. Par exemple, les processus classiques de validation des données ne détecteront pas les erreurs sémantiques (cas d'une île cartographiée au milieu d'un champ ou d'un barrage cartographié sans être adjacent à un lac ou cours d'eau).

Pour éliminer ce type d'erreurs, il faut donc définir des contraintes d'intégrité spatiale qui tiennent compte de la sémantique des objets en plus de tenir compte de leur géométrie lors de la validation du contenu de la base de données. Suite à ce constat, nous définissons les contraintes d'intégrité spatiale comme suit :

Contrainte d'intégrité spatiale: règle servant à définir les relations spatiales permises, interdites ou obligatoires entre deux classes d'objets d'une base de données spatiales.

La **problématique** de cette recherche est qu'il existe peu de méthodes pour la définition des contraintes d'intégrité spatiale. La plupart de celles-ci sont purement académiques et peu applicables dans le cas de projets concrets. De plus, peu de méthodes formelles existent pour la représentation et la distribution de ces contraintes aux utilisateurs des bases de données.

L'objectif de cette recherche est donc la définition d'une méthode générique permettant de définir et de représenter les contraintes d'intégrité spatiale dans les bases de données spatiales.

Pour y arriver, la **méthodologie** suivante a été utilisée :

1. Une recherche bibliographique a été effectuée en mettant l'accent sur les méthodes de définition des relations topologiques et les méthodes de définition et de représentation des contraintes d'intégrité spatiale.
2. Un choix a été fait quant à la méthode de définition des relations topologiques à utiliser pour la définition des contraintes d'intégrité spatiale.
3. Les relations topologiques ont été regroupées de façon à créer des groupes intuitifs et faciles à utiliser.
4. La méthode de représentation des contraintes d'intégrité spatiale a été définie en tenant compte de plusieurs caractéristiques propres à celles-ci. Cette méthode a été définie de façon à être facile à lire et à implanter dans un outil.
5. La méthode a été implantée dans un outil, appelé G6 pour faciliter et accélérer la saisie et la représentation des contraintes d'intégrité spatiale (en français G6 = GCIS = Gestion des Contraintes d'Intégrité Spatiales; en anglais G6 = GSICS = GeoSpatial Integrity Constraints Software).
6. La méthode et l'outil ont été testés avec un projet concret de modélisation de la Base de Données Topographiques et Administratives (BDTA) et de la Base de Données Topographiques du Québec réalisé par le docteur Yvan Bédard du Centre de Recherche en Géomatique avec le Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Un des biens livrables de ce projet consistait en la définition des contraintes d'intégrité spatiale pour la BDTA et un sous-ensemble de la BDTQ. Plus de 600 contraintes d'intégrité spatiale ont été définies pour ces deux bases de données, ce qui a permis de bien tester la méthode ainsi que G6.
7. La méthode a été adaptée pour l'appliquer à la Base Nationale de Données Topographiques dans le cadre d'un projet pour Géomatique Canada (Centre d'Information Topographique de Sherbrooke) ainsi que pour l'inclure dans l'outil Perceptory (outil de modélisation de bases de données spatiales).

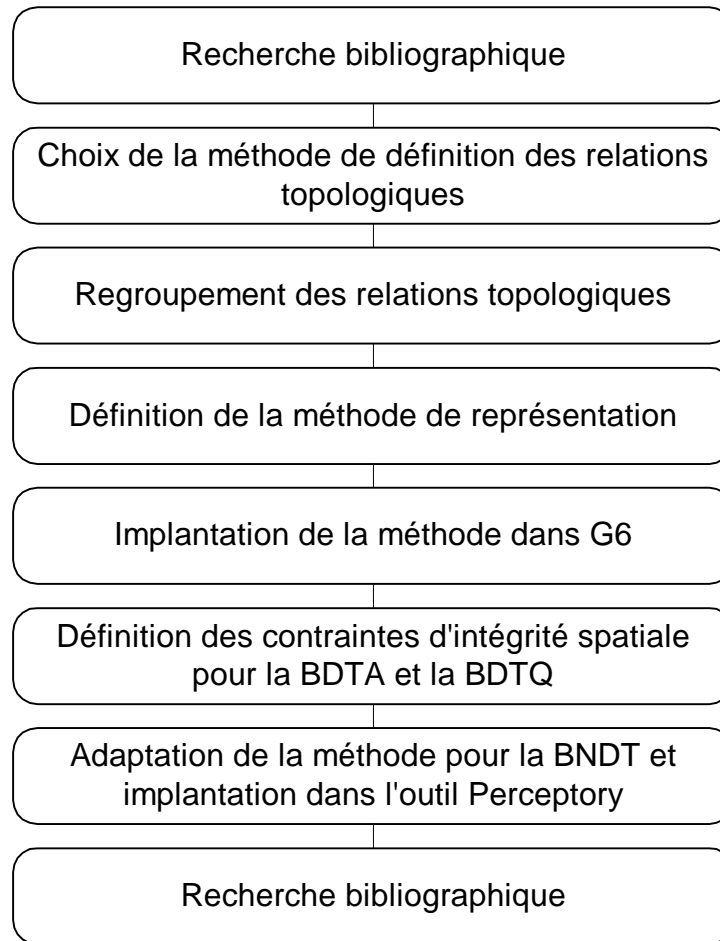


Figure 1 Méthodologie de recherche

La deuxième section de cet essai donne les résultats de la revue de la littérature scientifique. Elle est suivie de la section trois qui présente la méthode développée pour décrire et représenter les contraintes d'intégrité spatiale. Nous y retrouvons également son application aux classes d'objets communes de la BTDA et de la BDTQ. La section quatre présente le logiciel G6 développé pour la gestion des contraintes d'intégrité spatiale. Finalement, les sections cinq et six fournissent la conclusion et la bibliographie. Les annexes illustrent l'inventaire des contraintes d'intégrité spatiale modélisées dans le cadre du projet BDTA-BDTQ ainsi que les différents rapports produits par l'application de gestion G6.

2 Méthodes Existantes : Revue de la littérature scientifique

Les relations spatiales se divisent en deux catégories, soit les relations de type métrique et les relations de type topologique. Les relations métriques concernent les caractéristiques mesurables (distance minimale, distance maximale, parallélisme, direction spécifique, etc.), tandis que les relations topologiques concernent la position relative des objets, indépendamment du système de référence spatiale utilisé. Cette recherche se concentre principalement sur les relations de type topologique entre les objets. Les relations métriques n'ont pas été traitées même si celles-ci ont une influence importante sur l'intégrité des bases de données à référence spatiale. En effet, la charge de travail associée à l'inclusion des relations métriques dans cette étude aurait dépassé celle d'un essai de maîtrise.

D'autres aspects de la cartographie, tels que l'aspect esthétique (ex: positionnement de la toponymie par rapport à l'objet) et l'aspect géométrique (ex: dimensions minimales des objets) ne seront pas abordés dans ce travail puisque nous considérons que ceux-ci dépendent davantage des normes de cartographie que des contraintes d'intégrité spatiale. De même, ce rapport ne traitera pas des règles de nettoyage topologique au niveau des primitives géométriques et des algorithmes pour réaliser celui-ci. Nous considérons que le nettoyage topologique des fichiers doit être complété avant la vérification des contraintes d'intégrité spatiale, qui se fait au niveau des objets sémantiques et non au niveau des primitives géométriques qui les composent.

2.1 REVUE DES MODÈLES THÉORIQUES DE RELATIONS SPATIALES TOPOLOGIQUES

2.1.1 *Modèle à quatre intersections de Egenhofer et Franzosa*

Dans [Egenhofer et Franzosa 1991], une méthode théorique permettant de différencier les différentes relations topologiques possibles entre deux polygones dans un plan est proposée. Cette méthode s'appuie sur la théorie mathématique des ensembles pour définir les relations topologiques. On y considère la limite (dénotée δ) et l'intérieur (dénoté \circ) de chacun des polygones et on fait le classement des relations en analysant l'état des quatre

types d'intersections possibles (les intersections d'intérieurs ($\delta\delta$), d'intérieur et de limite ($\delta^\circ, \circ\delta$) et de limites ($^\circ\circ$)). La matrice représentant ceci est :

$$\begin{array}{c} \delta A \\ A^\circ \end{array} \begin{array}{cc} \delta B & B^\circ \\ \left[\begin{array}{cc} \delta A \cap \delta B & \delta A \cap B^\circ \\ A^\circ \cap \delta B & A^\circ \cap B^\circ \end{array} \right] \end{array}$$

Figure 2. La méthode à quatre intersections (où "∩" signifie intersection)

Les intersections comportent deux états possibles, soit vide (\emptyset) ou non-vide ($\neg\emptyset$). De cette façon, on peut hypothétiquement dénombrer 16 (2^4) relations topologiques entre deux objets. Après une étude plus approfondie de chacune d'elles, on conclut que pour deux polygones ne contenant pas d'ouverture intérieure (trou à l'intérieur du polygone) dans un espace à deux dimensions, seules huit de ces relations topologiques sont possibles, tel qu'illustré à la figure 2. Comme dans la figure 1, on définit chaque relation par une matrice deux par deux décrivant l'état des intersections entre la limite et l'intérieur des objets.

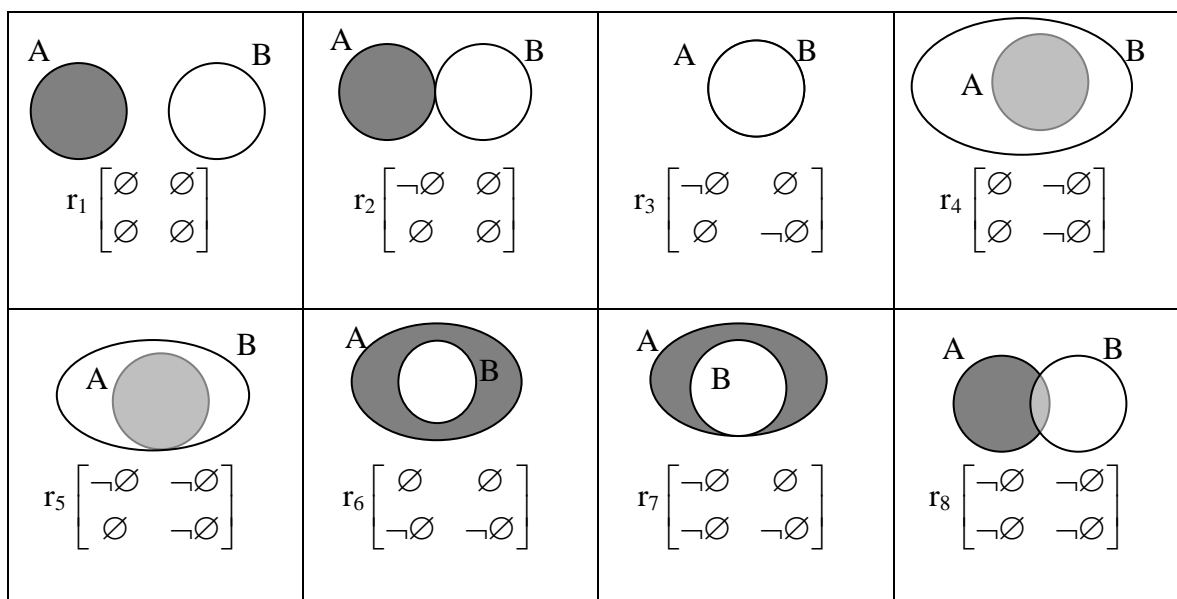


Figure 3. Les relations possibles entre deux polygones

Cette méthode décrit très bien les relations possibles entre deux polygones mais n'est pas très bien adaptée pour définir les relations topologiques qui concernent des objets de type point ou ligne. Dans ces cas, deux relations différentes peuvent être définies de la même

façon. Par exemple, dans les cas des relations ligne-polygone et ligne-ligne de la figure suivante, la méthode n'est pas assez spécifique pour différencier correctement les différentes relations.

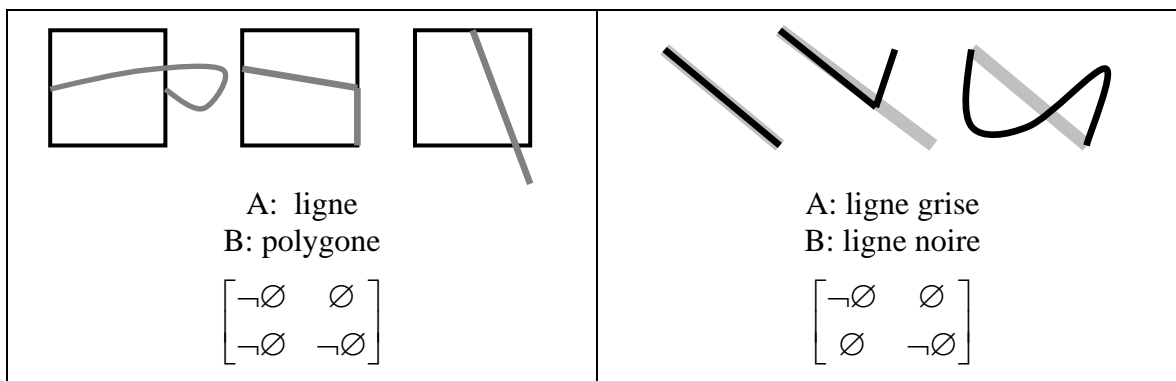


Figure 4. Le manque de spécificité de la méthode à quatre intersections

Dans le cas où l'on doit décrire des relations ne comprenant pas seulement des polygones mais également des points et des lignes, on doit utiliser une autre méthode qui permet de dénombrer un plus grand nombre de relations topologiques.

2.1.2 *Modèle à neuf intersections de Egenhofer et Herring*

Pour pallier aux problèmes de manque de spécificité de la méthode à quatre intersections présentée précédemment, Max Egenhofer et John R. Herring ont élaboré une autre méthode de définition des relations topologiques entre deux objets dans un espace à deux dimensions. Il s'agit de la méthode à neuf intersections, telle que présentée dans [Egenhofer et Herring, 1994]. La méthode s'appuie sur les mêmes principes théoriques que la méthode précédente, mais tient compte de l'extérieur (dénoté $\bar{}$) des objets en plus de tenir compte de l'intérieur et de la limite de ceux-ci. L'article inventorie ainsi toutes les relations possibles entre des points, des lignes simples (seulement deux extrémités), des lignes complexes (plus de deux extrémités) et des polygones dans un espace à deux dimensions.

Dans le cas des lignes et des points, la limite et l'intérieur sont définis comme suit : pour la ligne, la limite est constituée des deux extrémités et l'intérieur est défini comme étant le reste de la ligne entre les extrémités; pour le point, on considère que la limite n'existe pas

et que le point a seulement un intérieur. Dans les deux cas, l'extérieur est défini comme étant le reste du plan.

Chaque relation topologique est définie par une matrice de trois par trois contenant l'état des neuf intersections entre l'intérieur, la limite et l'extérieur des deux objets.

$$\begin{array}{c}
 \cdot \quad B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 A^{\circ} \left[\begin{array}{ccc} A^{\circ} \cap B^{\circ} & A^{\circ} \cap \delta B & A^{\circ} \cap B^{-} \\ \delta A \cap B^{\circ} & \delta A \cap \delta B & \delta A \cap B^{-} \\ A^{-} \cap B^{\circ} & A^{-} \cap \delta B & A^{-} \cap B^{-} \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 5. Le modèle à neuf intersections

Comme précédemment, l'intersection peut être vide ou non vide. Hypothétiquement donc, il existe 512 (2^9) relations possibles entre deux objets. Comme mentionné dans [Egenhofer et Franzosa 1991], il n'y a en fait que huit relations possibles entre deux polygones. De même, pour les autres types de relations (polygone-ligne, polygone-point, ligne-ligne, ligne-point et point-point), le nombre réel de relations possibles est beaucoup plus petit. Dans l'article, on dénombre 33 relations entre deux lignes simples (24 de plus si on considère les lignes complexes), 19 relations entre une ligne et un polygone (1 de plus si on considère les lignes complexes), 3 relations polygone-point, 3 relations ligne-point et 2 relations point-point. Toutes ces relations sont représentées en annexe. Cette méthode peut différencier toutes les interactions possibles entre des objets possédant un nombre de dimensions identique ou différent.

Il est important de noter par contre que cette méthode et la méthode à quatre intersections n'ont été développées que pour un espace à deux dimensions. Aucune preuve n'a été faite que la méthode à neuf intersections peut définir de façon unique toutes les relations topologiques possibles dans un espace à trois dimensions.

Une autre caractéristique de ces deux méthodes est qu'elles donnent des résultats différents lorsqu'on définit une relation dans une direction ou dans l'autre. Par exemple, on aura un résultat différent si on considère la relation polygone-ligne ou la relation ligne-polygone entre deux mêmes objets (ex. quartier chevauche rue, rue traverse quartier).

Cette caractéristique est représentée dans la figure suivante.

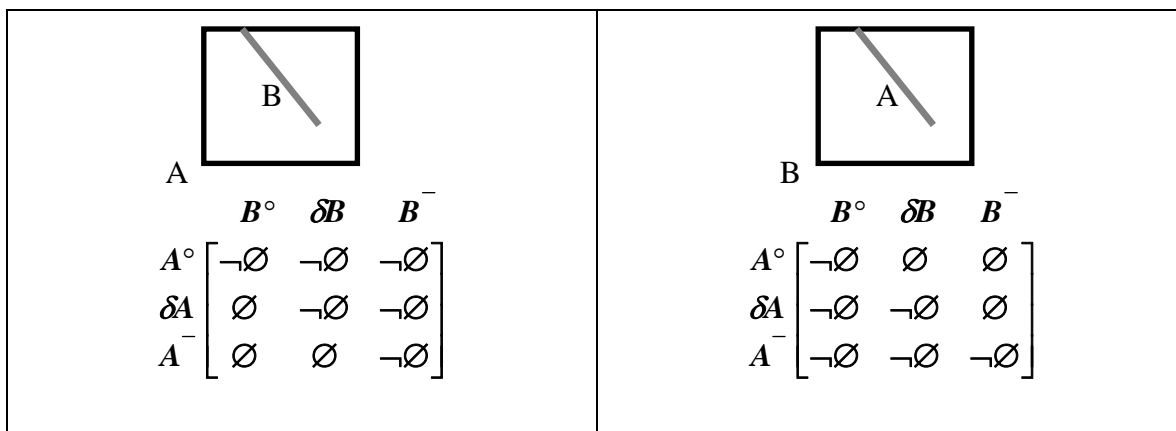


Figure 6. La différence de relation due au sens de lecture

Les normes ISO TC-211 possèdent un opérateur appelé *eRelate* qui est basé sur le modèle à neuf intersections. Cet opérateur s'utilise de la façon suivante :

eRelate(ObjetA,Objetb,ValeursMatrice).

Dans cette instruction, ValeursMatrice est une chaîne de caractères qui correspond aux valeurs contenues dans la matrice d'intersection. Les valeurs possibles pour les caractères de la chaîne sont T (*true*, équivalent à $\neg\emptyset$), F (*false*, équivalent à \emptyset) ou N (valeur non vérifiée). Cet opérateur renvoie la valeur "Vrai" si la relation entre les objets A et B correspond à la relation définie dans ValeurMatrice et "Faux" si ce n'est pas le cas.

2.1.3 Modèle 3-D de Champoux et Bédard

Dans le mémoire de maîtrise de Pierrette Champoux [Champoux, 1991] ainsi que dans un article subséquent [Champoux et Bédard,1992], une autre méthode de définition des relations topologiques est proposée. La méthode s'appuie sur les trois opérateurs topologiques suivants : **inclure** (un objet partage une partie ou la totalité de son intérieur avec l'intérieur de l'autre), **toucher** (un objet partage une partie ou la totalité de sa limite avec l'intérieur de l'autre) et **être adjacent** (un objet partage la totalité ou une partie de sa limite avec la limite d'une autre objet). Pour chacun de ces opérateurs spatiaux , il y a trois états possibles : partage **nul**, partage **partiel** et partage **total**. Pour définir la relation

entre deux objets, on analyse l'état des trois opérateurs topologiques de base et on crée un opérateur topologique complexe (ex : inclut total + touche partiel + adjacent partiel). De cette façon, on peut hypothétiquement définir 27 (3^3) opérateurs spatiaux topologiques complexes (une combinaison des trois opérateurs avec leur état). La méthode est appliquée aux objets de type point, ligne, polygone et volume dans un environnement en trois dimensions.

Dans cette méthode, on considère qu'il n'existe qu'une relation entre deux objets et que celle-ci n'est pas influencée par la direction de lecture. On définit donc une relation entre deux objets par une paire d'opérateurs spatiaux topologiques complexes. Puisque ces opérateurs ne sont pas toujours symétriques, on aura un opérateur dominant et un opérateur secondaire. L'opérateur topologique complexe dominant détermine le type de relation spatiale et l'opérateur secondaire permet de distinguer parmi plusieurs cas possibles de la même relation. Pour déterminer l'opérateur dominant, on applique les deux règles suivantes :

- 1) l'opérateur **toucher** domine l'opérateur **être adjacent**
- 2) l'état **en totalité** domine l'état **en partie**, qui lui-même domine l'état **non** (aucun partage).

La figure suivante donne des exemples de relations topologiques avec leur définition (paire d'opérateurs topologiques complexes).

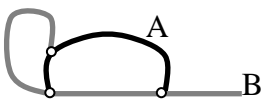
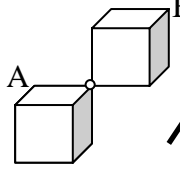
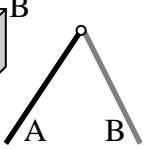
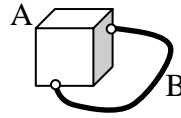
							
Opérateur Dominant	Opérateur Secondaire	Opérateur Dominant	Opérateur Secondaire	Opérateur Dominant	Opérateur Secondaire	Opérateur Dominant	Opérateur Secondaire
A non inclut B	B non inclut A	A non inclut B	B non inclut A	A non touche B	B non touche A	A non inclut B	B non inclut A
A touche total B	B touche partie A	A non touche B	B non touche A	A adjacent partie	B adjacent partie A	A non touche B	B non touche A
A non adjacent B	B non adjacent A	A adjacent partie	B adjacent partie A	A adjacent partie	B adjacent partie A	A adjacent partie	B adjacent partie A

Figure 7. La méthode de Champoux-Bédard

Après analyse des 27 relations hypothétiquement possibles entre deux objets, on retient que seulement 18 relations spatiales sont possibles en pratique. Celles-ci sont regroupées de la façon suivante : cinq relations de voisinage, six d'intersection, quatre d'inclusion, deux d'égalité et une de disjonction. Ces relations ne sont pas toujours applicables à toutes les combinaisons d'objets en raison de la dimension de celles-ci. Le tableau suivant montre le nombre de relations pour chaque combinaison de dimensions.

Combinaison de dimensions	Nombre de relations possibles
Point-Point	2
Point-Ligne	3
Point-polygone	3
Point-Volume	3
Ligne-Ligne	15
Ligne-Polygone	15
Ligne-Volume	11
Polygone-Polygone	15
Polygone-Volume	10
Volume-Volume	7

Tableau 1. Nombre de relations possibles pour chaque combinaison de dimensions dans un univers 3-D

2.1.4 *Modèle à quatre intersections étendu de Clementini, di Felice et Van Oosterom*

Dans [Clementini et al., 1993], les auteurs présentent un modèle de définition des relations topologiques qui est une extension du modèle à quatre intersections présenté dans [Egenhofer et Franzosa 1991]. Ce modèle utilise lui aussi la matrice des intersections entre l'intérieur et la limite des objets mais remplace les valeurs "vide" (\emptyset) et "non vide" ($\neg\emptyset$) par la dimension de l'intersection résultante. Chaque intersection de la matrice peut donc contenir les valeurs : "-" (pas d'intersection, ce qui est équivalent à \emptyset) "0" (l'intersection entre les éléments est un point) "1" (l'intersection entre les éléments est une ligne), et "2" (l'intersection entre les éléments est une surface). La figure suivante représente la matrice définissant les relations topologiques selon cette méthode.

$$\begin{array}{c}
 \delta A \\
 A^\circ
 \end{array}
 \begin{array}{cc}
 \delta B & B^\circ \\
 \left[\begin{array}{cc}
 \dim(\delta A \cap \delta B) & \dim(\delta A \cap B^\circ) \\
 \dim(A^\circ \cap \delta B) & \dim(A^\circ \cap B^\circ)
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 8 La méthode à quatre intersections étendue

Cette méthode permet de différencier 9 relations entre deux surfaces, 17 relations entre une ligne et une surface, 3 relations entre un point et une surface, 18 relations entre deux lignes, 3 relations entre un point et une ligne, et deux relations entre deux points. Pour obtenir ces chiffres, on considère que les relations dont les matrices sont simplement transposées l'une par rapport à l'autre constituent une seule relation. Le modèle peut tout de même différencier la direction entre les relations mais les relations inverses ne sont pas comptées.

2.1.5 Modèle à neuf intersections étendu de Clementini et di Felice

Cette méthode est basée sur la méthode à neuf intersections de Max Egenhofer et John Herring et est présentée dans [Clementini et Di Felice, 1994]. Comme, il l'avait fait dans le cas de la méthode à quatre intersections, les auteurs ont remplacé les valeurs "vide" ou "non vide" des éléments de la matrice par la dimension de l'intersection résultante entre les éléments. La matrice représentant les relations est donc la suivante.

$$\begin{array}{c}
 A^\circ \\
 \delta A \\
 A^-
 \end{array}
 \begin{array}{ccc}
 B^\circ & \delta B & B^- \\
 \left[\begin{array}{ccc}
 \dim(A^\circ \cap B^\circ) & \dim(A^\circ \cap \delta B) & \dim(A^\circ \cap B^-) \\
 \dim(\delta A \cap B^\circ) & \dim(\delta A \cap \delta B) & \dim(\delta A \cap B^-) \\
 \dim(A^- \cap B^\circ) & \dim(A^- \cap \delta B) & \dim(A^- \cap B^-)
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 9. La méthode à neuf intersections étendue

Le tableau suivant donne le nombre de relations que la méthode peut différencier entre les différents types d'éléments. Comme dans le cas de la méthode à quatre intersections étendue, les relations dont les matrices sont simplement transposées l'une par rapport à l'autre ne sont pas comptées.

Combinaison de dimensions	Nombre de relations possibles
Point-Point	2
Point-Ligne	3
Point-polygone	3
Ligne-Ligne	33
Ligne-Polygone	31
Polygone-Polygone	9

Tableau 2. La méthode à neuf intersections étendue

Les normes ISO TC-211 proposent l'opérateur *cRelate* qui est basé sur le modèle à neuf intersections étendue. Cet opérateur s'utilise de la façon suivante :

cRelate(ObjetA,Objetb,ValeursMatrice).

Dans cette instruction, ValeursMatrice est une chaîne de caractères qui correspond aux valeurs contenues dans la matrice d'intersection. Les valeurs possibles pour les caractères de la chaîne sont 0 (intersection ponctuelle), 1 (intersection linéaire), 2 (intersection surfacique), F (pas d'intersection), N (valeur non vérifiée). Cet opérateur renvoie la valeur "Vrai" si la relation entre les objets A et B correspond à la relation définie dans ValeurMatrice et "Faux" si ce n'est pas le cas.

2.1.6 Calculus Based Method (CBM) de Clementini

Dans [Clementini et al., 1993], les auteurs proposent une autre méthode de définition des relations topologiques basée sur cinq opérateurs mutuellement exclusifs. Ces cinq opérateurs et leur définition sont les suivants :

1. L'opérateur *touch* s'applique à tous les types de relations sauf aux relations point-point.

$$\langle \lambda_1, touch, \lambda_2 \rangle \Leftrightarrow (\lambda_1^0 \cap \lambda_2^0 = \emptyset) \wedge (\lambda_1 \cap \lambda_2 \neq \emptyset)$$

La définition indique qu'il y a un partage entre les deux objets mais aucun partage entre les intérieurs de ceux-ci. Donc, le seul partage entre les éléments est au niveau de leur limite.

2. L'opérateur *in* s'applique à tous les groupes de relations.

$$\langle \lambda_1, in, \lambda_2 \rangle \Leftrightarrow (\lambda_1 \cap \lambda_2 = \lambda_1) \wedge (\lambda_1^0 \cap \lambda_2^0 \neq \emptyset)$$

La définition indique que l'intersection entre les deux objets est égale à un des deux objets et qu'il y a un partage entre les intérieurs des objets.

3. L'opérateur *cross* s'applique seulement aux relations ligne-ligne et ligne-polygone.

$$\langle \lambda_1, cross, \lambda_2 \rangle \Leftrightarrow \left(\dim(\lambda_1^0 \cap \lambda_2^0) = \max(\dim(\lambda_1^0), \dim(\lambda_2^0)) - 1 \right) \wedge \\ (\lambda_1 \cap \lambda_2 \neq \lambda_1) \wedge (\lambda_1 \cap \lambda_2 \neq \lambda_2)$$

La définition signifie que la dimension de l'intersection entre les intérieurs des objets est strictement inférieure à la dimension de l'intérieur de l'objet dont la dimension est la plus petite et que l'intersection entre les deux objets n'est pas égale à un ou l'autre des objets.

4. L'opérateur *overlap* s'applique aux relations ligne-ligne et polygone-polygone.

$$\langle \lambda_1, overlap, \lambda_2 \rangle \Leftrightarrow \dim(\lambda_1^0) = \dim(\lambda_2^0) = \dim(\lambda_1^0 \cap \lambda_2^0) \wedge \\ (\lambda_1 \cap \lambda_2 \neq \lambda_1) \wedge (\lambda_1 \cap \lambda_2 \neq \lambda_2)$$

Cet opérateur a donc la signification suivante : les objets doivent être de même dimension et l'intersection entre ceux-ci doit être de même dimension que les objets. Par contre, l'intersection ne doit pas être égale à un des objets.

5. L'opérateur *disjoint* s'applique à tous les types d'objets.

$$\langle \lambda_1, disjoint, \lambda_2 \rangle \Leftrightarrow \lambda_1 \cap \lambda_2 = \emptyset$$

Cette définition indique que l'opérateur *disjoint* est utilisé lorsqu'il n'y a aucun partage entre les objets.

Pour améliorer la richesse d'expression des cinq opérateurs, les auteurs ont défini trois autres opérateurs pour extraire la limite d'une surface et les limites d'une ligne. Ces deux opérateurs sont les suivant.

6. L'opérateur b (pour *boundary*) extrait la limite d'une surface. Donc, (A, b) retourne δA , la limite de la surface A .
7. Les opérateurs f (pour *from*) et t (pour *to*) extraient les limites d'une ligne. Il est important de noter que *to* et *from* ne signifie pas que la ligne a une direction. Ils servent simplement à différencier les deux limites de la ligne en ne tenant pas compte de la direction. Les opérateurs peuvent s'appliquer indifféremment à chacune des extrémités de la ligne. Donc, (L, f) et (L, t) extraient les deux extrémités de la ligne L .

Dans [Clementini et Di Felice, 1994], les auteurs apportent la preuve que cette méthode est exactement équivalente à la méthode à neuf intersections étendue quant à la capacité de définition des relations topologiques. Il prouve également que ces deux méthodes possèdent une plus grande richesse d'expression que toutes les autres méthodes décrites précédemment. La figure suivante illustre un exemple où la méthode CBM et la méthode à neuf intersections étendue sont plus précises que la méthode à neuf intersections.

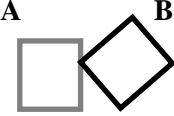
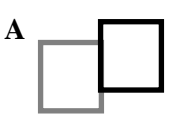
Relations à définir		
Méthode à neuf intersections	$\begin{array}{c} B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\ A^{\circ} \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix} \\ \delta A \begin{bmatrix} \emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix} \\ A^{-} \begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix} \end{array}$	$\begin{array}{c} B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\ A^{\circ} \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix} \\ \delta A \begin{bmatrix} \emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix} \\ A^{-} \begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix} \end{array}$
Méthode à neuf intersections étendue	$\begin{array}{c} B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\ A^{\circ} \begin{bmatrix} - & - & 2 \end{bmatrix} \\ \delta A \begin{bmatrix} - & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ A^{-} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 2 \end{bmatrix} \end{array}$	$\begin{array}{c} B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\ A^{\circ} \begin{bmatrix} - & - & 2 \end{bmatrix} \\ \delta A \begin{bmatrix} - & 2 & 1 \end{bmatrix} \\ A^{-} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 2 \end{bmatrix} \end{array}$
Méthode CBM	$\langle A, touch, B \rangle \wedge \langle (A, b), cross, (B, b) \rangle$	$\langle A, touch, B \rangle \wedge \langle (A, b), overlap, (B, b) \rangle$

Figure 10. Comparaison entre la méthode à neuf intersections et les méthodes à neuf intersections étendue et CBM

2.2 REVUE DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE UTILISÉES AILLEURS

Lors de la revue de la littérature scientifique, on a constaté que quelques auteurs et organisations proposent (ou utilisent) déjà une méthode de gestion des contraintes d'intégrité spatiale semblable à celle que nous avons à définir dans ce travail. Cette partie du rapport inventorie ces méthodes et explique leur fonctionnement.

2.2.1 Base nationale de données topographiques (BNDT) du gouvernement canadien

La base nationale de données topographiques (Gouvernement du Canada, Centre d'information topographique de Sherbrooke) fait la gestion de contraintes d'intégrité spatiale. Dans un document intitulé "Normes et spécifications de la Base nationale de données topographiques, édition 3.1", elle utilise quatre relations spatiales, soit les relations de connexion, de partage, d'adjacence et de superposition pour s'assurer que les données de sa base de données à référence spatiale en trois dimensions sont exemptes de toute incohérence de nature spatiale.

Inventaires des relations utilisées

1 La relation de connexion

Deux objets *point*, *ligne* ou *surface* sont connectées lorsqu'il y a intersection géométrique entre eux. La relation de connexion survient lorsque les deux objets s'intersectent en un point donné. Les coordonnées du point d'intersection sont dupliquées dans la représentation géométrique de chaque objet.

2 La relation de partage

Deux objets *linéaires* ou *surfaciqes* sont en relations de partage lorsqu'ils sont en partie ou en totalité contiguës ou coïncidents. La relation de partage survient lorsque le résultat de l'intersection entre les objets est une ligne. Les coordonnées de la ligne de coïncidence sont dupliquées dans la représentation géométrique de chaque objet.

3 La relation d'adjacence entre objets surfaciques.

La définition de la relation d'adjacence entre deux objets *surfaciques* est basée sur le modèle à quatre intersections de Egenhofer. Pour que deux surfaces soient en relation d'adjacence, elles doivent correspondre au deuxième objet de la première ligne de la figure 2. La relation d'adjacence oblige une relation de partage entre deux objets surfaciques.

4.1 La relation de superposition entre objets surfaciques.

Pour que deux *surfaces* soient superposées, la condition suivante doit être vraie $A^{\circ} \cap B^{\circ} = \neg \emptyset$. Ceci correspond à toutes les relations de la figure 2 sauf la première et la deuxième. La relation de superposition peut amener une relation de partage entre les objets surfaciques impliqués.

4.2 La relation de superposition entre un objet surfacique et une ligne.

Cette relation existe entre un objet surfacique et une ligne lorsque la condition suivante est respectée (A est la surface et B est la ligne) : $A^{\circ} \cap \delta B = \neg \emptyset$ et/ou $A^{\circ} \cap B^{\circ} = \neg \emptyset$. La relation de superposition peut créer une relation de connexion entre l'objet surfacique et la ligne.

4.3 La relation de superposition entre un objet surfacique et un point.

Un point est superposé à une surface lorsque la condition suivante est respectée (A étant la surface et B le point) : $A^{\circ} \cap B^{\circ} = \neg \emptyset$. La relation de superposition entre un objet surfacique et un point n'entraîne aucune autre relation.

Représentation des contraintes d'intégrité spatiale.

La BNDT représente les contraintes d'intégrité spatiale à deux endroits différents dans le document de normes.

1. Premièrement, chaque type d'objet occupe une page du dictionnaire de données comprenant une table appelée "Objets en Relation", qui représente sommairement les

relations de connexion et de partage qui concernent l'objet en question. Les relations sont divisées en relations intra-thème et inter-thème pour chacune des représentations géométriques possibles de l'objet (point, point orienté, ligne et surface). Les relations représentées dans ce tableau peuvent être *interdites, permises ou obligatoires* et le détail de chacune des relations est inscrit en annexe.

La figure suivante illustre un exemple du dictionnaire de données pour l'objet Barrage.

Objet en relation			Figure
~			
Intra-Thème			
Barrage(L)	Connecte	Barrage (L)	
Barrage(L)	Connecte	Conduit (L)	
Barrage(L)	Connecte	Cours d'eau (L)	
Barrage(L)	Connecte	Digue/Levée (L)	
Barrage(L)	Connecte	Étendue d'eau (S)	
Barrage(L)	Partage	Étendue d'eau (S)	
Inter-thème			
Barrage(L)	Partage	Chemin de fer (L)	
Barrage(L)	Partage	Dépôt de liquide (S)	
Barrage(L)	Partage	Route (L)	
Barrage(L)	Partage	Route à accès limité (L)	
Barrage(L)	Partage	Sentier (L)	

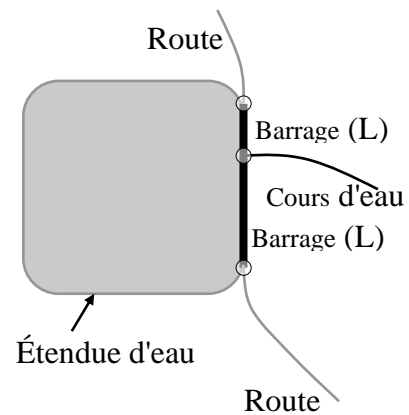


Tableau 3. La représentation des contraintes d'intégrité de la BNDT dans le dictionnaire de données (adapté du Dictionnaire des données de la BNDT)

La case en haut à gauche représente la géométrie de l'objet barrage (~ = linéaire). Chacune des lignes suivantes comprend le nom de l'objet et sa représentation géométrique (P pour un point, L pour une ligne et S pour une surface), le nom de la relation et l'objet en relation avec sa géométrie. Une figure donne un exemple de la façon dont les contraintes sont appliquées dans la base de données.

2- Deuxièmement, en annexe du dictionnaire de données de la BNDT. Trois annexes différentes donnent les détails des contraintes d'intégrité spatiale présentées dans le dictionnaire. Ces trois tables sont présentées dans les pages suivantes.

Le tableau suivant illustre une partie de la "Table énumérant les relations et la cardinalité d'adjacence et de superposition entre les combinaisons de valeurs d'attributs" pour l'objet Bâtiment.

Code Géométrique	Nom de L'objet	Combinaisons de valeurs d'attributs	Cardinalité	Codes
109	Bâtiment	Grange	0,0	4280-4282
110	Bâtiment	Cabine	0,0	4280-4282

Tableau 4. Table énumérant les relations et la cardinalité d'adjacence et de superposition entre les combinaisons de valeurs d'attributs (adapté du Dictionnaire des données de la BNDT)

La première colonne représente un code formé à partir du code de l'objet et de sa représentation géométrique (pour un objet ponctuel, le code est égal au code BNDT standard; pour un objet linéaire, le code est égal au code BNDT + 2048; pour un objet surfacique, le code est égal au code BNDT + 4096). Les deuxième et troisième colonnes représentent le nom de l'objet et la combinaison de valeurs d'attributs à laquelle s'applique la contrainte. Pour cette table, la cardinalité indique le nombre maximum de fois que l'occurrence d'objet peut être superposée à un objet avec lequel elle a une relation d'adjacence et de superposition. Si la cardinalité est 0,0, la relation en est une d'adjacence puisque aucune superposition n'est permise. Si la cardinalité est 1,1, la relation en est une de superposition. La colonne "Codes" contient la liste des codes géométriques des objets ayant une relation avec l'objet indiqué à la deuxième colonne.

La table suivante illustre une partie de la "Table énumérant les relations et les cardinalités de connexion entre les combinaisons de valeurs d'attributs" pour l'objet Bâtiment.

Code Géométrique	Nom de L'objet	Combinaisons de valeurs d'attributs	Numéro d'attribut	Cardinalité 1	Cardinalité 2	Cardinalité 3	Largeur	Longueur	Codes
109	Bâtiment	Grange	-	0,0	-	-	3	3	1-2048
110	Bâtiment	Cabine	-	0,0	-	-	3	3	1-2048

Tableau 5. Table énumérant les relations et les cardinalités de connexion entre les combinaisons de valeurs d'attributs (adapté du : Dictionnaire des données de la BNDT)

Les trois premières colonnes de ce tableau ont la même signification que les trois premières colonnes du tableau 3. La colonne "Numéro de l'attribut" correspond au numéro des attributs de l'occurrence d'objet impliquée dans la relation. La colonne "Cardinalité 1" donne le nombre maximum et minimum de relations de connexion permises pour une occurrence d'objet. La colonne "Cardinalité 2" indique le nombre maximum et minimum de fois qu'une occurrence d'objet peut être en relation avec une occurrence du même objet. La colonne "Cardinalité 3" indique le nombre minimum et maximum de connexions en un même point pour l'objet. Les colonnes "Largeur" et "Longueur" indiquent la distance maximum permise entre un objet et l'objet avec lequel il y a relation de connexion. La colonne "Codes" représente la liste des codes géométriques des objets en relation de connexion.

La troisième annexe qui donne les détails des contraintes d'intégrité spatiale est la "Table énumérant les relations et les cardinalités de partage entre les combinaisons de valeurs d'attributs". Le tableau suivant en illustre une partie pour l'objet "Frontière"

Code Géométrique	Nom de l'objet	Combinaisons de valeurs d'attributs	Cardinalité 1	Cardinalité 2	Cardinalité 3	Largeur	Longueur	Codes
3858	Frontière	Générique/ inconnu	0,0	-	-	1,5	3	3858-3872
3862	Frontière	Québec et Ontario	*,*	-	2,2	5	5	5926-5929

Tableau 6. Tableau présentant les relations et les cardinalités de partage entre les combinaisons de valeurs d'attributs (adapté du Dictionnaire des données de la BNDT)

À l'exception de la colonne "Cardinalité 1", les colonnes de ce tableau ont la même signification que les celles du tableau précédent, sauf qu'il s'agit ici d'une relation de partage et non une relation de connexion. La colonne "Cardinalité 1" indique, dans ce cas-ci, le nombre minimum et maximum de segments de droites (constitués de deux sommets consécutifs) d'une occurrence qui peuvent être en relation de partage.

2.2.2 Norme SAIF (Colombie-Britannique et Canada)

Dans le document intitulé "Spatial Archive and Interchange Format : Formal Definition, release 3.2", la norme SAIF, développée en Colombie-Britannique, propose une sous-classe *SpatialTopology* faisant partie de la sous-classe *SpatialRelationship* pour gérer explicitement les relations topologiques entre les différents objets de la base de données spatiales. La méthode de définition des relations topologiques est la méthode à neuf intersections de Egenhofer et Herring. Par contre, la définition des différents types d'objets à laquelle la méthode s'applique a été étendue pour couvrir les vecteurs se refermant sur eux-mêmes, les agrégats géométriques, les volumes, etc. Les relations entre les objets sont définies dans une table où il y a un attribut pour l'état de chacune des intersections entre l'intérieur, la limite et l'extérieur des objets.

La norme SAIF propose également une sous-classe *SpatialTopologyExtended*, faisant partie de la sous-classe *SpatialTopology*. La sous-classe *SpatialTopologyExtended* possède un attribut qui a comme domaine de valeurs le nom des relations issues du regroupement des relations topologiques possibles entre deux objets de la base de

données. Les relations sont regroupées en huit désignations simples. Ce sont *disjoint*, *encircles*, *intersects*, *contains*, *encloses*, *overlaps*, *adjacent* et *equals*. Le tableau suivant illustre la relation qui existe entre chacune de ces relations.

<i>Encircles</i>	<i>Disjoint</i>	
	<i>Intersects</i>	<i>Contains</i>
		<i>Encloses</i>
		<i>Overlaps</i>
		<i>Adjacent</i>
	<i>Equals</i>	

Tableau 7. Les relations topologiques de la norme SAIF (adapté de Spatial Archive and Interchange Format : Formal Definition)

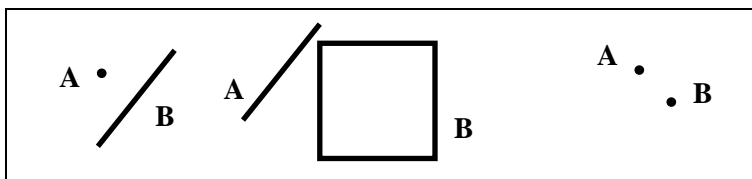
Le tableau précédent a les caractéristiques suivantes : 1) les relations les plus générales sont à gauche et les plus restrictives sont à droite; 2) la ligne double indique que les relations sont mutuellement exclusives. Le tableau indique donc les particularités suivantes pour les relations : 1) *disjoint et intersects* sont mutuellement exclusifs; 2) *contains, encloses, overlaps, adjacent et equals* sont des types de *intersects*; 3) *contains* est une forme plus générale de *encloses*; 4) *encircles* est un cas particulier qui peut s'apparenter à *disjoint* ou à *intersects*. Les relations topologiques entre deux objets peuvent être définies en utilisant seulement le nom commun de la relation. Pour plus de détails, il est également possible de donner, en plus du nom de la relation, l'état d'une ou de plusieurs des intersections de la matrice représentant la relation topologique.

Définition des huit relations

La relation disjoint

La relation *disjoint* est utilisée lorsque aucune partie de l'objet A n'entre en contact avec une partie de l'objet B. La définition formelle est donc la suivante (un tiret indique que l'intersection peut prendre n'importe quelle valeur) :

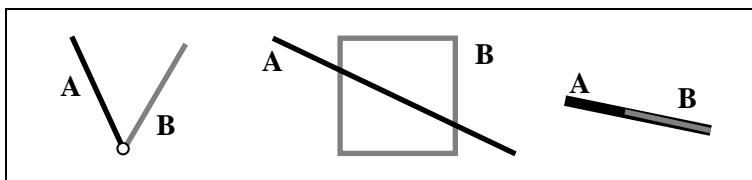
	B°	δB	B^-
A°	\emptyset	\emptyset	-
δA	\emptyset	\emptyset	-
A^-	-	-	-

Figure 11. La relation *disjoint*Figure 12. Exemples de la relation *disjoint*

La relation *intersects*

La relation *intersects* est utilisée lorsqu'il y a contact entre l'objet A et l'objet B. Cette relation regroupe les relation *contains*, *encloses*, *overlaps*, *adjacent* et *equals*. La définition formelle est la suivante (La relation est *intersects* si au moins une des intersections à l'intérieur du carré a la valeur $\neg\emptyset$):

	B°	δB	B^-
A°	$\neg\emptyset$	$\neg\emptyset$	-
δA	$\neg\emptyset$	$\neg\emptyset$	-
A^-	-	-	-

Figure 13. La relation *intersects*Figure 14. Exemples de la relation *intersects*

La relation *contains*

Le relation *contains* est utilisée lorsqu'un des objets est inclus dans l'autre objet. Les limites peuvent ou non se toucher. La définition formelle est la suivante:

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 A^{\circ} \begin{bmatrix} - & - & - \\ \delta A & - & \neg \emptyset \\ A^{-} & \emptyset & \emptyset \end{bmatrix} \\
 \delta A \\
 A^{-}
 \end{array}$$

Figure 15. La relation *contains*

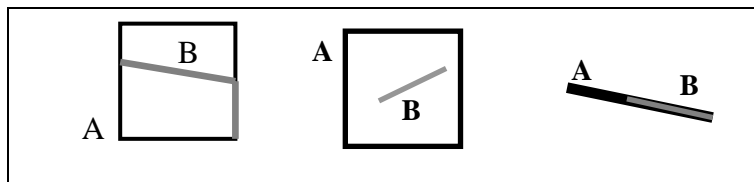


Figure 16. Exemples de la relation *contains*

La relation *encloses*

La relation *encloses* est utilisée lorsque l'objet A inclut totalement l'objet B et qu'il n'y a pas de contact entre les limites. C'est donc un cas plus restrictif de *contains*. Il est à noter que *encloses* et *contains* ne sont pas mutuellement exclusifs puisque si A *encloses* B, il est aussi vrai de dire que A *contains* B.

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 A^{\circ} \begin{bmatrix} \neg \emptyset & - & - \\ \delta A & \emptyset & - \\ A^{-} & \emptyset & - \end{bmatrix} \\
 \delta A \\
 A^{-}
 \end{array}$$

Figure 17. La relation *encloses*

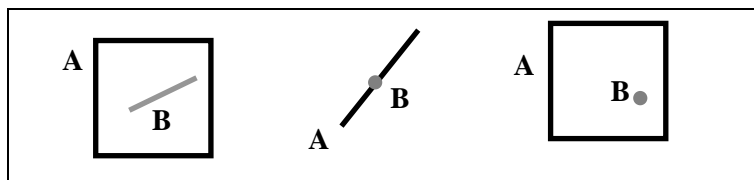


Figure 18. Exemples de la relation *encloses*

La relation *overlaps*

La relation *overlaps* est utilisée lorsque l'intérieur de l'objets A touche l'intérieur et l'extérieur de l'objet B et que l'intérieur de l'objet B touche également l'extérieur de l'objet A.

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 \left[\begin{array}{ccc}
 A^{\circ} & \neg \emptyset & - \\
 \delta A & - & - \\
 A^{-} & \neg \emptyset & -
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 19. La relation *overlaps*

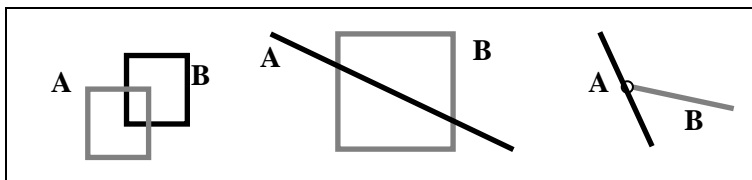


Figure 20. Exemples de la relation *overlaps*

La relation *adjacent*

La relation *adjacent* est utilisée lorsque seulement les limites des objets A et B s'intersectent.

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 \left[\begin{array}{ccc}
 A^{\circ} & \emptyset & - \\
 \delta A & \emptyset & \neg \emptyset \\
 A^{-} & - & -
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 21. La relation *adjacent*

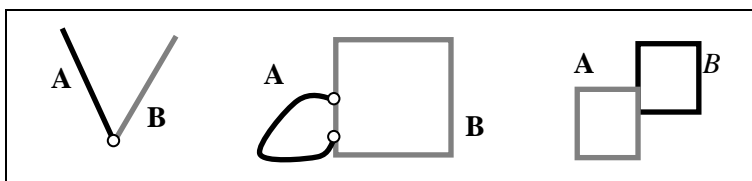


Figure 22. Exemples de la relation *adjacent*

La relation equals

La relation *equals* est utilisée les deux objets se recouvrent parfaitement

	B°	δB	B^-
A°	$-\emptyset$	-	\emptyset
δA	-	-	\emptyset
A^-	\emptyset	\emptyset	-

Figure 23. La relation *equals*

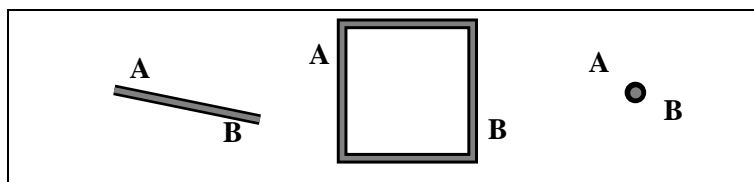


Figure 24. Exemples de la relation *equals*

La relation encircles

La dernière relation proposée par la norme SAIF est la relation *encircles* (ex. la clôture, qui est un objet 1D, qui encercle la maison sans lui toucher). Cette relation ne peut-être définie par la méthode à neuf intersections de Egenhofer et Herring. De plus, nous avons décidé de la considérer comme "disjoint" pour ce projet (cf. Section 3.2.1) sans spécifier davantage.

2.2.3 Modèle proposé par Hadzilacos et Tryfona

Dans [Hadzilacos et Tryfona, 1992], les deux auteurs proposent une méthode pour exprimer les contraintes d'intégrité spatiale dans une base de données. La méthode utilise le modèle à quatre intersections de Egenhofer pour définir les relations topologiques possibles entre des objets de type point, ligne et polygone. Il propose ensuite un formalisme permettant d'exprimer des relations topologiques complexes. Ce formalisme est un langage mathématique basé sur les opérateurs de la théorie des ensembles (appartient à (\in), il existe (\exists), pour tout (\forall)) et les opérateurs logiques (et (\wedge), ou (\vee), non (\neg), si... alors (\Rightarrow), si et seulement si (\Leftrightarrow)). Le formalisme est utilisé pour définir les contraintes d'intégrité topologique qui régissent les différents objets de la base de

données. Le tableau suivant donne un exemple de l'utilisation du langage. Il est à noter que les relations topologiques sont notées r_0, r_1, r_2 , etc. pour faire référence à [Egenhofer et Franzosa 1991] (voir les numéros de relations de la figure 2).

La relation à définir est la suivante : Un parc doit être une parcelle de terrain voisine d'une rue et ne devrait pas être contenu dans une zone résidentielle.	
Dans le langage proposé	$\hat{\text{Être_voisin}}(\text{pter}, \text{rue}) : r_9(\text{pter}, \text{rue}) \vee r_8(\text{pter}, \text{rue}) \vee r_1(\text{pter}, \text{rue})$ $\text{Contenu_dans}(\text{pter}, \text{zres}) : r_6(\text{pter}, \text{zres}) \vee r_7(\text{pter}, \text{zres})$ $\text{Parc} = \{ \text{pter} \mid \text{pter} \in \text{PARCELLE DE TERRAIN} \wedge$ $\quad \exists \text{rue} \in \text{RUE} (\hat{\text{Être_voisin}}(\text{pter}, \text{rue})) \wedge$ $\quad \neg \exists \text{zres} \in \text{ZONES RÉSIDEN TI ELLES} (\text{Contenu_dans}(\text{pter}, \text{zres})) \}$
Traduction	<p>La relation $\hat{\text{Être_voisin}}(\text{pter}, \text{rue})$ regroupe les relations topologiques de base r_9, r_8 et r_1 entre des objets pter et rue.</p> <p>La relation $\text{Contenu_dans}(\text{pter}, \text{zres})$ regroupe les relations topologiques de base r_6 et r_7 entre des objets pter et zres.</p> <p>Un parc est défini comme un objet pter qui appartient à la classe $\text{PARCELLE DE TERRAIN}$, qui partage la relation $\hat{\text{Être_voisin}}(\text{pter}, \text{rue})$ avec certaines objets rue (1 ou plusieurs) appartenant à la classe RUE et qui ne partage la relation $\text{Contenu_dans}(\text{pter}, \text{zres})$ avec aucun (non certains) objet zres appartenant à la classe $\text{ZONES RÉSIDEN TI ELLES}$.</p>

Tableau 8. Exemple d'utilisation du formalisme de Hadzilacos et Tryfona avec traduction

On propose ensuite une méthode de traduction du formalisme pour pouvoir implanter la méthode de gestion des contraintes d'intégrité spatiale dans Arc/Info.

2.2.4 Thèse de doctorat de Thierry Ubeda

Dans sa thèse de doctorat, Thierry Ubeda propose la définition des contraintes d'intégrité spatiale grâce à un ensemble de treize sous-ensembles de relations topologiques basées sur le modèle à neuf intersections étendu de Clementini. Le tableau suivant présente ces sous-ensembles de relations.

Les relations Point-Point (P1 et P2)		
Nom de la relation	Définition mathématique de la relation	Nombre de relations
Égalité	$(P1 \cap P2 = 0)$	1
Disjoint	$(P1 \cap P2 = \emptyset)$	1
Les relations Point-Ligne (P et L)		
Nom de la relation	Définition mathématique de la relation	Nombre de relations
Extrémité	$(P \cap \delta L = 0)$	1
Sur	$(P \cap L^\circ = 0)$	1
Disjoint	$(P \cap \delta L = \emptyset) \wedge (P \cap L^\circ = \emptyset)$	1
Les relations Point-Polygone (P et S)		
Nom de la relation	Définition mathématique de la relation	Nombre de relations
Dans	$(P \cap S^\circ = 0)$	1
Sur	$(P \cap \delta S = 0)$	1
Disjoint	$(P \cap S^\circ = \emptyset) \wedge (P \cap \delta S = \emptyset)$	1
Les relations Ligne-Ligne (L1 et L2)		
Nom de la relation	Définition mathématique de la relation	Nombre de relations
Croise	$(L1^\circ \cap L2^\circ = 0)$	11
Joint	$(\delta L1 \cap \delta L2 = 0)$	14
Rencontre	$(\delta L1 \cap L2^\circ = 0)$	23
Couvre	$(L1^\circ \cap L2^\circ = 1)$	13
Disjoint	$(\delta L1 \cap \delta L2 = \emptyset) \wedge (\delta L1 \cap L2^\circ = \emptyset) \wedge (L1^\circ \cap L2^\circ = \emptyset)$	1
Les relations Ligne-Polygone (L et S)		
Nom de la relation	Définition mathématique de la relation	Nombre de relations
Dans	$(L^\circ \cap S^\circ = 1) \wedge (L^\circ \cap S^- = \emptyset)$	9
Dehors	$(L^\circ \cap S^\circ = \emptyset)$	10
Croise	$(L^\circ \cap S^\circ = 1) \wedge (L^\circ \cap S^- = 1)$	12
Rencontre	$(\delta L \cap \delta S = 0) \wedge (L^\circ \cap \delta S \neq 1) <$	11
Borde	$(L^\circ \cap \delta S = 1)$	13
Disjoint	$(\delta L \cap \delta S = \emptyset) \wedge (\delta L \cap S^\circ = \emptyset) \wedge (L^\circ \cap S^\circ = \emptyset)$	1
Les relations Polygone-Polygone (S1 et S2)		
Nom de la relation	Définition mathématique de la relation	Nombre de relations
Contient - Dans	$(S1^\circ \cap S2^\circ = 2) \wedge (S1^\circ \cap \delta S2 = \emptyset)$	4
Dehors	$(S1^\circ \cap S2^\circ = \emptyset)$	3
Recouvre	$(S1^\circ \cap S2^\circ = 2) \wedge (S1^\circ \cap \delta S2 = 1) \wedge (\delta S1^\circ \cap S2^\circ = 1)$	2
Rencontre	$(S1^\circ \cap S2^\circ = \emptyset) \wedge (\delta S1 \cap \delta S2 = 0)$	1
Borde	$(S1^\circ \cap S2^\circ = \emptyset) \wedge (\delta S1 \cap \delta S2 = 1)$	1
Disjoint	$(S1^\circ \cap S2^\circ = \emptyset) \wedge (\delta S1 \cap \delta S2 = \emptyset)$	1

Tableau 9. Les sous-ensembles de relations topologiques (Adapté de [Ubeda, 1997])

Ces sous-ensembles ne sont pas mutuellement exclusifs. Si on veut créer des ensembles mutuellement exclusifs, il faut jumeler ces sous-ensembles et faire ressortir les éléments communs aux sous-ensembles. Le tableau suivant donne le nombre de sous-ensembles mutuellement exclusifs que l'on peut former pour chaque type de relations et le nom de ceux-ci.

Type de relation	Nombre de sous-ensembles mutuellement exclusifs	Nom des sous-ensembles
Point-Point	2	Égalité Disjoint
Point-Ligne	3	Extrémité Sur Disjoint
Point-Polygone	3	Dans Sur Disjoint
Ligne-Ligne	13	Touche Égalité Traverse et Joint Traverse et Touche Traverse, Joint et Touche Traverse Joint Joint et Touche Recouvre Recouvre et Joint Recouvre et Touche Sur Disjoint
Ligne-Polygone	10	Dans Dans et Borde Dans et Touche Touche et Traverse Touche Borde et Traverse Borde Traverse Sur Disjoint

Polygone-Polygone	9	Disjoint Touche et Extérieur Borde et Extérieur Recouvre et Touche Recouvre et Borde Dans Dans et Touche Dans et Borde Égalité
-------------------	---	--

Tableau 10. Les groupes de relations mutuellement exclusifs de la méthode de Thierry Ubeda (Adapté de [Ubeda, 1997])

Dans le cadre de son doctorat, l'auteur a intégré la gestion et la validation des contraintes d'intégrité spatiale utilisant ces regroupements de relations dans un outil informatique de correction d'erreurs dans les bases de données géométriques. Par contre, l'auteur ne présente aucune méthode de représentation des contraintes. Il a conçu une interface pour les définir mais n'a pas créé de méthode de représentation des contraintes pour les diffuser aux utilisateurs.

2.2.5 MADS

Dans [Parent et al., 1997], les auteurs proposent d'effectuer la gestion des contraintes d'intégrité spatiale dans le modèle conceptuel de données. Pour ce faire, il ont défini des types d'association topologiques qu'ils représentent par des pictogrammes. Ces types d'association topologiques sont les mêmes que les relations définies dans [Clementini, 1993]. Une relation d'égalité a été ajoutée puisque celle-ci peut être utile dans certains cas. Le tableau suivant présente ces types de relations topologiques avec leur pictogramme et leur définition.







Types spatial	Picto.	Définition
Disjonction		Aucun partage (valable pour tous types d'objets)
Adjacence		Partage sans intérieur commun
Croisement		Partage d'une partie de l'intérieur tel que la dimension de l'objet partagé est strictement inférieure à la plus grande dimension des deux objets en relation
Recouvrement		Partage d'une partie de l'intérieur tel que la dimension de l'objet partagé est égale à la plus grande dimension des deux objets en relation (valable pour des types spatiaux de même dimension)
Inclusion		La totalité de l'intérieur de l'un correspond à une partie de l'intérieur de l'autre
Égalité		Partage de la totalité de l'intérieur et de la totalité de l'enveloppe (valable pour des types d'objets de même dimensions)

Figure 25. Les types de relations topologiques de MADS (adapté de [Parent et al., 1997])

Il est à noter que les pictogrammes contiennent seulement des objets surfaciques mais qu'ils s'appliquent à tous types d'objets spatiaux.

Pour créer une contrainte d'intégrité spatiale, il suffit d'ajouter une association dans le modèle entre deux classes d'objets et d'y apposer le pictogramme d'association topologique correspondant. La figure suivante donne un exemple de deux relations topologiques soit :

1. Une ville (Point) est située dans (relation de type Inclusion) 1 à 1 commune (Surface complexe). La relation inverse est : une commune (Surface complexe) contient (relation de type Inclusion) de une à n ville (Point).
2. Une ville (Point) est au bord de (relation de type Adjacence) 0 à 1 lac (Surface simple). La relation inverse est : un lac (Surface simple) est au bord de 0 à n ville (Point).

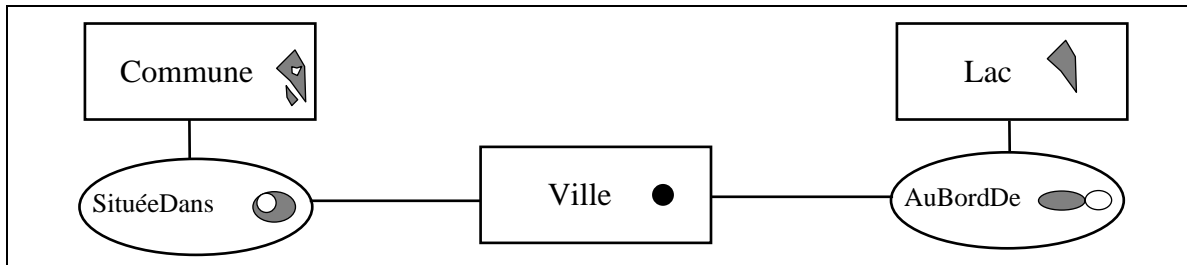


Figure 26 Exemple de contraintes d'intégrité spatiale dans MADS (Adapté de [Parent et al., 1997])

2.2.6 Formalisme Object Constraint Language

Nous avons analysé le formalisme Objet Constraint Language (OCL) [Warmer et Kepple, 1998] utilisé par le langage de modélisation orienté objet UML pour savoir si ce formalisme s'appliquerait aux contraintes d'intégrités spatiale. Le résultat de l'analyse démontre que ce formalisme est utilisé pour définir des contraintes sur les valeurs d'attributs et non pour définir des contraintes sur les relations entre les objets de la base de données. Pour ces raisons, ce formalisme ne sera pas décrit plus en détail ici.

3 Méthode Proposée : Modélisation des contraintes d'intégrité spatiale

3.1 CHOIX DU MODÈLE DE RELATIONS SPATIALES TOPOLOGIQUES

Pour s'assurer que la méthode utilisée pour le modèle de définition des relations topologiques soit la meilleure possible, les forces et les faiblesses de chacune ont été évaluées. Le tableau suivant décrit les résultats de cette évaluation :

Méthode	Avantages	Inconvénient
Méthode à 4 intersections	-Excellente pour définir les relations polygone-polygone. -Les relations sont plus intuitives car elles ont une direction.	-Manque de spécificité pour définir les relations autres que polygone-polygone.
Méthode à 9 intersections	-Peut différencier toutes les relations entre tous les types d'objets géométriques. -Les relations sont plus intuitives car elles ont une direction. -Modèle reconnu (BNDT, SAIF, ISO TC-211)	-Utilise l'extérieur des objets, il y a donc obligation de gérer le non-objet en plus de l'objet lui-même.
Méthode de Champoux-Bédard	-Gère les relations dans un environnement en trois dimensions. -Différencie toutes les relations sans utiliser l'extérieur des objets.	-Les relations sont moins intuitives car elle ne sont pas dirigées. -Théoriquement plus complexe (règles de dominance, etc.)
Méthode à quatre intersections étendues	-Plus de richesse d'expression que la méthode à quatre intersections.	
Méthodes à neuf intersections étendues	-Méthode très riche pour la définitions des relations topologiques. -Méthode reconnu (ISO TC-211).	-Utilise l'extérieur des objets, il y a donc obligation de gérer le non-objet en plus de l'objet lui-même.
Méthode CBM	-Méthode très riche pour la définition des relations topologiques	-Définition des relations complexes.

Tableau 11. Les différentes méthodes de définition des relations topologiques

Dans le cadre de ce travail, il est important d'utiliser un modèle capable de différencier le plus grand nombre possible de relations, et ce avec tous les types d'objet (point, ligne, polygone). Le modèle à quatre intersections était donc inutilisable pour le présent projet. Les modèles restants peuvent gérer tous les types de relations et peuvent donc être utilisés. Le modèle CBM est très riche pour définir les relations topologiques mais la complexité de lecture de celui-ci est un désavantage important. Le modèle de Egenhofer et Herring (9 intersections) et les modèles à quatre et neuf intersections étendues ont, du point de vue de l'utilisateur, un avantage important puisqu'ils donnent une relation différente lorsqu'on lit celle-ci d'un côté ou de l'autre. Par exemple : inclure et être inclus sont considérées comme deux relations différentes. C'est justement une caractéristique que cherchaient à éliminer Champoux et Bédard puisque dans une base de données, la relation doit être la même peu importe la direction selon laquelle on la regarde. Par exemple, inclure et être inclus constituent une seule et même relation du point de vue d'une base de données. Dans un contexte où nous voulons rendre les contraintes compréhensibles par le plus grand nombre d'utilisateurs possible, il est important que le modèle de définition des relations topologiques puisse donner une direction à la relation. Le modèle de Champoux-Bédard ne répond donc pas à nos besoins. De plus, puisque nous voulons adhérer aux normes internationales, le modèle à quatre intersections étendues ne peut être choisie puisqu'il n'est reconnu par aucune norme. Il reste donc les modèles à neuf intersections et à neuf intersections étendu. Ces deux modèles sont très complets pour définir les relations topologiques et donnent des relations dirigées. De plus, ils sont tous les deux reconnus par les normes ISO TC-211. Puisque nous devons effectuer des regroupements de relations topologiques pour créer un formalisme de modélisation des contraintes d'intégrité spatiale, la richesse supplémentaire du modèle à neuf intersections étendue n'est pas un élément suffisant pour le choix de celui-ci. Nous suggérons donc d'utiliser le modèle à neuf intersections de Egenhofer et Herring pour la définition des contraintes d'intégrité spatiale.

Souvenons-nous tout de même que la méthode de Egenhofer et Herring a deux désavantages de taille puisqu'elle a été conçue pour un environnement en deux dimensions et qu'elle utilise l'extérieur des objets pour définir les relations de ceux-ci. Le

premier problème n'en est pas vraiment un puisque que la BDTA et la BDTQ sont des bases de données spatiales en deux dimensions. Le deuxième problème est par contre plus important. Les logiciels SIG peuvent facilement gérer la limite et l'intérieur d'un objet. Par contre, la gestion de l'extérieur implique la vérification du reste du plan de travail (plan théoriquement infini) pour trouver les relations de celui-ci avec les objets concernés dans la contrainte. Cela représente un volume de calcul important pour chaque relation.

Nous avons testé une méthode hybride de définition des relations topologiques pour essayer d'éliminer ce problème. Cette méthode utilisait le modèle à quatre intersections de Egenhofer mais utilisait comme valeurs possibles pour l'état de chaque intersection les valeurs nul, partiel et totale (comme proposé par Champoux et Bédard). La méthode était intéressante puisqu'elle contournait le problème de l'extérieur des objets tout en conservant la différence de relation attribuable à la direction de lecture. Malheureusement, la méthode manquait un peu de richesse pour bien différencier certaines relations. La figure suivante donne un exemple de ce manque de richesse.

Dans l'exemple suivant, on voit bien que la première figure est un type d'intersection et que la deuxième figure est plutôt un type d'inclusion. Néanmoins, la méthode donne exactement la même définition pour les deux relations. À cause de ce manque de richesse, cette méthode a été abandonnée.

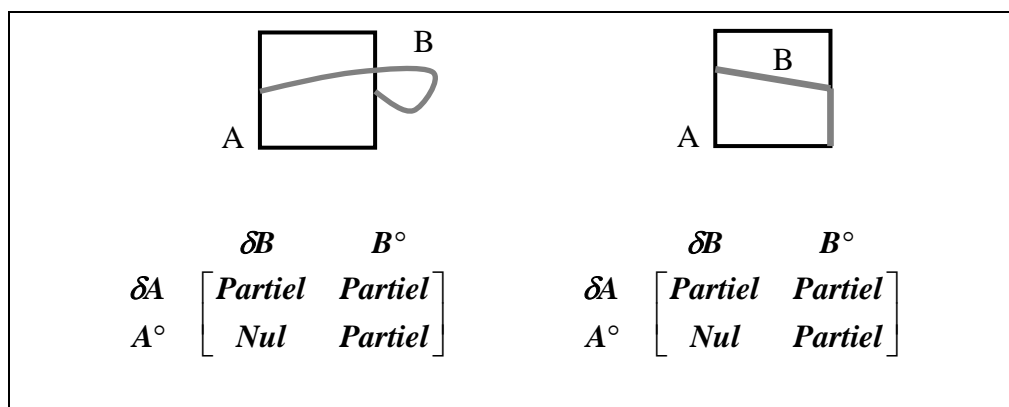


Figure 27. Le manque de richesse de la méthode hybride

Il aurait également été possible de tester une autre méthode hybride formée de la matrice à neuf intersections et des états **nul**, **partiel** et **total**, mais nous avons conclu que cette méthode, en plus de ne pas éliminer le problème de l'utilisation de l'extérieur des objets,

n'apportait rien de plus puisque toutes les relations sont déjà définies uniquement par la méthode à neuf intersections de [Egenhofer et Herring, 1994]. La décision a donc été prise d'utiliser la méthode à neuf intersections comme méthode de définition des relations topologiques entre les objets de la base de données. Cette méthode a entre autres l'avantage d'être reconnue et utilisée (telle quelle ou modifiée) ailleurs, comme dans les normes SAIF et ISO TC-211.

3.2 REGROUPEMENT DES RELATIONS EN CATÉGORIES UTILISABLES POUR LES CONTRAINTES

Comme indiqué auparavant, la méthode à neuf intersections peut différencier toutes les relations possibles entre des objets de types point, ligne et polygone. Cela représente plusieurs relations de chaque type, ce qui devient très complexe pour le lecteur cible. Pour cette raison, les relations ont été regroupées sous des termes courts et précis.

Le regroupement s'est fait en examinant les caractéristiques de chaque relation et en les classant selon ces caractéristiques. Différents regroupements ont été testés afin de trouver celui qui semblait le plus intuitif et clair. Ensuite différents termes ont été appliqués à ces regroupements en vue de les identifier clairement et simplement. Une élimination a été faite afin de garder ce qui nous apparaissait comme le meilleur terme pour chaque catégorie. Ainsi, nous regroupons les relations en cinq catégories. Ce sont: 1) disjonction, 2) adjacence, 3) intersection, 4) inclusion et 5) égalité. Pour les objets sans ouverture intérieure, ces catégories sont divisées en neuf sous-catégories pour tenir compte de certaines particularités et de la direction des relations. Il y a également deux sous-catégories s'appliquant seulement aux polygones avec des ouvertures intérieures.

Le tableau suivant donne quelques exemples pour chacune des cinq catégories (et onze sous-catégories) et leur définition précise est donnée dans les pages suivantes.

Relation	Exemple de chacune des sous-catégories	Figures
1) Disjonction	1) A est disjoint de B	
2) Adjacence	2.1) A est adjacent à B	
	2.2) A entoure B	
	2.3) A est entouré par B	
3) Intersection	3.1) A intersekte limite B	
	3.2) A intersekte intérieur B	

4) Inclusion	4.1) A inclut limite B			
	4.2) A inclut totalement B			
	4.3) A est inclus limite dans B			
	4.4) A est inclus totalement dans B			
5) Égalité	5) A est égal à B			

Tableau 12. Les cinq catégories de relations divisées en onze sous-catégories

3.2.1 Définition formelle des catégories

Les onze sous-catégories peuvent être définies formellement en utilisant la méthode à neuf intersections.

1) La relation DISJONCTION

La relation de disjonction est utilisée lorsque l'intérieur et la limite des objets n'entrent pas en contact. On peut définir formellement cette relation de la façon suivante.

$$\begin{matrix}
 & B^\circ & \delta B & B^- \\
 \begin{matrix} A^\circ \\ \delta A \\ A^- \end{matrix} & \left[\begin{array}{ccc} \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & - \\ \neg\emptyset & - & \neg\emptyset \end{array} \right]
 \end{matrix}$$

Figure 28. Définition de la relation de disjonction

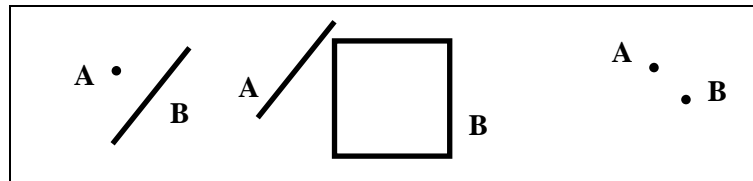


Figure 29 Exemples de la relation de disjonction

2) La relation ADJACENCE

La relation d'adjacence est utilisée lorsque seules les limites des deux objets se touchent.

On peut définir formellement la relation d'adjacence de la façon suivante.

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 \left[\begin{array}{ccc}
 A^{\circ} & \left[\begin{array}{ccc}
 \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\
 \delta A & \left[\begin{array}{ccc}
 \emptyset & \neg \emptyset & - \\
 A^{-} & \left[\begin{array}{ccc}
 \neg \emptyset & - & \neg \emptyset
 \end{array} \right] \\
 - & - & - \\
 \neg \emptyset & - & \neg \emptyset
 \end{array} \right] \\
 - & - & - \\
 \neg \emptyset & - & \neg \emptyset
 \end{array} \right] \\
 - & - & - \\
 \neg \emptyset & - & \neg \emptyset
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \right.
 \end{array}$$

Figure 30. Définition de la relation d'adjacence

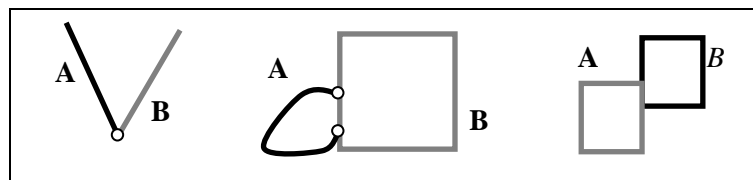


Figure 31. Exemples de la relation d'adjacence

Il est important de noter que les relations "entoure" et "est entouré par" sont des formes de la relation d'adjacence puisque le seul contact entre les objets se fait par leur limite. Par contre, ces deux relations ne s'appliquent qu'aux polygones comportant des ouvertures intérieures. On doit porter une attention particulière pour différencier ces relations de la relation d'adjacence standard. La relation d'adjacence entre deux polygones est caractérisée par la condition suivante : la limite du polygone A est en contact avec l'extérieur du polygone B **et** l'extérieur du polygone A est en contact avec la limite du polygone B (i.e. $\delta A \cap B^{-} = \neg \emptyset$ **ET** $A^{-} \cap \delta B = \neg \emptyset$). Dans le cas où l'une de ces deux intersections est vide, on est en présence de la relation "entoure" ou de la relation "est entouré par". Dans le cas où la limite de B n'est pas en contact avec l'extérieur de A, on aura la relation "entoure" et dans le cas où l'extérieur de B n'est pas en contact avec la limite de A, on aura la relations "est entouré par". Le tableau suivant précise les détails de cette règle.

Relation	État de $\delta A \cap B^-$	État de $A^- \cap \delta B$
2.1) A est adjacent à B	$\delta A \cap B^- = \neg \emptyset$	$A^- \cap \delta B = \neg \emptyset$
2.2) A entoure B	$\delta A \cap B^- = \neg \emptyset$	$A^- \cap \delta B = \emptyset$
2.3) A est entouré par B	$\delta A \cap B^- = \emptyset$	$A^- \cap \delta B = \neg \emptyset$

Tableau 13. La distinction entre les différents types d'adjacence

La figure suivante donne un exemple pour chacun des types d'adjacence. À gauche, la relation d'adjacence standard est représentée. Au centre, le relation est A entoure B et à droite, la relation est A est entouré par B.

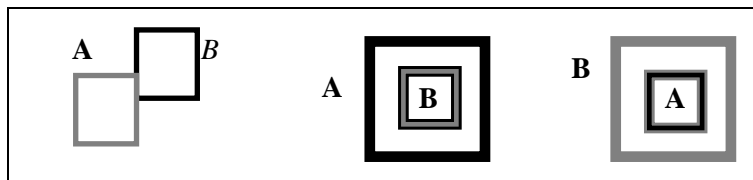


Figure 32. Exemples des différents types d'adjacence

3.1) La relation INTERSECTION LIMITE

Cette relation est utilisée lorsqu'il y a un contact entre l'intérieur d'un objet et la limite d'un autre mais pas de contact entre les intérieurs des objets.

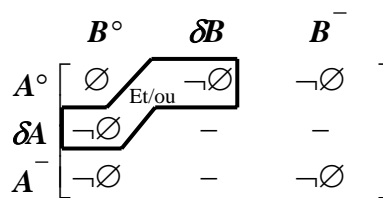


Figure 33. Définition de la relation d'intersection limite.

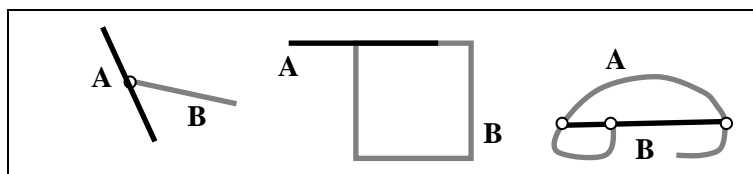


Figure 34. Exemples de la relation d'intersection limite

3.2) La relation INTERSECTION INTÉRIEURE

La relation d'intersection intérieure est utilisée lorsque l'intérieur de chacun des objets touche à l'intérieur et à l'extérieur de l'autre objet. On peut définir formellement cette relation de la façon suivante.

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 A^{\circ} \left[\begin{array}{ccc} \neg \emptyset & - & \neg \emptyset \\ \delta A & - & - \\ A^{-} & \neg \emptyset & - & \neg \emptyset \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 35. Définition de la relation d'intersection intérieure

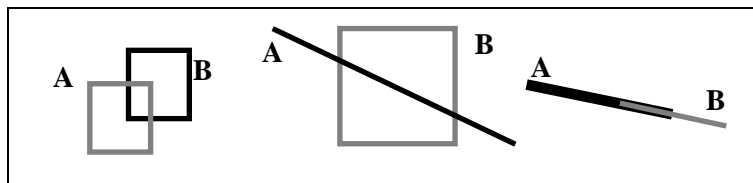


Figure 36. Exemples de la relation d'intersection intérieure

4.1) La relation INCLUT LIMITE

La relation inclut limite est utilisée lorsqu'un des objets contient complètement un autre objet et qu'il y a contact entre la limite de ces objets. On peut définir cette relation comme suit :

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 A^{\circ} \left[\begin{array}{ccc} - & - & \neg \emptyset \\ \delta A & \neg \emptyset \text{ Et/ou } \neg \emptyset & - \\ A^{-} & \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 37. Définition de la relation "inclut limite"

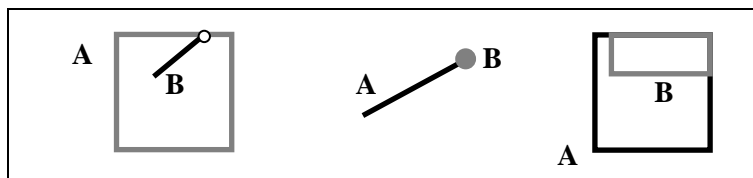


Figure 38. Exemples de la relation "inclut limite"

4.2) La relation INCLUT TOTALEMENT

La relation inclut totalement est utilisée lorsqu'un des objets contient complètement un autre objet et qu'il n'y a pas de contact entre la limite de ces objets. On peut définir formellement cette relation de la façon suivante.

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{B}^{\circ} \quad \delta\mathbf{B} \quad \mathbf{B}^{-} \\
 \mathbf{A}^{\circ} \left[\begin{array}{ccc} \neg\emptyset & - & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & - \\ \emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{array} \right] \\
 \delta\mathbf{A} \\
 \mathbf{A}^{-}
 \end{array}$$

Figure 39. Définition de la relation "inclut totalement"

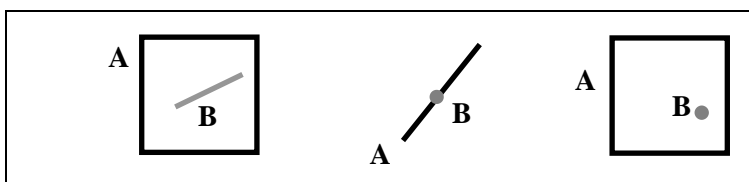


Figure 40. Exemples de la relation "inclut totalement"

4.3) La relation EST INCLUS LIMITE

La relation est inclus limite est utilisée lorsqu'un des objets est complètement à l'intérieur d'un autre objet et qu'il y a contact entre la limite de ces éléments. Cette relation peut être définie de la façon suivante.

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{B}^{\circ} \quad \delta\mathbf{B} \quad \mathbf{B}^{-} \\
 \mathbf{A}^{\circ} \left[\begin{array}{ccc} - & \begin{array}{c} \neg\emptyset \\ \text{Et/ou} \\ \neg\emptyset \end{array} & \neg\emptyset \\ \delta\mathbf{A} & - & \emptyset \\ \mathbf{A}^{-} & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 41. Définition de la relation "est inclus limite"

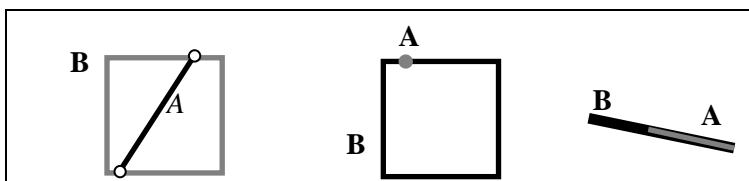


Figure 42. Exemples de la relation "est inclus limite"

4.4) La relation EST INCLUS TOTALEMENT

La relation est inclus totalement est utilisée lorsqu'un des objets est contenu entièrement dans un autre objet et qu'il n'y a pas de contact entre la limite de ces objets. On peut définir formellement cette relation de la façon suivante.

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 \left[\begin{array}{ccc}
 A^{\circ} & \neg \emptyset & \emptyset & \emptyset \\
 \delta A & - & \emptyset & \emptyset \\
 A^{-} & \neg \emptyset & - & \neg \emptyset
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 43. Définition de la relation "est inclus totalement"

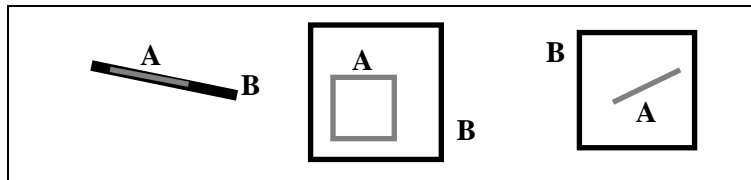


Figure 44. Exemples de la relation "est inclus totalement"

5) La relation ÉGALITÉ

Cette relation est utilisée lorsque les deux objets se recouvrent exactement, c'est-à-dire qu'ils ont exactement la même taille et la même position. La relation se définit de la manière suivante :

$$\begin{array}{c}
 B^{\circ} \quad \delta B \quad B^{-} \\
 \left[\begin{array}{ccc}
 A^{\circ} & \neg \emptyset & \emptyset & \emptyset \\
 \delta A & \emptyset & - & \emptyset \\
 A^{-} & \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figure 45. Définition de la relation d'égalité

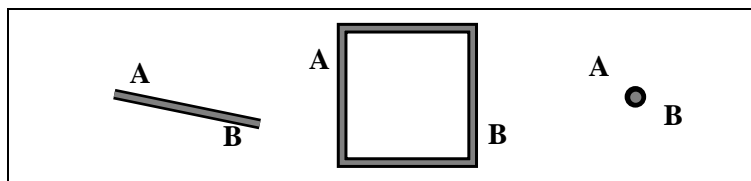


Figure 46. Exemples de la relation d'égalité

Donc, nous proposons de nous limiter à ce niveau de regroupement, c'est à dire à ces onze relations, pour développer les contraintes d'intégrité spatiale pour la BDTA et la BDTQ.

Nous considérons que d'aller plus en détail (définir les contraintes directement au niveau de la matrice d'intersections) amènerait des définitions de contraintes beaucoup trop longues et complexes. En effet, il existe presque toujours plusieurs relations possibles entre deux objets de la base de données. Puisque chacune de ces relations est définie par une matrice d'intersections, la contrainte d'intégrité spatiale deviendrait rapidement difficile à lire. Supposons que la relation permise entre un lac surfacique et un pont linéaire est : "intersection intérieure", la définition cette contrainte, avec les matrices d'intersections, serait la suivante:

La relation entre un lac surfacique et un pont linéaire doit être une des suivantes:					
B°	δB	B^-	B°	δB	B^-
A°	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		A°	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	
δA	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		δA	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	
A^-	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		A^-	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	
B°	δB	B^-	B°	δB	B^-
A°	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		A°	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	
δA	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		δA	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	
A^-	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		A^-	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	
B°	δB	B^-	B°	δB	B^-
A°	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		A°	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	
δA	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		δA	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	
A^-	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$		A^-	$\begin{bmatrix} \neg\emptyset & \emptyset & \neg\emptyset \end{bmatrix}$	

Figure 47. La complexité des contraintes lorsqu'on utilise les matrices d'intersections

De même, nous avons restreint les contraintes spatiales aux contraintes topologiques, excluant par le fait même les relations métriques du type "être parallèle à", "être à une distance minimale de", etc. Ces dernières pourraient être gérées et représentées selon un modèle semblable à celui utilisé pour les relations topologiques. La vérification des contraintes de type métrique se fait en se basant directement sur les coordonnées des objets et non sur les relations entre eux-ci. Nous avons également exclu les agrégations

géométriques (ex: archipel) ainsi que la relation "encircles" de la norme SAIF, laquelle peut être obtenue par l'algorithme PIPA (point in polygon algorithm).

Donc, selon cette approche, nous considérons qu'il est préférable de détecter une majorité d'incohérences spatiales au coût d'un effort raisonnable plutôt que de tenter de détecter 100% des incohérences au coût d'efforts démesurés. Un autre des avantages de se limiter à onze relations réside dans la simplicité à l'utilisation. Une solution trop complexe est souvent accueillie avec beaucoup de réticence par les usagers, qui ont alors tendance à ne pas l'adopter. Nous croyons donc que ces onze relations sont suffisantes pour nos besoins. Rien n'empêche quelqu'un d'aller plus en détail pour un cas particulier s'il le désire, mais nous ne pouvons le suggérer pour l'ensemble des contraintes.

3.3 DÉFINITION D'UNE MÉTHODE DE REPRÉSENTATION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE

L'étape suivante du travail consiste à définir une méthode pour représenter dans un document les contraintes d'intégrité spatiale. Cette méthode devait être claire et facile à comprendre, tout en offrant la richesse nécessaire pour représenter toutes les situations possibles.

3.3.1 *Portée de la méthode de représentation à définir*

Une des premières questions à se poser concerne la portée de la représentation des contraintes d'intégrité spatiale. Doit-on avoir une vue globale de la situation afin de pouvoir analyser de visu tous les types de relations spatiales et leur cohérence, ou doit-on privilégier plutôt une vue spécifique donnant tous les détails des contraintes s'appliquant à une paire de classes d'objets? Nous avons testé ces deux approches en présumant que les deux pouvaient être utiles mais nous avons rapidement opté pour développer seulement une vue spécifique des contraintes. En effet, dans le cas des contraintes d'intégrité spatiale et des bases de données comprenant plusieurs classes d'objets, une vue globale devient rapidement illisible et non pratique autant pour celui qui définit ou consulte la documentation que pour celui qui doit programmer les contraintes (à cet égard, nous avons donc choisi une orientation différente de celle de Parent et al (1997)). De plus,

Le formalisme que nous voulions créer devait être intuitif et facile à comprendre mais il devait surtout être capable de représenter des concepts abstraits (i.e. des contraintes d'intégrité spatiale). Nous avons examiné la possibilité d'utiliser une représentation graphique de type MCD comme dans le formalisme MADS pour les définir les contraintes d'intégrité spatiale, mais à cause du volume de contraintes à représenter, cette solution a été abandonnée. En effet, si on considère une base de données cartographiques contenant soixante classes d'objets et que l'on suppose que chacune de ces classes d'objets seront affectées de trois ou quatre contraintes d'intégrité, on aura de 180 à 240 associations supplémentaires à ajouter au modèle conceptuel, ce qui le rendra rapidement illisible donc inutilisable. Par conséquent, l'utilisation d'un langage hybride semblait être un bon choix. Dans [Proulx, 1995], on propose une classification des langages d'interrogation des bases de données. On les classe en langage naturel, langage naturel structuré, langage visuel, langage visuel hybride et langage textuel hybride. Le formalisme développé dans le cadre de ce travail est un langage textuel hybride. La plus grande partie du formalisme est textuelle mais certaines règles de représentation et les pictogrammes spatiaux utilisés pour représenter la géométrie des classes d'objets en font un langage textuel hybride.

Une analyse des différentes méthodes présentées auparavant (BNDDT, SAIF, etc.) a été effectuée afin de retirer les forces et les faiblesses de chacune et de savoir ce que nous pourrions réutiliser dans notre propre mode de représentation. Le tableau suivant donne les résultats de cette analyse.

Méthode	Avantages	Inconvénients
BNDT	-La représentation des contraintes dans des tableaux offre une bonne facilité de lecture et une assez bonne vue globale des contraintes. -Le dictionnaire comprend un bon sommaire des relations possibles entre les classes d'objets.	-Les objets en relation sont représentés par un code numérique dans les annexes.(manque de clarté) -Manque de richesse dans les relations possibles. (connexion, partage, etc.)
Norme SAIF	-Bonne diversité des relations possibles. -Plusieurs types d'éléments peuvent être inclus dans les relations (volume, anneaux, etc.)	-Aucune représentation explicite des contraintes n'est proposée.
Modèle proposé par Hadzilacos et Tryfona	-Très grande richesse d'expression.	-Formalisme complexe et peu applicable dans la pratique. -Utilisation de la matrice à quatre intersections pour la définition des relations topologiques.
Modèle de Thierry Ubeda	-Grande diversité des relations possibles.	-Aucune représentation explicite des contraintes n'est proposée. -Le nom des groupes de relations mutuellement exclusifs sont longs et peuvent porter à confusion.
MADS	-Bonne diversité des relations possibles. -Plusieurs types d'éléments peuvent être inclus dans les relations (surface complexe, etc.).	-La représentation des contraintes dans le MCD rend celui-ci difficile à lire pour les bases de données contenant plusieurs classes d'objets.

Tableau 15. Les forces et faiblesses des différentes méthodes de représentation

Après analyse, on se rend compte que l'utilisation d'un formalisme mathématique complexe, malgré sa grande richesse d'expression, ne convient pas à un travail comme le nôtre puisqu'il est difficile à comprendre et très peu intuitif. De plus, il serait impensable

d'imposer son apprentissage aux utilisateurs. La norme SAIF offre une bonne richesse d'expression mais ne propose pas vraiment de mode de représentation concret. La représentation des contraintes en tableau dans la BNDT offre une alternative intéressante qui permet de représenter facilement toutes les contraintes de façon claire et assez intuitive. Une représentation tabulaire sera donc retenue pour la modélisation des contraintes d'intégrité spatiale dans le présent essai.

3.3.3 *Objets vs Classes d'objets*

On ne peut évidemment pas construire une table des contraintes pour chacune des occurrences d'objets de la base de données puisqu'il existe plusieurs milliers d'objets dans chaque classe. Par contre, les contraintes d'intégrité spatiale doivent être vérifiées au niveau des occurrences elles-mêmes et non au niveau de la classe. La solution normale pour régler ce problème est de définir les contraintes au niveau de la classe d'objet mais de les appliquer au niveau des occurrences d'objet elles-mêmes puisque chaque objet possède les caractéristiques de sa classe d'objet. Conséquemment, les contraintes doivent être définies en fonction de toutes les relations possibles entre les objets d'une classe et les objets d'une autre classe.

3.3.4 *Contraintes alternatives*

L'ensemble des relations topologiques possibles entre deux objets est un ensemble fermé (les onze relations topologiques définies auparavant). Donc, si une de ces relations est obligatoire entre deux objets, on peut affirmer que toutes les autres relations de l'ensemble sont interdites. Pour cette raison, il n'est pas nécessaire de définir l'état (obligatoire, possible ou interdite) de toutes les relations de l'ensemble. Il suffit de définir l'état de certaines de ces relations et l'état des autres relations de l'ensemble peut être déduit automatiquement. Par exemple, si la relation entre deux cours d'eau est obligatoirement "Adjacence", on sait que les relations "Intersection Intérieure", "Disjonction", etc. seront interdites. De cette façon, en définissant l'état d'une des relations, on définit en même temps l'état toutes les relations de l'ensemble. Par contre, il est important de noter que dans certains, il peut y avoir plus d'une relation possible entre deux objets. Dans ce cas, la

relation entre les objets doit obligatoirement provenir d'un sous-ensemble de l'ensemble de toutes les relations topologiques possibles. On parle alors de "contraintes alternatives" entre deux objets. La méthode de représentation doit permettre d'exprimer ces contraintes alternatives entre les classes d'objets.

3.3.5 Influence de la représentation géométrique multiple des objets

La BDTA et la BDTQ sont des bases de données où la géométrie multiple (plus d'une géométrie par occurrence d'objet) est utilisée. Il faut donc prévoir un mécanisme de représentation pour permettre de définir les contraintes d'intégrité spatiale sur des objets de même classe mais de géométries différentes. Par exemple, un barrage peut être représenté par un point, une ligne ou un polygone en fonction de la dimension réelle de celui-ci et de l'échelle de représentation cartographique. Les contraintes d'intégrité par rapport à un cours d'eau linéaire ne seront alors pas les mêmes pour un barrage ponctuel ou un barrage linéaire. De même, les contraintes d'intégrité pour un barrage surfacique ne seront pas les mêmes par rapport à un cours d'eau linéaire ou surfacique. La méthode de représentation doit donc permettre de refléter les contraintes différentes dues aux différentes géométries des objets impliqués.

3.3.6 Méthode proposée

Les deux tableaux suivants sont des exemples de la représentation proposée; il s'agit d'extraits tirés des contraintes pour les objets "hélicoptère" et "canal" de la BDTA/BDTQ. L'explication complète de la représentation suit le deuxième tableau.

Hélicoptère

Dimension Objet1	Opérateur	Relations	Cardinalités	Objet2	Dimension objet2
□		Disjonction	-	Hélicoptère	□

Figure 48. La contrainte d'intégrité spatiale pour la classe d'objets "Hélicoptère"

La contrainte d'intégrité spatiale pour la classe d'objets "hélicoptère" est donc la suivante : Un hélicoptère ponctuel doit être disjoint d'un autre hélicoptère ponctuel (ce qui évite d'avoir une double numérisation du même objet).

Canal

Dimension Objet1	Opérateur	Relations	Cardinalités	Objet2	Dimension objet2
<input checked="" type="checkbox"/>		Égalité	0-0	Canal	<input checked="" type="checkbox"/>
	Ou	Disjonction	-	Cours_eau	<input checked="" type="checkbox"/>
		Adjacence	1-2		
	Ou	Disjonction	-		<input type="checkbox"/>
		Adjacence	1-2		

Commentaires pour l'objet canal

Un canal peut-être adjacent à seulement un cours d'eau lorsqu'il est issu d'un cours d'eau et se jette dans le même cours d'eau. Dans tous les autres cas, il doit être adjacent à deux cours d'eau (linéaires ou surfaciques).

Figure 49. Les contraintes d'intégrité spatiale pour la classe d'objets "Canal"

La figure 43 nous indique donc les contraintes suivantes pour la classe d'objets "Canal":

- Un canal linéaire ne peut être égal à un autre canal linéaire.
- Un canal linéaire est obligatoirement disjoint d'un cours d'eau linéaire ou obligatoirement adjacent au minimum à un et au maximum à deux cours d'eau linéaires.
- Un canal linéaire est obligatoirement disjoint d'un cours d'eau surfacique ou obligatoirement adjacent au minimum à un et au maximum à deux cours d'eau surfaciques.
- Le commentaire nous apprend qu'un canal ne peut être disjoint de tous les cours d'eau (linéaires ou surfaciques) même si cela semble respecter les contraintes du tableau. Tous les canaux doivent donc être adjacents à deux cours d'eau (linéaires ou surfaciques) sauf dans le cas d'exception indiqué.

La représentation des contraintes se fait de la façon suivante :

1. Le nom de l'objet1 est situé au-dessus du tableau.
2. Dimension Objet1 : Contient la dimension du premier objet concerné par la contrainte. Peut prendre les valeurs , et .

3. Opérateur : Contient un opérateur indiquant si la contrainte est une contrainte alternative (choix entre les contraintes englobées par le "ou"). S'il n'y a rien dans le champ, on est en présence d'une contrainte unique (pas de choix, la contrainte doit être respectée).
4. Relations : Contient le nom de la relation spatiale à utiliser dans la contrainte. Le domaine de valeurs possibles est le suivant : disjonction, adjacence, intersection limite, intersection intérieure, inclut limite, inclut totalement, est inclus limite, est inclus totalement, égalité, est entouré par, entoure.
5. Cardinalités : La cardinalité indique si la relation est interdite ou obligatoire. Les valeurs possibles sont : 0-0 (relation interdite) et 1-1 (relation obligatoire). D'autres types d'obligation sont possibles : 1-2, 1-3, 2-2, 1-n, 2-n et 3-n. Dans le cas de la relation de disjonction. On ne met pas de cardinalité, on met plutôt un tiret (-) pour indiquer que l'objet1 est disjoint de tous les objets2.
6. Objet2 : Contient le nom de l'objet avec lequel l'objet1 est en relation spatiale.
7. Dimension Objet2 : Contient la dimension du premier objet concerné par la contrainte. Peut prendre les valeurs , et .
8. La boîte commentaire fournit les détails supplémentaires concernant les contraintes d'intégrité spatiale sur l'objet1.

Les règles à respecter pour la représentation des contraintes sont les suivantes :

1. Les contraintes sont triées selon la dimension de l'objet1. Pour les objet1 de dimension identique qui se suivent, les cellules "Dimensions Objet1" sont fusionnées et on n'affiche qu'une fois le pictogramme spatial au début (cf. figure 43, lignes 2 à 6) .
2. Les relations alternatives sont placées une après l'autre, les cellules "opérateur" sont fusionnées et on affiche le "ou" seulement avant la dernière relation (cf. figure 36, lignes 3-4 et 5-6).
3. Si pour deux contraintes de suite le nom de l'objet2 est le même, on fusionne les cellules et on affiche le nom au début seulement (cf. Figure 43, lignes 2 à 6).

4. Si plusieurs objet2 consécutifs ont la même dimension, on fusionne les cellules et on affiche le pictogramme spatial une fois au début (cf. figure 43, lignes 3-4 et 5-6).

Il faut noter une particularité dans la méthode de représentation. La plupart du temps, on aura des relations alternatives contenant une relation de disjonction et une relation d'un autre type. Ceci est dû au fait que les contraintes sont représentées au niveau de la classe d'objets (ex : Canal) et non au niveau de l'occurrence d'objet (ex : le canal Lachine). Il faut donc considérer dans l'exemple précédent qu'il y aura certains objets particuliers de la classe "canal" (ex: le canal Lachine) qui ne seront pas en relation d'adjacence avec certains objets particuliers de la classe "cours d'eau" linéaire (ex: la rivière Chaudière). On doit donc inclure la relation disjonction dans les contraintes d'intégrité. Il faut cependant considérer que lorsqu'on est en présence de contraintes alternatives, chacune de ces contraintes doit être respectée au moins un fois. Donc, le canal Lachine peut être disjoint de plusieurs cours d'eau linéaires mais il devra obligatoirement être adjacent à au moins un et au plus deux cours d'eau linéaires. Le même concept s'applique pour les cours d'eau surfaciques. Une dernière chose à noter est que la relation de disjonction n'a pas de cardinalité, donc une occurrence de "canal" pourrait être disjointe d'aucun ou de plusieurs cours d'eau linéaires et la contrainte serait quand même respectée.

La figure suivante donne plusieurs exemples pour illustrer les contraintes de la classe d'objets "Canal".

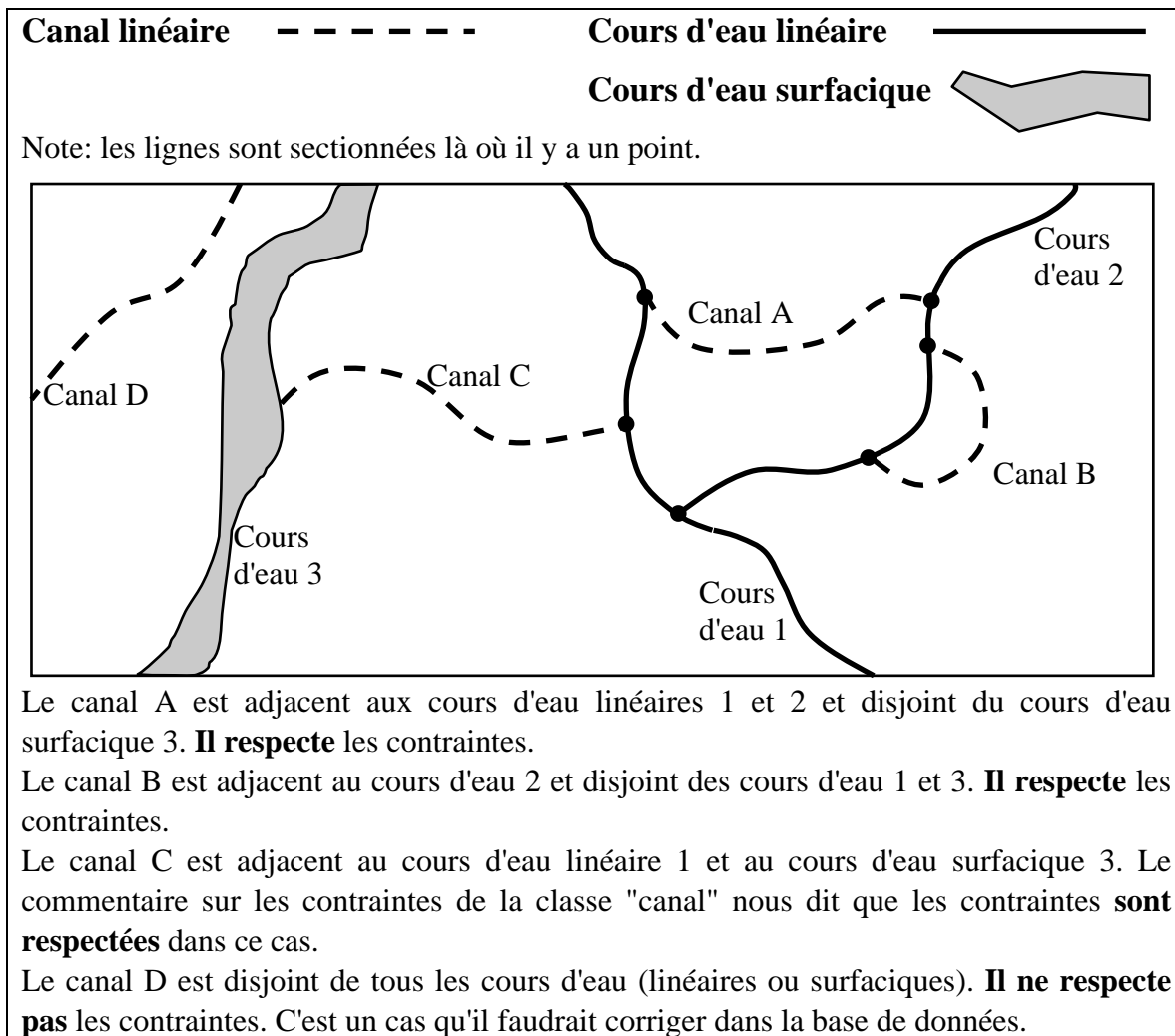


Figure 50. Illustration de la signification des contraintes d'intégrité spatiale pour la classe d'objet "Canal"

La méthode de représentation a été conçue pour être implantée dans le SGBD Access et pour permettre la génération automatique du tableau des contraintes dans un rapport rattaché à la base de données. Ce choix de marier la méthode de représentation avec une application SGBD impose quelques restrictions de représentation mais procure également plusieurs avantages pratiques, dont les formulaires facilitant la saisie des contraintes, la génération facile de rapports, la possibilité de vérifier les valeurs saisies dans la base de données (domaines de valeurs, etc.) et d'injecter les contraintes dans un programme visant à les appliquer à la base de données (à la volée lors de la saisie ou en lot).

3.4 DÉFINITION DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE POUR BDTA-BDTQ

Une fois la méthode de représentation définie, il ne restait qu'à définir l'ensemble des contraintes d'intégrité pour les classes d'objets communes de la BDTA et de la BDTQ.

Deux questions devaient être analysées avant de commencer.

- 1- Devions-nous définir les contraintes pour toutes les classes d'objets en relation avec toutes les autres classes d'objets?
- 2- Devions-nous considérer toutes les géométries possibles de toutes les classes d'objets?

Un calcul rapide nous a permis de voir que si les contraintes étaient définies pour toutes les géométries possibles (3) de toutes les classes d'objets (48) de la BDTA par rapport à toutes les géométries possibles de toutes les autres classes d'objets, il y aurait près de 20 000 contraintes à définir. De ce nombre, plusieurs étaient sans objet (relation avec un barrage de castor surfacique ou un cours d'eau ponctuel) ou inutiles (relation entre une buse linéaire et une mer ponctuelle). En se limitant aux géométries déjà existantes dans la BDTA et dans la partie de la BDTQ que nous avons à traiter et en recalculant le tout, on obtenait environ 2 700 contraintes à définir. Encore une fois, on obtenait plusieurs relations sans intérêt ou pratiquement impossible à retrouver et dont la vérification automatique ne ferait qu'augmenter le temps de traitement et n'apporterait que peu de bénéfices concrets (relation entre un détroit et une MRC, entre un barrage de castor et une autoroute).

La solution choisie pour régler ce problème fut de se concentrer sur les contraintes intra-thème (ex : relations des cours d'eau avec les mers, les détroits, les lacs) et sur quelques relations inter-thème intéressantes (ex : relations des cours d'eau avec les chemins et routes). Ceci réduisait le nombre de contraintes à définir à environ 600 en considérant les différentes géométries existantes de chaque objet. Les définitions de ces contraintes pour les objets de la BDTA et de la BDTQ sont présentées en annexe.

4 Présentation du logiciel G6 développé pour la gestion des contraintes d'intégrité spatiale

Le logiciel G6 de gestion des contraintes d'intégrité spatiale a été développé dans le système de gestion de base de données Microsoft Access. Les prochaines pages décrivent chacune des composantes du logiciel G6. Plus particulièrement, nous y présentons le modèle conceptuel de données de la base de données, les cas d'utilisation et les diagrammes de séquence selon le formalisme UML. Les différentes fonctions de l'application sont également décrites en détail.

4.1 MODÈLE CONCEPTUEL DE DONNÉES

La figure suivante représente le modèle conceptuel de données de la base de données de l'application G6. Dans cette figure, la géométrie doit être un point, une ligne ou un polygone. La base de données peut être BDTA, BDTQ ou les deux.

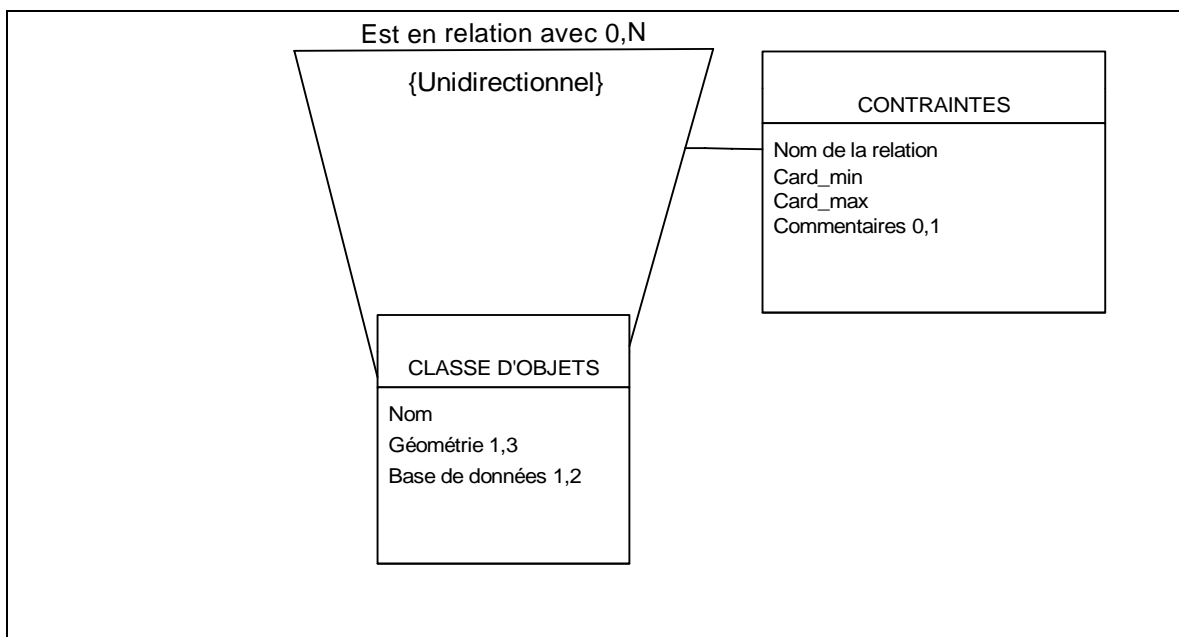


Figure 51. Modèle conceptuel de données de l'application G6

4.2 CAS D'UTILISATION

Dans cette section, les différentes fonctionnalités du système seront décrites grâce aux cas d'utilisation du formalisme UML. Chaque cas d'utilisation sera ensuite défini plus en détail grâce à des diagrammes de séquence.

"Les cas d'utilisation décrivent sous forme d'actions et de réactions, le comportement d'un système du point de vue d'un utilisateur. C'est une manière spécifique d'utiliser le système. C'est l'image d'une fonctionnalité du système, déclenchée en réponse à la stimulation d'un acteur externe." [Muller, 1997]

4.2.1 Les acteurs

Les acteurs principaux de l'application G6 sont les suivants :

1. Les utilisateurs sont ceux qui utilisent G6 uniquement pour la consultation des contraintes contenues dans la base de données. Ils ne font aucune mise à jour, ni ajout de contraintes.
2. Le responsable de la saisie des contraintes est celui qui s'occupe de faire la mise à jour des contraintes de la base de données, d'ajouter des contraintes et d'en effacer au besoin.

4.2.2 Description des cas d'utilisation

Les cas d'utilisation du système ont été définis et ils sont présentés dans le tableau suivant, avec les acteurs auxquels ils se rattachent.

Acteurs	Cas d'utilisation
Utilisateurs	Consultation du guide de l'utilisateur Consultation des relations topologiques Consultation des contraintes d'intégrité spatiale Consultation des classes d'objets
Responsable de la saisie des contraintes.	Consultation du guide de l'utilisateur Consultation des relations topologiques Consultation des contraintes d'intégrité spatiale Consultation des classes d'objets Modification des contraintes d'intégrité spatiale Modification des classes d'objets

Tableau 16. Tableau reliant les cas d'utilisation et les acteurs

La figure suivante présente les cas d'utilisation en utilisant le formalisme UML.

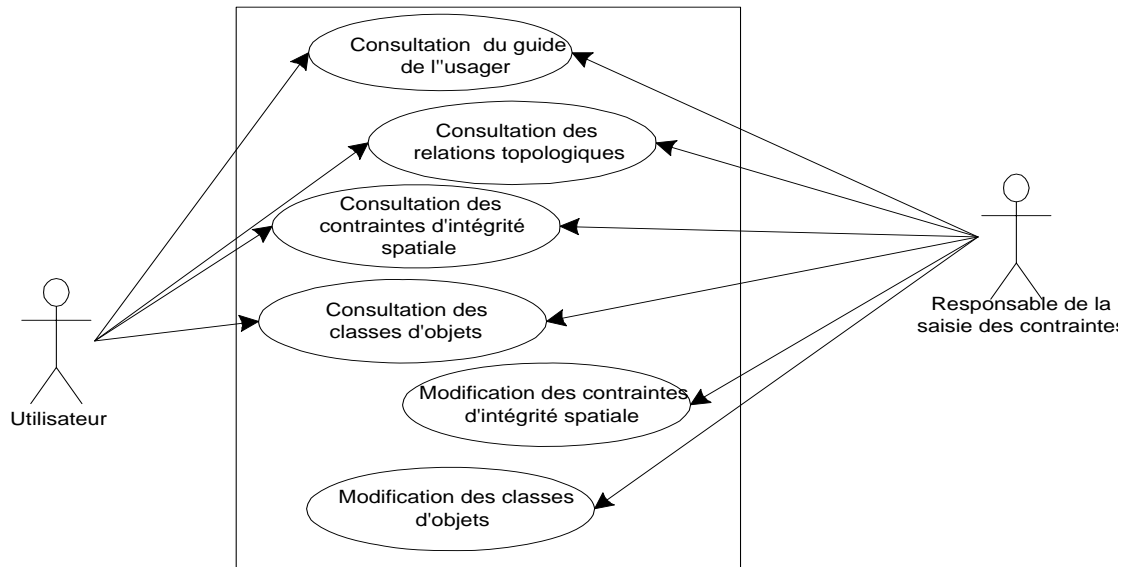


Figure 52 Diagramme des cas d'utilisation

4.2.3 Les diagrammes de séquence

Un diagramme de séquence peut être défini comme suit : "Les diagrammes de séquence montrent les interactions entre les objets selon un point de vue temporel" [Muller, 1997].

Chacun des cas d'utilisation présentés plus haut peut être décomposé en une ou plusieurs étapes, qui à leur tour peuvent être représentées par un diagramme de séquence. Les pages suivantes contiennent les diagrammes de séquence pour chacune de ces étapes.

Consultation du guide de l'utilisateur

- Le cas d'utilisation "Consultation du guide de l'utilisateur" débute lorsque l'utilisateur choisit de consulter le guide de l'utilisateur.
- L'utilisateur choisit de consulter le guide de l'utilisateur
- Le système affiche le guide
- L'utilisateur en fait la lecture et termine la consultation.

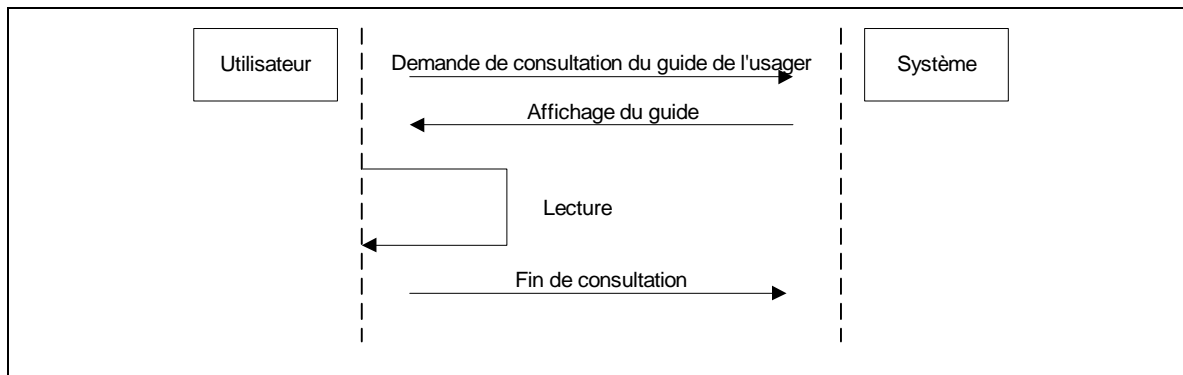


Figure 53. Consultation du guide de l'utilisateur

Consultation des relations topologiques

Ce cas d'utilisation se produit lorsque l'utilisateur veut consulter les relations topologiques possibles entre les différentes géométries (point, ligne, polygone). Cela lui permettra de voir le nom des relations possibles et leur définition formelle.

- Le cas d'utilisation "Consultation des relations topologiques" commence lorsque l'utilisateur décide de consulter les relations topologiques contenues dans la base de données de l'application.
- L'utilisateur décide de consulter les relations topologiques.
- Le formulaire affiche le formulaire de recherche.
- L'utilisateur complète les champs du formulaire et lance la requête.
- Le système affiche les résultats.
- L'utilisateur navigue dans les résultats.
- L'utilisateur termine la consultation.
- Le système affiche le formulaire de navigation.

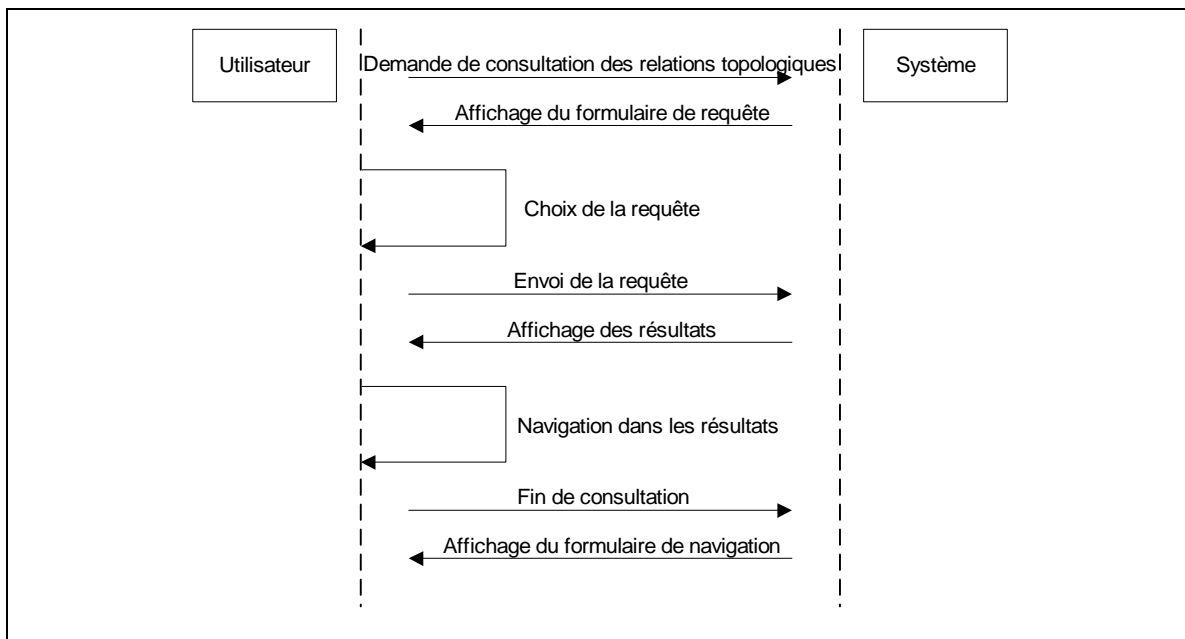


Figure 54. Consultation des relations topologiques

Consultation des contraintes d'intégrité spatiale

Ce cas d'utilisation se produit lorsque l'utilisateur veut voir les contraintes d'intégrité spatiale contenues dans la base de données. Cela lui permet de connaître les contraintes entre différentes classes d'objets.

- Ce cas d'utilisation débute lorsque l'utilisateur décide de consulter les contraintes d'intégrité spatiale.
- L'utilisateur consulte les contraintes d'intégrité spatiale.
- Le système affiche le rapport contenant les contraintes.
- L'utilisateur navigue dans le rapport.
- L'utilisateur termine la consultation.

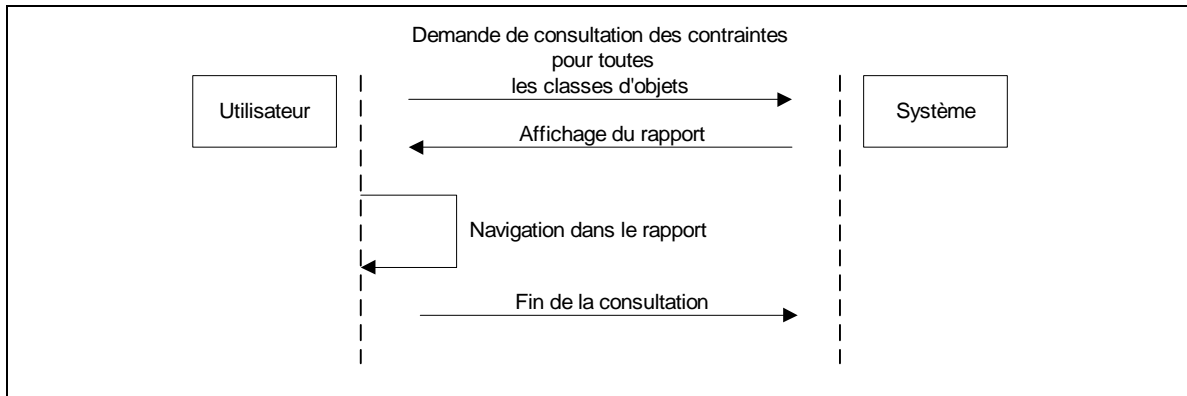


Figure 55. Consultation des contraintes d'intégrité spatiale

Consultation des classes d'objets

Ce cas d'utilisation se produit lorsque l'utilisateur veut savoir quelles classes d'objets sont présentes dans la base de données.

- Ce cas d'utilisation débute lorsque l'utilisateur décide de consulter les classes d'objets.
- Le système affiche les formulaires de consultation.
- L'utilisateur consulte les classes d'objets.
- L'utilisateur termine la consultation.
- Le système affiche le formulaire de navigation.

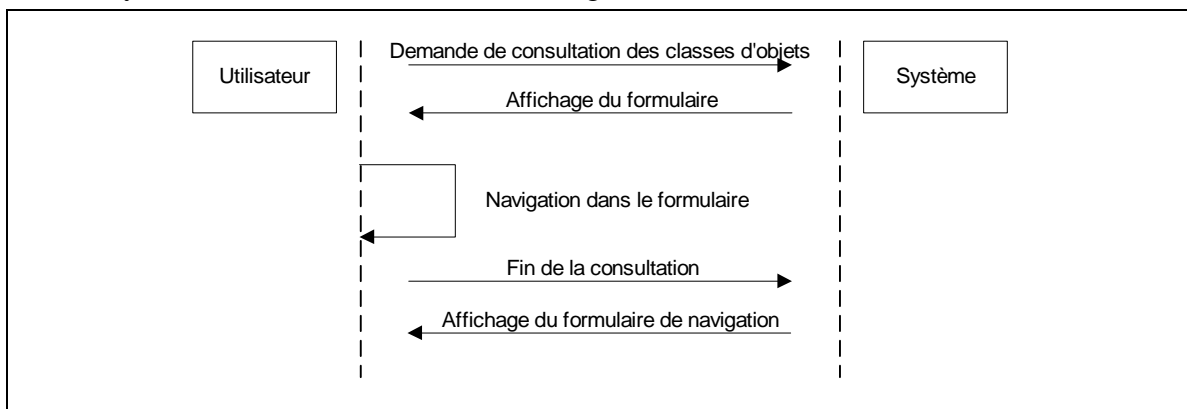


Figure 56. Consultation des classes d'objets

Modification des contraintes d'intégrité spatiale

Ce cas d'utilisation commence lorsque le responsable de la saisie des contraintes décide de modifier les contraintes d'intégrité spatiale.

Modifier les contraintes d'intégrité spatiale

- Le responsable demande de modifier une contrainte d'intégrité spatiale.
- Le système affiche le formulaire nécessaire.
- Si le responsable veut ajouter une contrainte alors AJOUTER UNE CONTRAINTE.
- Sinon
 - Si le responsable veut ajouter une contrainte alternative alors AJOUTER UNE CONTRAINTE ALTERNATIVE.
 - Sinon
 - Si le responsable veut effacer une contrainte, alors EFFACER UNE CONTRAINTE
 - Sinon
 - Si le responsable veut terminer la saisie, alors le système affiche le formulaire de navigation.

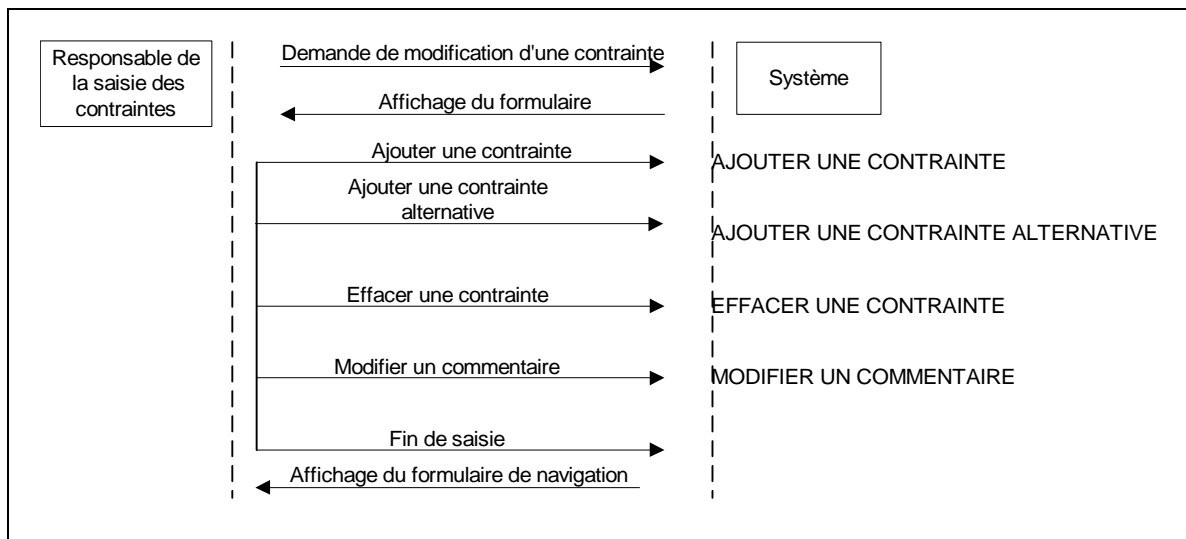


Figure 57. Modifier une contrainte

Ajouter une contrainte

- Le responsable veut ajouter une contrainte.
Le système enregistre la contrainte active, crée un nouvel enregistrement et l'affiche.
- Le responsable entre les données pour la nouvelle contrainte.
- Si le responsable veut ajouter une contrainte alors AJOUTER UNE CONTRAINTE.
- Sinon
 - Si le responsable veut ajouter une contrainte alternative alors AJOUTER UNE CONTRAINTE ALTERNATIVE.
 - Sinon
 - Si le responsable veut effacer une contrainte, alors EFFACER UNE CONTRAINTE
 - Sinon
 - Si le responsable veut terminer la saisie, alors le système affiche le formulaire de navigation.

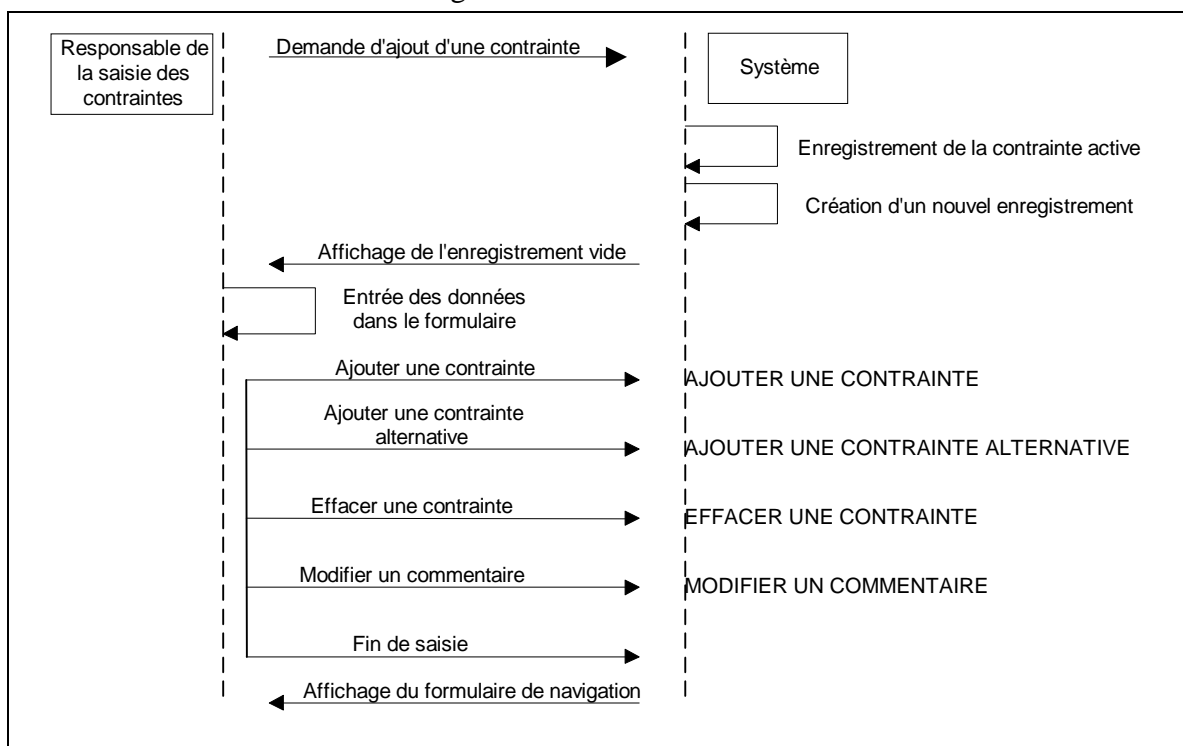


Figure 58. Ajouter une contrainte

Ajouter une contrainte alternative

- Le responsable veut ajouter une contrainte alternative.
- Le système affiche un message indiquant que le responsable doit choisir pour quelle contrainte la contrainte alternative doit être ajoutée.
- Le responsable choisit la contrainte.
- Si le responsable annule l'action alors MODIFIER UNE CONTRAINTE.
- Sinon
 - Si le responsable continue l'action alors,
 - Le système enregistre la contrainte active.
 - Le système insère un nouvel enregistrement dans la base de données après l'enregistrement actif.
 - Le système modifie l'opérateur du nouvel enregistrement et affiche celui-ci.
 - Le responsable affiche le nouvel enregistrement.
 - Si le responsable veut ajouter une contrainte alors AJOUTER UNE CONTRAINTE.
- Sinon
 - Si le responsable veut ajouter une contrainte alternative alors AJOUTER UNE CONTRAINTE ALTERNATIVE.
 - Sinon
 - Si le responsable veut effacer une contrainte, alors EFFACER UNE CONTRAINTE
 - Sinon
 - Si le responsable veut terminer la saisie, alors le système affiche le formulaire de navigation.

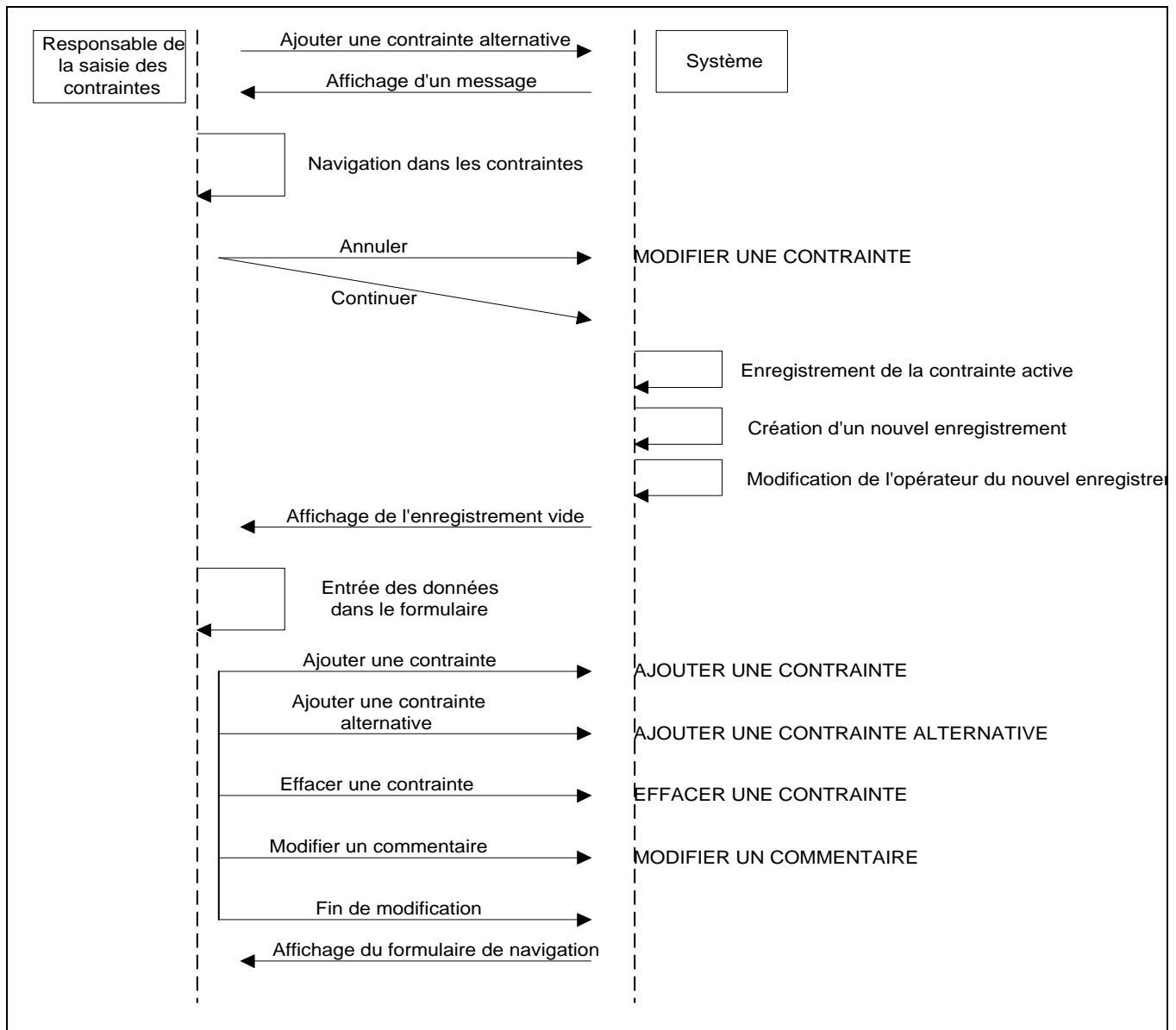


Figure 59. Ajouter une contrainte alternative

Effacer une contrainte

- Le responsable veut effacer une contrainte.
- Le système envoie un message pour demander quelle contrainte effacer.
- Le responsable navigue dans les contraintes
- Si le responsable annule l'action alors MODIFIER UNE CONTRAINTE.
- Sinon
 - Si le responsable continue l'action alors,
 - Le système efface la contrainte active.

- Le système ajuste les contraintes alternatives.
- Le système affiche l'enregistrement précédent.
- Si le responsable veut ajouter une contrainte alors AJOUTER UNE CONTRAINTE.
- Sinon
 - Si le responsable veut ajouter une contrainte alternative alors AJOUTER UNE CONTRAINTE ALTERNATIVE.
 - Sinon
 - Si le responsable veut effacer une contrainte, alors EFFACER UNE CONTRAINTE
 - Sinon
 - Si le responsable veut finir la saisie, alors le système affiche le formulaire de navigation.

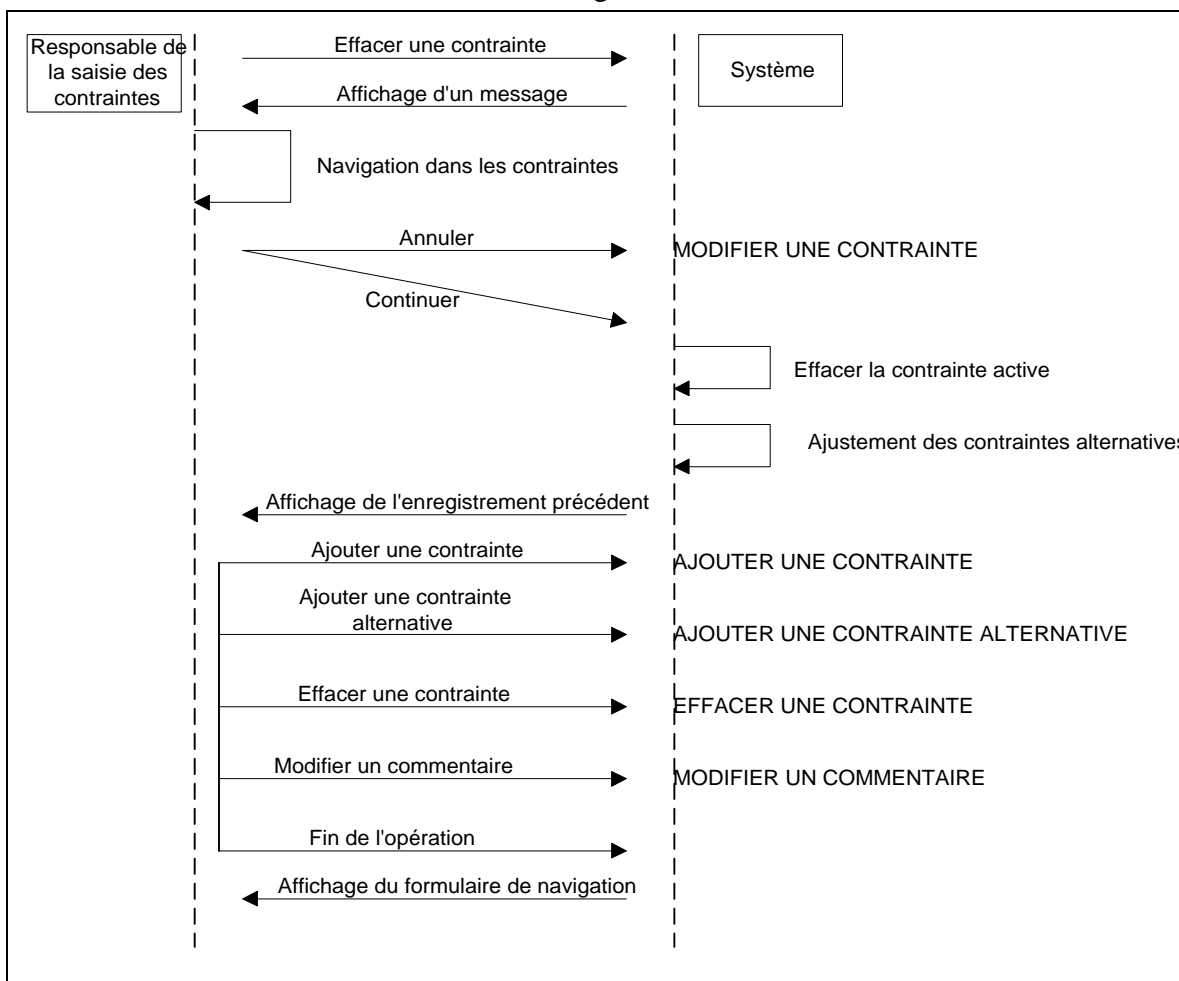


Figure 60. Effacer une contrainte

Modifier un commentaire

- Le responsable veut modifier un commentaire.
- Le responsable navigue pour trouver la contrainte pour laquelle il veut modifier un commentaire.
- Le responsable demande une modification sur le commentaire de la classe active.
- Le système modifie le formulaire.
- Le responsable entre les modifications.
- Si le responsable annule l'action alors MODIFIER UNE CONTRAINTE.
- Sinon
 - Si le responsable continue l'action alors,
 - Le système enregistre les modifications et affiche le nouveau commentaire.
 - Si le responsable veut ajouter une contrainte alors AJOUTER UNE CONTRAINTE.
 - Sinon
 - Si le responsable veut ajouter une contrainte alternative alors AJOUTER UNE CONTRAINTE ALTERNATIVE.
 - Sinon
 - Si le responsable veut effacer une contrainte, alors EFFACER UNE CONTRAINTE
 - Sinon
 - Si le responsable veut terminer la saisie, alors le système affiche le formulaire de navigation.

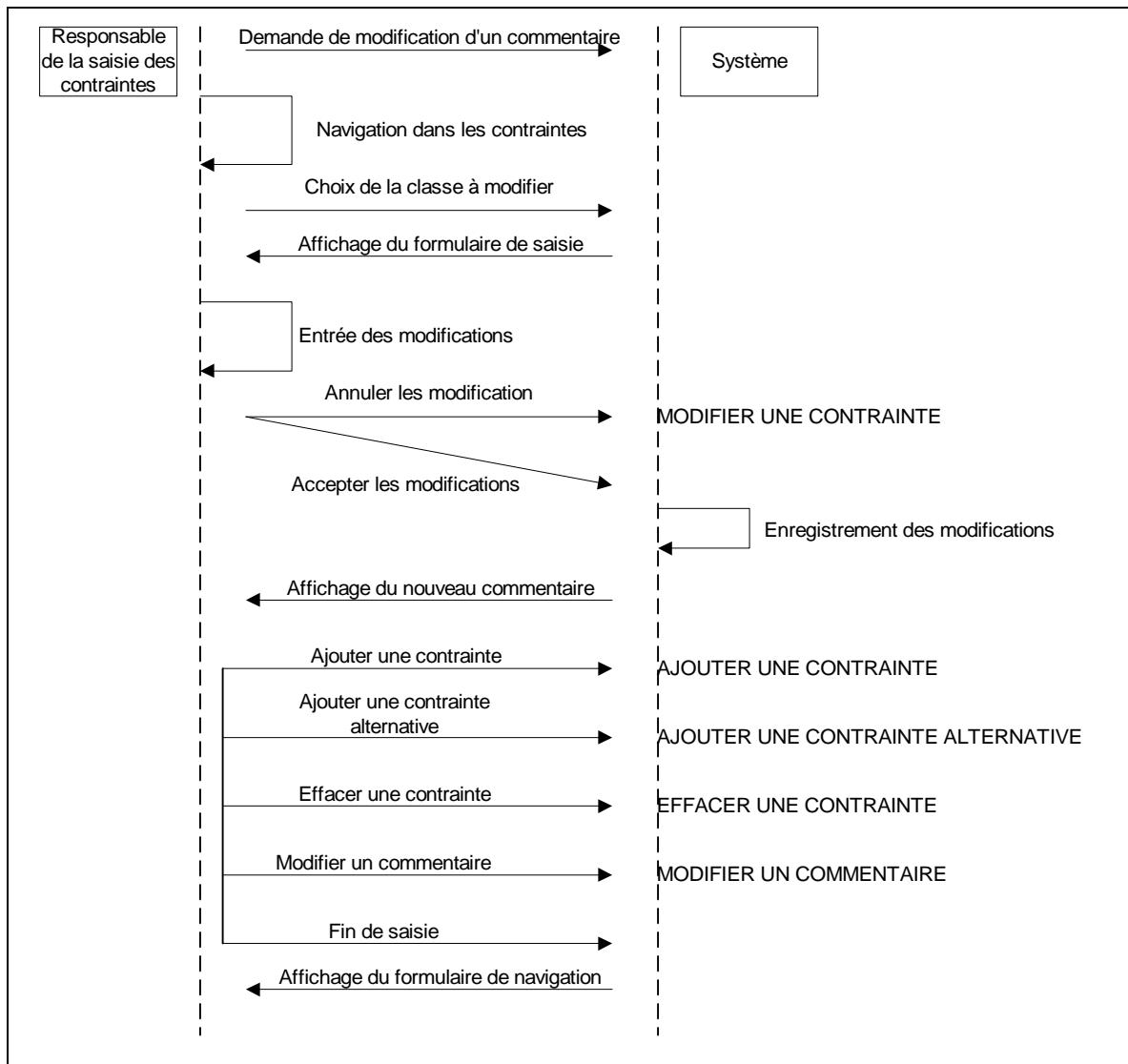


Figure 61. Modifier un commentaire

Modification des classes d'objets

Ce cas d'utilisation débute lorsque le responsable de la saisie des contraintes d'intégrité spatiale veut modifier les classes d'objets.

Modifier une classe d'objets

- Le responsable veut modifier une classe d'objets.
- Le système affiche le formulaire des classes d'objets.
- Si le responsable veut ajouter une classe d'objets alors, AJOUTER UNE CLASSE
- Sinon
 - Si le responsable veut modifier les géométries d'une classe d'objets alors, MODIFIER UNE GÉOMÉTRIE
 - Sinon
 - Si le responsable veut terminer les modifications
 - Le système affiche le formulaire de navigation.

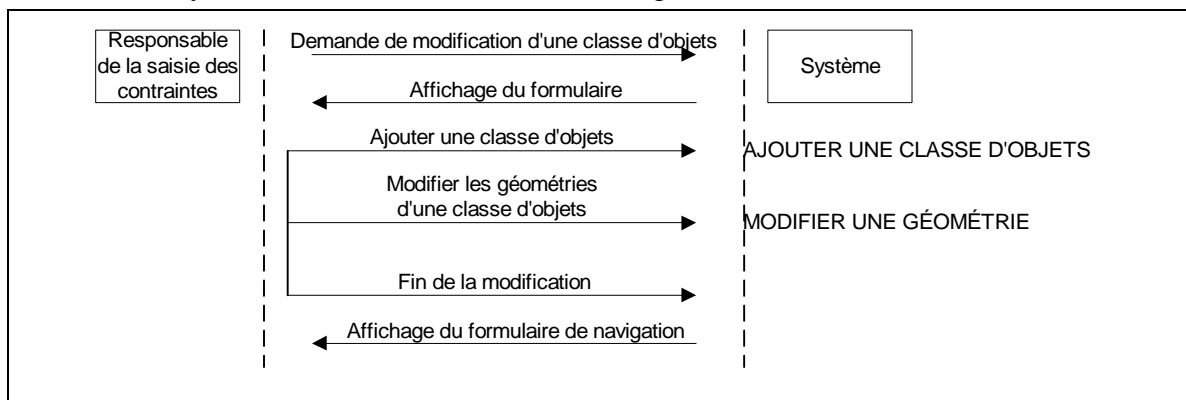


Figure 62. Modifications des classes d'objets

Ajouter une classe d'objets

- Le responsable veut ajouter une classe d'objets.
- Le système demande le nom de la nouvelle classe.
- Le responsable entre le nom de la nouvelle classe.
- Le système enregistre la nouvelle classe et l'affiche.
- Si le responsable veut ajouter une classe d'objets alors, AJOUTER UNE CLASSE
- Sinon
 - Si le responsable veut modifier les géométries d'une classe d'objets alors, MODIFIER UNE GÉOMÉTRIE
 - Sinon
 - Si le responsable veut terminer les modifications
 - Le système affiche le formulaire de navigation.

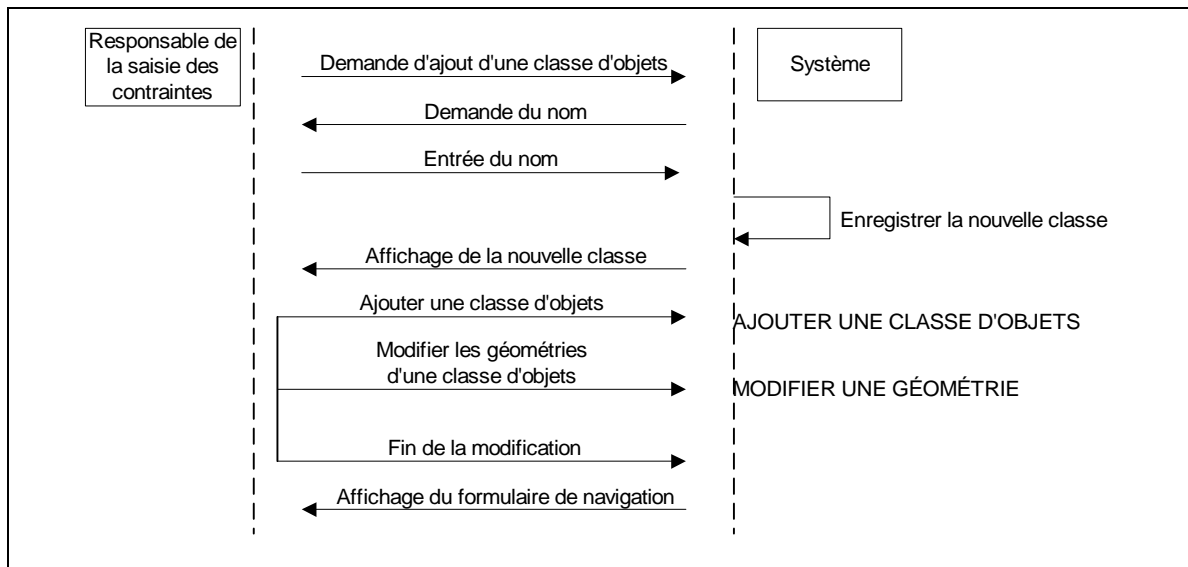


Figure 63. Ajouter une classe d'objets

Modifier une géométrie

- Le responsable veut modifier une géométrie.
- Le responsable navigue parmi les classes d'objets.
- Le responsable ajoute une géométrie.
- Le système enregistre la nouvelle géométrie.
- Si le responsable veut ajouter une classe d'objets alors, AJOUTER UNE CLASSE
- Sinon
 - Si le responsable veut modifier les géométries d'une classe d'objets alors, MODIFIER UNE GÉOMÉTRIE
 - Sinon
 - Si le responsable veut terminer les modifications
 - Le système affiche le formulaire de navigation.

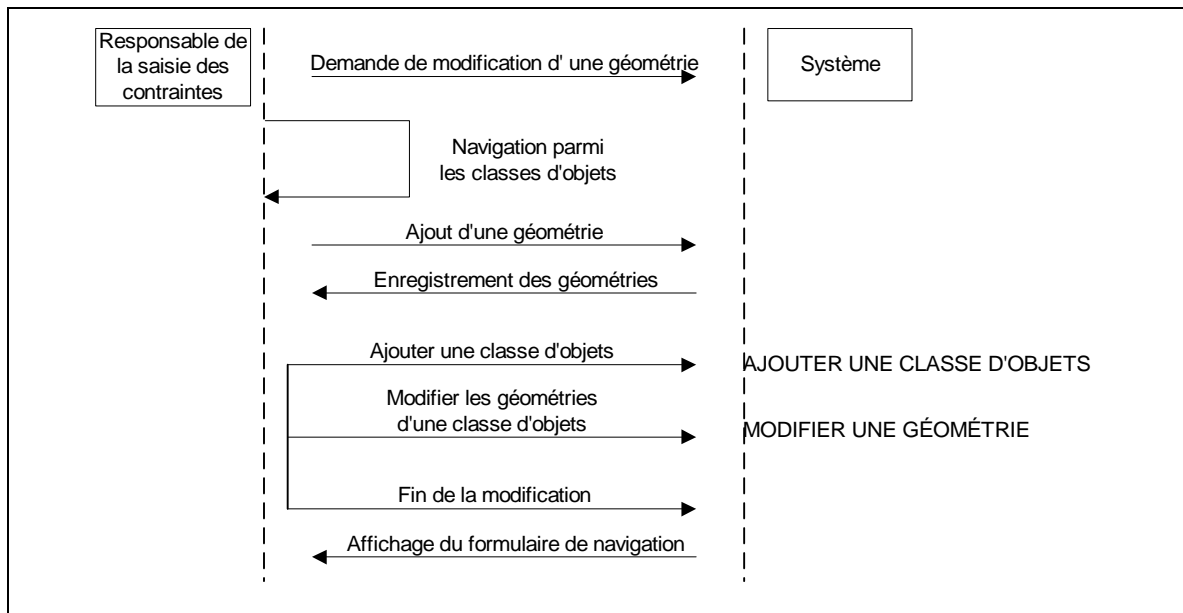


Figure 64. Modifier une géométrie

4.3 UTILISATION DE L'APPLICATION

L'application contient cinq formulaires principaux permettant d'effectuer les traitements et les interrogations sur la base de données. L'utilisation de ces formulaires est décrite dans les pages suivantes.

4.3.1 Le formulaire Navigation

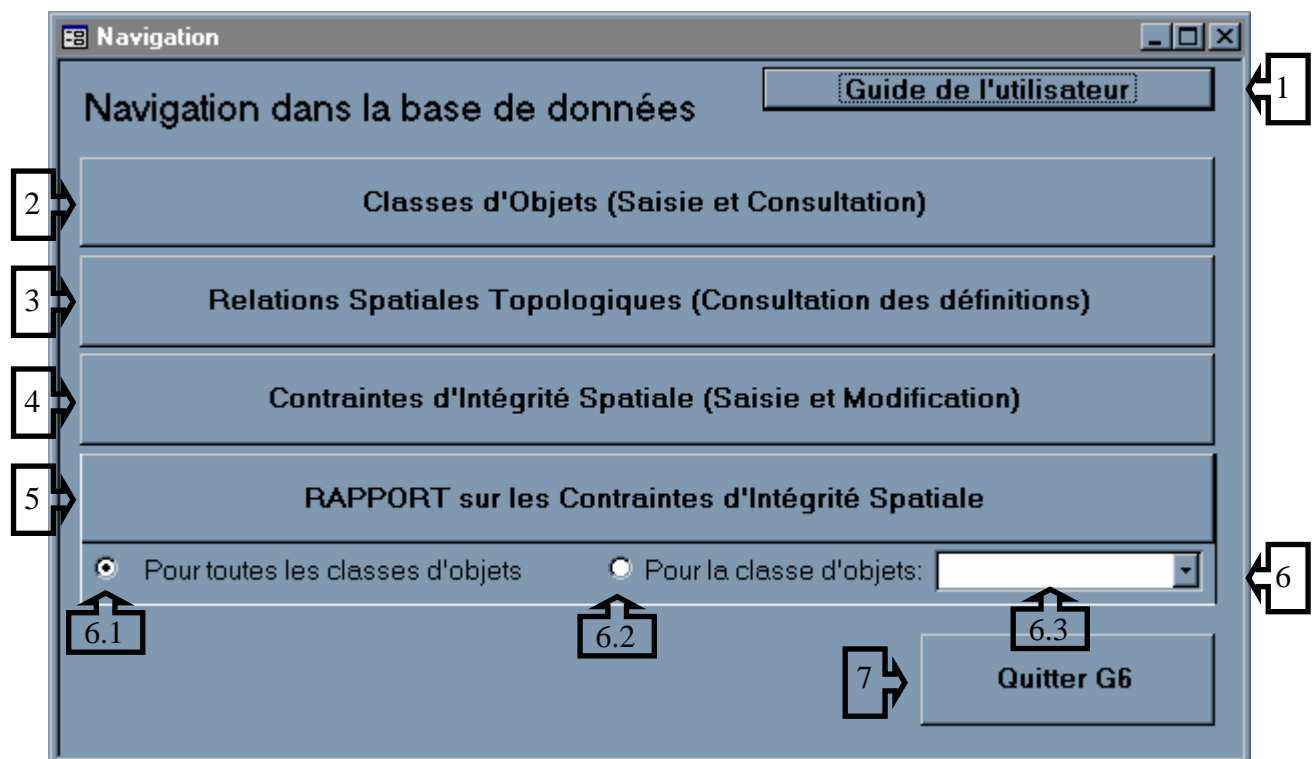


Figure 65. Le formulaire de navigation dans l'application

Le formulaire *Navigation* s'ouvre automatiquement lorsque la page de démarrage de l'application est fermée. Il est utilisé pour naviguer entre les différents formulaires et rapports de la base de données. Les boutons du formulaire ont les fonctions suivantes :

1. Guide de l'utilisateur : Comme son nom l'indique, ce bouton ouvre le guide de l'utilisateur, qui explique la façon d'utiliser l'application.
2. Classes d'Objets (Saisie et Consultation) : Ce bouton ouvre le formulaire *Classe*. Ce formulaire permet de faire la gestion et la consultation des classes d'objets contenues dans la base de données. Pour des détails sur ce formulaire, voir la section 4.3.2.

3. Relations Spatiales Topologiques (Consultation des définitions) : Ce bouton ouvre le formulaire *Requete_Rel*. Ce formulaire permet de consulter la définition des 95 relations topologiques entre des objets 0D, 1D et 2D dans un espace en deux dimensions. Les détails de ce formulaire sont donnés à la section 4.3.3.
4. Contraintes d'Intégrité Spatiale (Saisie et modification) : Ce bouton ouvre le formulaire *Inventaire*, qui permet de faire différentes opérations sur les contraintes d'intégrité spatiale contenues dans la base de données. Pour plus de détails, voir la section 4.3.4.
5. RAPPORT sur les Contraintes d'Intégrité Spatiale : Ce bouton ouvre le rapport *Inventaires_Rapport*. Ce rapport représente les contraintes d'intégrité spatiale selon la méthode de représentation décrite à la section 3.3.6. Ce rapport est présenté en annexe.
6. Cette partie du formulaire permet de déterminer quelles classes d'objets seront représentées dans le rapport *Inventaires_Rapport* lorsque le bouton "RAPPORT sur les contraintes d'intégrité spatiale" est enfoncé. Si l'option "Pour toutes les classes d'objets" (6.1) est sélectionnée, le rapport sera produit pour toutes les classes d'objets de la base de données. Si l'option "Pour la classe d'objets :" (6.2) est sélectionnée, le rapport sera produit sur la classe d'objets affichée dans le menu déroulant (6.3). Si le bouton 5 est enfoncé alors que 6.2 est sélectionné mais qu'il n'y a aucune valeur dans la zone de texte 6.3, un message apparaît et l'opération est interrompue. Les valeurs possibles de 6.3 sont limitées au contenu du menu déroulant. Celui-ci est ajusté automatiquement lorsqu'une nouvelle classe est ajoutée à la base de données.
7. Quitter G6 : ce bouton ferme quitte l'application ainsi que Microsoft Access.

4.3.2 Le formulaire Classe

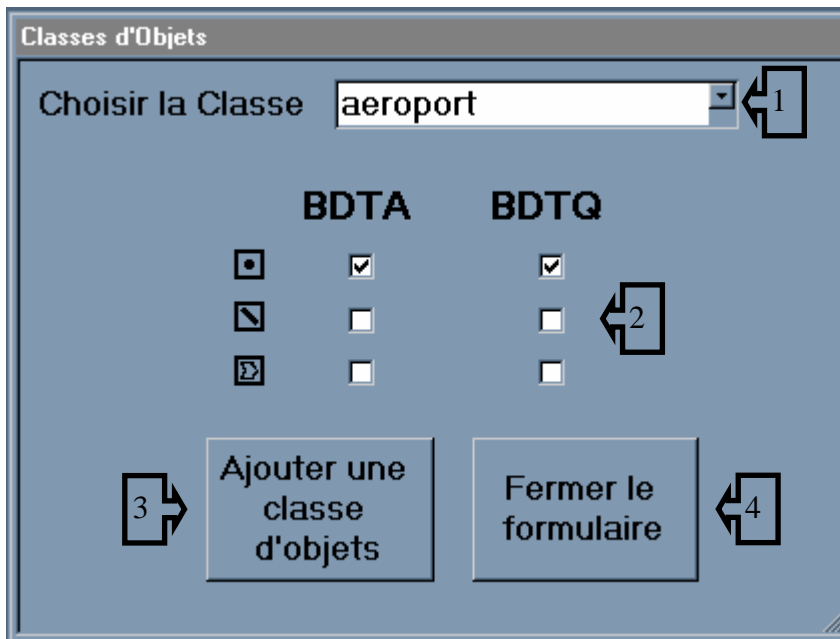


Figure 66. Le formulaire de gestion des classes d'objets

Le formulaire *Classe* est utilisé pour la gestion des classes d'objets dans la base de données. Les contrôles du formulaire ont l'utilité suivante :

1. Ce menu déroulant permet de choisir la classe d'objets que l'on veut visualiser. Les valeurs possibles sont tirées de la table *Classe* et sont limitées aux valeurs de la liste. Les nom des classes d'objets sont les mêmes que ceux utilisés dans le modèle conceptuel de données (même abréviation, sans accent).
2. Cette zone permet d'entrer les géométries existantes pour la classe d'objets affichée dans la zone de texte 1. Les géométries existantes peuvent faire partie de la BDTA, de la BDTQ ou des deux bases de données. Il s'agit de cliquer dans un des carrés pour sélectionner ou désélectionner une géométrie existante.
3. Ajouter une classe d'objets : Comme son nom l'indique, ce bouton permet d'ajouter une classe d'objets dans la base de données. Lorsqu'il est enfoncé, une boîte de dialogue apparaît et demande le nom de la nouvelle classe d'objets. Il ne reste qu'à entrer le nom de la classe et à appuyer sur OK pour créer la nouvelle classe d'objet.

Une fois la classe créée, il faut entrer les géométries possibles pour celle-ci, tel qu'indiqué plus haut.

4. Fermer le formulaire : Ce bouton ferme le formulaire *Classe* et revient au formulaire *Navigation*.

4.3.3 Le formulaire Requete_rel

Requête sur les relations topologiques

Entrez la requête que vous voulez exécuter. Si vous voulez visualiser tous les enregistrements, lancez la requête en ne sélectionnant aucune condition.

Type d'éléments de la relation:

Nom de la relation:

Intérieur de B Limite de B Extérieur de B

Intérieur de A	<input type="radio"/> <input type="text"/>	<input type="radio"/> <input type="text"/>	<input type="radio"/> <input type="text"/>
Limite de A	<input type="radio"/> <input type="text"/>	<input type="radio"/> <input type="text"/>	<input type="radio"/> <input type="text"/>
Extérieur de A	<input type="radio"/> <input type="text"/>	<input type="radio"/> <input type="text"/>	<input type="radio"/> <input type="text"/>

Affichage des résultats

Dans un formulaire
 Dans un rapport classé par nom de relations
 Dans un rapport classé par type d'éléments

Figure 67. Le formulaire de requête sur les relations topologiques spatiales

Ce formulaire est utilisé pour effectuer des requêtes sur la définition formelle des relations topologiques utilisées pour décrire les contraintes d'intégrité spatiale dans G6.

1. Chacun des champs de cette partie du formulaire constitue un critère de recherche pour la requête. Ces critères agissent comme un filtre pour définir quelles relations seront affichées par la requête. Les menus déroulants contiennent les valeurs possibles




pour chacun des critères de recherche. Les boutons d'option permettent d'indiquer au formulaire quels critères de recherche sont activés et lesquels sont désactivés. On peut donc choisir un ou plusieurs critères de recherche.

2. Ces boutons d'option déterminent où seront affichés les résultats de la requête. La première option, "Dans un formulaire", affiche les résultats de la requête dans le formulaire *Form_rel*. Les détails de ce formulaire sont décrits à la section 4.3.5. La seconde option, "Dans un rapport classé par nom de relations", affiche les résultats dans le rapport *Rapport_relation*. Ce rapport classe les relations par ordre alphabétique du nom de celles-ci. Un exemple de ce rapport est présenté en annexe. La troisième option, "Dans un rapport classé par types d'éléments", ouvre le rapport *Rapport_type*. Ce rapport représente les définitions des relations topologiques, classées selon la géométrie des éléments qui les composent. Ce rapport est présenté en annexe.
3. Lancer la requête : Ce bouton effectue la requête telle que définie par les critères de recherche de la partie 1 du formulaire. Si aucun critère de recherche n'est sélectionné, la requête sera lancée et le résultat contiendra toutes les relations topologiques incluses dans la base de données.
4. Réinitialiser la requête : Ce bouton vide tous les champs de la partie 1 et remet tous les boutons d'option en position "faux" (vide). Il est utilisé lorsque plusieurs champs sont remplis et que l'on veut effectuer une nouvelle recherche.
5. Fermer le formulaire : ce bouton ferme le formulaire *Requete_rel* et revient au formulaire *Navigation*.

4.3.4 Le formulaire Inventaire

Figure 68. Le formulaire inventaire

Le formulaire *Inventaire* est utilisé pour effectuer des modifications sur les contraintes d'intégrité spatiale et sur les commentaires sur les classes d'objets dans la base de données. Les contrôles du formulaire ont l'utilité suivante.

1. La première ligne ("Objet 1" et "Dimension") indique l'objet sur lequel est basée la contrainte ainsi que la géométrie de celui-ci. Les valeurs possibles de "Objet 1" et "Dimension" sont limitées au contenu des menus déroulants. Ceux-ci sont ajustés automatiquement pour tenir compte des classes d'objets existantes dans la base de données et des géométries existantes de celles-ci. Le champ "Dimension" utilise la fonte A_ST_PICTO. Pour créer les pictogrammes, on peut utiliser le menu déroulant ou entrer les caractères suivants pour le champ : ! pour , & pour  et – pour . Les

noms des classes d'objets sont les mêmes que ceux utilisés dans le modèle conceptuel de données (même abréviation, sans accent).

2. La deuxième ligne ("Objet 2" et "Dimension") indique l'objet qui est en relation avec "Objet 1" et la dimension de celui-ci. Les valeurs possibles de "Objet 2" et "Dimension" sont limitées au contenu des menus déroulants. Ceux-ci sont ajustés automatiquement pour tenir compte des classes d'objets existantes dans la base de données et des géométries existantes de celles-ci. Le champ "Dimension" utilise la fonte A_ST_PICTO. Pour créer les pictogrammes, on peut utiliser le menu déroulant ou entrer les caractères suivants pour le champ : ! pour , & pour et – pour . Les noms des classes d'objets sont les mêmes que ceux utilisés dans le modèle conceptuel de données (même abréviation, sans accent).
3. Le champ "Relation 1→2" contient la relation entre "Objet 1" et "Objet 2". Les valeurs possibles sont ajustées selon la géométrie des deux objets de la relation.
4. Le champ "Cardinalité de la relation" contient la cardinalité de la relation entre les deux objets. Le contenu du menu déroulant s'ajuste au contenu du champ "Relation 1→2". Si la valeur de "Relation 1→2" est disjonction, le menu déroulant contiendra seulement "-", dans les autres cas, le menu déroulant contiendra "1-2, 1-3, 2-2, 1-n, 2-n et 3-n".
5. Le bouton "Entrer une Contrainte Alternative" sert à introduire une contrainte alternative dans la base de données. Lorsque le bouton est enfoncé, un message apparaît pour indiquer de sélectionner l'enregistrement pour lequel une contrainte alternative doit être ajoutée. Ensuite, le bouton "Contraintes Alternatives" est remplacé par un bouton "Continuer" et un bouton "Annuler". Le bouton "Continuer" ajoute la contrainte alternative après l'enregistrement sélectionné. Le bouton "Annuler" retourne au formulaire original et annule l'ajout d'une contrainte alternative.
6. Le bouton "Ajouter une Contrainte" sert à introduire une nouvelle contrainte dans la table *Inventaire*. Cette contrainte sera introduite à la fin de la table.

7. Le bouton "Effacer une contrainte" sert à effacer une contrainte dans la base de données. Lorsque le bouton est enfoncé, un message apparaît pour indiquer de sélectionner l'enregistrement qui doit être effacé. Le bouton "Effacer une contrainte" est ensuite remplacé par un bouton "Continuer" et un bouton "Annuler". Le bouton "Continuer" efface la contrainte alternative sélectionnée. Le bouton "Annuler" retourne au formulaire original et annule l'opération. Si l'enregistrement effacé fait partie d'un groupe de contraintes alternatives, les enregistrements faisant partie du groupe sont ajustés en conséquence.
8. Le bouton "Fermer le formulaire" ferme le formulaire et enregistre les changements dans l'enregistrement actif.
9. La zone de texte sous les boutons contient les commentaires concernant les contraintes sur "Objet 1". Les commentaires sont en mode lecture seule.
10. Le bouton "Modifier les commentaires pour la classe d'objets" permet de faire des modifications sur les commentaires. Lorsqu'il est enfoncé, il est remplacé par un bouton "Accepter les modifications" et un bouton "Annuler les modifications". La zone de texte passe en mode écriture et on peut faire des modifications sur les commentaires. Les modifications sont ensuite acceptées ou annulées selon le bouton sélectionné. Les commentaires sont enregistrés dans la table Classe.

4.3.5 Le formulaire Form_rel

form_rel : Form

Type d'éléments de la relation:

Nom de la relation:

	Intérieur de B	Limite de B	Extérieur de B
Intérieur de A	<input type="text" value="Faux"/>	<input type="text" value="Vrai"/>	<input type="text" value="Vrai"/>
Limite de A	<input type="text" value="Vrai"/>	<input type="text" value="Faux"/>	<input type="text" value="Faux"/>
Extérieur de A	<input type="text" value="Vrai"/>	<input type="text" value="Vrai"/>	<input type="text" value="Vrai"/>

Représentation Graphique:

Record: of 95

Figure 69. Le formulaire de représentation des relations topologiques

Ce formulaire est utilisé pour visualiser la définition formelle des relations topologiques utilisées pour les contraintes d'intégrité spatiale.

1. Cette partie du formulaire indique la géométrie des éléments composant la relation topologique, le nom de celle-ci ainsi que la définition formelle de celle-ci avec la méthode à neuf intersections.
2. La figure donne un exemple graphique de la relation topologique.
3. Fermer le formulaire : Ce bouton ferme le formulaire *Form_rel* et revient au formulaire *Requete_rel*.

5 Conclusion

L'objectif de cette recherche était de définir une méthode générique de définition et de représentation des contraintes d'intégrité spatiale pour les bases de données spatiales. Pour atteindre cet objectif, une étude sur les concepts théoriques entourant les contraintes d'intégrité spatiale a été effectuée. Le choix de la méthode de définition des relations topologiques s'est porté sur la méthode à neuf intersections de Max Egenhofer et John Herring car celui-ci est reconnu et accepté par plusieurs normes internationales (TC-211, SAIF, etc.) . La méthode de définition et de représentation des contraintes d'intégrité spatiale a ensuite été définie. Celle-ci a été implantée dans un logiciel et testée sur des données réelles provenant de la Base de Données Topographiques et Administratives et la Base de Données Topographiques du Québec. Les résultats de l'expérimentation ont été concluants et ceux-ci sont maintenant utilisés dans un contexte de production au Ministère des ressources Naturelles du Québec.

La solution développée est innovatrice, elle repose sur les normes internationales de définition de relations topologiques et elle a la prétention d'être utilisable dans un contexte opérationnel.

D'autres études connexes pourraient être effectuées. Déjà, la méthode de définition des contraintes d'intégrité spatiale a été adaptée pour être utilisée avec les données de la Base Nationale de Données Topographiques (référence rapport ...). Les modifications concernent principalement la possibilité de définir les contraintes pour les deux extrémités d'une ligne lorsque la relation entre les objets est "Adjacence". La forme de la méthode de représentation a également été adaptée quelque peu pour réduire le volume de contraintes à représenter en utilisant des listes d'objets ou lieu d'objets individuels dans la définition des contraintes. Les contraintes d'intégrité de type métrique pourraient être étudiées en profondeur et la méthode de représentation pourrait être modifiée pour permettre la définition de contraintes métriques en plus des contraintes topologiques. Une étude pourrait également être effectuée sur les algorithmes de vérification des contraintes d'intégrité spatiale. Ces algorithmes pourraient être déclenchés lors de la numérisation/mise à jour des données ou encore dans le cadre d'un traitement en lot.

Finalement, une intégration plus grande des processus de modélisation et de définition des contraintes d'intégrité spatiale pourrait apporter une plus grande efficacité à l'analyse et à la conception des systèmes d'informations à référence spatiale.

6 Bibliographie

- Bédard, Y., C. Caron, Z. Maamar, B. Moulin, et D. Vallières. (1996). Adapting data models for the design of spatio-temporal databases. *Computer, Environment and Urban Systems, an International Journal*, Vol. 20, No. 1, pp. 19-41
- Bédard, Y., P. Normand et S. Larrivée, 1998, Modélisation des contraintes d'intégrité spatiale, Centre de Recherche en géomatique, Université Laval, Québec, Canada, Rapport technique remis au Service de la cartographie MRN, décembre 1998, 76 p.
- Bédard, Y., Y. van Chestein, M.J. Proulx, C. Martel et P. Normand. (1998) Modélisation de la BDTQ et de la BDTA (Modèle conceptuel et physique des données), Centre de recherche en géomatique, Université Laval, Québec, Canada, Rapport technique remis au Service de la cartographie MRN, juillet 1998, 65 p.
- Champoux, Pierrette. (1991). Études sur les fonctions d'analyse spatiale à utiliser dans un SIRS appliqué à l'exploration minière. Mémoire pour l'obtention d'une maîtrise, Département des sciences géodésiques et télédétection, Faculté de foresterie et géomatique, Université Laval, Québec
- Champoux, P. et Y. Bédard. (1992). Notions fondamentales d'analyse spatiale et d'opérateurs spatiaux. *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*, Vol. 2, pp. 187 à 208
- Clementini, E. et P. Di Felice. (1994). A comparison of methods for topological relationships.
- Clementini, E., P. Di Felice, et P. Van Oosterom. (1993). A small set of formal topological relationship suitable for end users interaction. Dans: D. Abel et B. C. Ooi (ed.). *Third symposium on Large Spatial Database, Lecture Notes in Computer Science no. 692*, pages 277-295, Singapore, Springer-Verlag, New York, NY.
- Egenhofer, M. et J. Herring. (1994). Characterizing binary topological relations between regions, lines, and points in geographic databases. *NCGIA Technical Report 94-1*
- Egenhofer, M. et R. Franzosa. (1991). Point-set topological spatial relations. *International journal of geographic information system*, Vol. 5, pp.161-174
- Gouvernement du Canada. (1996). Normes et spécifications de la Base Nationale de données topographiques, édition 3.1. Géomatique Canada.
- Gouvernement de la Colombie-Britannique. (1995). Spatial Archive and Interchange Format : Formal Definition, Release 3.2. Reference Series, Volume 1, Surveys and Ressource Mapping Branch, Ministry of Environment, Lands and Parks. 258 p.
- Hadzilacos, T. et N. Tryfona. (1992). A model for expressing topological integrity constraints in geographical databases. Dans : A. Frank, I. Compari et U. Fomentini (Ed.). *Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space*, Pisa, Italy. *Lecture notes in Computer Science 639*, pp. 348-367, Springer-Verlag, New-York, NY

- Muller, Pierre-Alain. (1997). Modélisation objet avec UML. Eyrolles, 425p.
- Parent, C., S. Spaccapietra, E. Zimanyi, P. Donini, C. Plazanet, C. Vangenot, N. Rognon, P.A. Crausaz. (1997). MADS, modèle conceptuel spatio-temporel. Revue Internationale de Géomatique, Vol. 7, no. 3-4, pp.317-352.
- Proulx, M.-J. (1995). Développement d'un nouveau langage d'interrogation de bases de données spatio-temporelles. Mémoire pour l'obtention d'une maîtrise, Département des sciences géomatiques, Faculté de foresterie et géomatique, Université Laval, Québec.
- Ubeda, T. (1997). Contrôle de la qualité spatiale des bases de données géographiques : cohérence topologique et corrections d'erreurs. Thèse pour l'obtention d'un doctorat, Laboratoire des Systèmes d'Information, Institut national des sciences appliquées de Lyon, Lyon, France.
- Warmer, J. et A. Kepple. (1998). The Object Constraint Language: Precise Modeling with UML. Addison-Wesley.

Annexes

6.1 INVENTAIRE DES CONTRAINTES D'INTÉGRITÉ SPATIALE

6.2 RELATIONS SPATIALES TOPOLOGIQUES CLASSÉES PAR NOM DE RELATIONS

6.3 RELATIONS SPATIALES TOPOLOGIQUES CLASSÉES SELON LES TYPES D'ÉLÉMENTS QUI LES COMPOSENT