



HAL
open science

Géographie et Graphes - Une interaction pour exprimer des requêtes spatiales guidée par des adjacences conceptuelles.

Franck Dumoncel

► **To cite this version:**

Franck Dumoncel. Géographie et Graphes - Une interaction pour exprimer des requêtes spatiales guidée par des adjacences conceptuelles.. Autre. Université de Caen, 2006. Français. NNT: . tel-00259437

HAL Id: tel-00259437

<https://theses.hal.science/tel-00259437>

Submitted on 28 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Géographie et graphes

Une interaction pour exprimer des requêtes spatiales guidée par des adjacences conceptuelles

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 15 mars 2006

pour l'obtention du

Doctorat de l'université de Caen

Spécialité : informatique

(Arrêté du 25 avril 2002)

par

Franck Dumoncel

Composition du jury

Patrice Enjalbert, Professeur	GREYC, Caen (Directeur)
Mauro Gaio, Professeur	LIUPPA, Pau (Co-directeur)
Joëlle Coutaz, Professeur	CLIPS-IMAG, Grenoble (Rapporteur)
Michel Mainguenaud, Professeur	INSA, Rouen (Rapporteur)
Gérard Ligozat, Professeur	LIMSI-CNRS, Paris-Sud
Jacques Madelaine, Maître de Conférence	GREYC, Caen

Mis en page avec la classe thloria.

Remerciements

Je remercie,

Mauro Gaio pour m'avoir intégré dans le projet Antéserveur lors de mon stage de DEA puis pour avoir accepté de diriger ma thèse. Je le remercie aussi de m'avoir appris l'art de la présentation orale.

Patrice Enjalbert qui, lors de ma maîtrise, m'a enseigné le langage Prolog que j'apprécie beaucoup et que j'ai largement utilisé dans ce projet. Je le remercie aussi d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse.

Joëlle Coutaz et Michel Mainguenaud qui ont acceptés d'être les rapporteurs de ma thèse. Je les remercie aussi des remarques qu'ils ont faites et des conseils avisés qu'ils m'ont donnés.

Gérard Ligozat qui a accepté d'être dans le jury de ma thèse.

Jacques Madelaine qui m'a transmis sa passion du système Unix dès ma licence et qui par la suite m'a fourni de nombreux conseils techniques. Je le remercie aussi d'avoir accepté d'être dans le jury de ma thèse.

Les administrateurs, secrétaires du laboratoire pour leurs compétences et leur disponibilité.

Mes collègues de bureau, de travail, mes proches pour leur soutien technique et moral.

Mes parents qui m'ont toujours soutenus dans les études.

Hélène pour son soutien au quotidien et l'écoute qu'elle a su m'apporter.

Clotilde, âgée de quatre mois lors de la soutenance, qui a été bien sage.

À mes parents

Table des matières

Chapitre 1

Introduction

1.1	L'information géographique	1
1.1.1	Qu'est ce que l'information géographique?	1
1.1.2	Les sources d'information géographique	2
1.2	L'accès à l'information géographique	2
1.3	Le projet Antéserveur Géographique	5
1.4	Travail et problématique de recherche	7

I	État de l'art	11
----------	----------------------	-----------

Chapitre 1

Les langages d'accès à l'information géographique	13
--	-----------

1.1	La formulation en langue naturelle	13
1.1.1	Ambiguïté dans la langue	13
1.1.2	Complexité d'expression	14
1.2	Les langages visuels	15
1.2.1	Fonctionnement des interfaces visuelles	16
1.2.2	Absence de contrainte spatiale	18
1.2.3	Quels aspects géographiques retenir?	19
1.2.4	Différence d'appréciation	20
1.2.5	Précision spatiale	20
1.2.6	Sémantique des relations	21
1.2.7	Sous-objets	23
1.2.8	Opérateurs logiques	24
1.2.9	Intention, confusion et inexistence	25
1.2.10	Classement des ambiguïtés	25

Chapitre 2	
Une modélisation des langages visuels	29
2.1 Le Modèle de Bottoni, P. et al.	29
2.1.1 Modélisation d'une image et de sa description	29
2.1.2 Les langages de description	30
2.1.3 Relation entre une image et sa description	31
2.1.4 Le langage visuel	32
2.2 Utilisation du modèle	33
2.2.1 Description d'une configuration spatiale	33
2.2.2 Apparition des ambiguïtés	33
2.2.3 Utilisation sur un schéma complet	37

Chapitre 3	
L'Analyse Spatiale Qualitative	41
3.1 Que fait l'analyse spatiale qualitative ?	41
3.2 Les différentes techniques d'analyse spatiale qualitative	42
3.2.1 La topologie	43
3.2.2 Direction	52
3.2.3 Distance	53
3.2.4 Le recouvrement	58
3.2.5 Le vague	64

II L'Antéserveur Géographique **69**

Chapitre 1	
Fonctionnement de l'interface	71
1.1 Une modification du mode d'interaction	72
1.1.1 Multiples interprétations	72
1.1.2 Bimodalité : le « Feedback Sémantique »	72
1.2 Retour sur les cas de sur-spécification	74
1.2.1 Absence de contrainte spatiale	74
1.2.2 Les différents aspects de la géographie	75
1.2.3 Précision spatiale	75
1.2.4 Sous-objets	76
1.3 Retour sur l'ambiguïté d'appréciation	78

1.4	Les glissements de sens	79
1.4.1	Catégorisation des glissements de sens	79
1.4.2	Modularité des aspects	83
1.4.3	Adjacence conceptuelle	85
1.5	Quels aspects géographiques retenir?	86
1.5.1	Topologie	86
1.5.2	Direction	86
1.5.3	Distance	87
1.5.4	Recouvrement	87
1.5.5	Vague	87

Chapitre 2

L'analyse spatiale dans l'Antéserveur Géographique

91

2.1	Quelle adjacence conceptuelle retenir?	91
2.1.1	La double fonction du graphe d'adjacence	92
2.2	Dépendances inter-aspects	97
2.3	L'analyse d'une configuration	99
2.3.1	Le modèle 9-intersections	99
2.3.2	Les objets complexes	99
2.3.3	Décomposition et recomposition	101
2.4	Les glissements de sens	105
2.4.1	Les glissements sur les objets simples	105
2.4.2	Les glissements sur les objets complexes	106
2.4.3	Dépendances des positions sur l'exemple point-zone	113
2.4.4	Mouvement d'un point autour d'une zone	114
2.4.5	Les fonctions $trpt_cpte(x, y, z)$	116
2.5	Méthodologie de l'analyse spatiale	118
2.5.1	Composition des objets	118
2.5.2	Choix des relations	119
2.5.3	Définitions des fonctions	119
2.5.4	Détermination des dépendances	119

Chapitre 3

Réalisation informatique

123

3.1	La chaîne de traitement	123
3.1.1	L'interaction bimodale	124
3.1.2	La sélection de l'information géographique	124
3.2	Architecture de notre réalisation	124
3.3	Cas d'utilisation	126

Conclusion

Chapitre 1

Introduction

Ce rapport de thèse relate un travail de recherche dans l'élaboration d'un moyen d'accès à l'information géographique : le projet Antéserveur Géographique. Nous commencerons par définir l'information géographique puis nous verrons quels sont les moyens d'accéder à cette information et nous verrons ce que propose le projet Antéserveur Géographique comme nouvelle interface d'accès. Enfin nous situerons notre travail de recherche au sein de ce projet.

1.1 L'information géographique

Cette section va se composer de deux parties. Dans une première partie nous allons répondre à la question « Qu'est ce que l'information géographique ? », indépendamment du support électronique qui est le nôtre. Dans une seconde partie nous nous intéresserons justement au support électronique, nous verrons quelles sont les sources d'information géographique qu'on y trouve.

1.1.1 Qu'est ce que l'information géographique ?

Il existe plusieurs définitions de l'information géographique. Nous allons utiliser celle de Gaio, M. [Gai]. L'information géographique se formule alors via deux concepts : *espace géographique* et *entité géographique*. Un espace géographique représente une partie de l'espace et différents faits (physiques, sociaux, politiques, etc.) qui vont y être observés. Dans un espace géographique nous trouvons des entités géographiques. Une entité géographique peut être un objet matériel (une ville, une route, une montagne, etc.) ou immatériel (une ligne aérienne, une courbe de niveau, etc.) «... l'espace géographique représente le contexte permettant de caractériser l'élément en question... » [Gai], « l'élément en question » étant l'entité géographique. Un objet est une entité relativement à un espace géographique donné. Cette entité géographique peut à son tour être l'espace géographique d'autres entités. Le duo espace/entité se présente sous la forme contenant/contenu, le contenu pouvant aussi être le contenant d'autres entités.

Prenons un exemple : le transport maritime en Europe peut être un espace géographique. Dans cet espace nous trouvons des entités géographiques : le transport maritime en Manche, en Méditerranée, en Mer du Nord. Chacune de ces entités peut à nouveau être vue comme un espace géographique dans lequel nous trouvons des voies de navigations, des ports, des zones d'achalandise, etc.

Les entités géographiques, disposées dans un espace géographique, entretiennent des relations spatiales entre elles. Ces relations spatiales sont fonction de l'espace géographique considéré. « Deux ports loin l'un de l'autre » n'aura pas la même signification selon que l'on se situe dans l'espace géographique du transport maritime en Europe ou en Normandie. C'est donc à ces définitions et à ces deux notions, espace et entité géographiques et en tenant compte des relations spatiales entre les entités, que nous ferons référence par la suite.

1.1.2 Les sources d'information géographique

Dans cette section nous allons tâcher de répondre à la question suivante : quelles sont les sources d'information géographique ? Une particularité de l'information géographique est de disposer d'une source d'information qui lui est spécifique : la base de données spatiales. Les bases de données spatiales fonctionnent sur le même principe que les bases de données relationnelles : les informations sont stockées sous forme de tables. Dans les bases de données traditionnelles, les tables contiennent toutes de l'information alpha-numérique. Dans les bases de données spatiales, des tables spécifiques contiennent de l'information spatiale. Elles servent à stocker de l'information relative à la position géographique et à la forme des différentes entités géographiques [Ope99]. Une base de données représente un espace géographique, elle contient des entités géographiques. Des opérateurs spatiaux permettent de calculer les relations spatiales qu'entretiennent ces entités entre elles.

En dehors des bases de données spatiales, nous citerons une autre source d'information : les entrepôts de données. Les documents XML y sont de plus en plus courants et dans les documents textuels des balisages sémantiques précis permettent une approche de plus en plus fine dans la recherche de ces documents. De façon générale les entrepôts de données ne sont pas spécifiques à la géographie. Néanmoins des projets visent à élaborer des entrepôts propres à un domaine unique. La spécialisation dans un domaine précis permet de traiter ses spécificités.

Dans le domaine géographique, nous donnerons comme exemple l'Atlas Transmanche [Tur98, TGM02, Tur99], un projet qui vise à offrir un moyen de stockage et surtout d'indexation de documents géographiques tels que du texte ou des cartes. Les documents textuels, cartographiques ou photographiques y sont différenciés, des liens sont créés entre ces différents documents.

Comme tout autre document, le document géographique se retrouve aussi sous forme de pages HTML. L'indexation de ce type de documents n'est pas très précise et nous n'avons dans ce cas aucune spécificité géographique.

Nous venons de citer trois sources d'information importantes. Ces trois exemples illustrent assez bien trois niveaux de spécificité envers l'information géographique. Les bases de données spatiales sont faites pour l'information géographique. Les entrepôts de données sont faits pour accueillir tous types d'information. Certains vont se spécialiser, nous avons vu l'exemple de l'Atlas Transmanche. Enfin les documents HTML n'ont aucune spécialisation. Dans la section suivante nous allons étudier les moyens d'accès à ces trois sources d'information.

1.2 L'accès à l'information géographique

Dans la section précédente, nous nous sommes attachés à déterminer quelles pouvaient être les sources d'information géographique. Nous savons donc quelles sources d'information un utilisateur doit interroger. La question qui se pose maintenant est : comment les interroge-t-il ? À l'aide de quelles interfaces accède-t-on à ces sources d'information ? Nous rentrons alors dans le domaine des interfaces homme-machine.

En ce qui concerne les bases de données spatiales, l'utilisation de celles-ci a donné lieu à des systèmes d'information qui leur sont propres : les SIGs (Système d'Information Géographique). Ces systèmes, outre le fait d'offrir des moyens d'interrogation de la base, proposent généralement des outils de visualisation et de manipulation de cartes. Un exemple est donné figure 1.1 avec ArcView, un des principaux SIG commercial.

Au sein de ces SIG, l'interrogation de la base se fait à l'aide du langage SQL. Les bases de données spatiales offrent des opérateurs géométriques. Ainsi il est par exemple possible de demander tous les hôtels à l'intérieur d'une ville. Les limites géographiques de la ville seront présentes dans la base ainsi que la position des hôtels. Un opérateur permettra de déterminer quels sont les hôtels à l'intérieur de la ville. Ces langages présentent l'inconvénient de nécessiter des connaissances en informatique [pos].

Depuis peu l'accès à l'information géographique s'ouvre de plus en plus au grand public. Sur internet, nous trouvons des sites qui peuvent être considérés comme des petits SIG. Nous citerons deux exemples Mappy : (www.mappy.fr) et ViaMichelin (www.viamichelin.fr). Tous deux sont assez similaires dans leurs fonctions. Comme les SIG commerciaux, ils proposent une interface de visualisation et un moyen d'interrogation de la base. La différence par rapport à un SIG comme ArcView se situe dans les fonc-

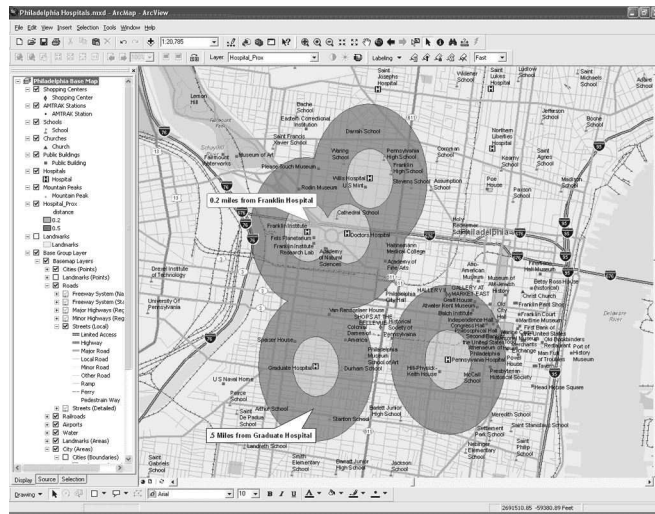


FIG. 1.1 – L'interface de visualisation de cartes du logiciel ArcView

tionnalités offertes par les interfaces et par le pouvoir expressif dans l'interrogation de la base. Les outils de visualisation n'offrent que des fonctions d'agrandissement et de recadrage mais c'est sur l'expressivité lors de l'interrogation de la base que la différence est grande.

Nous avons noté que dans les SIGs commerciaux, le langage d'interrogation, SQL, nécessitait des connaissances en informatique. Or pour l'ouverture vers le grand public il n'est pas envisageable de demander de telles connaissances. Pour accéder à la base, il a été choisi de limiter le pouvoir expressif. Ainsi les deux sites ne proposent que deux types de requêtes : afficher le plan d'une ville ou d'une partie de la ville identifiée par un nom de rue, le nom de la ville et son département ; afficher un itinéraire routier entre deux villes ou deux rues identifiées de la même façon (voir figure 1.2).



FIG. 1.2 – Deux outils de recherche d'information géographique sur l'internet, à gauche Mappy, à droite ViaMichelin.

En rapprochant ces deux interfaces aux données d'une base spatiale, nous remarquons que les contraintes spatiales sont ici figées dans la requête. Seules les contraintes alpha-numériques, sur les noms des rues, des villes ou des départements sont modulables par l'utilisateur qui doit alors impérativement les spécifier. L'interface est ici spécialisée dans un domaine, celui des itinéraires. Un utilisateur recherchant quelles sont les villes situées sur l'autoroute A6 par exemple, ne pourrait pas exprimer sa requête à l'aide de cette interface.

Nous venons donc de voir deux exemples d'interfaçage avec des données spatiales. Deux problèmes ont été mis en évidence, soit le mode d'expression avec l'interface est complexe, soit l'interface est spécialisée dans un domaine. Nous allons maintenant étudier les interface, avec les entrepôts de données. Ici, une indexation adéquate des documents permet de faire ce qui est nommé de la recherche "multi-critères". Reprenons notre exemple de l'Atlas Transmanche. Celui-ci indexe les documents selon les thèmes, les lieux, les époques qu'ils abordent. Un utilisateur va par exemple indexer un document de la façon sui-

vante : année : 1998 ; lieu : France ; thème : politique maritime. L'Atlas dispose d'un moteur de recherche permettant de sélectionner des documents correspondant à ces différents critères. Sur la figure 1.3, un utilisateur recherche tous les documents en rapport avec la politique maritime. Une liste de documents répondant à ce critère lui est alors proposée.

Les entrepôts de données, grâce à un système d'indexation approprié, vont proposer une recherche précise. Tous les thèmes, lieux, périodes abordés par les documents présents dans l'entrepôt vont être proposés à l'utilisateur. En choisissant parmi ceux-ci il aura alors la certitude d'avoir en retour des documents correspondant à sa demande. Cette forme de recherche est donc précise quant à la qualité du résultat mais elle est limitée sur le pouvoir expressif. Les documents sont indexés selon des critères fournis sous forme alpha-numérique, par exemple pour le critère lieu un document sera indexé par la donnée : Région PACA puis un autre par la donnée : Sud de la France. Ces deux données ne seront pas liées par une relation d'inclusion géographique. Un utilisateur choisissant l'index Sud de la France ne trouvera pas en retour le document indexé Région PACA. Cette forme de recherche offre un pouvoir d'expression limité : l'utilisateur a exprimé la requête "je veux tous les documents indexés Sud de la France" et n'a pas pu exprimer "je veux tous les documents au sujet du sud de la France".

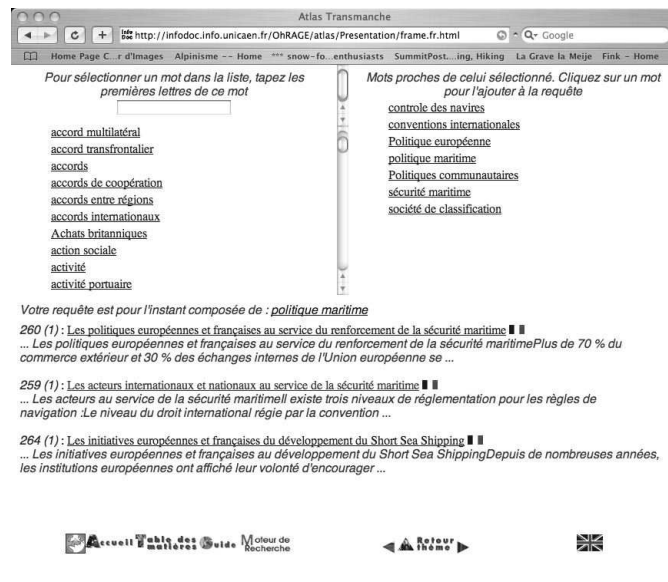


FIG. 1.3 – L'interface de recherche de l'Atlas Transmanche.

Pour les documents HTML sur l'internet, l'indexation est très peu précise. Les moteurs de recherche sélectionnent les pages correspondant à un mot clé en puisant les informations dans le contenu même du document. Si un utilisateur cherche les villages proches de Caen et sur le littoral, qu'il entre dans un moteur de recherche la requête "villages proche de Caen sur le littoral", il obtiendra comme réponse les documents contenant ces mots : *village, proche, Caen, littoral*. Rien ne lui assurera que ces documents lui fourniront le nom de ces villages. Seule la lecture de ceux-ci lui permettra peut-être de trouver réponse.

Pour les trois sources d'information géographique que nous avons citées en exemple : base de données spatiale, entrepôts de données et documents HTML nous allons nous poser les questions suivantes :

- quelles informations contiennent-elles ?
- par quels critères y cherche-t-on l'information ?

Enfin nous verrons leur complémentarité et donc l'intérêt que peut procurer le croisement de leurs informations.

Les informations contenues dans les bases de données spatiales sont de deux types. D'une part on y trouve bien sûr des informations spatiales. La forme des objets ainsi que leurs positions dans l'espace y sont représentées. Ces informations répondent à la question « où ? », par exemple « quelles sont les régions du sud de la France ? ». D'autre part, on y trouve des informations thématiques, par exemple : population des

villes, type d'agriculture d'une région. Ces informations permettent de répondre à la question « quoi ? », par exemple : « quelles sont les régions où l'on cultive le blé ? ». Toutes les informations étant dans des tables, la recherche peut se faire via les deux questions portant sur le « où ? » et le « quoi ? ».

Les informations contenues dans les entrepôts de données peuvent aussi bien être du texte, des cartes, des graphiques, des tableaux, etc. Elles sont donc à la fois spatiales en répondant à la question « où ? », thématiques en répondant à la question « quoi ? » et qualitatives en répondant à la question « comment ? ». Un document portera par exemple sur le retard scolaire, dans la région PACA. Il répondra alors à la question « comment ? », par exemple « quel est l'état du retard scolaire dans la région PACA ? ». En ce qui concerne l'interrogation, elle se fait via l'indexation des documents. Pour répondre à une question « où ? » par exemple « quelles sont les villages proches de Caen sur le littoral ? », l'utilisateur va sélectionner un espace géographique contenant Caen, par exemple la Normandie. Il va alors poser une question comme « quels sont les documents sur la Normandie ? ». Idem pour répondre au « quoi ? » et au « comment ? ». La forme de la question est alors « quels documents portent sur X », X pouvant être un espace géographique, une période de l'histoire, ... De façon générale X pointe sur un index du document.

Tout comme les entrepôts de données, les pages HTML peuvent répondre aux trois questions « où ? », « quoi ? », « comment ? ». À la différence des entrepôts de données, elles ne sont pas indexées. La recherche se fait alors par des questions de la forme « quels documents contiennent les mots X, Y... ? ». Il s'ensuit une grande quantité et une grande variété de réponses. À l'utilisateur de terminer le tri des documents en les parcourant.

Nous allons maintenant proposer un exemple mettant en évidence l'intérêt que l'on peut avoir à croiser l'information en provenance de plusieurs sources. Les sources en question vont être une base de données spatiales et un entrepôt de données. Reprenons l'exemple initial d'un utilisateur cherchant, dans l'entrepôt de données, les documents sur le sud de la France. Il trouve ce thème dans les indexs. Parallèlement d'autres documents sont indexés Région PACA. Le fait que la région PACA soit dans le sud de la France ne peut se déterminer sans connaissances spatiales. Ces connaissances spatiales peuvent provenir d'une requête sur des données spatiales : « quelles sont les régions, les départements et les communes du sud de la France ? ». En copiant les réponses à cette question pour la recherche dans les indexs de l'entrepôt de données, les documents sur la région PACA seront alors trouvés.

Cet exemple nous mène à une conclusion : il est souhaitable de disposer de plusieurs sources d'information pour répondre plus efficacement aux utilisateurs. Cette conclusion est la base du projet Antéserveur Géographique : construire une requête avec un niveau d'abstraction sémantique tel que la requête soit indépendante des sources d'information. L'indépendance autorisant une transformation de la requête vers telles ou telles sources d'information et les réponses des sources pouvant alors être croisées comme dans l'exemple. La section qui suit va décrire plus précisément le projet Antéserveur Géographique.

1.3 Le projet Antéserveur Géographique

Dans la section précédente, nous nous sommes attachés à présenter les différents contenus de différentes sources d'information géographique. Nous y avons vu ce que nous pouvons demander à ces sources et comment formuler les demandes. À la question « comment formuler les demandes ? », nous nous sommes aperçus que, suivant les sources, soit les interfaces nécessitaient un apprentissage, soit elles ne permettaient pas d'être précis dans la formulation de la requête. Par rapport aux contenus des sources et à ce que nous pouvons leur demander, nous avons mis en évidence l'intérêt de disposer de plusieurs sources et de croiser leurs informations. Le projet Antéserveur Géographique part de ces deux constatations. Il propose d'une part de mettre à disposition de l'utilisateur une interface simple et précise, d'autre part il sera capable d'interroger plusieurs sources d'information pour profiter de leur complémentarité ; et éventuellement de pouvoir croiser leurs informations.

Nous pouvons représenter son architecture comme sur la figure 1.4. L'utilisateur construit sa requête avec l'interface, celle-ci est ensuite interprétée pour en extraire le sens (phase lSens). Cette interprétation crée une représentation de la requête qui sera ensuite transformée pour interroger les différentes sources (phases TrBD, TrED, TrW).

Intéressons nous dans un premier temps aux phases de transformation. Soit une requête dont le sens signifierait « les ville du sud de la France ». Sa transformation vers une base de données spatiales doit alors

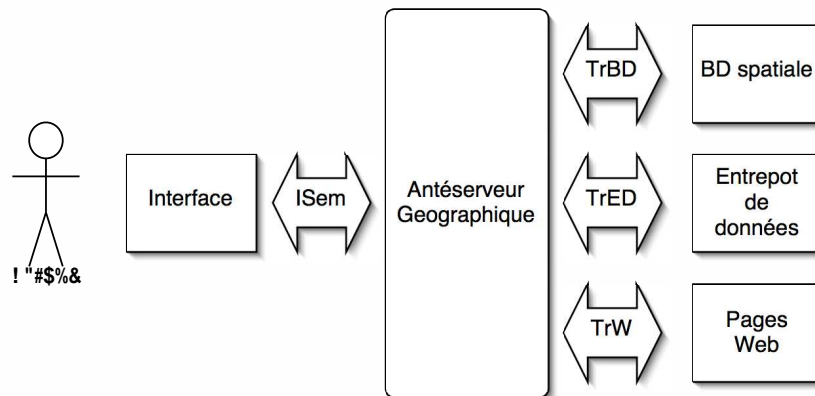


FIG. 1.4 – Schéma fonctionnel de l'Antésystème Géographique.

viser à collecter l'ensemble des noms et éventuellement la position des villes du sud de la France. Vers un entrepôt de données ou bien vers les pages HTML, il faudra alors collecter les documents dont le thème se rapporte aux villes du sud de la France.

En terme de requête, la transformation vers une base de données spatiales peut se faire en demandant toutes les villes en France dont la latitude est inférieure à celles du centre de gravité de la France. Pour la transformation vers un entrepôt de données un certain nombre d'index doivent être répertoriés comme correspondant au sud de la France. La sélection se ferait sur ceux-ci. Quant aux pages HTML, un ensemble de mots clés agencés avec des opérateurs logiques permettrait d'extraire des pages qui pourraient correspondre. Grâce à l'automatisation de cette tâche il est envisageable d'écrire des agencements de mots assez complexes, plus précis que les quelques mots habituellement notés par les utilisateurs.

Ces transformations ne sont que des exemples. Ce qu'il est important de retenir c'est que l'utilisateur ne doit avoir qu'à formuler qu'il souhaitait des informations sur les villes au sud de la France. À charge du module de transformation vers la base de données spatiales de connaître le nom des tables, les fonctions géométriques qu'offre le langage, etc. À charge du module de transformation vers l'entrepôt de données de connaître les index relatifs à tels ou tels termes. De même pour le module de transformation vers les pages HTML qui doit connaître des agencements de mots clés convenables.

Voyons maintenant comment l'utilisateur va signifier au système les informations qu'il souhaite trouver : quelle interface va être proposée à l'utilisateur ? L'interface doit être assez précise, par exemple permettre de formuler des requêtes telles que : « *Les lacs dans une forêt* », « *les rivières qui traversent le Perche* », « *Les villes de moins de 5000 habitants sur la Seine, proches de Paris* », elle doit être simple d'usage et elle ne doit pas être spécialisée pour une source d'information donnée. Dans le domaine des interfaces deux grandes catégories peuvent être distinguées : les interfaces textuelles et les interfaces graphiques. Les interfaces graphiques n'excluent pas l'usage du texte dans des champs spécifiques. Nous allons écarter les interfaces textuelles pour des raisons d'ambiguïté lors de l'interprétation et à cause d'une expression des contraintes spatiales difficile. Nous évoquerons bien sûr plus en détail ces deux difficultés par la suite. Restent les interfaces graphiques. À nouveau nous pouvons les diviser en deux catégories. Elles proposent à l'utilisateur de formuler sa demande soit à l'aide d'icônes soit à l'aide d'un schéma. Les interfaces utilisant les icônes se nomment *interfaces iconiques*, nous nommerons les interfaces utilisant le schéma *interfaces schématiques*. Les interfaces iconiques proposent à l'utilisateur des icônes représentant des entités géographiques précises dont le choix doit être fait lors de la création de l'interface. Ces choix imposent alors à l'utilisateur un domaine de requête fermé en relation avec une ou des sources d'information précises. L'Antésystème Géographique doit être indépendant des sources d'information. Sur ce point, une interface schématique peut laisser totalement libre le choix des entités géographiques représentées sur le schéma. En ajoutant qu'un schéma est un moyen couramment utilisé pour représenter une configuration spatiale, il nous paraît raisonnable de songer à en faire un moyen d'expression pour un utilisateur en direction d'une machine. L'interface schématique sera donc notre choix pour l'Antésystème Géographique.

L'interface que nous allons proposer va cumuler deux modes d'expression. Les relations spatiales entre les objets vont s'exprimer par un schéma sur lequel figureront des entités géographiques. Ces entités géographiques et leurs éventuelles contraintes thématiques vont respectivement être identifiées et décrites par le mode textuel. Accolés au schéma, les textes identifiant et décrivant les entités géographiques s'appelleront des étiquettes. Les trois schémas étiquetés correspondant aux trois exemples précédents sont représentés figure 1.5.

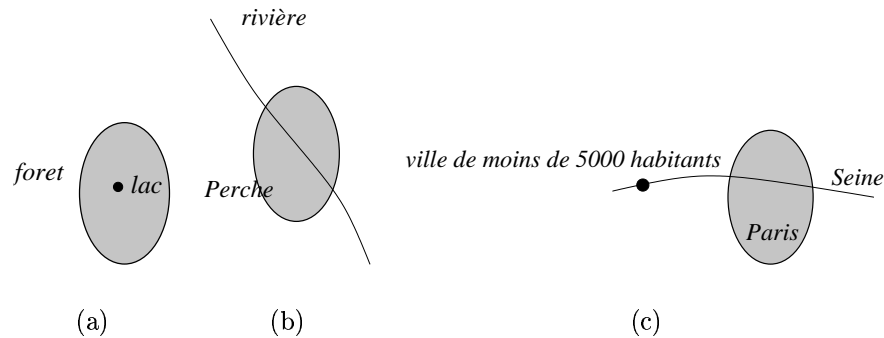


FIG. 1.5 – Trois schémas correspondant aux trois exemples : (a) «*Les lacs dans une forêt*», (b) «*les rivières qui traversent le Perche*» et (c) «*Les villes de moins de 5000 habitants sur la Seine, proches de Paris*».

Dans les étiquettes, le texte est libre, la langue naturelle est recommandée. Au minimum, une étiquette doit spécifier une entité géographique. Des contraintes thématiques peuvent aussi être présentes. Une étiquette nécessite donc une analyse linguistique. Le schéma est semi-libre, trois primitives graphiques seront proposées à l'utilisateur : zone, ligne et point. C'est avec celles-ci qu'il devra faire son schéma, chaque primitive graphique présente sur le schéma doit représenter une entité géographique spécifiée par son étiquette. L'utilisateur place et dimensionne librement sur un espace de dessin les primitives graphiques représentant des entités géographiques. Via la disposition des objets sur le schéma, des relations spatiales seront déduites, le schéma nécessite donc une analyse spatiale.

Nous venons de voir le but de nos recherches et les moyens choisis pour y parvenir. La dernière section de ce chapitre va spécifier le cadre de mon travail de thèse ainsi que la façon dont ce travail s'est réalisé.

1.4 Travail et problématique de recherche

Nous pouvons distinguer deux parties distinctes dans l'Antéservoir Géographique :

- la partie interface avec l'utilisateur qui doit permettre à la machine de représenter dans un formalisme adapté la demande de l'utilisateur
- la partie transformation où la machine va transformer la demande de l'utilisateur en plusieurs requêtes pour interroger plusieurs sources d'information.

Mon travail de thèse porte sur les deux points, néanmoins la partie recherche s'est limitée à la première partie : l'interface avec l'utilisateur, c'est à dire l'analyse d'un schéma étiqueté. Nous avons vu que l'analyse est double : analyse linguistique et analyse spatiale. Cette dualité a donné lieu à des collaborations avec d'autres chercheurs. Ainsi, mon travail de recherche ne s'est porté que sur l'analyse spatiale, les travaux de linguistique étant accomplis par d'autres chercheurs. Ce rapport de thèse n'évoquera donc que des problèmes spatiaux tant du point de vue de la formulation que de l'interprétation.

Notre démarche scientifique va se dérouler comme suit. Nous partons d'une hypothèse : une interface schématique doit permettre à l'utilisateur d'exprimer simplement une requête géographique. Cette hypothèse implique deux questions : l'interface permet-elle effectivement d'exprimer des requêtes dans le domaine géographique et les utilisateurs arrivent-ils à utiliser cette interface ? Tout mon travail de thèse a consisté à démontrer qu'il était possible de répondre positivement à la première question : il est possible d'exprimer des requêtes géographiques avec une interface schématique. Parallèlement à ce travail de

recherche, un travail de programmation a permis de disposer d'une interface fonctionnelle. L'utilisation a venir de cette interface permettra de répondre à la seconde question : les utilisateurs arrivent-ils à utiliser cette interface ?

Mon travail de démonstration comporte deux phases : mettre en lumière les problèmes tendant à rendre l'interface inopérante, donner des outils pour y remédier. Ce rapport va relater ces deux activités. À partir de l'hypothèse de départ, nous argumenterons en faveur de notre choix d'une interface schématique, dans le premier chapitre de la première partie consacrée à l'état de l'art. Grâce à une étude de l'art des langages d'accès à l'information géographique, nous y justifierons plus largement la mise à l'écart des interfaces purement textuelles. D'autre part nous étudierons les inconvénients présents dans les interfaces schématiques. Nous saurons alors quels problèmes nous devons résoudre pour rendre l'interface opérationnelle. Dans un second chapitre, nous définirons un symbolisme capable de représenter le fonctionnement d'une interface visuelle. Nous représenterons les problèmes relevés sur les interfaces schématiques à l'aide de ce symbolisme : la pluralité des façons d'interpréter un schéma sera alors vue comme le problème majeur en raison d'un problème de choix. Ces façons d'interpréter un schéma nous conduiront au troisième chapitre sur l'état de l'art de l'analyse spatiale qualitative qui montre alors comment se font ces différentes interprétations. Nous serons alors au terme de la première partie, nous connaissons notre problème : il existe plusieurs façons d'interpréter un schéma, laquelle choisir ? Nous connaissons aussi les différents outils permettant d'analyser un schéma de différentes façons. Nous pourrions passer à la seconde partie sur l'Antéserveur Géographique où nous construirons les outils capables d'effectuer le bon choix.

Dans un premier chapitre nous proposerons un nouveau mode d'interaction basé sur ce que nous avons appelé le *feedback sémantique*, retour textuel court, appelé microtexte, décrivant le schéma et permettant ainsi de lever des ambiguïtés présentes dans un schéma car non présentes dans le texte. Comme l'analyse linguistique des étiquettes, la réalisation de ces microtextes est le fruit d'une collaboration, cette fois-ci avec un travail de recherche du domaine de la génération automatique de texte [OAL98, OAL03]. Ce feedback sémantique a pour but de résoudre le problème de choix posé précédemment. Nous verrons que ce mode d'interaction nécessite un modèle d'analyse spatiale propre. La réalisation de ce modèle sera précisément expliquée dans le second chapitre. Enfin nous concluons sur la réalisation informatique découlant de ces travaux de recherche. En nous appuyant sur cette réalisation nous montrerons alors qu'il est possible d'exprimer des requêtes dans le domaine géographique avec cette interface. Nous exposerons à cette fin des exemples.

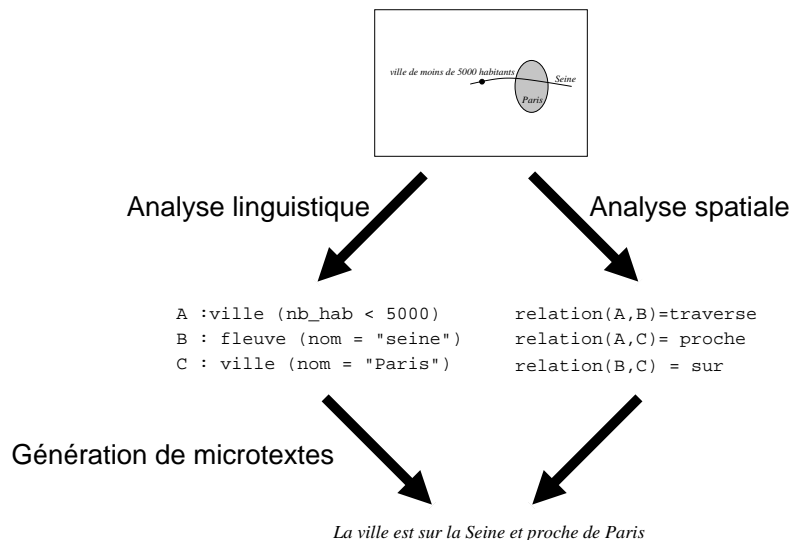


FIG. 1.6 – L'architecture de l'Antéserveur Géographique et ses trois modules : analyse linguistique, analyse spatiale et construction des microtextes pour le feedback sémantique.

L'architecture de l'interface autour du schéma est représentée figure 1.6. Le schéma (c) de la figure 1.5 y est représenté. Deux analyses sont nécessaires, une analyse linguistique des étiquettes, une analyse spatiale

du schéma. L'analyse linguistique fournit des informations sur les entités géographiques présentes sur le schéma, l'analyse spatiale fournit des informations sur les relations spatiales entre ces entités. Avec ces deux types d'information, le constructeur de microtexte va créer de courtes phrases en langue naturelle construites autour d'entités géographiques en des termes caractérisant leurs relations spatiales. Ce schéma nous permet de fixer les limites de mon travail sur ce projet : l'analyse spatiale. L'analyse linguistique et la construction de microtextes étant réalisées par d'autres chercheurs.

Première partie

État de l'art

Chapitre 1

Les langages d'accès à l'information géographique

Ce chapitre va être consacré à l'étude des moyens d'accès à l'information géographique. Nous y étudierons deux types d'interface : la langue naturelle et les interfaces graphiques. Pour chacune d'entre elles nous montrerons les problèmes que posent leur mode de formulation respectif.

En ce qui concerne les interfaces en langue naturelle, nous nous contenterons de montrer assez rapidement à l'aide d'exemples les nombreuses ambiguïtés portant sur le sens même de la requête. Pour les interfaces graphiques nous nous appuyerons sur le travail de [Fav03] qui étudie deux familles d'interfaces graphiques : interface iconique et interface par métaphore du tableau noir, c'est-à-dire celle à laquelle appartient notre projet Antéserveur Géographique. Pour chacune de ces familles d'interfaces il compare les problèmes d'ambiguïté qu'elles posent.

Au terme de ce chapitre nous aurons alors relevé un certain nombre d'ambiguïtés présentes dans les interfaces par métaphore du tableau noir. Après analyse, nous classerons ces ambiguïtés en deux catégories, problèmes de *sur-spécification* et d'*appréciation*.

1.1 La formulation en langue naturelle

En introduction, nous avons dit que notre projet vise à réaliser une interface graphique pour spécifier une demande en information géographique. Cette section va avoir comme rôle de montrer les nombreux problèmes que pose la langue naturelle pour l'expression d'une requête spatiale. Ce sont ces problèmes qui justifient notre choix d'une interface n'utilisant pas ce seul mode d'interaction.

La langue naturelle paraît être un moyen très intuitif pour un humain voulant exprimer un besoin en information. Et ceci dans de nombreux domaines. Néanmoins, dans le cas précis d'un besoin en information géographique, nécessitant l'expression de contraintes spatiales, la langue naturelle présente deux défauts.

Le premier concerne l'ambiguïté qu'elle véhicule [dpddC87]. Nous verrons dans un exemple qu'une requête portant sur quatre objets suffit à poser de nombreux problèmes d'ambiguïté. Plus précisément, des difficultés apparaissent pour trouver à quels objets fait référence un terme donné. Le second problème est la difficulté que peut éprouver une personne pour décrire une configuration spatiale à l'aide de la langue naturelle [Den97].

1.1.1 Ambiguïté dans la langue

Prenons l'exemple d'un père de famille travaillant à Deauville, pratiquant la pêche en rivière, dont les enfants sont scolarisés et qui désire habiter une petite ville. Ces critères de sélection pourront s'exprimer par la phrase :

« Je cherche une ville de moins de 2000 habitants ayant au moins une école, traversée par une rivière, distante de moins de 50 km de Deauville et reliée à celle-ci par une route nationale. »

Les objets présents dans cette requête sont *la ville* recherchée, *la rivière*, *l'école* ou *le collège* et *Deauville*. Ils ne sont que quatre et cependant cette phrase contient nombre d'ambiguïtés. Sa compréhension sans connaissance préalable sur la vraisemblance d'une requête n'est pas sans poser des problèmes.

Voici les ambiguïtés que nous pouvons relever :

«...traversée par une rivière...»

S'agit-il de la ville ou de l'école qui est traversée par une rivière? Syntactiquement les deux cas sont envisageables. Une ville traversée par une rivière est plus commun qu'une école traversée par une rivière. C'est ainsi que nous, humains, nous leverions l'ambiguïté.

«...distante de moins de 50 kms de Deauville...»

S'agit-il de la ville ou de l'école? À nouveau, syntactiquement les deux cas sont envisageables. À priori le terme utilisé pour la *rivière* aurait plutôt été «...passant à moins de 50 kms de Deauville...». Nous humains nous opterions pour la ville car nous avons plus l'habitude de spécifier des distances entre des villes qu'entre une ville et une école. Cependant rien ne permet d'assurer que ce choix est juste.

«...reliée à celle-ci...»

S'agit-il de la ville, de l'école ou de la rivière? Encore une fois les trois cas sont envisageables syntactiquement. Il faut savoir que les routes Nationales relient des villes entre elles pour lever l'ambiguïté. En observant les ambiguïtés qui apparaissent dans une requête en langue naturelle, nous voyons bien que, pour la plupart, des connaissances sur le domaine sont nécessaires pour qu'elles soient levées.

1.1.2 Complexité d'expression

Prenons l'exemple de l'organisateur d'une course cycliste. Il souhaite organiser une course en ligne entre deux villes. L'itinéraire de la course doit être constitué de routes à deux voies. Pour des raisons sportives cet itinéraire doit mesurer entre 180 et 220 kilomètres et passer par au moins deux sommets de plus de 300m. Pour des raisons de sponsoring cet itinéraire doit traverser Alençon à mi-parcours. Les deux sommets doivent être franchis en fin de course, c'est à dire entre Alençon et l'arrivée.

Parallèlement à l'itinéraire de la course, les deux villes doivent aussi être reliées par un autre itinéraire permettant ainsi aux journalistes, organisateurs et spectateurs présents au départ de se rendre à l'arrivée. Nous dirons que c'est un itinéraire de liaison. Pour des raisons d'encombrement, ce second itinéraire doit être une route à quatre voies.

De façon à ce que l'itinéraire de liaison ne soit pas trop long, nous souhaiterions une configuration dans laquelle l'itinéraire de la course fait un détour pour relier la ville de départ à la ville d'arrivée. L'itinéraire de liaison, lui, doit être le plus direct possible.

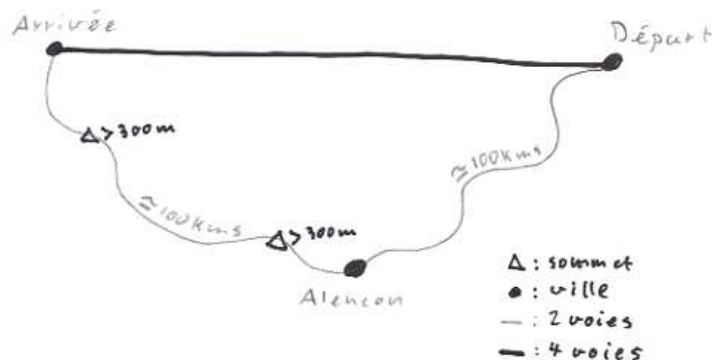


FIG. 1.1 – Un croquis dessiné au crayon représentant la configuration spatiale recherchée pour la course

Ces contraintes peuvent facilement se résumer par un croquis qui reste simple, nous l'avons représenté à main levée sur la figure 1.1. Ce croquis représente l'image que l'organisateur a de la course. Qu'en est-il de son expression en langue naturelle ?

Par exemple, la solution pour disposer d'un itinéraire de liaison plus court que l'itinéraire de la course est de disposer de trois villes formant un triangle, Alençon étant un de ces sommets. De plus, l'itinéraire de la course doit être assez sinueux, au contraire de l'itinéraire de liaison qui doit être le plus droit possible. Toutes ces spécificités se retrouvent sur le croquis de la figure 1.1.

L'expression de telles contraintes dans un langage clair et précis paraît assez compliquée. Néanmoins, si quelqu'un devait formuler sa requête au moyen de sa langue naturelle, nous pourrions avoir une formulation telle que :

« Je cherche deux itinéraires pour relier deux villes. L'un d'eux doit passer par Alençon et doit mesurer environ 200 kms. Il doit traverser Alençon à peu près à mi-parcours. Après avoir traversé Alençon il doit passer par au moins deux sommets de plus de 300m. Cet itinéraire doit emprunter des routes à deux voies. L'autre itinéraire doit être plus court et doit emprunter des routes à quatre voies. »

Deux remarques peuvent être faites. La première concerne toujours les problèmes d'ambiguïté présents dans le texte. Nous en avons montré dans l'exemple de la section précédente. Nous en trouvons ici aussi, par exemple : *« L'autre itinéraire doit être plus court. . . »*. Doit-il être plus court que les sommets ou que le premier itinéraire ? Des connaissances sont nécessaires pour lever cette ambiguïté.

La seconde remarque concerne la difficulté à passer du schéma de la figure 1.1 au texte. Michel Denis [Den97] évoque le concept de *modèle mental spatial*, structure cognitive indépendante de toutes formes d'expression. La linéarisation imposée par la forme verbale n'est pas sans causer des difficultés, principalement dans un cas comme le nôtre où il s'agit d'une scène en 2 et même 3 (altitude) dimensions.

Conclusion

À l'aide d'exemples nous venons de mettre en évidence deux défauts de la langue naturelle. D'une part elle est affectée de nombreuses ambiguïtés, d'autre part la linéarisation liée à la forme verbale peut s'avérer une tâche assez fastidieuse pour l'utilisateur.

L'ambiguïté pose un problème de résolution par la machine : dispose-t-on de traitements linguistiques fiables pour lever ces ambiguïtés ? Des solutions peuvent être apportées, notamment par des systèmes de dialogues homme-machine [NV98].

La linéarisation, quant à elle, pose un problème ergonomique. L'utilisateur va-t-il se plaire à cette tâche ? La généralisation des interfaces graphiques nous invite à envisager une autre voie, celle des interfaces visuelles. Ce sont d'autres problèmes qui apparaissent alors. C'est ce que nous allons étudier dans la section suivante.

1.2 Les langages visuels

Dans cette section nous allons nous inspirer d'un récent travail de thèse [Fav03, FAP00] pour dresser une taxonomie des ambiguïtés présentes dans les différentes interfaces visuelles. Il s'appuie lui même sur le travail de thèse de [LC99, AP92] portant sur l'interface CIGALES.

Nous allons diviser les langages visuels en deux catégories : les langages iconiques et les langages par métaphore du tableau noir. Les interfaces iconiques mettent à disposition de l'utilisateur des icônes représentant soit des entités géographiques soit des opérateurs spatiaux. L'utilisateur formule sa requête en combinant entités géographiques et opérateurs spatiaux. Le système place sur l'écran les icônes correspondants conformément aux dispositions spatiales choisies. Dans une interface par métaphore du tableau noir, l'utilisateur dispose d'outils pour dessiner. Il représente sa requête sous forme d'un schéma. La figure 1.2 montre une requête pour rechercher tous les villages de Bourgogne proches d'un lac, formulée sous ces deux types d'interfaces.

Pour comprendre quelles phases d'interaction engendrent les interfaces iconiques et les interfaces par métaphore du tableau noir, nous allons nous appuyer sur un modèle formel du fonctionnement des interfaces visuelles. Ensuite, à l'aide de ce formalisme, nous verrons l'ensemble des ambiguïtés qui

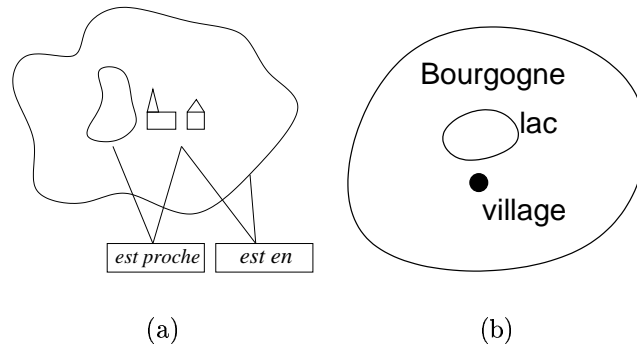


FIG. 1.2 – Une requête exprimée sous une interface iconique (a) et sous une interface par métaphore du tableau noir (b).

apparaissent dans ces deux types d'interfaces, nous examinerons à quelles étapes de l'interaction elles se situent.

1.2.1 Fonctionnement des interfaces visuelles

Nous allons maintenant donner les grandes lignes d'un modèle formel d'interface visuelle, modèle que l'on doit à Bottoni, P. et Al. [BCLM95]. Nous allons nous contenter d'expliquer comment les auteurs formalisent les phases d'interaction entre l'homme et la machine dans une interface graphique (une définition complète de ce formalisme sera donnée dans la partie suivante).

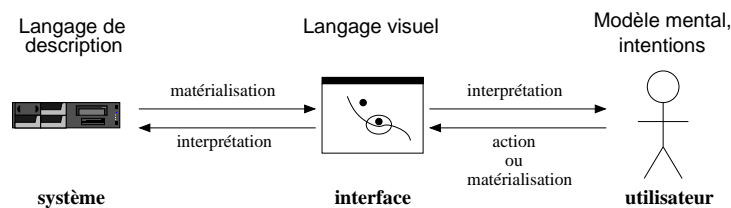


FIG. 1.3 – L'environnement d'un système de requête visuelle

[BCLM95] représentent le fonctionnement d'une interaction visuelle à travers deux fonctions : une fonction d'*interprétation* et une fonction de *matérialisation*. Ces fonctions opèrent respectivement sur des *images* et des *descriptions d'images*. L'*interprétation* part d'une *image* pour fournir sa *description*. La *matérialisation* part d'une *description* pour fournir une *image* la représentant.

Observons la figure 1.3 qui représente une interface d'interaction visuelle (au centre) au sein de son environnement constitué du système informatique (à gauche) et de l'utilisateur (à droite). Sur cette figure nous pouvons voir où sont à l'œuvre les deux fonctions d'*interprétation* et de *matérialisation* :

- Entre l'utilisateur et l'interface : dans ce cas la matérialisation prend parfois la forme d'une action, notamment dans les interfaces visuelles iconiques. Nous nommerons alors les deux fonctions $mat_{util}(x)$ ou $act(x)$ suivant le cas et $int_{util}(x)$ pour l'interprétation d'une image.
- Entre le système et l'interface : nous nommerons ces deux fonctions $mat_{sys}(x)$ et $int_{sys}(x)$.

Comme nous l'avons déjà vu, nous divisons les systèmes de requêtes visuels en deux groupes : les interfaces iconiques et les interfaces par métaphore du tableau noir. Nous allons voir comment le schéma de la figure 1.3 peut expliquer le fonctionnement des deux types d'interfaces.

Dans une interface visuelle iconique l'utilisateur possède une image mentale d de ce qu'il souhaite spécifier [Den97]. Il va devoir matérialiser d sur l'interface. Pour cela il va effectuer des actions que nous nommerons a sur l'interface graphique au moyen d'icônes cliquables :

$$a = act(d)$$

Le système va ensuite les interpréter pour s'en faire une représentation interne :

$$d' = int_{sys}(a)$$

Aussitôt le système matérialisera d' en créant une image i :

$$i = mat_{sys}(d')$$

L'utilisateur pourra alors se rendre compte de ce que la machine a compris en interprétant i pour s'en faire une seconde description d'' :

$$d'' = int_{util}(i)$$

Il pourra alors comparer d'' avec sa description initiale d .

Dans le cas d'une interface par métaphore du tableau noir, l'interface n'a pas à effectuer de matérialisation. C'est l'utilisateur qui se charge de matérialiser lui-même l'image mentale de ce qu'il souhaite spécifier. Ceci n'est donc pas à la charge du système.

Nous pouvons alors définir les actions comme suit. L'utilisateur possède une image d de ce qu'il souhaite spécifier. Il va matérialiser cette description d en créant son image :

$$i = mat_{util}(d)$$

Le système va alors interpréter cette image i pour s'en faire une représentation interne :

$$d' = int_{sys}(i)$$

Nous venons de voir que le schéma de la figure 1.3 s'applique aussi bien à une interface iconique qu'à une interface par métaphore du tableau noir. Néanmoins il apparaît des différences entre les deux interfaces dans ce que le système *matérialise* et/ou *interprète*

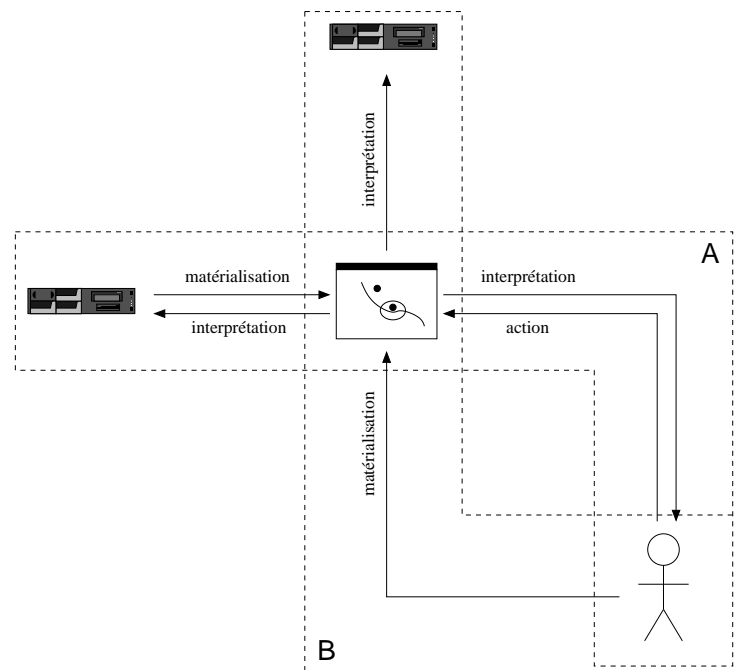


FIG. 1.4 – Les différentes tâches effectuées par les deux types d'interfaces : A : interface iconique et B : interfaces par métaphore du tableau noir

Compte tenu de ce qui vient d'être dit, nous pouvons schématiser les deux interfaces par la figure 1.4. Pour l'interface iconique nous trouvons deux fonctions d'*interprétation*, une *action* et une fonction de

matérialisation. Pour l'interface par métaphore du tableau noir, nous trouvons une fonction de *matérialisation* et une fonction d'*interprétation*.

Les ambiguïtés apparaissent dans l'interprétation de ce que l'on voit. Sur la figure 1.4 nous voyons qu'aussi bien l'utilisateur que le système sont amenés à interpréter. Le système interprète le schéma ou les actions de l'utilisateur. L'utilisateur interprète le schéma produit par le système (uniquement pour les interfaces iconiques). L'intérêt est d'éviter (ou du moins de minimiser) les ambiguïtés dans l'interprétation. Pour le système, les problèmes d'ambiguïté vont alors apparaître deux fois :

- lors de l'interprétation : comment le système doit-il interpréter les actions ou le schéma de l'utilisateur ?
- lors de la matérialisation (uniquement pour l'interface iconique) : comment le système doit-il matérialiser les résultats de l'interprétation pour qu'ils soient ensuite correctement interprétés par l'utilisateur ?

Dans les sections qui suivent, nous allons étudier les ambiguïtés présentes dans les interfaces iconiques et par métaphore du tableau noir. Pour l'interface iconique, nous évoquerons les ambiguïtés à l'étape de matérialisation et à l'étape d'interprétation. Pour l'interface par métaphore du tableau noir, nous n'aurons à évoquer que les ambiguïtés pour l'étape d'interprétation.

1.2.2 Absence de contrainte spatiale

Ce problème concerne l'expression du terme « *peu importe* ». C'est à dire comment spécifier sur un schéma qu'une relation spatiale entre deux objets n'a pas d'importance. En effet, sur un schéma tous les objets possèdent une disposition spatiale les uns par rapport aux autres. Le problème est alors le suivant : lors de l'interprétation de ce schéma, tant par la machine que par un utilisateur, comment distinguer les relations pertinentes des relations à ignorer ? C'est ce que nous allons voir dans la suite de cette section.

Ambiguïté d'interprétation

Prenons l'exemple de la figure 1.5 d'un randonneur qui cherche un sentier traversant une forêt et passant à côté d'un lac. Sur une interface par métaphore du tableau noir, l'utilisateur dessine effectivement le sentier coupant la zone représentant la forêt et passant à côté de la zone représentant le lac. Puis il doit choisir une disposition entre le lac et la forêt. N'ayant pas de souhait particulier sur ce sujet, il choisit de les disposer l'un à côté de l'autre. La question qui se pose alors est : « comment exprimer à la machine qu'il ne souhaite pas exprimer de contraintes entre ces deux entités : lac et forêt ». En construisant son schéma, il ne dispose en effet d'aucune ressource pour spécifier une telle absence de contrainte à la machine.

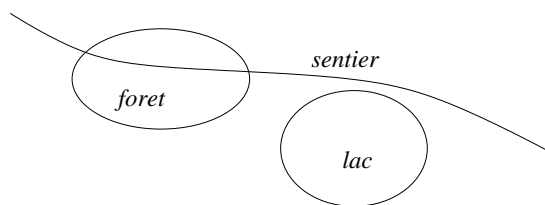


FIG. 1.5 – Absence ou présence de contraintes

Sur une interface iconique, l'utilisateur, après avoir placé trois icônes représentant les trois entités forêt, lac et sentier, placera seulement deux contraintes, l'une pour spécifier la relation forêt-sentier l'autre pour la relation lac-sentier. En ne plaçant pas de relation lac-forêt il aura ainsi laissé cette contrainte libre, reflétant alors le fait qu'il ne veut pas de contrainte entre ces deux entités.

Ambiguïté de matérialisation

Dans une interface iconique le système n'aura donc pas eu de difficulté à interpréter que l'utilisateur ne souhaite pas de contraintes entre le lac et la forêt, mais il doit maintenant matérialiser cette requête sous forme d'un schéma. Le problème de matérialisation qui va survenir est donc le suivant : comment

matérialiser le fait qu'il n'y a pas de contraintes entre le lac et la forêt. Le schéma obtenu risquera de ressembler à celui de la figure 1.5.

Nous venons de voir un exemple d'ambiguïté qui apparaît dans les deux types d'interface étudiés : dans l'interface par métaphore du tableau noir comme dans l'interface iconique. Dans la première le problème intervient lors de l'interprétation, dans la seconde c'est lors de la matérialisation que le problème apparaît.

Dans le cas de l'interface iconique, cette ambiguïté n'affecte pas le pouvoir expressif de l'interface. En effet l'utilisateur a été en mesure de spécifier sa requête sans ambiguïté. Ce n'est qu'après, lors de la matérialisation faite par le système, qu'apparaîtront des ambiguïtés, elles ne gênent pas le pouvoir expressif. Dans le cas d'une interface par métaphore du tableau noir, le problème demeure et gêne le pouvoir d'expression de l'utilisateur de l'interface.

1.2.3 Quels aspects géographiques retenir ?

Nous allons ici nous intéresser au fait que la géographie présente de nombreux aspects et que, en conséquence, l'interprétation d'une relation spatiale n'est jamais unique. Comme aspects, nous citerons par exemple la topologie, la forme, la métrie, le positionnement cardinal, etc. Un même schéma peut évoquer simultanément ces différents aspects, alors que l'utilisateur ne veut la plupart du temps qu'en évoquer un ou deux mais rarement plus. Comment un utilisateur peut-il spécifier qu'il ne s'intéresse qu'à tel ou tel de ces aspects ? C'est à cette question que nous allons tenter de répondre dans cette section.

Ambiguïté d'interprétation

Nous allons ici nous appuyer sur l'exemple d'un utilisateur qui cherche les campings dans le nord des Vosges. Sur une interface iconique nous ne rencontrerons pas de problèmes puisque c'est l'utilisateur qui choisira lui-même l'opérateur. Pour représenter une telle requête l'opérateur sera représenté par un icône représentant la relation « *dans le nord de* » lui permettant ainsi de fixer sa relation sur l'aspect cardinal.

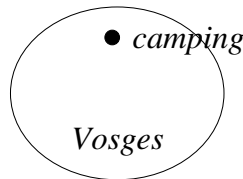


FIG. 1.6 – Comment caractériser la position du camping par rapport à la région des Vosges ?

Sur une interface par métaphore du tableau noir, notre utilisateur va pouvoir formuler sa requête par le schéma de la figure 1.6. Sur celui-ci le camping est effectivement placé dans la partie nord de la zone représentant les Vosges.

Sur ce schéma nous allons être confronté à l'ambiguïté suivante : en fonction de l'aspect sur lequel le système fixe son interprétation il peut trouver les interprétations suivantes :

- *Un camping dans le nord des Vosges* (Aspect cardinal)
- *Un camping dans les Vosges* (Aspect topologique)
- *Un camping dans les Vosges et proche de la frontière* (Aspect métrique et topologique)

Ambiguïté de matérialisation

Pour les interfaces iconiques, c'est lors de la matérialisation que le problème d'ambiguïté survient. Toujours sur notre exemple nous avons vu qu'un utilisateur désirant connaître les campings dans le nord des Vosges n'avait pas de difficultés à le matérialiser. Il disposait pour cela d'un icône représentant la relation « *dans le nord de* » sans ambiguïté. Le système devra à son tour matérialiser le terme « *dans le nord de* ». Il se trouvera alors dans un problème semblable à celui de l'interprétation d'une interface par métaphore du tableau noir. Il dessinerait un schéma semblable à celui de la figure 1.6 mais l'utilisateur n'aurait aucun moyen de savoir précisément, par observation du schéma, qu'il s'agit bien de l'aspect cardinal qui est représenté et non d'un autre.

Nous venons à nouveau de voir un problème d'ambiguïté survenant lors de l'interprétation sur les interfaces par métaphore du tableau noir et lors de la matérialisation sur les interfaces iconiques.

1.2.4 Différence d'appréciation

Il s'agit ici d'ambiguïté relatives à l'expression de termes flous comme «*proche*», «*au nord*» ou «*au bord*». Par exemple la proximité nécessaire entre deux objets pour leur accorder le terme «*proche*» peut varier d'une personne à l'autre ou d'un contexte à l'autre. Ces différences sont porteuses d'ambiguïté tant sur l'interprétation que sur la matérialisation.

Ambiguïté d'interprétation

Prenons l'exemple d'un utilisateur cherchant les vignobles très proches de Pau. Sur une interface par métaphore du tableau noir, Il peut alors faire sa requête à l'aide du schéma figure 1.7.

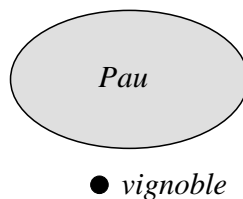


FIG. 1.7 – Un problème d'ambiguïté sur l'appréciation d'une distance : le vignoble est-il très proche ou seulement proche de Pau ?

La distance à laquelle il aura placé le vignoble de Pau étant suffisante à son idée pour exprimer le terme «*très proche*». Il se peut maintenant que le système interprète le schéma par un terme différent, «*proche*» par exemple. Autrement dit il y a ambiguïté sur la notion «*très proche*» : en dessous de quelle distance considère-t-on que deux objets sont «*très proches*».

Sur une interface iconique, le problème n'apparaît pas à cette étape. L'utilisateur disposera de deux icônes distincts pour spécifier deux termes distincts «*très proche*» et «*proche*».

Ambiguïté de matérialisation

Lors de la matérialisation, le problème est semblable. Si le système doit matérialiser la relation «*proche*», comment être sûr que l'utilisateur ne va pas l'interpréter comme la relation «*très proche*».

1.2.5 Précision spatiale

Il s'agit ici d'un problème d'ambiguïté posé par les limites qu'offre le système concernant la précision spatiale. Un langage visuel permet d'introduire certains détails dans le schéma que le système, lui, ne sera pas capable d'interpréter. Inversement, un utilisateur peut schématiser une relation sans faire attention qu'elle contient certaines précisions spatiales qu'il ne voulait pas préciser mais que le système, lui, va interpréter.

C'est le même problème lors de la matérialisation. Le système peut matérialiser une configuration spatiale par un schéma sur lequel l'utilisateur va percevoir des détails que le système n'avait pas l'intention de spécifier. Inversement, le système peut matérialiser une configuration présentant certains détails que l'utilisateur peut ne pas remarquer.

Ambiguïté d'interprétation

Nous discernons deux cas, un premier où le système est plus précis que l'utilisateur, un second cas où le système est moins précis que l'utilisateur. Prenons un exemple pour le premier cas : celui d'un utilisateur qui souhaite connaître tous les fleuves qui coupent le *Calvados* en deux parties. Il peut matérialiser cette requête par le schéma de la figure 1.8.

Imaginons maintenant un système capable de différencier les deux configurations des figures 1.9.a et 1.9.b, c'est-à-dire capable de relever que la rivière sépare le *Calvados* en deux parties et que dans le cas (a) seulement ces deux parties sont de surfaces à peu près égales.

Le schéma de l'utilisateur va correspondre à la figure 1.9.a. Le système va l'interpréter comme une rivière séparant le *Calvados* en deux parties égales. Ce n'est pas l'interprétation souhaitée par l'utilisateur.

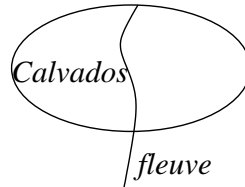


FIG. 1.8 – Un exemple d'ambiguïté sur la précision spatiale : faut-il tenir compte que le fleuve coupe le *Calvados* en deux parties égales

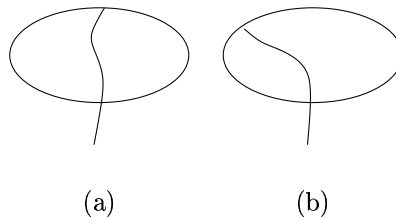


FIG. 1.9 – Deux configurations qui peuvent être différenciées à condition de relever certaines précisions spatiales

Passons maintenant au second cas, celui où le système est moins précis que l'utilisateur. Prenons toujours le même exemple, mais en supposant que cette fois-ci l'utilisateur souhaite effectivement que les deux parties soient de surfaces égales. Il va donc à nouveau spécifier sa requête à l'aide de la figure 1.8 que le système lui permet de dessiner et cette fois-ci l'égalité entre les deux surfaces sera signifiante. Si le système n'est pas capable de discerner les deux configurations 1.9.a et 1.9.b., cette égalité des surfaces ne sera pas prise en compte. Le nombre de détails qu'il est possible de relever sur un schéma est très grand [Mey92, MC02]. Ainsi l'apparition du second cas risque d'être beaucoup plus fréquente.

Ambiguïté de matérialisation

Considérons une interface iconique devant matérialiser la requête de notre exemple initial : les rivières coupant le *Calvados* en deux. L'utilisateur aura introduit les deux objets *Calvados* et rivière et aura spécifié que la rivière doit couper le *Calvados*. Le système ne tient pas compte de l'égalité ou non entre les deux parties du *Calvados*. Pour la matérialisation il aura donc le choix entre les figures 1.9.a et 1.9.b. Dans un cas comme dans l'autre, l'ambiguïté est possible si l'utilisateur, voyant une des deux figures (a) ou (b), en déduit des contraintes sur l'égalité entre les deux parties.

Dans une interface iconique, l'utilisateur commence par spécifier lui-même, une par une les contraintes. Dans ce cas il peut avoir moyen de savoir si la relation portant l'égalité entre les deux parties sera prise en compte, il suffit que le nom de la relation soit suffisamment explicite. Seule la matérialisation peut prêter à confusion. Dans une interface par métaphore du tableau noir, l'utilisateur aura moyen de dessiner les deux configurations, rien ne lui permettra de savoir si la machine est capable ou non de différencier ces deux configurations, l'ambiguïté demeure alors.

1.2.6 Sémantique des relations

Dans cette section, nous évoquerons des ambiguïtés liées à la variété des domaines sur lesquels des requêtes peuvent porter. L'utilisateur peut utiliser le schéma pour évoquer des concepts qui n'appar-

tiennent pas au domaine spatial. Nous allons nous appuyer sur deux exemples. L'un porte sur les graphes l'autre sur les noms de lieux.

Ambiguïté d'interprétation

Le premier exemple considère une requête portant sur un problème de voie ferrée. Considérons le schéma de la figure 1.10. L'ambiguïté vient du fait que ce schéma peut s'interpréter de deux façons :

- comme une requête spatiale : «*je cherche les voies ferrées partant de Inchéon et coupant la voie ferrée Tæjon-séoul*»
- comme une requête sur un réseau : «*je cherche une ligne de chemin de fer partant de Inchéon avec une correspondance avec la ligne Tæjon-Séoul*»

La première interprétation accorde une sémantique spatiale au dessin, la seconde lui accorde une sémantique de graphe.

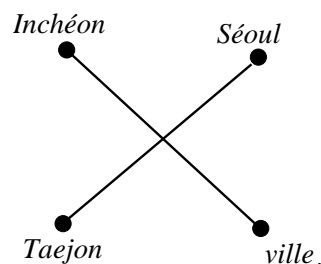


FIG. 1.10 – Un schéma ambigu : la requête porte-t-elle sur l'aspect spatial ou bien sur un réseau de voies ferrées ?

Le second exemple porte sur un problème de toponymie. Un utilisateur souhaite connaître toutes les îles ayant le même nom qu'une ville. Il peut alors réaliser le schéma de la figure 1.11, étiquetant un même objet deux fois. À nouveau deux interprétations sont possibles :

- comme une requête spatiale : «*je cherche les villes qui portent le même nom qu'une île*»
- comme une requête sur un réseau : «*je cherche une ville qui soit aussi une île*»

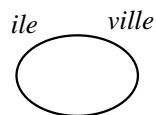


FIG. 1.11 – Un schéma ambigu : la requête porte-t-elle sur la toponymie ou bien sur une double appartenance île et ville ?

Cette ambiguïté ne va apparaître que dans les interfaces par métaphore du tableau noir. Dans celles-ci, l'utilisateur dessine les deux schémas des exemples portant la confusion. Au contraire, sur une interface iconique, l'utilisateur demande deux icônes pour représenter les deux voies ferrées puis leur appose la contrainte *possède une correspondance* ou *croise*, suivant sa volonté. Sur l'autre exemple il va demander deux icônes île et ville avec soit la contrainte *identique* soit la contrainte *porte le même nom*.

Ambiguïté de matérialisation

Sur les interfaces iconiques, l'ambiguïté ne va pas intervenir. Si le système propose des contraintes différentes, dissociant les *possède une correspondance* et *croise*, il doit alors être en mesure de les matérialiser de manière différente. Par exemple la correspondance peut être marquée par un symbole sur le point de croisement. Idem avec les termes *identique* et *porte le même nom*. Nous sommes donc en présence d'une ambiguïté qui ne concerne que les interfaces par métaphore du tableau noir.

1.2.7 Sous-objets

Ce problème d'ambiguïté vient du fait que certains objets peuvent se retrouver décomposés en plusieurs sous-objets par d'autres objets. Par exemple si une zone A coupe une autre zone B alors l'intérieur de A sera divisé en deux : sa partie commune avec B et sa partie en dehors de B . Nous les nommerons respectivement A_1 et A_2 . Si un troisième objet est en relation avec A , il faut alors savoir si cette relation s'applique à tout l'objet A ou bien seulement à A_1 ou à A_2 .

Ambiguïté d'interprétation

Examinons l'exemple de la figure 1.12. Une rivière traverse une forêt, la coupant alors en deux rives, droite et gauche (nous considérerons que la rivière coule vers le nord). Dans la forêt se trouve un étang, placé rive droite sur notre dessin. Il faut alors savoir si l'étang doit simplement se trouver dans la forêt ou bien s'il doit spécifiquement être rive droite dans cette forêt ?

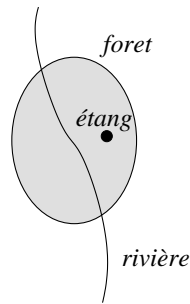


FIG. 1.12 – Une forêt traversée par une rivière. Elle se trouve alors divisée en deux sous-objets, la rive droite et la rive gauche.

Dans une interface iconique ce problème se résout en proposant à l'utilisateur la sélection des sous-objets. La rivière coupant la forêt, cette forêt va alors être constituée de deux sous-objets : sa rive droite et sa rive gauche. Lorsqu'il va introduire son étang, l'utilisateur pourra par exemple spécifier une relation d'appartenance avec d'autres objets. Il pourra alors sélectionner le sous-objet correspondant à la rive droite, celui correspondant à la rive gauche ou bien les deux rives à la fois. Suivant ces choix, il aura spécifié que l'étang se situe rive droite, rive gauche ou simplement dans la forêt.

Dans une interface par métaphore du tableau noir, l'ambiguïté n'est pas résolue à l'interprétation. À la différence de l'interface iconique, l'interface par métaphore du tableau noir va chercher une relation entre toutes les paires d'objets présentes sur le schéma. La forêt ne sera pas découpée en deux sous-objets par la rivière. Pour le système il y aura trois relations, par exemple :

rivière-forêt :	<i>“coupe”</i>
étang-forêt :	<i>“est dedans”</i>
étang-rivière :	<i>“rive-droite”</i>

Le fait que l'étang soit rive droite sera donc toujours relevé par la machine. Contrairement à l'interface iconique il ne s'agit pas, pour le système, d'une relation entre l'étang et une sous-partie de la forêt mais il s'agit d'une relation entre l'étang et la rivière.

Notre problème d'ambiguïté était de savoir si l'utilisateur voulait simplement spécifier que l'étang était dans la forêt ou bien plus spécifiquement : rive droite dans la forêt. Dans l'interface iconique le problème est résolu par découpage de la forêt en deux parties, rive droite et rive gauche. On laisse alors le choix à l'utilisateur.

Dans une interface par métaphore du tableau noir le problème n'est pas résolu à l'interprétation. Des relations vont être recherchées entre toutes les paires d'objets. L'étang sera donc à la fois considéré « *dans la forêt* » et « *rive droite de la rivière* », c'est-à-dire dans la partie de la forêt située rive droite.

Ambiguïté de matérialisation

Considérons toujours l'exemple de la rivière, de la forêt et de l'étang. L'ambiguïté est de savoir si l'étang se trouve dans la forêt ou dans la forêt rive droite.

Dans une interface iconique, lors de l'interprétation, la résolution de l'ambiguïté se fait en divisant les objets en sous objets. Pour spécifier la relation entre la forêt et l'étang l'utilisateur aura eu la possibilité de sélectionner toute la forêt ou bien seulement sa rive droite. Lors de la phase de matérialisation, pour ne pas introduire cette ambiguïté, les sous-objets sélectionnés devront être clairement identifiés.

1.2.8 Opérateurs logiques

Nous allons ici nous intéresser à l'expression des opérateurs logiques *ET*, *OU* et *NON*. Dans tous les exemples qui ont précédé nous construisons la requête comme la conjonction des contraintes spatiales trouvées. Alors comment un utilisateur peut-il spécifier une disjonction ou bien une négation?

Ambiguïté d'interprétation

Commençons par nous intéresser au problème du *OU* avec l'exemple d'un utilisateur cherchant un camping proche d'une rivière ou proche d'un lac. Sur une interface iconique nous pouvons introduire des boutons permettant de spécifier le *OU*, tout comme le *ET* ou le *NON*. Malheureusement des tests ont montré que l'utilisation de tels opérateurs par des utilisateurs non initiés conduisait à de nombreux contresens [BTAML].

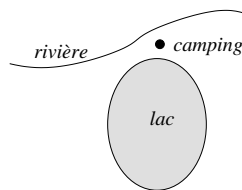


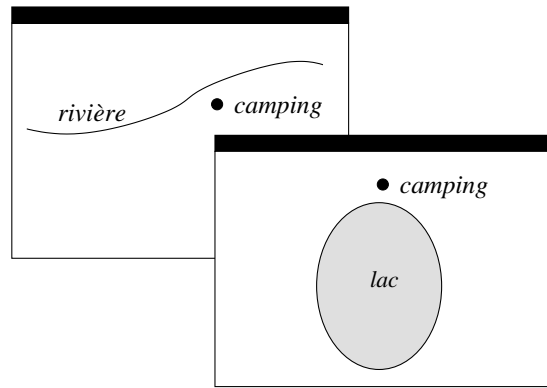
FIG. 1.13 – Une requête spécifiant une disjonction de contraintes : un camping proche d'une rivière ou proche d'un lac mais qui sera interprétée comme un camping proche d'une rivière et proche d'un lac

Toujours sur le même exemple, que se passe-t-il sur une interface par métaphore du tableau noir ? Si l'utilisateur spécifie sa requête avec le schéma de la figure 1.13 le système va poser un *ET* entre les deux contraintes l'interprétant comme *un camping proche d'une rivière et proche d'un lac*. L'interprétation, alors, n'est pas correcte.

[Mey92] propose une solution qui s'applique aussi bien à l'interface iconique qu'à l'interface par métaphore du tableau noir. Cette solution consiste à appliquer un *ET* entre toutes les contraintes d'un schéma et à produire un nouveau schéma pour toutes les opérands du ou des *OU* éventuels. En appliquant ce principe, le schéma de la figure 1.13 se trouve éclaté en deux pour donner les deux schémas de la figure 1.14.

Qu'en est-il de l'opérateur *NON* ? Sur une interface iconique, la solution utilisée consiste à introduire un artefact. Par exemple dans une interface comme CIGALES c'est une croix permettant de barrer certains objets. Rien n'interdit l'introduction d'un tel artefact dans une interface par métaphore du tableau noir. Si elle ne prend pas la forme d'une croix elle peut prendre la forme d'une couleur stipulant que l'objet ainsi représenté ne doit pas exister. D'une façon générale nous introduisons la notion d'*objet négatif*, objet présent sur le schéma mais sous une forme négative (couleur particulière ou objet barré) pour signifier qu'il ne doit pas en exister de tel dans ce qui est cherché.

Nous venons de voir le problème de l'expression des trois opérateurs logiques *ET*, *OU* et *NON*. Pour les deux premiers le problème est présent dans les deux types d'interface mais la proposition de [Mey92] apporte une solution. Pour le *NON*, une interface iconique peut très bien posséder un icône représentant la négation, une solution similaire est applicable à une interface par métaphore du tableau noir.

FIG. 1.14 – Le moyen d’exprimer un *OU* : faire deux requêtes distinctes.

Ambiguïté de matérialisation

En ce qui concerne les opérateurs *OU*, *ET*, nous ne signalerons rien quant à la matérialisation. En effet pour traiter les ambiguïtés relatives au *OU* et au *ET* nous n’avons pas eu à définir de nouvelles fonctionnalités aux interfaces. Nous nous sommes contentés de spécifier une façon d’utiliser les interfaces telles qu’elles étaient déjà définies. La matérialisation se fait donc toujours de la même façon, au sein de plusieurs fenêtres lorsqu’il y a disjonction. Pour l’opérateur *NON*, nous avons déjà parlé d’une couleur particulière ou d’une croix pour le barrer. Il s’agit là d’une matérialisation de la négation.

1.2.9 Intention, confusion et inexistance

En ce qui concerne les interfaces iconiques, il s’agit de confusion sur le sens à accorder aux icônes, confusions entre les objets sélectionnés, confusions sur les types d’objets auxquels s’appliquent certains opérateurs, etc. Ce type de problème peut se traiter en rendant des boutons inactifs. Si par exemple un objet linéaire et un objet surfacique sont dessinés, seuls seront actifs les icônes correspondant aux opérateurs s’appliquant entre une surface et une ligne [BTAML, ABL98].

Pour les interfaces par métaphore du tableau noir, les confusions qui apparaissent peuvent être liées à la grande liberté d’expression laissée à l’utilisateur. Par exemple l’utilisateur peut librement se servir des outils de dessin mis à sa disposition pour dessiner des symboles et attendre de la machine qu’elle les interprète.

1.2.10 Classement des ambiguïtés

Nous venons de dresser une liste des ambiguïtés que nous pouvons trouver dans les langages visuels d’interrogation spatiale. Nous avons traité ces problèmes d’ambiguïté dans deux types d’interfaces graphiques : les interfaces iconiques et les interfaces par métaphore du tableau noir. Nous allons maintenant résumer dans un tableau l’ensemble des ambiguïtés relevées. Ce tableau spécifiera pour chacune des interfaces si l’ambiguïté est levée ou non. Cette vue d’ensemble des ambiguïtés nous permettra ensuite de les classer.

Lorsque nous avons traité les interfaces iconiques, l’apparition potentielle d’ambiguïtés avait été évoquée dans deux phases distinctes : l’*interprétation* et la *matérialisation*. Lorsqu’une ambiguïté apparaît, elle n’apparaît pas dans les deux phases, mais seulement dans une des deux. Ainsi, quand l’ambiguïté apparaît dans la *matérialisation* elle n’aura pas été rencontrée lors de la phase d’*interprétation*. Il existera donc bien dans le système un moyen de lever cette ambiguïté. Nous dirons alors que cette ambiguïté ne réduit pas le pouvoir expressif du système.

Pour chacun de ces deux types d’interface nous distinguerons alors deux cas concernant l’apparition des ambiguïtés :

- l’ambiguïté apparaît mais elle ne gêne pas le pouvoir expressif, nous noterons alors « *levée* »
- l’ambiguïté apparaît et elle gêne le pouvoir expressif, nous noterons alors « *présente* »

En ce qui concerne l'interface iconique, dans la majorité des cas, nous avons distingué deux étapes : l'*interprétation* et la *matérialisation*. Dans les cas où l'ambiguïté apparaît, nous noterons entre parenthèses dans laquelle de ces deux étapes elle apparaît. Voici le tableau :

Type d'ambiguïté	Interface iconique	Interface métaphore t.n.
Absence de contrainte	levée (<i>matérialisation</i>)	présente
Pluralité d'aspects	levée (<i>matérialisation</i>)	présente
Différence d'appréciation	levée (<i>matérialisation</i>)	présente
Sémantique des relations	levée	présente
Précision spatiale	levée (<i>matérialisation</i>)	présente
Division en sous-objets	levée (<i>matérialisation</i>)	présente
Opérateurs logiques <i>ET, OU</i>	levée (<i>interprétation</i>)	levée
Opérateur logique <i>NON</i>	levée (<i>interprétation</i>)	levée
Intent. Confus. Inex.	levée	présente

Sur ce tableau, nous pouvons observer que l'interface iconique traite tous les problèmes. Parfois par un artifice spécifique, par exemple traitement de la négation, parfois directement par principe de fonctionnement, par exemple traitement de l'absence de contrainte.

Cette remarque nous permet de diviser les ambiguïtés en deux classes. Celles qui sont résolues par le principe même de fonctionnement de l'interface, celles qui nécessitent un artifice spécifique. Temporairement, nous les nommerons respectivement *ambiguïté simple* et *ambiguïté complexe*.

Concernant les *ambiguïtés complexes*, le traitement s'effectue donc par l'ajout d'un artefact à l'interface. Mis à part l'ambiguïté du type *Intention, confusion et inexistance*, cet artefact s'applique aussi à l'interface par métaphore du tableau noir. Ces ambiguïtés peuvent alors être levées aussi sur l'interface par métaphore du tableau noir. D'après cette définition nous relèverons comme *ambiguïtés complexes* :

- Opérateurs logiques *ET, OU* : levée par imposition du *ET* dans une fenêtre et du *OU* entre les fenêtres
- Opérateurs logiques *NON* : levée par la possibilité de barrer certains objets
- Intention, confusion, inexistance sur l'interface iconique : levée par contrainte sur les objets ; sur l'interface par métaphore du tableau noir : toujours présente.

Concernant les *ambiguïtés simples* nous relevons

- Absence de contrainte
- Pluralité d'aspects
- Différence d'appréciation
- Sémantique des relations
- Précision spatiale
- Division en sous-objets

Dans le cas d'une interface par métaphore du tableau noir, les six ambiguïtés dites *simples* ainsi que l'ambiguïté *Intention, confusion et inexistance* font problème puisqu'elles ne sont pas levées.

Examinons les six *ambiguïtés simples* non traitées. Nous les avons provisoirement nommées ainsi mais ce nom n'est pas très significatif. Nous allons essayer de les qualifier plus précisément, observons pour cela le schéma de la figure 1.15.

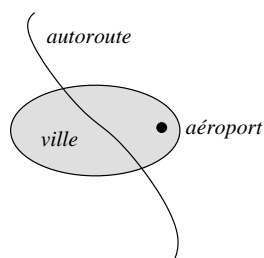


FIG. 1.15 – Un schéma sur lequel nous pouvons trouver les six types d'*ambiguïtés simples*

Sur ce schéma nous trouvons trois objets : une *ville*, un *aéroport* et une *autoroute*. Nous trouvons de nombreuses spécificités sur le schéma que nous pouvons attribuer à chacune des six *ambiguïtés simples* :

- Absence de contrainte : sur ce schéma trois relations apparaissent : *ville-autoroute*, *ville-aéroport* et *autoroute-aéroport*. Desquelles faut-il tenir compte ?
- Pluralité d’aspects : prenons par exemple la relation *ville-aéroport*, l’aéroport est à la fois “*dans la ville*” (aspect topologique), “*à l’est de l’autoroute*” (cardinalité) et “*près du bord de la ville*” (aspect métrique). Le ou lesquels de ces aspects l’utilisateur voulait-il évoquer ?
- Différence d’appréciation : sur le dessin l’aéroport se trouve assez près de l’autoroute, cette proximité va-t-elle être suffisante pour que le système le considère près de l’autoroute ?
- Sémantique des relations : sur le dessin l’autoroute traverse la ville. Cela signifie-t-il qu’elle doit spatialement passer par la ville ou bien s’agit-t-il d’une ville desservie par une autoroute ? La même remarque pourrait être faite pour l’aéroport dans la ville.
- Précision spatiale : admettons que l’utilisateur ait voulu spécifier que l’aéroport devait se trouver “*près du bord de la ville*”, l’interface lui permet effectivement de le dessiner ainsi. Le système, lui, peut ne pas avoir une précision spatiale suffisante pour relever un tel terme. Alors comment l’utilisateur peut-il le savoir ?
- Division en sous-objets : l’autoroute coupe la ville en deux parties. Sur le schéma l’aéroport se situe sur la partie Est mais il se peut que l’utilisateur souhaite seulement spécifier un aéroport « *près du bord de la ville* » et ne souhaite pas spécifier cette précision par rapport à l’autoroute.

Parmi ces six ambiguïtés nous allons commencer par en relever quatre : absence de contrainte, pluralité d’aspects, précision spatiale et division en sous-objets. Ces quatre types d’ambiguïté sont dus à des spécifications immédiatement présentes sur le schéma dès sa construction. Parmi ces spécifications, certaines auront été volontairement introduites par l’utilisateur, d’autres non. Nous sommes donc face à un problème qui peut se résumer par la question suivante : « *parmi l’ensemble de ces spécifications, lesquelles intéressent l’utilisateur ?* ». Le schéma comporte plus de spécifications qu’il n’en faut, ces quatre *ambiguïtés simples* correspondent donc à un problème de *sur-spécification*.

Il reste donc deux ambiguïtés : différence d’appréciation et sémantique des relations. Précédemment, nous avons qualifié de *sur-spécifications* des problèmes qui revenaient à savoir ce qu’il fallait interpréter. Dans la différence d’appréciation, le problème est de savoir comment interpréter, nous pouvons alors la qualifier de *spécification incertaine*. Pour la sémantique des relations nous serions tentés de dire qu’il s’agit aussi de savoir comment interpréter. Néanmoins en observant l’exemple des lignes de chemin de fer et leurs deux interprétations possibles, nous remarquons que les deux requêtes ne s’appliquent pas aux mêmes sources d’information :

- comme une requête spatiale : « *je cherche les voies ferrées partant de Inchéon et coupant la voie ferrée Tæjon-Séoul* »
- comme une requête sur un réseau : « *je cherche une ligne de chemin de fer partant de Inchéon avec une correspondance pour la ligne Tæjon-Séoul* »

La première est une requête spatiale et s’applique à des données spatiales pour avoir une réponse évoquant aussi la spatialité (carte par exemple). La seconde est une requête pour des données sous forme de graphes et attend une réponse sous cette même forme. Nous considérerons le choix de la sémantique des relations comme fonction de la ou des sources d’information disponibles. Il s’agit donc de savoir quelle source d’information va être interrogée. Nous qualifierons cette ambiguïté de *cible incertaine*.

Nous venons donc que classer les six *ambiguïtés simples* en 4 groupes : absence de contrainte, pluralité d’aspects, précision spatiale et division en sous-objets ont été qualifiées de problèmes de *sur-spécification*, la différence d’appréciation a été qualifiée de *spécification incertaine* et la difficulté en sémantique des relations a été qualifiée de *cible incertaine*. En ajoutant l’ambiguïté *Intention, confusion et inexistence*, nous pourrions les définir comme quatre domaines d’ambiguïté présentes dans les interfaces par métaphore du tableau noir :

- ambiguïté due à une *sur-spécification*
- ambiguïté due à une *spécification incertaine*
- ambiguïté due à une *cible incertaine*
- ambiguïté d’*Intention, confusion et inexistence*,

Ce sont ces 4 domaines d’ambiguïté que l’interface de l’Antéserveur Géographique prend en compte.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude de différents moyens pour spécifier des besoins en information géographique. Dans la première section nous avons évoqué la langue naturelle. Nous nous sommes alors attachés à montrer d'une part les nombreuses ambiguïtés dont une requête géographique exprimée sous cette forme pouvait être affectée, d'autre part il y a la complexité d'expression que pouvait engendrer la forme verbale.

Dans la seconde section, nous nous sommes intéressés aux interfaces visuelles. Nous nous sommes servis de deux notions : *interprétation* et *matérialisation* issues d'une formalisation des langages visuels [BCLM95] pour dresser une taxonomie des ambiguïtés dans les langages visuels. Nous nous sommes pour cela appuyés sur le travail de [Fav03]. Nous avons alors étudié l'apparition de ces ambiguïtés dans deux types d'interfaces : les interfaces iconiques et les interfaces par métaphore du tableau noir. Il est apparu sept types d'ambiguïté qu'une interface par métaphore du tableau noir n'était pas en mesure de lever. Après analyse, nous avons classé ces sept ambiguïtés en quatre groupes : *sur-spécification*, *spécification incertaine*, *cible incertaine* et enfin *Intention*, *confusion* et *inexistence*.

En introduction nous avons vu que le projet Antéserveur Géographique comprenait une interface par métaphore du tableau noir. Le classement des ambiguïtés que nous venons d'effectuer nous permet ainsi de connaître et de mieux comprendre les ambiguïtés auxquelles notre interface est confrontée. Afin de les situer dans un processus d'interaction homme-machine, nous allons, dans le prochain chapitre, compléter la présentation sommaire qui a été faite du modèle de Bottoni, P. et Al [BCLM95]. Une fois ce modèle présenté, nous verrons que nos quatre catégories d'ambiguïtés s'expliquent dans ce modèle.

Chapitre 2

Une modélisation des langages visuels

Le chapitre précédent nous a permis de classer les ambiguïtés rencontrées dans les interfaces par métaphore du tableau noir. Cette classification a mis en évidence quatre types d'ambiguïté. Afin de pouvoir mieux appréhender ces ambiguïtés, le présent chapitre se propose de les modéliser. Pour cela nous allons utiliser un modèle des langages visuels et observer l'apparition de ces ambiguïtés d'après de ce modèle.

Ce chapitre se compose de deux sections. Dans la première nous allons décrire complètement un modèle formel des langages visuels, celui de Bottoni, P. que nous n'avons présenté que partiellement au chapitre précédent. Dans la seconde section, nous ferons converger les ambiguïtés mises en évidence dans le chapitre précédent avec notre modèle des langages visuels. Ainsi, chaque ambiguïté sera représentée au sein d'un langage visuel. Nous disposerons alors de termes précis, ceux des langages visuels, pour définir où et quand apparaissent les ambiguïtés dans les interfaces qui nous concernent. Via le même langage nous pourrions alors expliquer comment les lever.

2.1 Le Modèle de Bottoni, P. et al.

Nous allons ici exposer la formalisation des langages visuels due à Bottoni, P. et al [BCLM95]. Les auteurs procèdent en quatre étapes. Ils formalisent ce qu'est une image numérique pour donner une définition du *langage pictural*. Ensuite ils formalisent la façon de décrire une image et définissent ainsi le *langage de description*. Dans une troisième partie ils décrivent les relations entre *langage pictural* et *langage de description*. Enfin, à partir du *langage pictural*, du *langage de description* et des relations entre les deux ils définissent, dans la quatrième partie, le *langage visuel*. Ces quatre étapes seront décrites dans les quatre sous-sections qui suivent.

2.1.1 Modélisation d'une image et de sa description

Nous allons dans un premier temps donner successivement des définitions formelles d'une *image numérique*, d'un *pixel*, d'une *structure d'image* pour arriver à la définition d'un *langage pictural*. Ensuite nous appliquerons ces définitions sur un exemple.

Def. 1 Une *image numérique* i sera considérée comme une chaîne de caractères à deux dimensions. Nous la représenterons par une fonction :

$$i : \{1, \dots, r_{max}\} \times \{1, \dots, c_{max}\} \rightarrow P$$

r_{max} et c_{max} sont deux entiers qui définissent la taille de l'image. P est un alphabet générique. Par la suite nous appellerons « *image numérique* » simplement « *image* ».

Def. 2 Chaque élément d'une image sera un *pixel*. Un pixel sera décrit par un triplet (r, c, p) où $r \in \{1, \dots, r_{max}\}$ représente la ligne du pixel, où $c \in \{1, \dots, c_{max}\}$ représente sa colonne et où $p \in P$.

Def. 3 Vient ensuite la définition d'une *portion d'image* p . Elle sera représentée grâce à sa fonction caractéristique :

$$p_c : \{1, \dots, r_{max}\} \times \{1, \dots, c_{max}\} \rightarrow \{0, 1\}$$

Cette fonction spécifiera pour chaque pixel s'il est conservé ou non. La portion d'image sera alors définie comme suit :

$$p = \{(r, c, p) \in i \text{ tq } p_c(r, c) = 1\}$$

L'ensemble de toutes les portions d'image d'une image i sera noté 2^i .

Def. 4 Enfin nous définirons un *langage pictural*. Un langage pictural PL sera un sous-ensemble de l'ensemble de toutes les images possibles :

$$PL \subseteq I = \{i \text{ tq } \exists r, c \in \mathbb{N}, i : \{1, \dots, r\} \times \{1, \dots, c\} \rightarrow P\}$$

Examinons maintenant ces quatre définitions à l'aide d'un exemple. Sur la figure 2.1 est représentée une image Im , ici en niveaux de gris. Im sera une fonction de $\{1, \dots, 371\} \times \{1, \dots, 596\}$ vers un alphabet composé de deux cent cinquante six symboles : les deux cent cinquante six niveaux de gris. Par exemple $i(322, 196) = \square$ ou bien $i(88, 257) = \blacksquare$.

Cette image est composée de pixels, par exemple : $(322, 196, \square)$ ou encore $(88, 257, \blacksquare)$. Nous pouvons par exemple extraire de cette image Im trois portions d'images S_1 , S_2 et S_3 . S_1 représentera la ville de Grenoble, S_2 le massif des Écrins et S_3 représentera la route permettant de relier Grenoble au sud du massif (voir figure 2.1). L'ensemble des portions d'images, 2^i est alors $2^i = \{Im, S_1, S_2, S_3\}$.

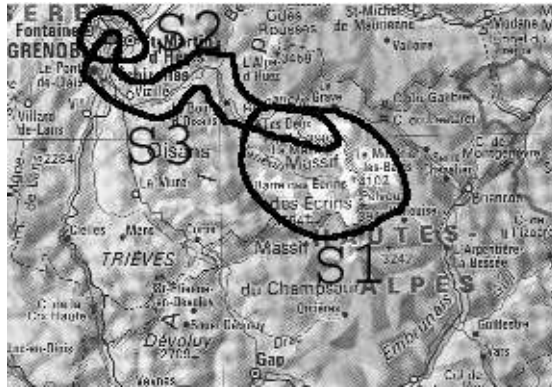


FIG. 2.1 – L'image Im et ses trois portions d'images représentant Grenoble S_1 , le massif des Écrins S_2 et une route S_3 reliant Grenoble au massif.

Dans notre exemple, un langage pictural sera composé de l'ensemble des portions d'image formant une carte. C'est-à-dire un ensemble d'images qui respectent la légende de la carte pour représenter les routes, rivières, villes, sommets, etc.

Nous venons de donner des définitions formelles, illustrées par un exemple, des éléments constitutifs d'une image. Nous allons maintenant faire de même pour les langages de description.

2.1.2 Les langages de description

Dans cette section nous allons donner cinq définitions pour formaliser un langage permettant de décrire une image, ainsi que son fonctionnement. Nous définirons la *sémantique* d'une image, un *pattern caractéristique*, un *symbole attribué* sur un alphabet V , une *description* d'image. Enfin nous pourrons donner la définition d'un *langage de description* d'une image. Comme précédemment, les définitions formelles seront suivies d'un exemple.

Def. 5 La *sémantique* d'une image i sera une fonction de l'ensemble des portions d'images de i vers ce qui sera appelé un Univers de référence U :

$$sem : 2^i \rightarrow U$$

Def. 6 Un *pattern caractéristique* est une paire $\langle s : u \rangle$ avec $s \in 2^i$, $u \in U$ et $u = sem(s)$.

Dans la définition d'une sémantique nous avons évoqué l'Univers de Référence appelé U . Cet univers sera constitué de chaînes de symboles attribués dont voici la définition.

Def. 7 Soit V un alphabet et Ω un ensemble d'ensembles de valeurs : $\Omega = \{P_{a_1}, \dots, P_{a_m}\}$. Un *symbole attribué* sur V est le $m+1$ -tuple constitué par un symbole $v \in V$ et m propriétés $p_{a_i} \in P_{a_i}$, $1 \leq i \leq m$. À chaque fois que tous les P_{a_i} sont des ensembles finis, alors les symboles attribués constituent l'alphabet de symboles attribués $W = V \times P_{a_1} \times \dots \times P_{a_m}$.

Def. 8 La *description* d d'une image i est une fonction de i vers une chaîne de symboles attribués sur un alphabet W :

$$d : \{1, \dots, g\} \rightarrow W = V \times P_{a_1} \times \dots \times P_{a_m}$$

Def. 9 Un *langage de description* DL est un sous-ensemble de l'ensemble D des descriptions possibles :

$$DL \subseteq D = \{d \text{ tq } \exists g \in \mathbb{N}, d : \{1, \dots, g\} \rightarrow W\}$$

Voyons maintenant, toujours sur l'exemple de la figure 2.1, comment décrire cette image à l'aide des définitions précédentes. Quel langage pourrait décrire l'image Im toute entière? Quel langage pourrait décrire chacune des entités S_1 , S_2 et S_3 voire d'autres entités semblables?

Commençons par *interpréter* l'image Im . Plaçons nous dans un contexte où nous souhaiterions connaître la position des entités géographiques. Nous pouvons alors concevoir un langage qui va nous permettre de relever la position des entités géographiques représentées sur la carte Im . Ce positionnement peut se faire par exemple en donnant la position des coins haut gauche et bas droite de la carte par leurs latitude et longitude. Pour décrire Im , nous pouvons alors donner le pattern caractéristique suivant :

`<IDENTIFIANT : PosCoinHautGauche, PosCoinBasDroit>`

Pour Im nous aurons alors :

`<Im : (LAT:45,915 LON:5,108), (LAT:45,243 LON:5,795)>`

Pour décrire les entités S_1 , S_2 et S_3 il pourrait être utile de les définir d'abord par leur nom, si elles en ont un, puis par le type de l'entité géographique qu'elles représentent (ville, route, rivière, forêt, etc.), ainsi que par la façon dont elles sont représentées. Par exemple, une route sera représentée par une ligne brisée, une ville ou une région seront représentées par un polygone alors qu'un village, un sommet ou un château seront représentés par un point. Chacune des entités S_1 , S_2 et S_3 étant aussi nommée, leurs noms doivent aussi figurer dans la description. Nous pouvons donc proposer le pattern caractéristique suivant :

`<IDENTIFIANT : NOM, TYPE, FORME>`

Pour S_1 , S_2 et S_3 nous aurons alors :

`<S1 : Écrins, massif alpin, zone>`

`<S2 : Grenoble, ville, point>`

`<S3 : N45, route, ligne>`

2.1.3 Relation entre une image et sa description

Dans les deux sections précédentes nous avons formalisé une image et la description d'une image. Nous allons maintenant donner les définitions de deux fonctions permettant de passer d'une image à sa description et inversement. Ces deux fonctions correspondent respectivement aux phases d'*interprétation* et de *matérialisation*.

Def. 10 Une *interprétation* int d'une image i sera une fonction de l'ensemble des portions d'images possibles vers un langage de description :

$$int : 2^i \rightarrow DL$$

Si nous revenons à l'exemple de la figure 2.1, nous pouvons reformuler les descriptions qui en ont été faites, par les fonctions d'interprétation suivantes :

$$\begin{aligned} int_{carte}(Im) &= \langle Im : (LAT : 45,915 \text{ LON} : 5,108), (LAT : 45,243 \text{ LON} : 5,795) \rangle \\ int_{objet}(S_1) &= \langle S_1 : \text{Ecrins, massif alpin, zone} \rangle \\ int_{objet}(S_2) &= \langle S_2 : \text{Grenoble, ville, point} \rangle \\ int_{objet}(S_3) &= \langle S_3 : \text{N45, route, ligne} \rangle \end{aligned}$$

Def. 11 Une *matérialisation* $mat(x)$ d'une description d sera une fonction de l'ensemble de toutes les combinaisons des symboles attribués vers un langage pictural :

$$mat : 2^d \rightarrow PL$$

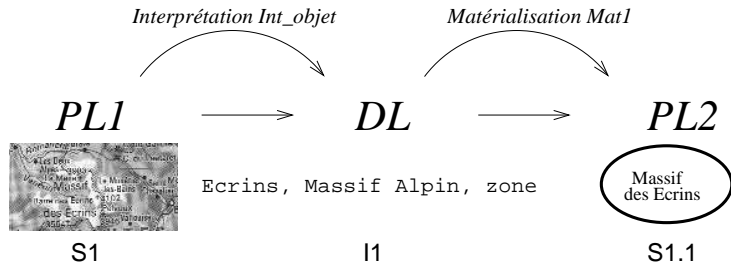


FIG. 2.2 – L'interprétation d'une image (une carte) puis la matérialisation de celle-ci pour obtenir de nouveau une image schématisant la carte.

Nous noterons que la composition des deux fonctions int et mat ($int \circ mat$) n'est pas forcément la fonction *identité*. Si par exemple nous matérialisons l'interprétation de S_1 , $i(S_1) = \langle S1, \text{Écrins, massif alpin, zone} \rangle$ il est impossible d'en déduire à nouveau la portion de carte S_1 . En revanche nous pourrions concevoir une fonction de matérialisation qui dessine les connaissances présentes dans $\langle S1, \text{Écrins, massif alpin, zone} \rangle$ par un schéma (voir figure 2.2). Cette figure décrit ces deux étapes successives. Une image est construite grâce à un premier Langage Pictural PL_1 . Une description est faite de cette image au moyen d'un langage de description DL . Cette description est ensuite matérialisée grâce à un second Langage Pictural PL_2 et PL_2 est très différent de PL_1 .

2.1.4 Le langage visuel

Maintenant que nous avons défini une image i , sa description d ainsi que les deux fonctions d'interprétation int et de matérialisation mat , nous allons pouvoir définir le *langage visuel*.

Def. 12 Une *phrase visuelle* sera un triplet $\langle i, d, \langle int, mat \rangle \rangle$.

Def. 13 Un *langage visuel* sera un ensemble de phrases visuelles.

Def. 14 Une *phrase visuelle* sera *faithfull* si et seulement si $i = mat(d)$.

Def. 15 Une *phrase visuelle* sera *full* si et seulement si $d = int(i)$.

Def. 16 Une *phrase visuelle* sera *complète* si et seulement si elle est *full* et *faithfull*.

Nous allons illustrer ces définitions, toujours sur l'exemple de la figure 2.2. Nous pouvons alors considérer la phrase visuelle suivante :

$$\langle S_1, I_1, \langle Int_{objet}, Mat_1 \rangle \rangle$$

Cette phrase est seulement *full* car $Int_{objet}(S_1) = I_1$ mais $Mat(I_1) \neq S_1$. Nous pouvons imaginer une autre fonction d'interprétation Int_2 telle que $Int_2(S_{1.1}) = I_{objet}$, alors la phrase visuelle suivante :

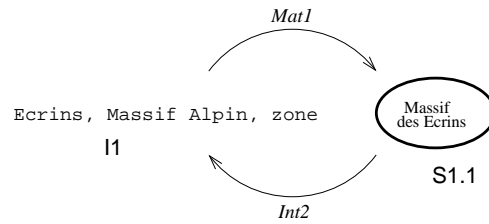


FIG. 2.3 – Un exemple de phrase visuelle complète

$$\langle S_{1.1}, I_1, \langle Int_2, Mat_1 \rangle \rangle$$

serait *full* et *faithfull*, c'est-à-dire *complète* (voir figure 2.3). Ceci nous amène à la dernière définition.

Def. 17 Si toutes les phrases visuelles constituant un langage visuel sont complètes, alors le langage visuel sera lui aussi dit *complet*.

2.2 Utilisation du modèle

Maintenant que nous avons un modèle formel d'un langage visuel, nous allons l'appliquer aux interfaces par métaphore du tableau noir. Dans ces interfaces, l'image prend la forme d'un schéma, l'interprétation doit décrire les relations spatiales qu'entretiennent les objets entre eux. C'est ce que nous étudierons dans la première section. Dans la seconde section nous verrons comment les ambiguïtés apparaissent dans ce nouveau formalisme. Ces deux étapes s'appuieront sur la relation spatiale entre deux objets seulement. Un schéma n'étant pas toujours limité à deux objets, nous verrons alors comment faire pour traiter plus de deux objets.

2.2.1 Description d'une configuration spatiale

Nous allons, dans un premier temps, nous intéresser à la description de la configuration spatiale entre deux objets. En d'autres termes nous allons proposer un *pattern caractéristique* pour caractériser cette relation, le voici :

$$\langle \text{IDENTIFIANT} : \text{NOM_OBJET1}, \text{NOM_OBJET2}, \text{ASPECT_GEO}, \text{RELATION_SPATIALE} \rangle$$

L'identifiant va identifier une sous-image composée de deux objets. La suite de la description va représenter les deux entités géographiques présentes sur la sous-image. Suit l'aspect géographique retenu pour l'interprétation et enfin la relation spatiale propre à cet aspect géographique.

La description va servir aussi bien à représenter un concept spatial que le résultat d'une fonction d'interprétation ayant identifié une configuration sur la sous-image. Prenons l'exemple de la figure 2.4. En haut figure une sous-image S : elle représente à la fois un concept spatial et une configuration. Pour le système et ses fonctions d'interprétation, c'est une configuration. Pour l'utilisateur c'est un concept spatial qu'il a « à l'esprit ». Le concept comme la configuration vont être représentés sous la même forme.

Si une fonction d'interprétation est capable de reconnaître une configuration où un château est disjoint d'une forêt, elle retournera la description $\langle S : \text{fort}, \text{chateau}, \text{disjoint} \rangle$. Si un utilisateur a en tête un château disjoint d'une forêt, nous le représenterons aussi par la description $\langle S : \text{fort}, \text{chateau}, \text{disjoint} \rangle$.

2.2.2 Apparition des ambiguïtés

Ce chapitre a introduit la notion de *phrase visuelle* avec ses caractéristiques *full*, *faithfull* et *complète*. À l'aide de ce formalisme nous allons représenter les quatre types d'ambiguïté mis en évidence dans les interfaces par métaphore du tableau noir :

- ambiguïté due à une *sur-spécification*
- ambiguïté due à une *spécification incertaine*
- ambiguïté due à une *cible incertaine*

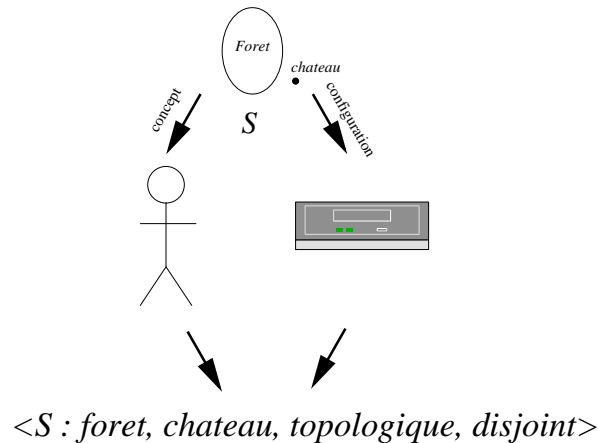


FIG. 2.4 – S : l'identifiant d'une configuration pour le système et d'un concept pour l'utilisateur.

– ambiguïté d'*Intention, confusion ou inexistence*,

Une phrase visuelle est composée de trois champs, une *image*, une *description d'image* et un doublet de fonctions, *interprétation* et *matérialisation* : $\langle i, d, \langle int, mat \rangle \rangle$. La construction d'une requête va consister à construire une phrase visuelle, entité virtuelle qui va être construite par deux acteurs, l'utilisateur et le système (voir figure 2.5). Nous parlerons alors de "co-construction". Aucun des deux acteurs n'a a priori connaissance de cette phrase, elle est sous-jacente aux actions de l'utilisateur et du système.

Dans cette co-construction, qui va construire quoi ? Comment doit être la phrase visuelle pour satisfaire l'utilisateur : full ? faithful ? complète ? Nous allons répondre à ces questions et fixer ainsi un but à atteindre et la façon de l'atteindre. Un schéma est proposé figure 2.5.

Le système a été conçu, programmé, en partant d'hypothèses sur la façon de matérialiser les relations spatiales. Ces hypothèses vont se retrouver dans la façon dont le système interprétera un schéma. Ces hypothèses sur la matérialisation vont donc correspondre à une fonction de matérialisation figée dans le système et donc fixée dans la phrase visuelle (voir figure 2.5.a). Pour sa part, l'utilisateur possède une description, sous forme mentale, de ce qu'il souhaite spécifier. Le but est donc que la phrase visuelle contienne cette description puisque c'est celle qui est souhaitée par l'utilisateur, c'est donc l'utilisateur qui va fixer la description dans la phrase (voir figure 2.5.b).

Pour transmettre sa description au système, l'utilisateur passe par l'intermédiaire d'un schéma. Avec sa propre fonction de matérialisation, peut être différente de celle du système, il va réaliser une image i , troisième élément de la phrase visuelle (voir figure 2.5.c). Une fois ce schéma dessiné, le système va devoir interpréter cette image. Il va donc devoir disposer d'une fonction d'interprétation int qui sera le dernier élément de la phrase visuelle (voir figure 2.5.d). En résumé, l'image i et la description d sont apportées par l'utilisateur, la fonction d'interprétation int et la fonction de matérialisation mat sont apportées par le système. Pour plus de clarté nous noterons la phrase visuelle ainsi :

$$\langle i_{util}, d_{util}, \langle int_{sys}, mat_{sys} \rangle \rangle$$

Dans le cas où nous avons l'égalité $int_{sys}(i_{util}) = d_{util}$, c'est-à-dire lorsque la phrase visuelle est *full*, alors elle sera considérée comme satisfaisante et nous nommerons cette égalité F . Les problèmes d'ambiguïtés signifient que cette égalité n'est pas assurée. Nous allons maintenant voir pour chacune des quatre ambiguïtés en quoi elle menace cette égalité.

Commençons par les problèmes de sur-spécification. Ces ambiguïtés avaient été associées à la question : "parmi l'ensemble de ces spécifications, lesquelles intéressent l'utilisateur ?". D'où un problème de choix que nous traduirons ici par l'existence de plusieurs fonctions d'interprétation. Lorsque le système place la fonction d'interprétation dans la phrase, il va devoir choisir entre plusieurs fonctions, tenant compte de la distance, de la topologie ou de l'orientation, etc. La sur-spécification revient à un problème de

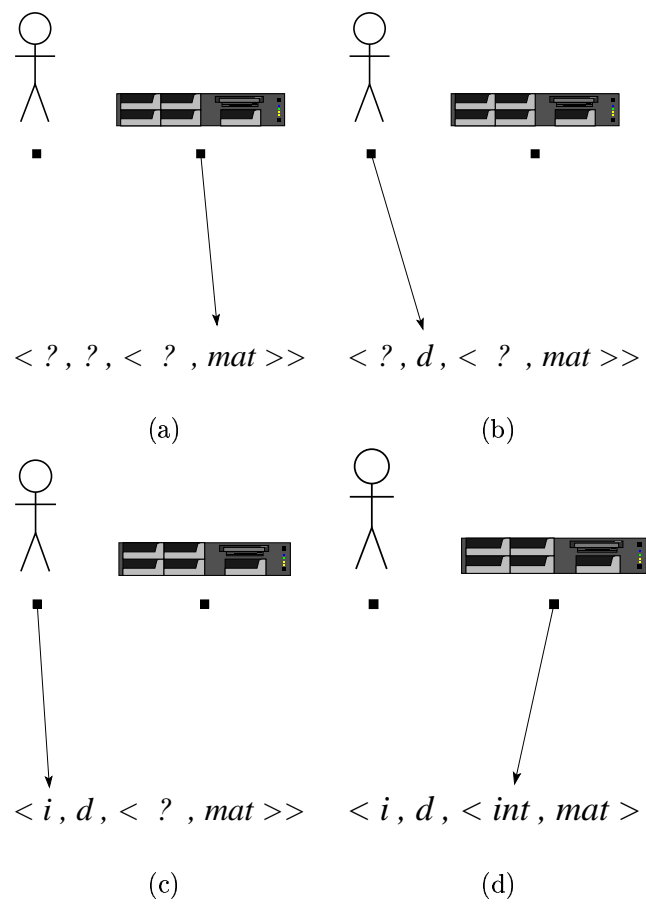


FIG. 2.5 – La co-construction d’une phrase visuelle par l’utilisateur et la machine dans une interface par métaphore du tableau noir

détermination : quelle fonction d'interprétation choisir ? c'est-à-dire : quelle fonction d'interprétation conserve l'égalité F ?

Il se peut qu'aucune fonction d'interprétation ne conserve l'égalité F . L'ambiguïté due à une spécification incertaine nous invite alors à douter de l'image. L'image étant incertaine, cela signifie qu'il ne va plus falloir appliquer la fonction sur l'image de l'utilisateur mais sur une autre image. C'est-à-dire changer i_{util} par une autre image. Nous sommes encore face à un problème de détermination : quelle image doit remplacer I_{util} .

Qu'en est-il de l'ambiguïté *Intention, confusion ou inexistence* ? Cette ambiguïté correspond au cas où l'utilisateur attend du système des fonctionnalités qu'il n'a pas. Nous pouvons représenter ce cas par une phrase visuelle dont la description soit telle que celle que soit la fonction d'interprétation choisie et quelle que soit l'image choisie, la phrase visuelle ne soit pas *full*. Reprenons l'exemple cité, celui d'un utilisateur dessinant sur l'interface des symboles géographiques et attendant une interprétation en tant que telle de la part de l'interface. Si aucune fonction d'interprétation n'est capable, quelle que soit l'image, de reconnaître un symbole géographique, alors l'égalité F ne sera jamais vérifiée.



FIG. 2.6 – Un schéma (S) pouvant donner lieu à différentes transformations suivant les sources d'information.

Il reste l'ambiguïté due à une cible incertaine. Nous allons tâcher de montrer que cette ambiguïté n'intervient pas dans la construction de la phrase visuelle et qu'elle se situe au delà, lorsqu'il s'agit de récupérer de l'information. Elle change alors de forme : d'ambiguïté elle se transforme en choix. Observons l'exemple de la figure 2.6, le schéma d'un utilisateur cherchant les routes passant par Sisteron. En mettant de côté les ambiguïtés de sur-spécification et de spécification incertaine, la description qui peut être faite de ce schéma serait :

$\langle S : \text{route, Sisteron, topologique, passe par} \rangle$

Ces trois interprétations respectent bien le schéma et le désir de l'utilisateur. L'ambiguïté apparaît lorsque nous observons les deux sources d'information représentées sur la figure 2.7, l'une, spatiale, relevant la position des routes et des villes, l'autre, sous forme de graphe, relevant les liaisons routières entre des villes. En observant les données spatiales sur la figure (a), nous constatons qu'il y a deux routes satisfaisantes, la Nationale 75 et la Nationale 85, mais qu'elles ne passent pas précisément par Sisteron mais juste à côté. Ces routes conviendraient bien à l'utilisateur, pourtant, si nous traitons sa requête conformément à l'interprétation que nous en avons faite, la route ne sera pas trouvée.

Cette erreur vient du double sens que nous pouvons accorder au terme « *passe par* ». Nous lui accordons ici une configuration spatiale impliquant au moins un point d'intersection entre la route et Sisteron. L'utilisateur ayant dessiné une route accordée à ce terme un sens plus large et il accepterait les routes passant près de Sisteron.

Observons maintenant la seconde source d'information, (b), un graphe. Sur ce graphe il est bien représentée une route allant jusqu'à Sisteron, même si ce n'est pas effectivement le cas spatialement. La représentation de ces entités géographiques est adaptée aux usages du domaine. Cette fois-ci, si nous traitons la requête conformément à l'interprétation que nous en avons faite, la Nationale 75 et la Nationale 85 seront bien trouvées.

Si nous ne tenons compte que du schéma et de la source d'information spatiale nous nous trouvons alors effectivement face à un problème d'ambiguïté : faut-il considérer exactement les relations spatiales précisées sur le schéma ou bien faut-il considérer cette relation spatiale de façon plus large en autorisant les routes passant près de Sisteron. Cette ambiguïté revient à se poser la question : faut-il considérer

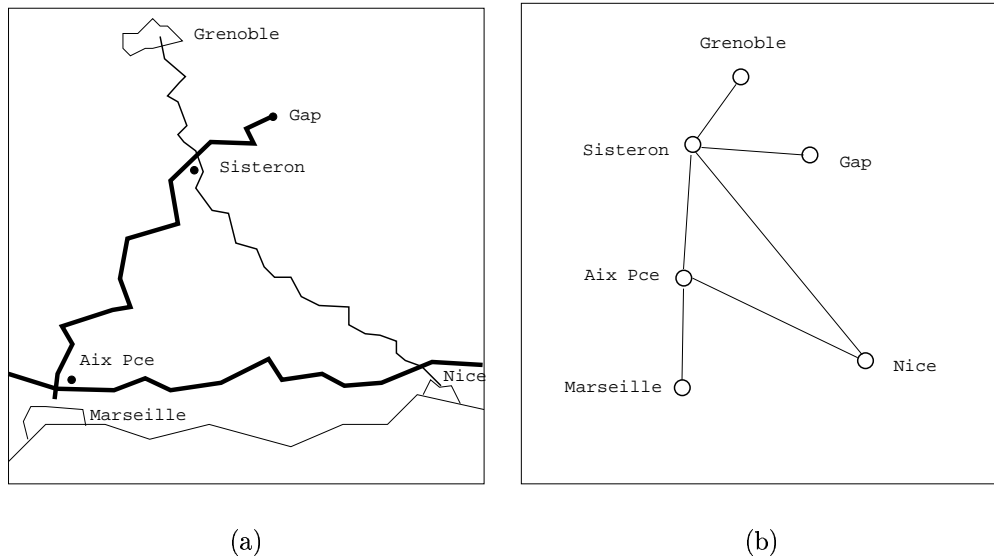


FIG. 2.7 – Deux sources d’information, une source spatiale (a), un graphe (b).

le schéma comme une requête portant sur la spatialité ou portant sur le domaine des graphes? Si le schéma porte sur la spatialité, alors je trouverai réponse dans une source d’information spatiale. Si le schéma porte sur le domaine des graphes, je trouverai réponse dans des sources d’information sous forme de graphe. D’où le nom que nous avons donné à cette ambiguïté : *cible incertaine*. Dans les deux cas, l’interprétation qui est faite reste correcte :

$\langle S : \text{route, Sisteron, topologique, passe par} \rangle$

2.2.3 Utilisation sur un schéma complet

Jusqu’ici nous nous sommes contenté d’appliquer notre modèle sur des schémas comportant deux objets. Effectivement, le *pattern caractéristique* est fait pour décrire la relation sur une paire d’objets. La phrase visuelle, se servant de ce *pattern caractéristique*, va donc, elle aussi, s’appliquer sur une paire objets. Naturellement, un schéma peut en comporter davantage. Nous allons donc donner une procédure pour utiliser les *patterns caractéristiques* et les phrases visuelles sur des schémas, sans limite sur le nombre d’objets.

Prenons l’exemple d’un utilisateur cherchant tous les sentiers passant à côté d’un lac et menant au Puy de Dôme. Sa requête contient trois objets. Il va vouloir exprimer que le sentier passe à côté d’un lac et que le sentier passe par le Puy de Dôme, sans se soucier de la relation entre le Puy de Dôme et le lac. Formellement, sans qu’il en ait connaissance, ces descriptions vont être :

$\langle S_1 : \text{lac, Puy de Dome, vide, peu importe} \rangle$
 $\langle S_2 : \text{Sentier, Puy de Dome, topologique, passe par} \rangle$
 $\langle S_3 : \text{Sentier, Lac, métrique, passe près de} \rangle$

En dessinant son schéma, l’utilisateur va donc implicitement « écrire » trois phrases visuelles contenant ces descriptions, incomplètes puisque c’est à la machine de les compléter :

$\langle S_1, \langle S_1 : \text{lac, Puy de Dome, vide, peu importe} \rangle, ?, \text{mat}(x) \rangle$
 $\langle S_2, \langle S_2 : \text{Sentier, Puy de Dôme, topologique, passe par} \rangle, ?, \text{mat}(x) \rangle$
 $\langle S_3, \langle S_3 : \text{Sentier, Lac, métrique, passe près de} \rangle, ?, \text{mat}(x) \rangle$

La fonction $\text{mat}(x)$ étant déjà posée par le système dans chaque phrase visuelle. Le schéma correspondant est représenté figure 2.8, nous l’avons nommé S .

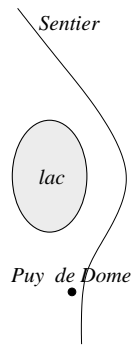


FIG. 2.8 – Un schéma S que le système va interpréter.

Le système, lui, ne voit que le schéma. Sa première étape va consister à décomposer le schéma en sous-schémas. Prenons le schéma S , il va être décomposé en sous-images. Nous retrouvons donc les trois sous-images S_1, S_2 et S_3 correspondant aux trois phrases visuelles écrites par l'utilisateur (voir figure 2.9).

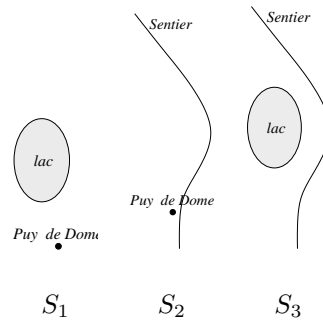


FIG. 2.9 – Les trois sous-images S_1, S_2 et S_3 extraites de S

Le système va alors chercher à compléter ces trois phrases visuelles. Il doit pour cela trouver les fonctions d'interprétation et les bonnes sous-images à interpréter. Considérons que le système dispose de trois fonctions d'interprétation $int_1(x), int_2(x)$ et $int_3(x)$ relevant respectivement les aspects que nous nommerons « topologique », « métrique », et « cardinal » donnant les descriptions suivantes :

$$\begin{aligned} int_1(S_1) &= \langle S_1 : Lac, Puy de Dôme, topologique, disjoint \rangle \\ int_1(S_2) &= \langle S_2 : Sentier, Puy de Dôme, topologique, passe par \rangle \\ int_1(S_3) &= \langle S_3 : Sentier, Lac, topologique, ne passe pas par \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} int_2(S_1) &= \langle S_1 : Lac, Puy de Dôme, métrique, loin \rangle \\ int_2(S_2) &= \langle S_2 : Sentier, Puy de Dôme, topologique, passe par \rangle \\ int_2(S_3) &= \langle S_3 : Sentier, Lac, métrique, passe loin de \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} int_3(S_1) &= \langle S_1 : Lac, Puy de Dôme, orientation, au nord \rangle \\ int_3(S_2) &= \langle S_2 : Sentier, Puy de Dôme, orientation, passe du nord au sud \rangle \\ int_3(S_3) &= \langle S_3 : Sentier, Lac, orientation, passe à l'est \rangle \end{aligned}$$

ainsi que d'une fonction $int_0(x)$ ne relevant aucun aspect géographique, telle que, quelque soit une sous-image x représentant deux objets a et b :

$$int_0(x) = \langle x : a, b, vide, peu importe \rangle$$

Nous pouvons aussi prendre en considération non plus la sous-image S_3 mais une sous image voisine que nous nommerons $S_{3,1}$ pour les différencier (voir figure 2.10). Nous pouvons alors à nouveau appliquer les trois fonctions d'interprétation sur cette nouvelle sous-image :

$$\begin{aligned} int_1(S_{3.1}) &= \langle S_{3.1} : \textit{Sentier, Lac, topologique, ne passe pas par} \rangle \\ int_2(S_{3.1}) &= \langle S_{3.1} : \textit{Sentier, Lac, métrique, passe près de} \rangle \\ int_3(S_{3.1}) &= \langle S_{3.1} : \textit{Sentier, Lac, orientation, passe à l'est} \rangle \end{aligned}$$

Nous constatons que le changement apporté à l'image a rapproché le sentier du lac. Seule la fonction int_2 , portant sur la métrique, a donné un résultat différent.

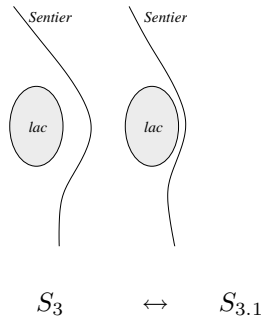


FIG. 2.10 – Une image voisine de S_3

Pour satisfaire l'utilisateur, il faudrait choisir $int_0(S_1)$, $int_1(S_2)$ et $int_3(S_{3.1})$ nous obtiendrions alors les trois phrases visuelles :

$$\begin{aligned} &\langle S_1, \langle S_1 : \textit{lac, Puy de Dôme, vide, peu importe}, int_0(x), mat(x) \rangle \\ &\langle S_2, \langle S_2 : \textit{Sentier, Puy de Dôme, topologique, passe par}, int_1(x), mat(x) \rangle \\ &\langle S_{3.1}, \langle S_{3.1} : \textit{Sentier, Lac, métrique, passe près de}, int_3(x), mat(x) \rangle \end{aligned}$$

Nous pouvons constater qu'elles sont toutes *full* car nous avons fait les bons choix. Néanmoins, d'autres choix auraient été possibles et n'auraient pas conduit à trois phrases *full*. Dans l'exemple, nous avons donné trois fonctions d'interprétation et un voisinage entre deux images changeant le résultat d'une de ces fonctions. Ceci nous fait $4 \times 4 \times 4 \times 3 = 192$ combinaisons possibles de phrases visuelles. Parmi ces combinaisons une seule satisfait l'utilisateur. La sélection de la combinaison correcte, i.e. la sélection de la fonction d'interprétation et de l'image correctes pour chaque phrase visuelle, correspond aux divers problèmes d'ambiguïtés que nous avons étudiés.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de représenter les quatre domaines d'ambiguïté en problèmes de choix dans la construction et l'utilisation d'une phrase visuelle. Les ambiguïtés de sur-spécification se posent comme un problème de choix d'une fonction d'interprétation. Les ambiguïtés de spécification incertaine se posent en problème de choix de l'image à interpréter. Les ambiguïtés d'intention, confusion ou inexistence se posent en une absence de choix conduisant à la solution. Ces trois choix interviennent lors de la construction de la phrase visuelle. Le quatrième choix arrive une fois la phrase visuelle construite. Il s'agit du choix d'une source d'information apte à satisfaire la requête de l'utilisateur.

Le choix de la source d'information ne se fait qu'une fois la phrase visuelle construite. Nous pouvons l'écartier momentanément et étudier les problèmes liés à la construction de la phrase visuelle. Il s'agit donc de choisir une fonction d'interprétation et une image à interpréter. Pour choisir une fonction d'interprétation il faut en premier lieu en avoir à disposition. De même pour les images sur lesquelles nous voudrions appliquer la fonction choisie.

L'interprétation des relations spatiales appartient au domaine de l'analyse spatiale. Dans ce domaine nous pouvons distinguer deux types d'analyse : *l'analyse spatiale quantitative* et *l'analyse spatiale qualitative*. Comme son nom l'indique, l'analyse spatiale quantitative manipule des quantités. Il peut s'agir de quantités absolues : « *le champ mesure 200 hectares* », « *la route fait 234 kilomètres* », ou de quantités relatives : « *le rapport des surfaces des deux parcelles est de $\frac{1}{257}$* ». Sa principale fonction est de rendre des mesures chiffrées. Ces mesures peuvent porter sur un seul objet ou bien sur plusieurs objets, par

exemple : «*Les sapins recouvrent 200 hectares de la forêt*». L'analyse spatiale qualitative, elle, va chercher à qualifier un objet ou un ensemble d'objets par un concept spatial : «*le champ est grand*», «*Les sapins recouvrent la moitié de la forêt*» ou «*le lac se trouve juste au nord de la ville*».

Sur tous les exemples que nous avons utilisés jusqu'ici, il était question d'une analyse qualitative. Une raison à cela : nous demandons à l'utilisateur de faire un schéma. Or, l'usage du schéma est beaucoup plus propice à représenter des données qualitatives que des données chiffrées qui, elles, s'énoncent plus facilement sous forme alpha-numériques.

Dans le chapitre suivant nous allons donc étudier les principales techniques d'analyse spatiale qualitative. Cette étude nous ouvrira un choix dans les fonctions d'interprétation et dans les images à interpréter.

Chapitre 3

L'Analyse Spatiale Qualitative

Au chapitre précédent nous avons vu la nécessité de disposer de plusieurs fonctions d'interprétation et de plusieurs images à interpréter. La variété dans les fonctions d'interprétation va être apportée par l'étude de plusieurs modèles d'analyse spatiale, chacun de ces modèles étant susceptible de donner lieu à une fonction d'interprétation. Le choix dans les images va être fonction du modèle d'analyse spatiale. En effet la plupart des modèles proposent ce qui est appelé un graphe d'adjacence qui permet d'associer à une image des images voisines. Ainsi, l'ensemble des fonctions d'interprétation nous est donné par la pluralité des modèles d'analyse spatiale. Pour un modèle considéré, l'ensemble des images à interpréter nous est donné par son graphe d'adjacence, s'il en possède un. Sinon l'ensemble se résume à une image.

Ce chapitre sera composé de trois sections. Dans la première section nous donnerons notre définition de l'analyse spatiale qualitative et des graphes d'adjacence. Dans la seconde section nous étudierons les principaux modèles d'analyse connus à ce jour. Pour chacun d'entre eux nous étudierons, s'il en ont un, leur graphe d'adjacence. La précision dans la présentation de ces différents modèles sera proportionnelle à l'intérêt que nous leur portons. Les modèles susceptibles de répondre à nos besoins ou dont nous pouvons nous inspirer seront détaillés. Les autres seront présentés sommairement. En s'appuyant sur ces critères, la conclusion établira un classement entre ces modèles.

3.1 Que fait l'analyse spatiale qualitative ?

Nous allons maintenant donner notre définition de l'analyse spatiale qualitative dans le cadre de son utilisation sur des schémas. L'analyse spatiale qualitative va catégoriser une infinité de schémas possibles en un nombre fini de configurations. Chacune de ces configurations correspondant à des concepts spatiaux connus de tous ou propres à un domaine, généralement associés à un terme de la langue naturelle. Autrement dit, l'analyse spatiale qualitative va être une fonction d'un domaine continu (l'espace) vers un domaine discret (des configurations).

Pour passer du domaine continu vers le domaine discret, elle doit poser des frontières ou des limites artificielles dans l'espace, ces frontières correspondant aux transitions d'une configuration à une autre. La disposition de ces frontières est parfois le fruit d'un choix arbitraire. Il peut alors donner des différences d'appréciation entre le concepteur et l'utilisateur du modèle. En terme d'interprétation, nous les avons nommés : ambiguïtés d'appréciation.

Pour traiter ce problème d'ambiguïté, il peut être fait usage d'un graphe que possèdent traditionnellement les différents modèles d'analyse spatiale : le graphe d'adjacence conceptuelle. Il prend la forme d'arêtes entre les configurations relevées par le modèle. Ainsi la fonction d'interprétation est non seulement capable de donner une interprétation du schéma, mais elle peut en complément donner des interprétations voisines, correspondant à des images voisines.

Cette notion est illustrée figure 3.1. Ici deux modèles d'analyse spatiale fictifs, capables de relever quatre configurations pour le premier (figure (a)) et huit pour le second (figure (b)). Chaque modèle propose un graphe d'adjacence qui relie ses propres configurations. Ces modèles engendrent chacun une fonction d'interprétation différente. Le premier modèle relève quatre configurations, la fonction d'inter-

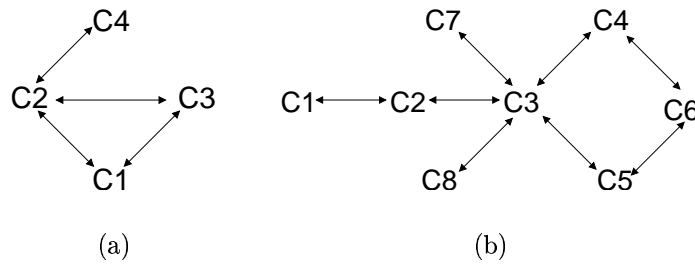


FIG. 3.1 – L'analyse spatiale qualitative : des configurations et des adjacences entre elles.

prétation issue de ce modèle sera donc capable de donner quatre interprétations différentes. De la même façon le second modèle en relèvera huit. La fonction d'interprétation issue du modèle de la figure (a) se nommera int_a , celle issue du modèle de la figure (b) se nommera int_b .

Considérons maintenant un utilisateur dessinant un schéma correspondant à la configuration C3, issu de sa propre description d , le système étant construit autour d'une fonction de matérialisation que nous nommerons $mat(x)$. Nous avons alors la phrase visuelle :

$$\langle C3, d, \langle ? \rangle, mat(x) \rangle$$

Les choix entre les deux fonctions d'interprétation nous permettent de terminer cette phrase visuelle de deux façon différentes :

$$\begin{aligned} &\langle C3, d, \langle int_a(x), mat(x) \rangle \\ &\langle C3, d, \langle int_b(x), mat(x) \rangle \end{aligned}$$

En retenant la fonction d'interprétation int_a , nous pouvons «changer d'image», c'est-à-dire ne plus considérer la configuration C3 mais les configurations voisines : C1 et C2. Nous avons alors à nouveau deux phrases visuelles :

$$\begin{aligned} &\langle C1, d, \langle int_a(x), mat(x) \rangle \\ &\langle C2, d, \langle int_a(x), mat(x) \rangle \end{aligned}$$

Avec la fonction int_b , nous obtenons les phrases visuelles :

$$\begin{aligned} &\langle C2, d, \langle int_b(x), mat(x) \rangle \\ &\langle C4, d, \langle int_b(x), mat(x) \rangle \\ &\langle C5, d, \langle int_b(x), mat(x) \rangle \\ &\langle C7, d, \langle int_b(x), mat(x) \rangle \\ &\langle C8, d, \langle int_b(x), mat(x) \rangle \end{aligned}$$

Rappelons que les problèmes de sur-spécification et de spécification incertaine reviennent à savoir laquelle de ces phrases sera *full*, c'est-à-dire quelle fonction x et quel indice d'image Y vérifieront :

$$int_x(CY) = d$$

Cette notion de voisinage est sujette à différentes définitions suivant les modèles d'analyse spatiale. Certains modèles, d'ailleurs, n'en possèdent pas. Lorsque nous aborderons un modèle d'analyse spatiale, nous expliquerons, s'il possède un graphe d'adjacence, quelle technique de construction il a utilisée pour ce graphe.

3.2 Les différentes techniques d'analyse spatiale qualitative

Dans cette section nous allons évoquer des techniques d'analyse spatiales qualitatives [CH01], permettant de relever des contraintes portant sur 5 aspects de la géographie :

- les relations topologiques des objets
- le recouvrement des objets entre eux

- l'orientation des objets
- les distances entre les objets
- la silhouette
- les contraintes sur le flou

. Dans chacune des sous-sections nous évoquerons un ou plusieurs de ces aspects et nous présenterons des techniques d'analyses spatiales qui les traitent.

3.2.1 La topologie

Le principal modèle de base qui sert à déterminer des contraintes topologiques est le modèle RCC-8 (Region Connection Calculus) [BCTH00, Coh96, Coh99, GBGG97]. Celui-ci est inspiré d'un principe de calcul d'intersection entre des intervalles temporels (voir figure 3.2). Principe initié par Allen [All81] et transposé à l'espace par Cohn, Gooday et Bennet[GGB94]. Une alternative à été proposée par Max J. Egenhofer, le modèle 9-intersections. Très intéressante, elle propose de représenter les relations spatiales sous forme de matrices d'intersections.

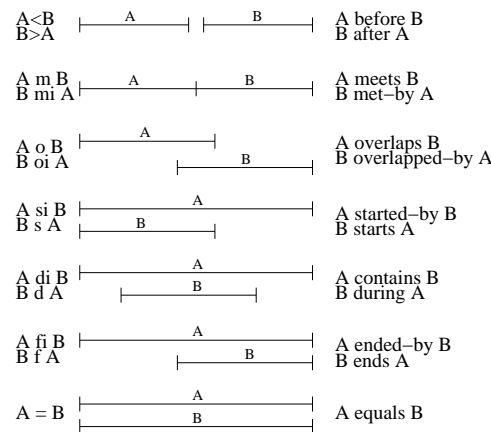


FIG. 3.2 – Les 13 configurations temporelles de Allen, J. F.

Le modèle RCC-8

Comme nous l'avons dit, le modèle RCC-8 s'inspire du modèle temporel de Allen (figure 3.2) dans lequel des notions de précédence sont retenues, il donne alors lieu à 13 configurations. Transposé à l'espace, ce nombre passe à 8, d'où le nom *RCC-8*. Dans le modèle RCC-8, l'unique objet de base est la région. Huit relations topologiques sont différenciées : « is disconnected from » (*DC*), « coincides with » (*EQ*), « partially overlaps » (*PO*), « externally connected », (*EC*), « is a tangential proper part of » (*TPP*, *TPPi*) et « is a nontangential proper part of » (*NTPP*, *NTPPi*) (voir figure 3.3), alors que le modèle temporel de Allen en différencie 13.

En acceptant deux axiomes sur une relation appelée *Connected* que nous noterons $C : \forall x[C(x, x)]$ et $\forall x \forall y [C(x, y) \rightarrow C(y, x)]$ chacune des huit configurations peut se formuler à l'aide d'une définition mathématique :

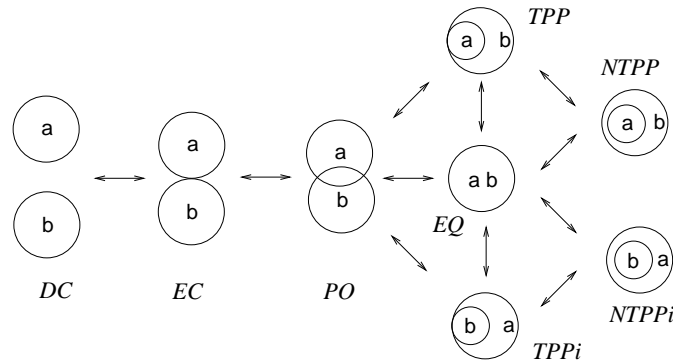


FIG. 3.3 – Les huit relations du modèle RCC-8

Relation	Définition
$DC(x, y)$	$\neg C(x, y)$
$P(x, y)$	$\forall z[C(z, x) \rightarrow C(z, y)]$
$PP(x, y)$	$P(x, y) \wedge \neg P(y, x)$
$EQ(x, y)$	$P(x, y) \wedge P(y, x)$
$O(x, y)$	$\exists z[P(z, x) \wedge P(z, y)]$
$DR(x, y)$	$\neg O(x, y)$
$PO(x, y)$	$O(x, y) \wedge \neg P(x, y) \wedge \neg P(y, x)$
$EC(x, y)$	$C(x, y) \wedge \neg O(x, y)$
$TPP(x, y)$	$PP(x, y) \wedge \exists z[EC(z, x) \wedge EC(z, y)]$
$NTPP(x, y)$	$PP(x, y) \wedge \neg \exists z[EC(z, x) \wedge EC(z, y)]$

Trois définitions supplémentaires apparaissent, « is a part of » (P), « is a proper part of » (PP) et « is discrete from » (DR). Elles ne correspondent pas à des configurations uniques mais elles correspondent à des ensembles de schémas parmi les huit que nous avons représentés.

Ce modèle dispose en complément d'une table de composition ainsi que d'un graphe d'adjacence. La table de composition permet de raisonner sur les triplets d'objets. Notons $R_1(a, b)$ le fait que la disposition de deux objets a et b corresponde à la relation topologique R_1 avec $R_1 \in \{DC, EQ, PO, EC, TPP, TPPi, NTPP, NTPPi\}$. Soit trois objets a, b et c , et deux relations R_1 et R_2 . Si $R_1(a, b) \vee R_2(b, c)$ alors ce tableau permet de déterminer la ou les relations R_3 possibles entre a et c .

Le graphe est construit sur le principe du *glissement continu*. Par exemple pour passer de la configuration DC à la configuration PO , en faisant glisser a et b l'un vers l'autre, ils passeront nécessairement par la configuration EC . Nous avons alors seulement deux arêtes $DC - EC$ et $EC - PO$ et pas d'arête $DC - PO$. Un tel graphe d'adjacence est appelé *graphe d'adjacence conceptuelle*.

Ce modèle, très connu, différencie huit configurations. Il introduit la notion d'adjacence conceptuelle, fondée sur le glissement. C'est un très bon exemple de fonction d'interprétation entre deux objets surfaciques.

Le modèle n -intersections

Ce modèle a été proposé par Max J. Egenhofer [EMH94, Ege93, Ege89, Ege94b, ECdF94, CSE94]. Son principe est le suivant : quelle que soit sa forme un objet va posséder trois parties, un intérieur, une frontière et un extérieur. Pour un objet A nous les noterons respectivement A° , ∂A et A^- .

Plus précisément Max Egenhofer définit ces trois parties pour la zone, la ligne et le point [EH90] (voir figure 3.4). De manière informelle ces parties sont définies comme suit :

- Intérieur :
- Zone : toute la partie située dans le contour de la zone
- Ligne : le tracé de la ligne

- *Point* : le point lui même
- *Frontière* :
 - *Zone* : le tracé de la zone
 - *Ligne* : ses deux extrémités
 - *Point* : le point lui même (la frontière est confondue avec l'intérieur)
- *Extérieur* :
 - *Zone* : tout le reste du plan
 - *Ligne* : tout le reste du plan
 - *Point* : tout le reste du plan

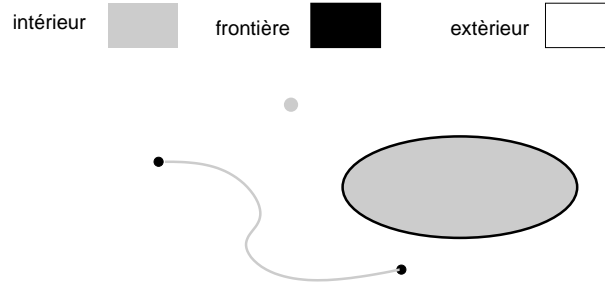


FIG. 3.4 – Les trois parties (intérieur, frontière, extérieur) pour la zone, la ligne et le point.

La relation spatiale qu'entretiennent deux objets A et B va alors être calculée en notant si les intersections entre ces différentes parties sont vides ou non. Ces intersections, vides ou non, seront écrites dans une matrice appelée matrice d'intersections. Il y a trois types d'objets. Nous étudions les relations entre les objets deux à deux. Nous aurons donc 6 relations possibles ($3 + 2 + 1$) : zone-zone, zone-ligne, zone-point, ligne-ligne, ligne-point, point-point.

Une version [EF91] ne tient pas compte de l'extérieur mais seulement de l'intérieur et de la frontière des objets. Celle-ci donne lieu à des matrices 2×2 :

$$M = \begin{pmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B \end{pmatrix}$$

Le modèle se nomme alors modèle 4-intersections. Entre deux zones ce modèle est capable de relever les mêmes configurations que le modèle RCC-8 (voir figure 3.5).

Quand nous l'appliquons à deux lignes, dans R^1 , nous retrouvons les configurations spatiales de Allen [All81] (voir figure 3.6). Nous avons les mêmes matrices que pour les relations zone-zone à l'exception de "overlap" qui a ici une intersection frontière-frontière vide.

Entre une zone et un point, une ligne et un point et entre deux points ce modèle relève respectivement trois, trois et deux configurations (voir figure 3.7).

Ce modèle 4-intersections peut être étendu en prenant cette fois en compte l'extérieur [ESM]. Pour deux objets A et B , nous tiendrons compte des intersections, vides ou non, entre leurs intérieur, frontière et extérieur. À la place des matrices 2×2 nous aurons donc des matrices 3×3 . Le modèle 4-intersections devient le modèle 9-intersections :

$$M = \begin{pmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B^- \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^\circ & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}$$

Quand nous écrivons des matrices, nous écrivons un 1 lorsqu'il y a une intersection, un 0 sinon.

En ce qui concerne la relation entre deux régions, le modèle 9-intersections ne permet pas de relever de relations supplémentaires [EF91].

Pour la relation ligne-ligne, en se plaçant dans R^2 , le modèle 9-intersections permet de relever vingt-cinq relations supplémentaires, ce qui porte le nombre total à $25 + 8 = 33$ relations [Ege94a]. Prenons

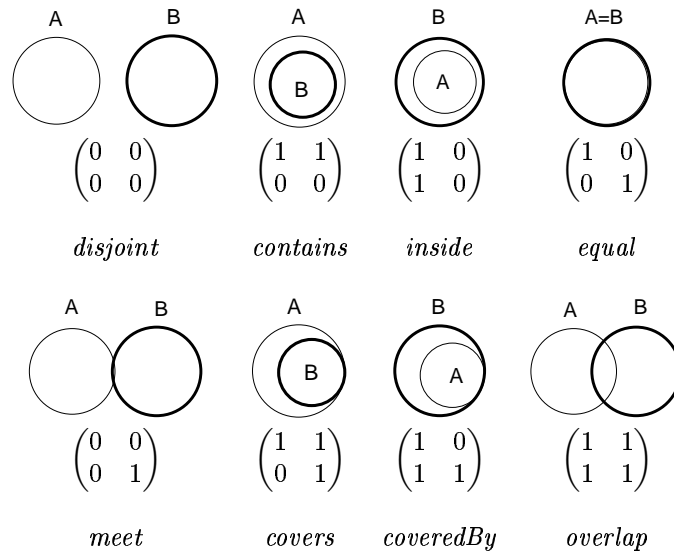


FIG. 3.5 – Le modèle 4-intersections et les huit configurations zone-zone.

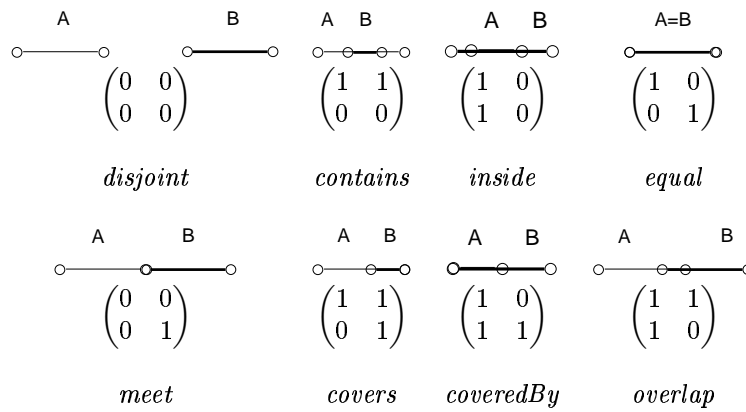


FIG. 3.6 – Le modèle 4-intersections et les huit configurations ligne-lignes dans l'espace à une dimension.

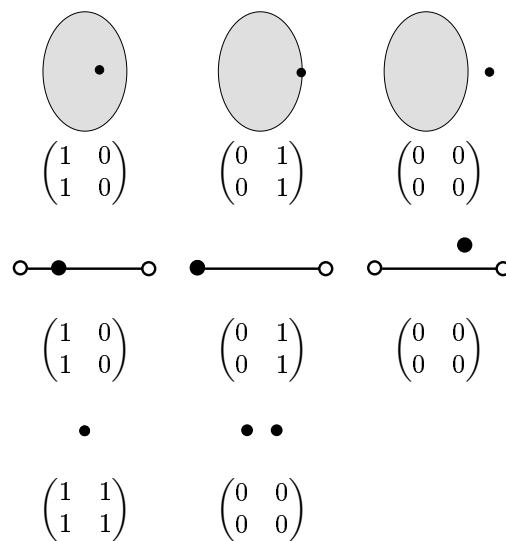


FIG. 3.7 – Les relations zone-point, ligne-point et point-point du modèle 4-intersections.

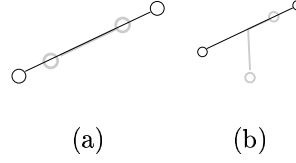


FIG. 3.8 – Deux configurations différenciées par le modèle 9-intersections mais pas par le modèle 4-intersections

par exemple les deux configurations de la figure 3.8. Avec le modèle 4-intersections ces configurations ne sont pas différenciées car la matrice est toujours :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Le modèle 4-intersections ne relève donc pas de différences entre ces configurations. Au contraire, le modèle 9-intersections est capable de les différencier, ces deux configurations donnant deux matrices différentes (la figure 3.9 montre ces trente-trois configurations) :

$$(a) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (b) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

De la même façon le modèle 9-intersections relève dix-neuf configurations pour la relation zone-ligne [SEM98, ME94] (voir figure 3.11), là où le modèle 4-intersections n'en relève que onze. Prenons par exemple les deux configurations de la figure 3.10. Le modèle 4-intersections va leur associer à toutes la matrice :

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Le modèle 9-intersections, lui, les distinguera et leur associera les matrices suivantes :

$$(a) \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (b) \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Les modèles 4 et 9 intersections s'appliquent à trois types d'objets : la zone, la ligne et le point. Concernant la topologie ils relèvent un large nombre de configurations. Pour les relations zone-zone, zone-point, ligne-point et point-point, le modèle 4-intersections suffit. Pour les relations zone-ligne et ligne-ligne nous avons vu que le modèle 9-intersections s'avère utile pour différencier des configurations pouvant évoquer des concepts assez différents.

Max J. Egenhofer propose deux façons de construire des graphes d'adjacence [EM95a, EAT92]. Une première version s'appuie sur la *distance topologique* entre les configurations [EAT92]. Il introduit pour cela une notion de différence entre les intersections vides et non vides en les projetant respectivement sur les entiers 0 et 1 et en appliquant dessus la soustraction :

$$\begin{aligned} 0-0 &= 0 \\ 1-1 &= 0 \\ 0-1 &= -1 \\ 1-0 &= 1 \end{aligned}$$

Sur des matrices 9-intersections la distance entre deux configurations c_A et c_B représentée respectivement par les matrices M_A et M_B est alors notée :

$$D_{c_A, c_B} = \sum_{i=0}^{i \leq 3} \sum_{j=0}^{j \leq 3} |M_A[i, j] - M_B[i, j]|$$

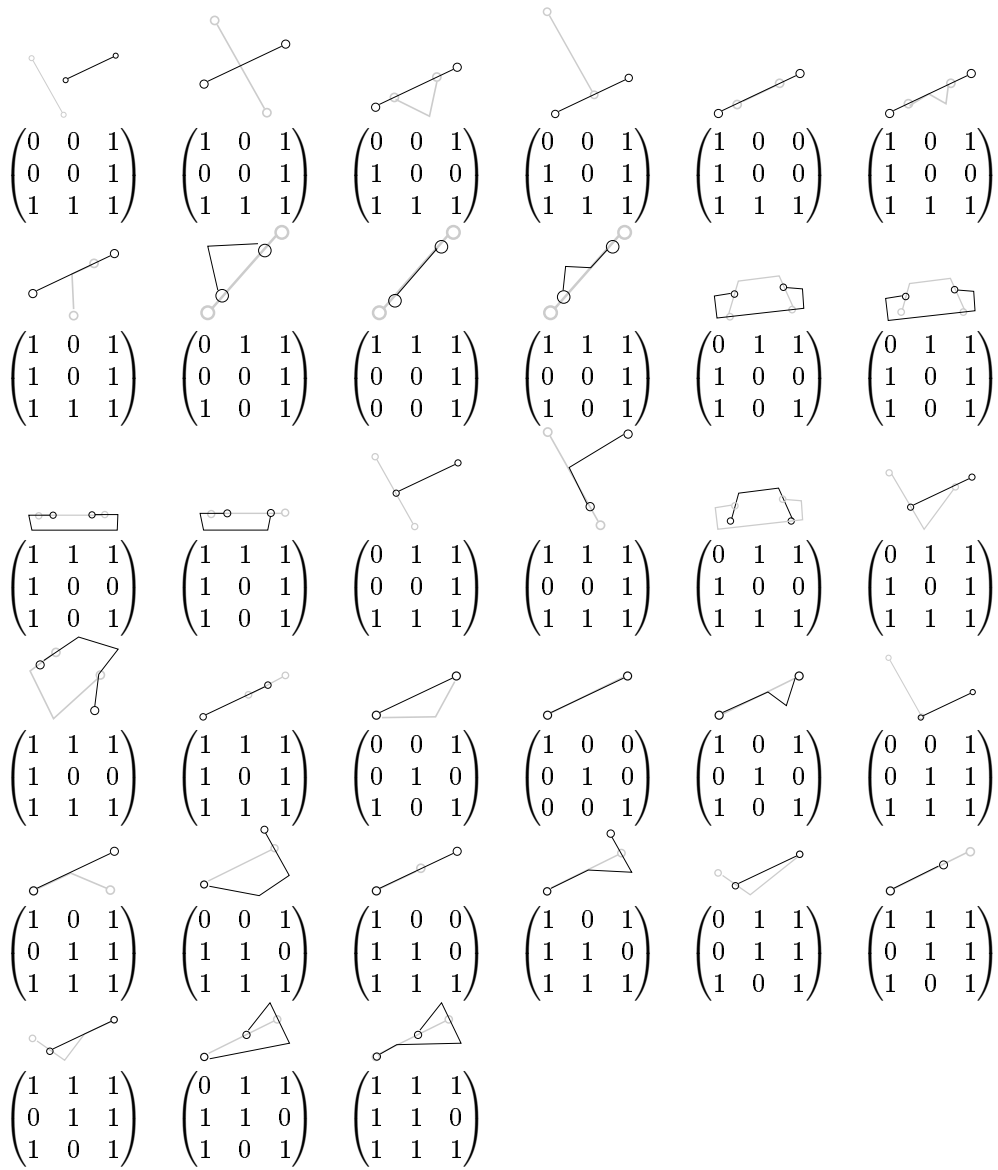


FIG. 3.9 – Les trente-trois configurations du modèle 9-intersections entre une deux lignes.

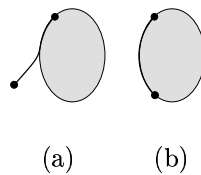


FIG. 3.10 – Deux configurations différenciées seulement par le modèle 9-intersections

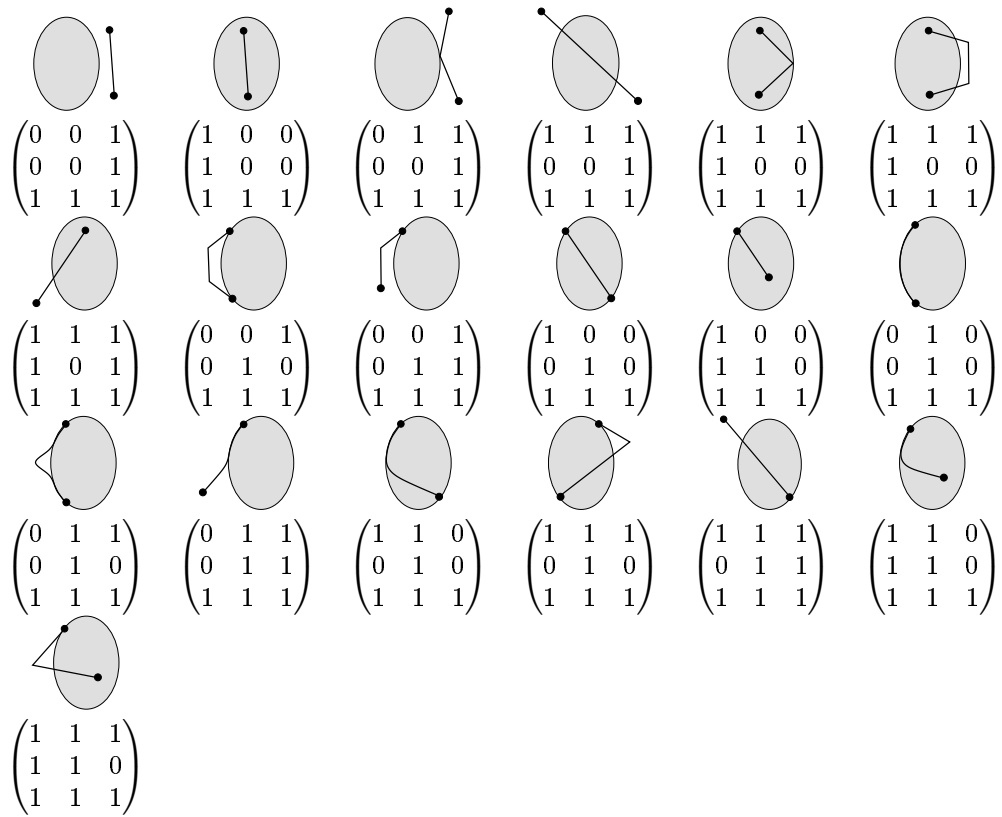


FIG. 3.11 – Les 19 configurations du modèle 9-intersections entre une zone et une ligne.

Lorsque cette distance est calculée sur l'ensemble des 361 combinaisons (19×19), la plus petite distance topologique non nulle est 1. La distance 0 est trouvée seulement entre une configuration et elle-même. Le graphe est représenté figure 3.12. Il fait figurer un arc entre toutes les configurations distantes topologiquement de 1.

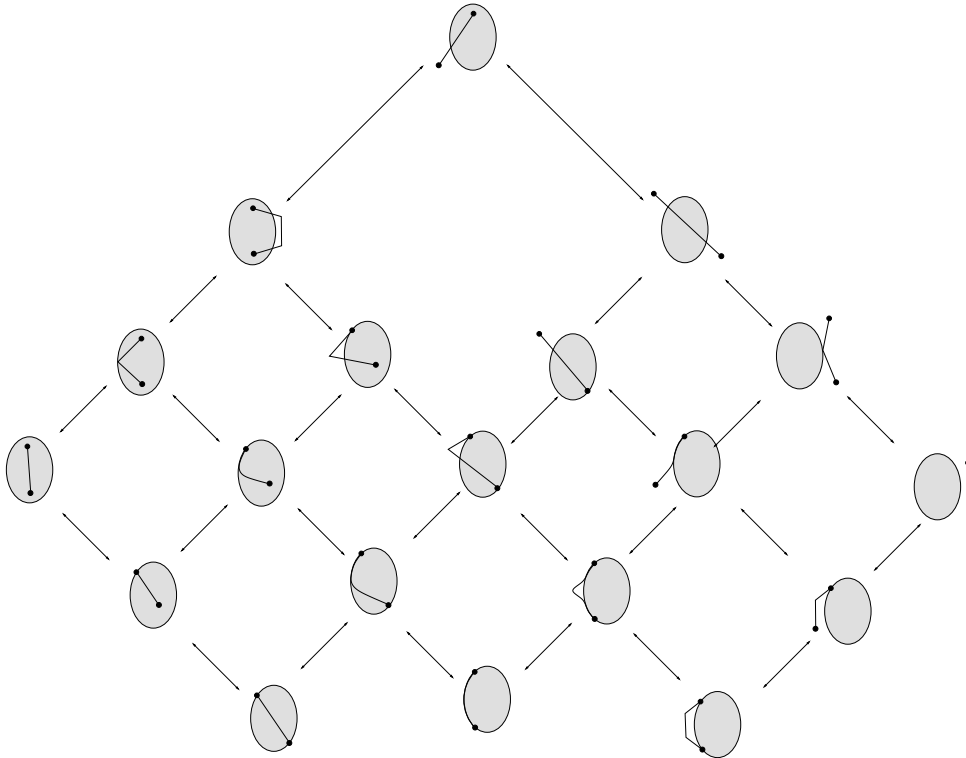
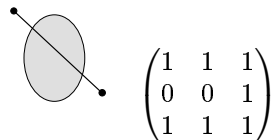


FIG. 3.12 – Graphe d'adjacence par distance topologiques

Le seconde façon de construire un graphe d'adjacence repose sur le fait qu'une petite déformation peut changer la configuration. À nouveau nous étudierons cette façon de construire un graphe d'adjacence sur la relation zone-ligne.

Les déformations vont être classées en deux catégories. Dans la première catégorie (1) figurent les déformations qui entraînent le déplacement d'une frontière de la ligne d'une partie de la zone vers une partie adjacente de la zone. Dans la seconde catégorie (2) figurent les déformations qui entraînent le déplacement de l'intérieur de la ligne d'une partie de la zone vers une partie adjacente de la zone. L'auteur introduit aussi le principe d'extension d'une partie i notée $\#M[i, _]$. L'extension représente le nombre de parties avec lesquelles i a une intersection non vide. Par exemple pour la configuration suivante et sa matrice :



alors :

- $\#M[^\circ, _] = 3$
- $\#M[\partial, _] = 1$
- $\#M[-, _] = 3$

Les déformations autorisées vont alors être formalisées comme suit :

Pour la catégorie 1 :

Si les deux frontières de la ligne sont sur la même partie P de la zone alors on autorise le déplacement

d'une des deux frontières vers un partie de la zone adjacente à P .

$$\#M[\partial, _] = 1 \Rightarrow \forall i \text{ tel que } M[\partial, i] = \neg\emptyset \text{ alors } M_{voisine}[\partial, adjacent(i)] = \neg\emptyset \quad (3.1)$$

Si les deux frontières de la ligne sont sur deux parties différentes P_1 et P_2 de la zone alors on autorise le déplacement d'une des deux frontières vers une partie adjacente à P_1 ou P_2 selon le cas.

$$\#M[\partial, _] = 2 \Rightarrow \forall i \text{ tel que } M[\partial, i] = \neg\emptyset \text{ alors } M_{voisine}[\partial, i] = \neg\emptyset \text{ et } M_{voisine}[\partial, adjacent(i)] = \neg\emptyset \quad (3.2)$$

Pour la catégorie 2 :

Quelle que soit une partie P dont l'intersection avec l'intérieur de la ligne est non vide, on peut toujours déformer la ligne pour qu'elle passe aussi par une partie de la zone adjacente à P .

$$\forall i \text{ tel que } M[^\circ, i] = \neg\emptyset \text{ alors } M_{voisine}[^\circ, adjacent(i)] = \neg\emptyset \quad (3.3)$$

Si la ligne passe par deux parties de la zone on peut la déformer pour qu'elle ne passe plus que par une seule de ces parties.

$$\#M[^\circ, _] = 2 \Rightarrow \forall i \text{ tel que } M[^\circ, i] = \neg\emptyset \text{ alors } M_{voisine}[\partial, i] = \emptyset \quad (3.4)$$

Si l'intérieur de la ligne passe par les trois parties de la zone, on peut la déformer pour qu'elle ne passe plus par l'intérieur ou bien qu'elle ne passe plus par l'extérieur de la zone.

$$\#M[^\circ, _] = 3 \Rightarrow \forall i \text{ tel que } i \neq \partial \text{ alors } M_{voisine}[\partial, i] = \emptyset \quad (3.5)$$

Les déplacements séparés des frontières et de l'intérieur de la ligne peuvent entraîner la construction de matrices correspondant à des configurations topologiquement impossibles. Après avoir effectué ces déplacement il convient alors d'effectuer quelques opérations supplémentaires pour s'assurer de la consistance topologiques

Si l'intérieur de la ligne passe par l'intérieur et l'extérieur de la zone, alors il coupe nécessairement la frontière de la zone :

$$M[^\circ, ^\circ] = \neg\emptyset \text{ et } M[^\circ, ^-] = \neg\emptyset \Rightarrow M[^\circ, \partial] = \neg\emptyset \quad (3.6)$$

Si la frontière de la ligne se situe à l'intérieur ou bien à l'extérieur de la zone, alors l'intérieur de la ligne, étant donné qu'il est connexe à sa propre frontière, passe nécessairement par une de ces deux parties :

$$M[\partial, ^\circ] = \neg\emptyset \Rightarrow M[^\circ, ^\circ] = \neg\emptyset \quad (3.7)$$

$$M[\partial, ^-] = \neg\emptyset \Rightarrow M[^\circ, ^-] = \neg\emptyset \quad (3.8)$$

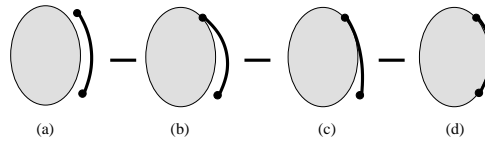


FIG. 3.13 – Le principe de construction du graphe d'adjacence selon le principe de déformation

Nous pouvons aussi expliquer la conception de ce graphe d'adjacence conceptuelle de façon plus intuitive. Voyons pour cela la figure 3.13. Elle consiste à déformer la ligne de telle façon qu'une seule de ses parties à la fois soit déplacée entre deux parties adjacentes de la zone. Par exemple depuis la configuration 3.13.a en déplaçant une frontière de la ligne en direction de la zone nous arrivons à la configuration 3.13.b (équation 3.1).

Entre les configurations 3.13.b et 3.13.c c'est l'intérieur de la ligne qui se trouve déplacé (équation 3.3) partiellement (équation 3.8). Sur la configuration 3.13.b l'intérieur de la ligne passe entièrement par l'extérieur de la zone alors que sur la configuration 3.13.c l'intérieur de la ligne passe par l'extérieur et sur la frontière de la zone.

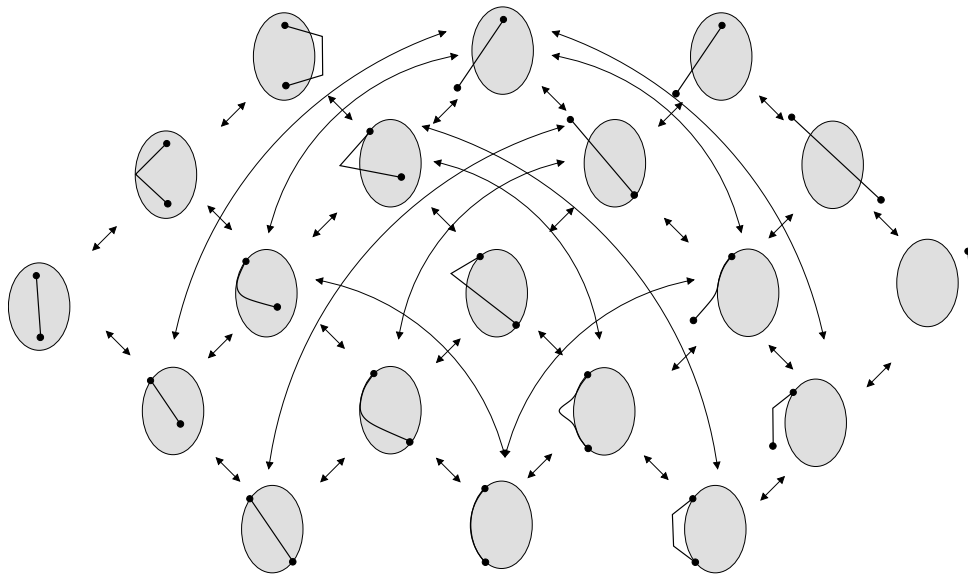


FIG. 3.14 – Graphe d'adjacence par glissement

Enfin si nous continuons le rapprochement de la ligne vers la zone nous arrivons à la configuration 3.13.d. La deuxième frontière de la ligne s'est à son tour déplacée sur la frontière de la zone (équation 3.2). À cette occasion l'intérieur de la ligne passe entièrement sur la frontière de la zone (l'équation 3.8 ne s'applique plus). L'ensemble des glissements est représenté par le graphe d'adjacence sur la figure 3.14.

Le modèle n-intersections de Max J. Egenhofer, en prenant en compte les objets surfaciques, linéaires et ponctuels, s'applique très bien à l'analyse spatiale d'un schéma. De plus M. Egenhofer propose deux façons de construire des graphes d'adjacence. Ces deux exemples nous montrent bien que l'adjacence peut avoir plusieurs définitions; nous pourrions les discuter et, si leurs définitions ne nous conviennent pas, nous en inspirer pour en construire d'autres.

Conclusion

Nous venons de voir deux modèles d'analyse spatiale qualitative portant sur l'aspect topologique des relations spatiales. Le premier, le modèle RCC, ne considère qu'un seul type d'objet : la zone. C'est un modèle spatial assez théorique inspiré d'un modèle temporel. Le modèle n-intersections, lui, en considérant trois types d'objets est beaucoup plus proche de nos besoins. Nous allons maintenant nous intéresser aux autres aspects de la géographie : à l'aspect métrique des relations entre les objets ainsi qu'à l'orientation des objets les uns par rapport aux autres.

3.2.2 Direction

Il s'agit ici de savoir dans quelle direction cardinale se situe un objet par rapport à un autre. Deux façons d'analyser la direction sont représentées figures 3.15 et 3.16. Ces deux méthodes d'analyse sont issues du travail de Andrew U. Frank [Fra91, Fra96].

La figure 3.15 représente le système dit "en cône". Il découpe l'espace en cônes correspondant chacun à des directions cardinales. Cet ensemble de cônes est centré sur un objet A , en observant dans quel(s) cône(s) se trouve un second objet B on peut en déduire dans quelle direction se trouve B par rapport à A .

Sur la figure 3.16 nous trouvons le second moyen de déterminer la direction. Cette fois c'est le plan qui est partagé en deux demi-plans. Ce partage peut se faire autant de fois que nécessaire. Sur l'exemple il est fait deux fois. Une première fois pour partager l'est de l'ouest (figure 3.16.a), une seconde fois pour partager le nord du sud (figure 3.16.b). C'est l'ensemble de ces demi-plans qui sera pris en compte (figure 3.16.c) pour déterminer la direction.

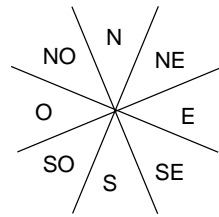


FIG. 3.15 – Principe des cônes

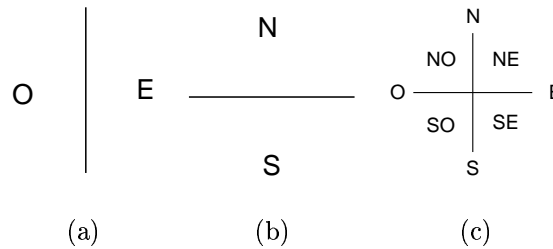


FIG. 3.16 – Projections en demi-plans

Les deux systèmes que nous venons de voir s'appliquent facilement sur un point. Dans le cas du système en cônes, l'ensemble des cônes est centré sur le point. Pour le système en demi-plans c'est l'intersection des deux lignes de partage des plans qui sera placée sur le point.

Pour utiliser ce système sur une zone il est possible d'utiliser son iso-barycentre comme point sur lequel se positionneront alors les cônes ou les demi-plans. Le modèle en demi-plans peut aussi s'utiliser sur une zone en ajoutant alors une partie neutre rectangulaire encadrant la zone (voir figure 3.17).

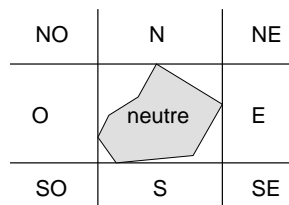


FIG. 3.17 – Projection en demi plan avec une zone neutre

A. Frank [Fra91], n'évoque pas de graphe d'adjacence. Dans son article "Query Processing in Spatial-Query-by-Sketch" [Ege97], Max J. Egenhofer donne un graphe d'adjacence conceptuel sur le modèle de la figure 3.17. Il est construit sur les glissements continus, horizontaux et verticaux (voir figure 3.18.a). De façon similaire, un graphe peut être construit sur le modèle en cônes (figure 3.18.b). Nous retrouvons les mêmes arêtes que dans le modèle en demi-plans, la zone neutre en moins.

Comme pour les modèles topologiques, nous trouvons ici des configurations spatiales et un graphe d'adjacence. Ce modèle est donc apte à devenir une fonction d'interprétation capable de considérer des voisinages entre les images qu'elle interpréterait.

3.2.3 Distance

Dans cette section nous allons étudier un modèle d'analyse spatiale capable de relever des détails métriques [ER98] entre deux objets. Ce modèle, développé par Max J. Egenhofer et Alter, se présente sous la forme d'une analyse supplémentaire au modèle 9-intersections, cette analyse supplémentaire relevant des détails métriques sur les relations. Comme pour le graphe d'adjacence conceptuelle, M. Egenhofer traite l'exemple de la relation zone-ligne.

Les détails métriques vont porter sur deux aspects :

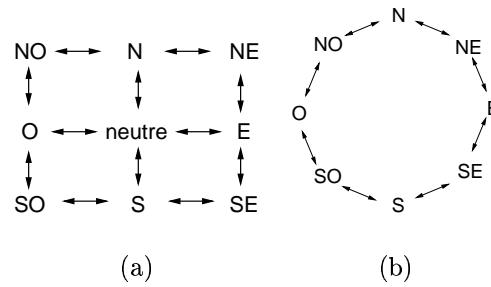


FIG. 3.18 – Graphes d’adjacence pour les directions avec le modèle en demi-plans (a) et le modèle en cônes (b).

- Le découpage d’une zone par une ligne, c’est-à-dire la façon dont une ligne se répartit entre l’intérieur, la frontière et l’extérieur de la zone.
- La proximité entre une zone et une ligne. Ce cas s’applique lorsque la frontière ou l’intérieur de la ligne ne touche ou ne coupe pas la frontière de la zone. Dans ces cas ce sont des détails métriques qui vont faire apparaître s’ils sont plus ou moins éloignés de cette frontière.

Nous ne présenterons pas précisément cette analyse dans son intégralité mais seulement certaines méthodes qui nous semblent relever des contraintes métriques particulièrement importantes.

Commençons par le premier aspect, comment une ligne partage une zone. Deux concepts seront introduits : l’aire d’une zone et la longueur d’une ligne. La longueur et l’aire pourront s’appliquer respectivement sur l’intérieur de la ligne et l’intérieur de la zone, mais elles pourront aussi ne s’appliquer que sur des parties de ces intérieurs.

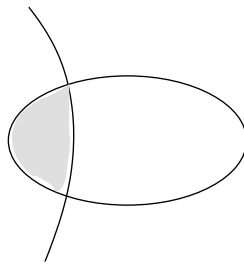


FIG. 3.19 – Découpage de la zone en deux (IAS).

Voici un premier exemple : “Inner Area Splitting”, *IAS*. C’est-à-dire comment l’intérieur d’une ligne divise l’intérieur d’une zone. Observons la figure 3.19, nous pouvons déterminer l’IAS par la formule suivante (R représente la zone, L représente la ligne) :

$$IAS = \frac{\min(\text{aire}(\text{partieGauche}(L^- \cap R^\circ)), \text{aire}(\text{partieDroite}(L^- \cap R^\circ)))}{\text{aire}(R)}$$

Sur la figure 3.19, $\text{partieGauche}(L^- \cap R^\circ)$ correspond à la partie grisée de la zone et $\text{partieDroite}(L^- \cap R^\circ)$ correspond à la partie blanche de la zone. Le calcul d’*IAS* nous permet ainsi de savoir si une ligne coupe une zone en deux parties à peu près égales (*IAS* proche de 1/2) ou bien si elle coupe la zone par son bord (*IAS* proche de 0).

Nous citerons ensuite un second exemple : “Entrance Splitting”, *ENS*. Cette fonction permet de savoir si une ligne pénètre beaucoup dans une zone, proportionnellement à la taille de la zone (voir figure 3.20). Sa formule est :

$$ENS = \frac{\text{longueur}(L^- \cap R^\circ)}{\text{longueur}(\partial R)}$$

Sur la figure 3.19, $L^- \cap R^\circ$ est représentée par la partie grisée de la ligne.

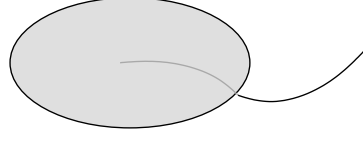


FIG. 3.20 – La ligne pénètre-t-elle beaucoup dans la zone (ENS).

Dans [ER98], 10 fonctions portent sur le découpage d'une zone par une ligne. Nous nous contenterons de ne citer que brièvement les huit restantes. *Outer Area Splitting (OAS)* mesure la surface fermée à l'extérieur de la région dont la frontière va être délimitée par l'intérieur de la ligne et la frontière de la zone :

$$OAS = \frac{\text{aire}(\text{composantsFormePar}(L^- \cap R^-))}{\text{aire}(R)}$$

Inner Traversal Splitting (ITS) ressemble à *Entrance Splitting* à la différence que la mesure de la pénétration est mesurée par rapport à la longueur de la ligne :

$$ITS = \frac{\text{longueur}(L^\circ \cap R^\circ)}{\text{longueur}(L)}$$

Outer Traversal Splitting (OTS) est similaire à *Inner Traversal Splitting* mais mesure la partie de la ligne restant à l'extérieur de la zone :

$$OTS = \frac{\text{longueur}(L^\circ \cap R^-)}{\text{longueur}(L)}$$

Exit Splitting (EXS) est similaire à *Entrance Splitting* mais cette fois-ci encore c'est la partie de la ligne restant à l'extérieur de la zone qui est mesurée :

$$EXS = \frac{\text{longueur}(L^\circ \cap R^\circ)}{\text{longueur}(\partial R)}$$

Line Alongness (LA) mesure la partie de la ligne qui n'est pas sur la frontière de la zone ; la mesure est donnée par rapport à la longueur de la ligne :

$$LA = \frac{\text{longueur}(L^\circ \cap \partial R)}{\text{longueur}(L)}$$

Perimeter Alongness (PA) est similaire à *Line Alongness* mais la mesure est donnée par rapport à la longueur de la frontière de la zone :

$$PA = \frac{\text{longueur}(L^\circ \cap \partial R)}{\text{longueur}(\partial L)}$$

Quand la ligne coupe la zone, la frontière de la zone se trouve divisée en deux parties de chaque côté de la ligne. *Perimeter Splitting (PS)* mesure la longueur de la plus grande de ces parties par rapport à la longueur totale de la frontière de la zone :

$$PS = \frac{\max(\text{longueur}(\text{composants}(L^- \cap \partial R)))}{\text{longueur}(\partial R)}$$

Enfin *Length Splitting (LS)* fait la même mesure mais par rapport à la longueur de la ligne :

$$LS = \frac{\max(\text{longueur}(\text{composants}(L^- \cap \partial R)))}{\text{longueur}(L)}$$

Le second domaine étudié concerne les proximités entre certaines parties de la ligne et de la zone. Prenons par exemple le schéma figure 3.21.a où la ligne sort de la zone. Une fonction va permettre d'avoir une mesure de la proportion de la ligne en dehors de la zone : c'est la fonction *Outer Closeness*.

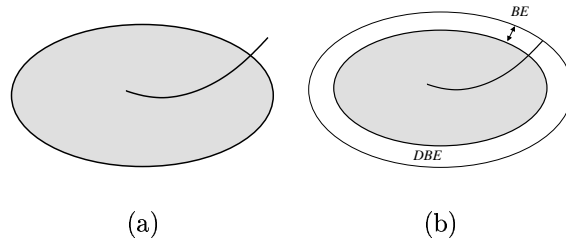


FIG. 3.21 – La ligne sort de la zone. Nous pouvons mesurer l'importance de la partie extérieure par rapport à la taille de la zone (OAC) ou bien par rapport à la taille de la ligne (OLC).

Cette proportion va se calculer en mesurant à quelle distance la ligne s'éloigne de la zone. Le résultat sera noté BE . À partir de BE nous allons introduire une nouvelle région, Δ_{BE} . Cette région sera une copie de la région initiale dont le rayon aura été augmenté de BE . Ainsi toute la ligne sera incluse dans Δ_{BE} .

Nous pouvons alors calculer deux valeurs. L'une nommée *Outer Area Closeness*, OAC mesure l'éloignement de la ligne proportionnellement à la taille de la zone :

$$OAC = \frac{\text{aire}(\Delta_{BE}(R))}{\text{aire}(R)}$$

L'autre valeur, *Outer Line Closeness*, OLC , mesure l'éloignement de la ligne proportionnellement à sa propre taille :

$$OLC = \frac{BE}{\text{longueur}(L)}$$

De la même façon nous pouvons calculer la proportion d'une ligne qui pénètre dans une zone. La fonction s'appelle *Inner Nearness* (voir figure 3.22). Nous avons alors la formule donnant une mesure proportionnelle à l'aire de la zone : *Inner Area Nearness*, IAC :

$$IAC = \frac{\text{aire}(\Delta_{BI}(R))}{\text{aire}(R)}$$

et la formule proportionnelle à la longueur de la zone *Inner Line Nearness*, ILC :

$$ILC = \frac{BI}{\text{longueur}(L)}$$

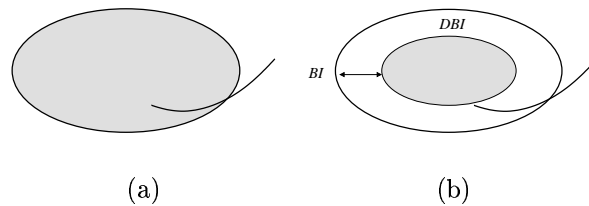


FIG. 3.22 – La ligne pénètre dans la zone. Nous pouvons mesurer l'importance de la partie intérieur par rapport à la taille de la zone (IAC) ou bien par rapport à la taille de la ligne (ILC).

Enfin nous trouvons aussi quatre fonctions pour mesurer la distance d'une ligne entièrement à l'extérieur d'une zone, *Outer Nearness*, figure 3.23 et la distance d'une ligne entièrement à l'intérieur d'une zone, *Inner Nearness*, figure 3.24.

Pour *Outer Nearness*, afin de trouver la mesure proportionnelle à la zone nous avons :

$$OAN = \frac{\text{aire}(\Delta_{IE}(R))}{\text{aire}(R)}$$

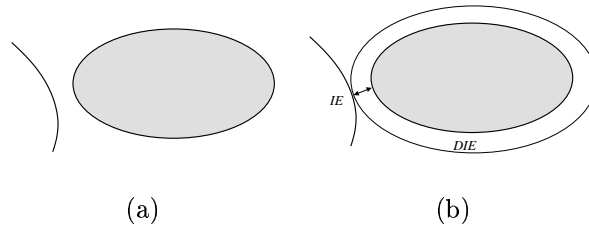


FIG. 3.23 – Calcul de la distance d'une ligne entièrement à l'extérieur d'une zone

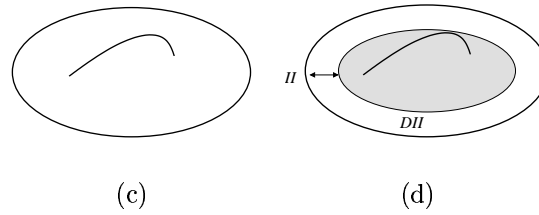


FIG. 3.24 – Calcul de la distance d'une ligne entièrement à l'intérieur d'une zone

et pour la mesure proportionnelle à la ligne nous avons :

$$OLN = \frac{IE}{longueur(L)}$$

Pour *Inner Nearness*, pour trouver la mesure proportionnelle à la zone nous avons :

$$IAN = \frac{aire(\Delta_{II}(R))}{aire(R)}$$

et pour la mesure proportionnelle à la ligne nous avons :

$$ILN = \frac{II}{longueur(L)}$$

Ce modèle d'analyse spatiale présente une grande qualité dans la finesse des détails métriques qu'il permet de relever. Contrairement aux autres modèles étudiés, il ne classe pas directement l'ensemble des relations entre deux objets sous forme de configurations. Pour une configuration donnée, par exemple une ligne qui traverse une zone, le modèle va permettre, entre autres, de déterminer une valeur indiquant si la zone est coupée en deux parties égales ou non. C'est la fonction "*Inner Area Splitting*" qui, suivant les valeurs qu'elle va retourner, va pouvoir être interprétée par différents termes.

Une expérimentation menée par Max J. Egenhofer a permis d'attribuer aux termes suivants les différentes valeurs moyennes de *IAS* :

valeur de <i>IAS</i>	terme
0.37	<i>crosses</i>
0.32	<i>cut through</i>
0.40	<i>goes through</i>
0.13	<i>runs into</i>
0.41	<i>splits</i>

Une fois ces valeurs connues, elles peuvent être retenues comme valeurs frontières pour passer d'un terme à un autre. La notion d'adjacence conceptuelle n'est pas évoquée dans l'article. Néanmoins, en appliquant ici le concept du glissement, nous ferions croître ou décroître la valeur retournée par la fonction. Pour *IAS* nous aurions alors le graphe d'adjacence suivant :

$$0.13 \quad \leftrightarrow \quad 0.32 \quad \leftrightarrow \quad 0.37 \quad \leftrightarrow \quad 0.40 \quad \leftrightarrow \quad 0.41$$

runs into *cut through* *crosses* *goes through* *splits*

Sous cette forme, nous retrouvons un modèle dissociant des configurations associées à un graphe d'adjacence. Ainsi, ce modèle est capable d'être à l'origine d'une fonction d'interprétation et de fournir des images voisines d'une image initiale.

3.2.4 Le recouvrement

Dans cette section nous étudierons le modèle d'Antony Galton [Gal98]. Ce modèle vise à représenter de quelle façon deux zones peuvent se recouvrir. Plus précisément il étudie le cas précis PO (*partialy overlap*) du modèle RCC-8.

Prenons l'exemple de la figure 3.25, les deux schémas sont dans les configurations *Partially Overlap* (PO) : les zones se recouvrent partiellement. Nous voyons bien aussi que sur le schéma (b) la façon dont les deux zones se recouvrent est bien particulière et très différente du schéma (a). Le modèle d'Antony Galton va permettre de relever ces différences.

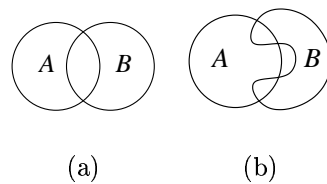


FIG. 3.25 – Deux configurations similaires selon le modèle RCC-8 mais très différentes si l'on s'intéresse à la façon dont les zones se recouvrent.

Pour différencier ces deux configurations [Gal98] va procéder comme suit. Les différences entre les schémas (a) et (b) sont essentiellement le complément de $A \cup B$ (voir figure 3.26). Dans le cas du schéma (a) ce complémentaire est en une seule partie connexe (voir figure 3.26.a). Dans le cas du schéma (b) ce complémentaire est en deux parties connexes, voir figure 3.26.b.

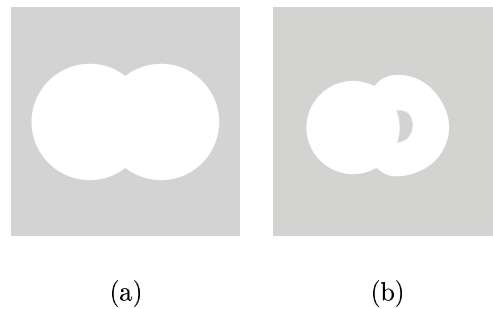


FIG. 3.26 – Le complémentaire de l'union des deux zones A et B des schémas de la figure 3.25.

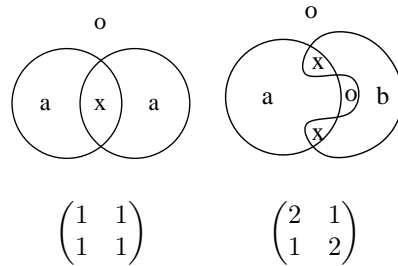
Dans le cas de la figure 3.25, le comptage du nombre de régions connexes du complémentaire de $A \cup B$ est suffisant pour discerner les deux schémas. Pour d'autres discernements non seulement $A \cup B$ est nécessaire mais aussi $A \cap B$, $A \setminus B$ et $B \setminus A$. Ainsi la relation entre deux zones sera notée par une matrice d'intersection. Définissons les variables suivantes :

- x le nombre de zones connexes de $A \cap B$
- a le nombre de zones connexes de $A \setminus B$
- b le nombre de zones connexes de $B \setminus A$
- o le nombre de zones connexes de $comp(A \cup B)$

Alors la matrice de recouvrement de deux zones A et B sera :

$$[A, B] = \begin{pmatrix} x & a \\ b & o \end{pmatrix}$$

Pour nos deux schémas de la figure 3.25 nous aurons les deux matrices :



Avec un tel modèle le nombre de configurations pourrait être infini. L'auteur a donc choisi de limiter les configurations possibles. Seules vont être sélectionnées les configurations où le nombre de parties comptées ne dépassera pas 2. Les trois variables x , a et b pourront donc prendre les valeurs 0,1 ou 2, o n'étant jamais nul, il ne pourra prendre que les valeurs 1 ou 2. Ceci laisse donc la possibilité de $2 \times 3^3 = 54$ configurations mais seulement 23 configurations sont possibles topologiquement. Elles sont représentées dans le tableau de la figure 3.27.

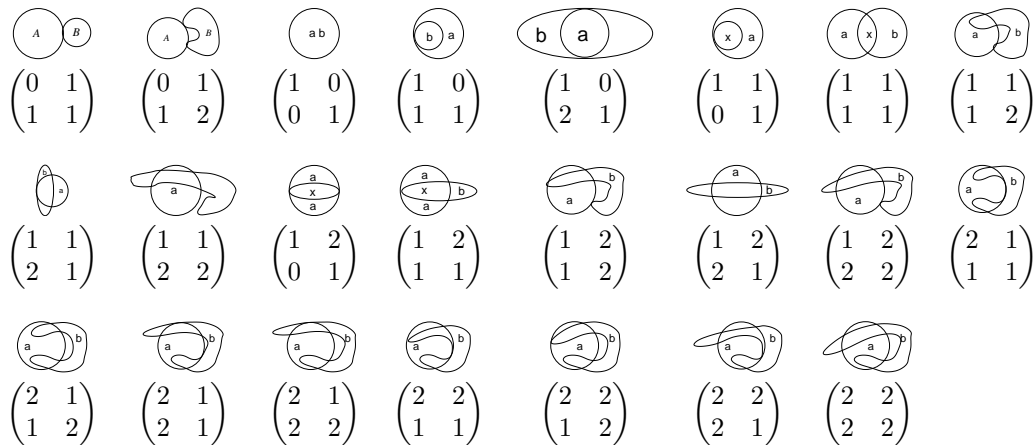


FIG. 3.27 – Les vingt-trois recouvrements du modèle d'Antony Galton.

En ce qui concerne le graphe d'adjacence, [Gal98] propose une solution fondée sur la déformation continue d'une zone. Prenons l'exemple de la figure 3.28. Une des deux zones possède ce que nous appellerons un "doigt". Dans la configuration (a) ce doigt ne touche pas la seconde zone, nous sommes dans la configuration

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Par déformation de la zone, le doigt va se rapprocher de la seconde zone, jusqu'à la toucher, nous passons alors dans la configuration

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$$

En continuant cette déformation le doigt pénètre dans la zone et nous obtenons la configuration

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$$

Ainsi ces trois matrices seront liées dans le graphe.

Sur ce principe, la construction complète d'un graphe d'adjacence est simple. Elle consiste à relier entre elles toutes les configurations dont les matrices diffèrent seulement de 1 sur une seule des entrées à la fois. Ainsi nous obtenons le graphe représenté figure 3.29. C'est un graphe à quatre dimensions. Chacune des dimensions correspond au changement d'une valeur (a, b, x ou o) dans la matrice.

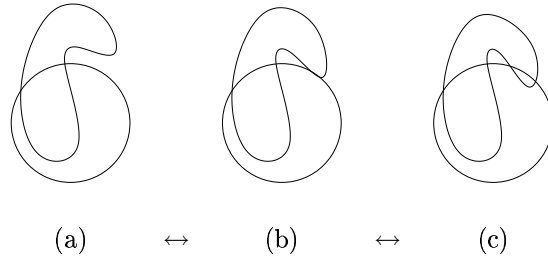


FIG. 3.28 – Deux transitions effectuées à l'aide d'une déformation continue

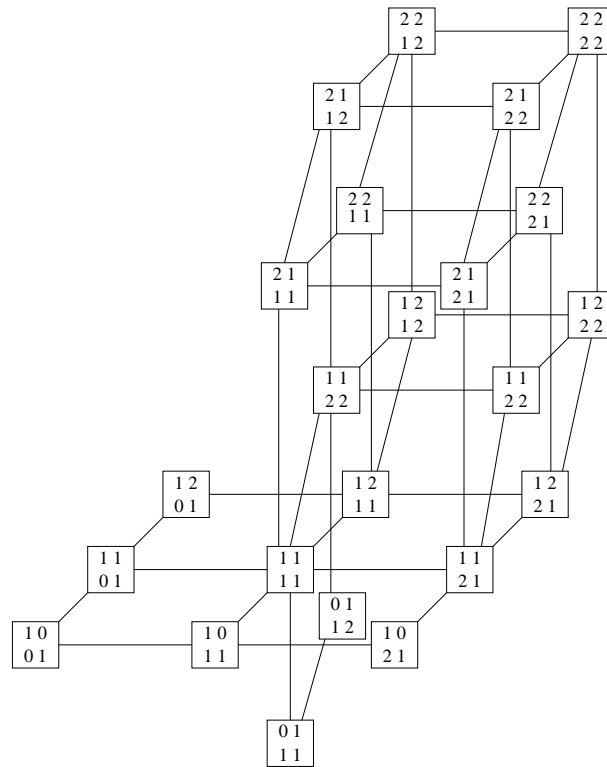


FIG. 3.29 – Le graphe d'adjacence du modèle d'Antony Galton

L'auteur ne s'arrête pas à ces seules transitions, il autorise aussi deux déformations simultanées. Nous pouvons le voir sur la figure 3.30 où le grand diamètre de la zone ovale se réduit, créant ainsi la transition nommée T_1 :

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \leftrightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Nous pouvons constater que cette transition ne figure pas dans le graphe 3.30. En effet la valeur b de la matrice est changé de 2 alors que la valeur maximum est 1.

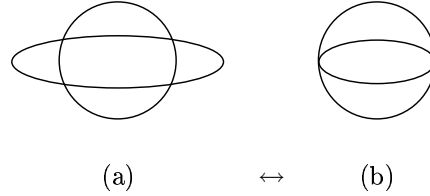


FIG. 3.30 – Une transition T_1 provenant de deux déformations à la fois. Ces deux déformations agissent toutes deux sur la valeur b de la matrice qui se trouve alors incrémentée ou décrétementée de 2

Un autre exemple est donné figure 3.31 avec une transition nommée T_2 :

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \leftrightarrow \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Nous avons la même configuration (b) que sur l'exemple précédent mais cette fois ci, au lieu d'agrandir la zone ovale, nous la déplaçons. La valeur a de la matrice se trouve décrétementée en même temps que la valeur b se trouve incrémentée.

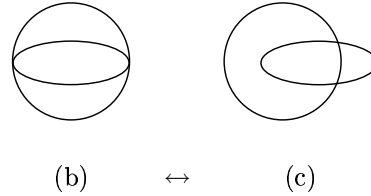


FIG. 3.31 – Une transition T_2 provenant de deux déformations à la fois. Ces deux déformation agissent sur deux valeurs distinctes de la matrice qui se trouvent chacune incrémentée ou décrétementée de 1

Dans le premier exemple, la transition $T_1=(a)\leftrightarrow(b)$ implique l'incrémentement ou la décrémentation de 2 d'une valeur de la matrice. Dans le graphe à quatre dimensions ceci revient à se déplacer sur un même axe. C'est-à-dire à tracer une nouvelle arête qui passe par dessus une matrice. Dans le second exemple, la transition $T_2=(a)\leftrightarrow(b)$ implique l'incrémentement ou la décrémentation de 1 pour deux valeurs différentes de la matrice. dans le graphe ceci revient donc à se déplacer sur une diagonale.

Ces nouvelles transitions impliquent de nouvelles arêtes dans le graphe de la figure 3.29. En ce qui concerne les transitions diagonales, toutes ne sont pas possibles. Par exemple, nous verrons que la transition entre $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ et $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ n'est pas possible. Le passage par $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ ou bien $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ étant nécessaire.

L'auteur propose une méthode pour savoir quelles diagonales sont autorisées et lesquelles ne le sont pas. Cette méthode examine les points de tangence présents sur le schéma, elle repose sur les phénomènes de *contact* et de *pénétration* représentée figure 3.32. Les trois parties P, Q, R, R_1, R_2 et S peuvent représenter des parties de l'intérieur d'une zone comme de l'extérieur. Les deux segments représentent les frontières entre ces différentes parties.

Prenons la figure (a). Les deux frontières ne se touchent pas, les zones P et Q sont donc séparées par une troisième zone R . Sur la figure (b), P et Q se sont rapprochées pour entrer en contact, il y a alors création d'un nouveau point de tangence. La zone R se trouve dans ce cas divisée en deux pour donner

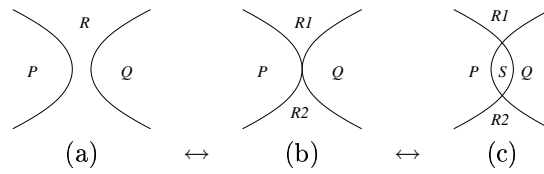


FIG. 3.32 – Une transition provenant de deux déformations à la fois

lieu à deux zones R_1 et R_2 . Enfin sur la figure (c), les frontières se sont croisées, une zone a pénétré dans l'autre, il y a alors perte d'un point de tangence et création d'une troisième zone S .

Nous distinguons donc deux types de transition. Dans la transition autour du contact, il y aura prise de contact ou perte de contact suivant le sens. Dans la transition autour de la pénétration, il y aura pénétration d'une zone dans une autre ou extraction suivant le sens. Toutes ces transitions sont accompagnées de création ou perte de zones ou de points de tangence. Nous pouvons les résumer dans le tableau suivant :

	transition	type	zone	tangence
(1)	(a)→(b)	contact	+1	+1
(2)	(a)←(b)	contact ⁻¹	-1	-1
(3)	(b)→(c)	pénétration	+1	-1
(4)	(b)←(c)	pénétration ⁻¹	-1	+1

Prenons l'exemple de la transition de $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$ vers $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ (voir figure 3.33). Dans ce changement une nouvelle partie est créée puisque l'élément b de la matrice augmentée de 1. Les transitions qui augmentent le nombre de parties sont les transitions (1) et (3). Il s'agit donc d'une de ce deux transitions.

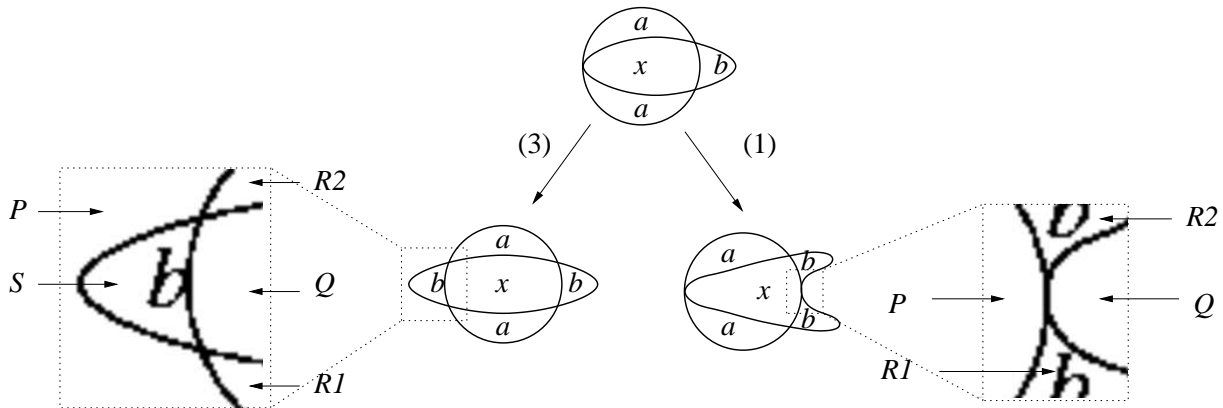


FIG. 3.33 – Une transition provenant de deux déformations à la fois

Pour la transition (1), il s'agit d'un contact. Sur la figure 3.33 nous avons agrandi la partie où s'est effectué le contact. Nous reconnaissons les éléments P, Q, R_1 et R_2 de la figure 3.32.(b). Pour la transition (2), il s'agit d'une pénétration, nous avons aussi noté les éléments de la figure 3.32.(c) sur un agrandissement. [Gal98] nomme ces transitions sous la forme X_y . La variable X prend la valeur C pour un contact et P pour une pénétration. La variable y prend la valeur de la position de la matrice correspondant à la zone créée. Sur notre exemple la transition (1) sera nommée C_b et la transition (2) sera nommée P_b .

Que se passe-t-il pour les points de tangence lorsqu'il y a deux transitions simultanées ? Trois cas vont être possibles : soit les deux transitions impliquent toutes deux un gain de point de tangence (I), soit elles impliquent toutes deux une perte de point de tangence (II), soit l'une implique un gain et l'autre une perte de point de tangence (III).

Que se passe-t-il lors de la création d'un nouveau point de tangence ? Pour passer d'un état de non-tangence à un état de tangence il est nécessaire de passer par d'autres états de non-tangence (pendant que les deux frontières se rapprochent). Nous pouvons alors en déduire le principe suivant, nommé *principe de tangence* :

À chaque fois qu'un point de tangence est gagné ou perdu, le point de tangence lui-même est présent à l'instant de la transition

Lors d'une double transition simultanée nous pouvons noter par K la matrice avant la double transition ($t < t_0$), L la matrice à l'instant de la transition ($t = t_0$) et M la matrice après la transition ($t > t_0$). Rappelons que nous voulons créer des arêtes diagonales entre celles existantes. Nous voulons donc que la double transition nous fasse passer directement de la matrice K à la matrice M sans passer par une matrice intermédiaire. Puisque nous notons ces trois moments par trois matrices, ceci revient à dire qu'il faut soit que $K = L$ soit que $L = M$. Pour les trois cas *I*, *II* et *III* nous allons voir si cela est possible ou bien impossible.

Le principe de tangence nous dit que le point de tangence est présent lors de la transition. Pour la cas *I*, nous pouvons le reformuler en disant que les points de tangence sont **déjà** présents lors de la transition, ceci implique que $L = M$. Idem pour le cas *II*, nous le reformulerons cette fois-ci en disant que les points de tangence sont **encore** présents lors de la transition, donc $K = L$.

Pour le cas *III*, nous voudrions simultanément un gain et une perte de points de tangence, nous les noterons respectivement $gain(p_1)$ et $perte(p_2)$. À l'instant de la transition p_1 sera **déjà** présent, comme dans le cas *I*. À l'inverse p_2 sera **encore** présent comme dans le cas *II*. Ceci revient à dire qu'à l'instant de la transition, $gain(p_1)$ est effectué mais que $perte(p_2)$ ne l'est pas : il ne sera effectué qu'après. Donc $k \neq L$ et $L \neq M$.

Nous pouvons donc en déduire la règle suivante. Soit deux transitions t_1 et t_2 du graphe d'adjacence de la figure 3.29 telles que t_1 soit une transition d'une configuration c_1 vers une configuration c_2 et que t_2 soit une transition de c_2 vers une configuration c_3 . La double transition consistant à effectuer t_1 et t_2 simultanément sera possible si et seulement si t_1 et t_2 impliquent toutes deux un gain de points de tangence ou si elles impliquent toutes deux une perte de points de tangence.

De façon plus intuitive voyons pourquoi deux transitions impliquant l'une un gain et l'autre une perte de point d'adjacence ne sont pas compatibles. Nous avons dit précédemment qu'il n'était pas possible de passer de la matrice $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ à la matrice $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$. Voyons pourquoi grâce à l'illustration de la figure 3.34.

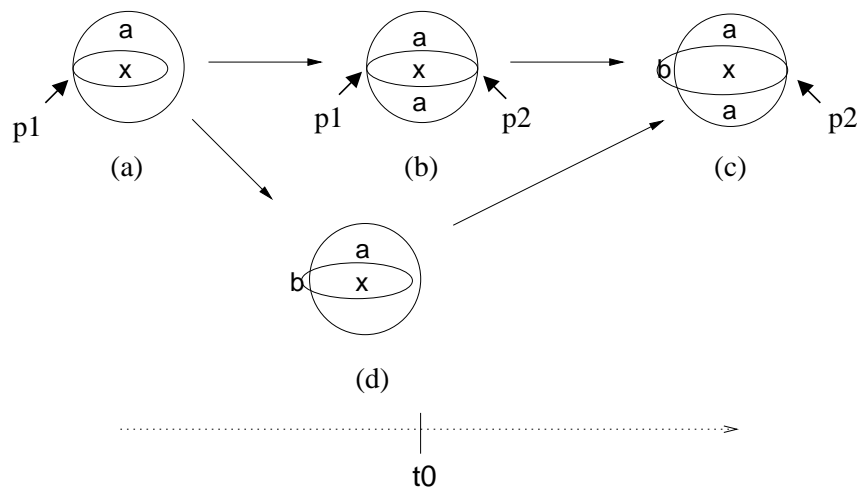


FIG. 3.34 – Exemple de transitions impossibles à effectuer simultanément

Nous nommerons la petite zone ovale Z_1 et la grande zone ronde Z_2 . Sur le schéma (a), nous sommes dans la position $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$. Pour passer dans la configuration (c) il va falloir déplacer la partie gauche de Z_1

vers la gauche et déplacer la partie droite de Z_1 vers la droite. La partie gauche de Z_1 touche la frontière Z_2 , créant ainsi un point de tangence P_1 . Dès qu'elle aura été déplacée vers la gauche d'une distance $d > 0$ ce point n'existera plus. La partie droite de Z_1 , elle, ne touche pas la frontière de Z_2 . Il faut la déplacer d'une certaine distance $d = \Delta$ pour qu'elle entre en contact avec Z_2 .

Nous commencerons par déplacer seulement la partie droite de Z_1 pour la rapprocher de la frontière de Z_2 . Tant que la partie droite de Z_1 n'est pas entrée en contact avec Z_2 nous restons dans la même configuration qu'au schéma (a). C'est seulement à l'instant t_0 qu'elle entrera en contact, créant ainsi le nouveau point de tangence P_2 . Le point P_2 est présent à t_0 , il faudrait donc que P_1 ne le soit plus. Il faudrait déplacer la partie gauche de Z_1 avant t_0 . Or avant t_0 la partie droite de z_1 ne touche pas encore Z_2 : nous passerions alors dans la configuration (d). En d'autres termes, à t_0 il est trop tard pour effectuer ce déplacement, avant t_0 il est trop tôt.

Nous venons de voir un modèle d'analyse spatiale proche du modèle de RCC-8 et du modèle n-intersections dans son fonctionnement, c'est-à-dire qu'il décompose l'ensemble des schémas en un nombre fini et raisonnable de configurations et qu'il construit un graphe d'adjacence. La conception de ce graphe relève d'une nouvelle façon de faire. Elle part du principe intuitif : déformer plusieurs parties de la zone à la fois, et démontre quelles déformations vont alors être possibles. Nous avons ici un modèle d'analyse tout à fait apte à remplir le rôle de fonction d'interprétation.

3.2.5 Le vague

Le dernier domaine d'analyse spatiale que nous allons voir concerne le traitement du vague. L'unique modèle étudié permet de représenter la relation entre deux zones dont les frontières sont indéterminées.

“The Egg-Yolk representation”

La représentation en « œuf au plat » va permettre de représenter la surface occupée par une zone avec une incertitude sur les frontières [CG96, CG94a, CG94b]. Sur la figure 3.35, deux zones sont représentées, les parties sombres représentent la surface minimale occupée par les zones. Autour, les surfaces maximales sont délimitées par les traits. Nous introduirons la notion de fixage ou “*crisping*” notée CR. Soit deux régions X et Y , $CR(X, Y)$ signifie que la région Y est la région X dont la frontière vague a été fixée. Cette frontière fixe va donc se situer entre la zone minimale et la zone maximale.

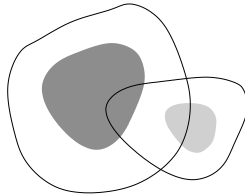


FIG. 3.35 – La représentation d'une zone en « œuf au plat »

L'analyse des relations entre ces deux types de zones va se faire selon le même principe que le modèle RCC-8 mais avec seulement cinq relations. Les relations EC et DC, TPP et NTPP ainsi que TPPi et NTPPi ne sont pas différenciées (voir figure 3.36). Sur ce modèle, en tenant compte des intersections des parties maximales en minimales en elles, 46 relations sont possibles.

Les 5 configurations de ce nouveau modèle vont aussi être regroupées dans un graphe d'adjacence (voir figure 3.37). À ce graphe, peuvent être associés des sous-graphes de dimensions 1,2,3,4 ou 5 :

$$\begin{aligned} & \{\{DR\}, \{PO\}, \{PP\}, \{PPi\}, \{EQ\}, \\ & \{DR, PO\}, \{EQ, PP\}, \{EQ, PPi\}, \{PO, PP\}, \{PO, PPi\}, \{EQ, PO\}, \\ & \{DR, PO, PP\}, \{DR, PO, PPi\}, \{PO, PP, EQ\}, \{PO, PPi, EQ\}, \{PP, PPi, EQ\}, \{DR, PO, EQ\}, \{PO, PPi, PP\}, \\ & \{DR, PO, PP, PPi\}, \{EQ, PO, PP, PPi\}, \{DR, PO, PPi, EQ\}, \{DR, PO, PP, EQ\}, \\ & \{DR, PO, PP, PPi, EQ\}\} \end{aligned}$$

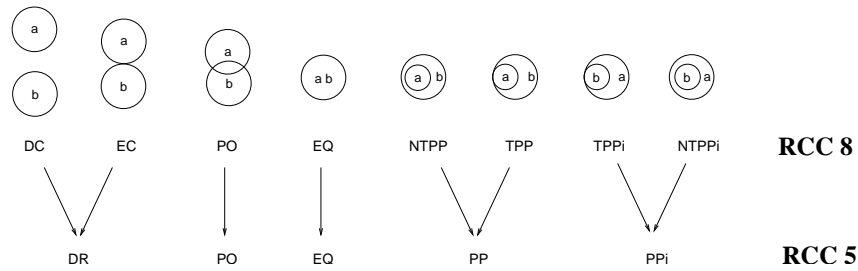


FIG. 3.36 – Le modèle RCC-8 simplifié à cinq relation : RCC-5

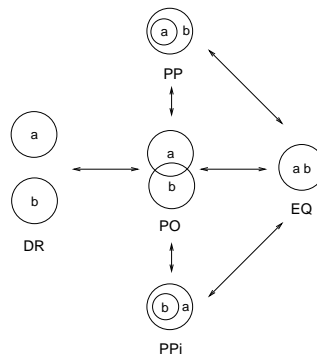


FIG. 3.37 – Le graphe d'adjacence associé au modèle RCC-5

Si nous analysons la relation entre les deux zones de la figure 3.35, du fait de l'indétermination des frontières, plusieurs cas sont envisageables. Nous pouvons fixer la zone de gauche à sa taille maximale. La zone de droite peut alors elle aussi être fixée à sa taille maximale mais elle peut également être fixée à sa taille minimale. Inversement la zone de gauche peut être fixée à sa taille minimale et la zone de droite à sa taille minimale ou maximale.

Sur l'exemple de la figure 3.38, nous avons donc quatre possibilités correspondant aux deux relations PO et DR du modèle RCC-5. Cet ensemble de relations, $\{PO, DR\}$, correspond à un sous graphe de dimension 2. Nous pouvons alors nous poser la question suivante : parmi les sous graphes cités, lesquels correspondent aux relations possibles lors de la fixation des frontières de deux zones vagues ?

Prenons par exemple le sous-graphe de dimension 1, $\{EQ\}$. Cette configuration unique peut-elle être la seule solution résultant de la fixation de deux zones vagues ? Pour que ce soit le cas il faudrait que les deux zones soient EQ et surtout que leurs frontières ne soient pas vagues. Ce sous graphe ne sera donc pas retenu. Tous les autres sous-graphes de dimension 1 seront retenus. Le sous graphe $\{DR\}$ peut être la seule solution pour deux zones vagues très éloignées, elles seront nécessairement disjointes. Les ensembles $\{PP\}$ ou $\{PPI\}$ peuvent être les seules solutions pour une zone vague A au coeur d'une zone vague B beaucoup plus grande. Même si la zone A est fixée à son maximum et B à son minimum, A sera toujours contenue dans B . Pour $\{PO\}$, observons le schéma 3.39. Quelle que soit la façon dont les zones seront fixées, elles seront en relation PO.

En raisonnant ainsi l'ensemble des sous graphes correspondant aux relations possibles lors de la fixation des frontières de deux zones vagues va se limiter aux sous-graphes suivants :

- $\{DR\}, \{PO\}, \{PP\}, \{PPI\},$
- $\{DR, PO\}, \{EQ, PP\}, \{EQ, PPI\}, \{PO, PP\}, \{PO, PPI\},$
- $\{DR, PO, PP\}, \{DR, PO, PPI\},$
- $\{EQ, PO, PP, PPI\},$
- $\{DR, PO, PP, PPI, EQ\}$

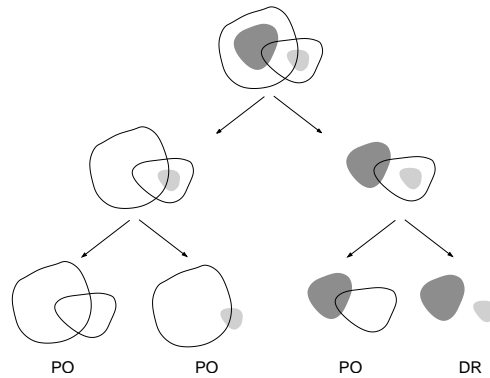


FIG. 3.38 – Les quatre relations possibles entre les deux zones suivant l’endroit où il est décidé de placer leurs frontières

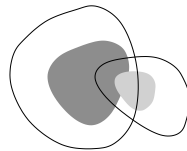


FIG. 3.39 – Un schéma dont la fixation des zones vagues correspond nécessairement à la relation PO.

À l’ensemble $\{DR, PO\}$ peut être associé le sens “jamais une zone n’est une partie d’une autre”. À l’ensemble $\{DR\}$ peut être associé le sens “aucune partie des deux zones ne se recouvrent”.

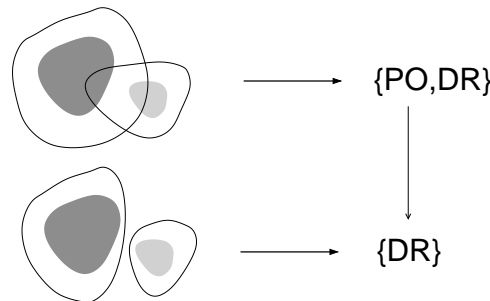


FIG. 3.40 – Création d’un graphe d’adjacence entre les configurations vagues à l’aide des sous-graphes et de la relation d’appartenance.

Ainsi le schéma de la figure 3.36 va impliquer une solution appartenant à $\{DR, PO\}$. De la même façon des zones vagues éloignées impliquent une solution appartenant à $\{DR\}$. Nous pouvons alors lier les ensembles par une relation d’inclusion. Alors un lien est établi de $\{DR, PO\}$ vers $\{DR\}$, voir figure 3.40. Nous avons ainsi recréé un graphe d’adjacence entre les configurations vagues signifiant qu’une fixation partielle d’une configuration à l’origine d’une flèche peut aboutir à une configuration à l’extrémité de la flèche.

Conclusion

Nous venons de voir quelques-uns des principaux modèles d’analyse spatiale qualitative. L’ensemble de ces modèles nous donne un aperçu de ce que peuvent relever les *fonctions d’interprétation*. Au sein

d'une fonction d'interprétation, nous avons évoqué l'ambiguïté d'appréciation, d'où l'existence de graphes d'adjacence conceptuelle. Ces graphes, propres à un modèle, établissent des liens entre les configurations spatiales qu'ils relèvent.

Nous allons maintenant proposer de classer ces différents modèles d'analyse. Cette classification va positionner les modèles entre eux suivants trois liens (voir figure 3.41) :

- Élargissement : un modèle B élargit un autre modèle A , c'est-à-dire que B relève les mêmes aspects géographiques que A mais sur un domaine d'objet plus large
- Extension : un modèle A étend un autre modèle B , c'est-à-dire que A étend les aspects géographiques relevés par B
- Transformation : un modèle A transforme un modèle B , c'est-à-dire que A relève d'autres configurations que B mais sur le même aspect géographique.

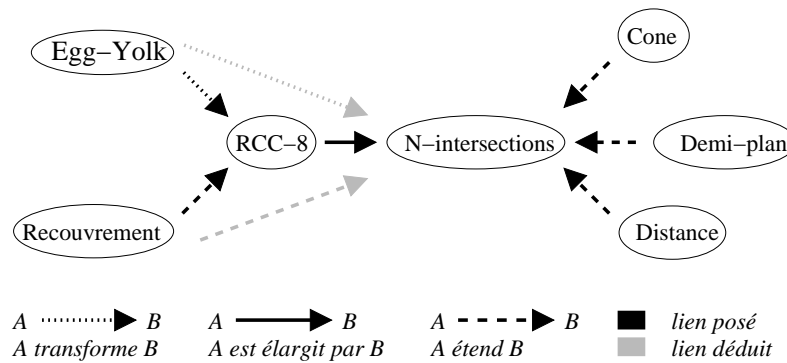


FIG. 3.41 – Les 7 modèles d'analyse spatiale liés par 3 types de dépendance.

Le système en cône comme le système en demi-plan se positionnent sur une zone ou sur un point. L'objet intersectant les cônes ou les demi-plans peut aussi bien être une zone, une ligne ou un point. Donc ces deux systèmes s'appliquent sur les mêmes objets que le modèle n-intersections, ils relèvent l'orientation entre les objets que ne relève pas le modèle n-intersections. Nous dirons qu'ils étendent le modèle n-intersections. Il en est de même pour le calcul des distances, ce modèle est d'ailleurs fait explicitement pour affiner certaines relations du modèle n-intersections.

L'étude du recouvrement analyse la configuration *PO* (*Partially Overlap*) du modèle RCC-8. Elle étend donc le modèle en relevant plusieurs configurations là où RCC-8 n'en relève qu'une seule. L'étude du flou avec le modèle en « œuf au plat » passe par une transformation du modèle RCC-8 qui relève toujours des configurations topologiques mais avec une incertitude sur la frontière des objets.

Le modèle n-intersections, quant à lui, reprend le principe de RCC-8 et l'élargit aux lignes et aux points. Le modèle RCC-8 trouve un élargissement dans le modèle n-intersections et est étendu par le modèle du recouvrement. Nous en déduisons que le modèle du recouvrement peut aussi être considéré comme une extension du modèle n-intersections. De même le modèle en « œuf au plat » qui est une transformation du modèle RCC-8 peut aussi être considéré comme une transformation du modèle n-intersections.

À l'aide de nos trois liens, nous venons de placer nos modèles d'analyse spatiale au sein d'un graphe dans lequel le modèle n-intersections se trouve lié à tous les autres modèles. Cette place privilégiée au sein d'un graphe portant sur les fonctionnalités nous invite à attribuer à ce modèle des qualités d'universalité et de généralité. En traitant trois types d'objets, il traite tous les objets traités par l'ensemble des autres modèles présentés ici, d'où le terme, « universel », à relativiser. Les autres modèles pouvant être considérés sont des extensions ou des transformations du modèle n-intersections, d'où sa généralité.

Ce chapitre clôt la première partie de cette thèse qui était un état de l'art. Au cours des chapitres précédents nous avons étudié les interfaces d'accès à l'information géographique. Nous y avons pris connaissance des divers problèmes posés dans les interfaces textuelles et dans les interfaces visuelles. Nous nous sommes plus particulièrement intéressé à ces dernières pour lesquelles nous avons donné une représentation formelle. À l'aide de cette représentation, nous avons fait apparaître les ambiguïtés dans

les interfaces visuelles comme une difficulté à rendre une phrase visuelle *full*. Nous nous sommes intéressé en particulier aux interfaces par métaphore du tableau noir, celles qui concernent le projet Antéserveur Géographique.

Ces ambiguïtés provenaient des nombreuses façons d'analyser spatialement un schéma. Elles nous ont alors conduit à étudier l'analyse spatiale qualitative. Nous pouvons donc dire que cet état de l'art a porté sur deux points : les interfaces d'accès à l'information géographique et l'analyse spatiale qualitative. C'est sur ces deux points que va également porter la partie suivante qui va traiter du projet Antéserveur Géographique. Nous venons de dire plus haut qu'une interface par métaphore du tableau noir devait être capable de déterminer quelle fonction d'interprétation et quelle image doivent être choisies. Nous y présenterons une interface et un modèle d'analyse spatiale aptes à effectuer ces choix.

Deuxième partie

L'Antéserveur Géographique

Chapitre 1

Fonctionnement de l'interface

Dans la partie précédente, consacrée à l'état de l'art, deux domaines ont été étudiés. L'étude du domaine des langages d'accès à l'information a permis de relever des problèmes de sur-spécification dans les interfaces par métaphore du tableau noir. Ces sur-spécifications ont conduit à un problème de choix, à savoir : quelle fonction d'interprétation choisir parmi celles qui se présentent à nous ?

Cette question présupposait que l'on dispose de plusieurs fonctions d'interprétation. Quelles étaient alors ces fonctions ? D'où provenaient-elles ? La réponse à ces questions a été apportée par l'étude d'un second domaine, celui de l'analyse spatiale qualitative. L'état de l'art a montré différents modèles d'analyse spatiale, chacun analysant, interprétant à sa façon des dispositions spatiales possibles entre les objets. Toutes ces façons d'interpréter donnaient autant de fonctions d'interprétation potentielles.

Une seconde ambiguïté avait été soulevée : l'ambiguïté d'appréciation. Avec cette ambiguïté il faut parfois appliquer la fonction d'interprétation non pas sur le schéma de l'utilisateur mais sur un schéma voisin. Les modèles d'analyse spatiale ont montré différents concepts de voisinages. Avec le modèle de [BCLM95], ces deux problèmes d'ambiguïté se sont résumés à un problème de choix (voir figure 1.1) :

- pour les problèmes de sur-spécification : quelle fonction d'interprétation choisir ?
- pour la spécification incertaine : quelle image choisir ?

Cette méthode introduit la notion de phrase visuelle qui doit être $full : int(i) = d$.

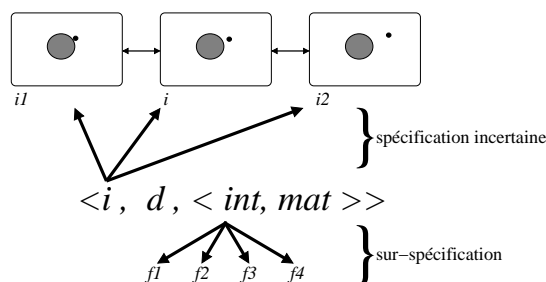


FIG. 1.1 – Deux problèmes d'ambiguïté impliquant de multiples choix dans l'interprétation.

Dans l'introduction, nous avons introduit le principe du feedback sémantique sur lequel repose le fonctionnement de l'interface. Ce chapitre va commencer par présenter plus en détail ce nouveau mode d'interaction bimodal. Nous parlerons ensuite de l'analyse que le système va faire de ce schéma, c'est-à-dire des aspects géographiques qu'il va extraire de ce schéma. Cette section sera en liaison avec le chapitre précédent : *L'Analyse Spatiale Qualitative* qui énumère différentes techniques d'analyse spatiale relatives à différents aspects de la géographie.

1.1 Une modification du mode d'interaction

Cette section va se décomposer en deux parties. Dans la première nous allons expliquer comment se fera l'interaction au sein de l'interface de l'Antéserveur Géographique, toujours en utilisant le modèle de [BCLM95]. Le but du mode d'interaction qui aura été choisi est de résoudre les quatre problèmes de sur-spécification et de spécification incertaine posés aux chapitres précédents. Dans la seconde partie nous allons donc reprendre un à un ces différents problèmes d'ambiguïté et montrer comment notre nouveau mode d'interaction permet de résoudre ces problèmes.

1.1.1 Multiples interprétations

Au chapitre précédent nous avons vu comment s'effectuait l'interaction sur une interface par métaphore du tableau noir. Rappelons-le brièvement. L'utilisateur possède une image d de ce qu'il souhaite spécifier. Il va matérialiser cette description d en créant son image i via sa propre fonction de matérialisation. Le système va alors interpréter cette image i pour s'en faire une représentation interne : $int(i)$. Nous obtenons alors la phrase visuelle :

$$\langle i, d, \langle int, mat \rangle \rangle$$

De nombreux problèmes d'ambiguïté font qu'il n'est pas assuré que cette phrase soit *full*. Nous ne sommes pas sûr que $int(i) = d$.

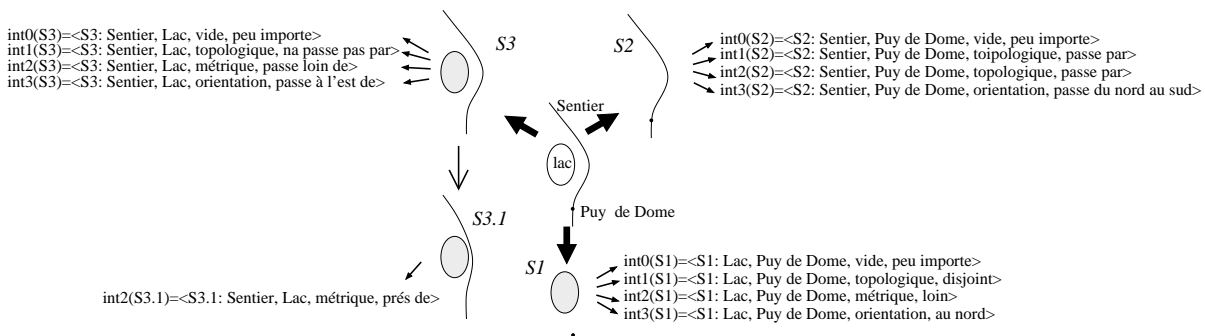


FIG. 1.2 – Un schéma constitué d'une image S décomposable en trois sous-images S_1 , S_2 et S_3 . Suivant la fonction d'interprétation choisie, chacune de ces sous-images donne lieu à quatre phrases visuelles différentes. La sous-image S_3 peut être transformée en $S_{3.1}$ pour donner une cinquième phrase visuelle.

Dans la figure 1.2, nous avons repris un exemple de recherche des chemins passant près d'un lac et allant au Puy de Dôme. Nous avons vu que chaque paire d'objets représentait une phrase visuelle. Des ambiguïtés impliquaient des indéterminations pour construire chaque phrase visuelle. Il y avait un problème de choix, plusieurs phrases étaient possibles pour caractériser la relation entre deux objets. En construisant plusieurs phrases visuelles, ce problème de choix se répète.

Sur notre exemple il nous faut trois phrases visuelles. A cause des divers problèmes d'ambiguïté, nous avons $4 \times 4 \times 5 = 80$ façons possibles de construire ces phrases visuelles. De multiples combinaisons sont possibles. Laquelle de ces combinaisons faut-il choisir pour satisfaire l'utilisateur ? La section qui suit, sur la bimodalité, tâche d'apporter une solution pour ce choix.

1.1.2 Bimodalité : le « Feedback Sémantique »

La section précédente, sur l'interprétation, présentait le fonctionnement « standard » d'une interface par métaphore du tableau noir, c'est-à-dire l'interprétation d'un schéma. Compte tenu des ambiguïtés que cela laisse subsister, notre interface propose un mode d'interaction bimodal pour y remédier. Le principe est d'utiliser la complémentarité entre deux modalités. Les deux pouvant avoir leurs qualités et

leurs défauts, il faut que les défauts de la première ne soient pas les mêmes que ceux de la seconde. Ainsi, l'usage des deux modalités simultanément doit permettre de réduire leurs défauts.

Les défauts du mode graphique ont été mis en évidence, il s'agit d'ambiguïtés. À l'aide des modèles disponibles nous venons de représenter ces ambiguïtés comme de multiples descriptions parmi lesquelles il fallait faire un choix. L'ambiguïté se formule par la question : comment choisir ? Pour lever les ambiguïtés, c'est-à-dire pour effectuer ce choix nous proposons de recourir à une seconde modalité, complémentaire au schéma. Cette seconde modalité se nomme « *Feedback Sémantique* ». Ce *Feedback* consiste à montrer à l'utilisateur les différentes interprétations possibles. Ces différentes interprétations correspondent à différentes façons de compléter les phrases visuelles.

La phrase visuelle est un concept abstrait dont ni l'utilisateur, ni la machine ne connaissent complètement le contenu. Rappelons qu'elle comporte quatre champs : une image i , une description d , une fonction d'interprétation $int(x)$ et une fonction de matérialisation $mat(x)$:

$$\langle i, d, \langle int(x), mat(x) \rangle \rangle .$$

Le système y « écrit » $mat(x)$ et $int(x)$, l'utilisateur y « écrit » i et d .

Au départ, toutes les phrases visuelles ne contiennent que la fonction de matérialisation propre au système. Si nous considérons un utilisateur souhaitant faire une requête, nous pouvons représenter sa requête sous forme de descriptions entre des paires d'objets. Ces descriptions iront compléter les phrases visuelles. Si nous nous rapportons à l'exemple de la figure 1.2, exemple d'un utilisateur cherchant les chemins passant près d'un lac et par le Puy de Dôme, cette demande va correspondre aux trois phrases visuelles suivantes :

$$\begin{aligned} &\langle ? , \langle S_1 : lac, Puy de Dôme, vide, peu importe \rangle , ? , mat(x) \rangle \\ &\langle ? , \langle S_2 : sentier, Puy de Dôme, topologique, passe par \rangle , ? , mat(x) \rangle \\ &\langle ? , \langle S_3 : sentier, lac, métrique, passe près de \rangle , ? , mat(x) \rangle \end{aligned}$$

L'utilisateur va ensuite schématiser sa requête à l'aide des trois sous-images S_1 , S_2 et S_3 qui vont donc être intégrées à leur tour dans les trois phrases visuelles :

$$\begin{aligned} &\langle S_1, \langle S_1 : lac, Puy de Dome, vide, peu importe \rangle , ? , mat(x) \rangle \\ &\langle S_2, \langle S_2 : sentier, Puy de Dome, topologique, passe par \rangle , ? , mat(x) \rangle \\ &\langle S_3, \langle S_3 : sentier, lac, métrique, passe près de \rangle , ? , mat(x) \rangle \end{aligned}$$

La machine doit ensuite trouver les fonctions d'interprétation satisfaisantes et éventuellement changer d'image.

Il y a alors les $4 + 4 + 4 + 1 = 11$ façons différentes d'interpréter le schéma sur l'exemple (figure 1.2). Pour effectuer le bon choix, nous allons montrer à l'utilisateur les différentes descriptions résultant des multiples fonctions d'interprétation. Pour la sous-image S_1 par exemple, nous allons lui donner à choisir entre les quatre descriptions :

$$\begin{aligned} &\langle S_1 : lac, Puy de Dôme, vide, peu importe \rangle \\ &\langle S_1 : lac, Puy de Dôme, topologique, disjoint \rangle \\ &\langle S_1 : lac, Puy de Dôme, métrique, loin \rangle \\ &\langle S_1 : lac, Puy de Dôme, orientation, au nord \rangle \end{aligned}$$

Ces descriptions ne sont que des concepts virtuels. Pour les montrer à l'utilisateur il faut leur donner une forme lisible. Les travaux de [OALG02, GS02, OAL03] ont montré l'intérêt d'utiliser la langue naturelle. Dans le projet, c'est donc le *microtexte* [OALG02, OAL03] qui a cette fonction. C'est une phrase courte qui est formée avec les trois champs OBJET1, OBJET2 et RELATION de la description. Pour la sous image S_1 , l'utilisateur verrait alors les microtextes :

Peu importe la relation entre le lac et le Puy de Dôme.
Le lac est disjoint du Puy de Dôme.
Le lac est loin du Puy de Dôme.
Le lac est au nord du Puy de Dôme.

Il pourra alors choisir le premier microtexte, sélectionnant ainsi la première description qui elle-même correspond à la fonction $int_0(x)$ sur l'image S_1 non modifiée. Ce choix impliquera la phrase visuelle qui est bien *full* :

$$\langle S_1, \langle S_1 : lac, Puy de Dôme, vide, peu importe \rangle, int_0(x), mat(x) \rangle$$

De la même façon, l'utilisateur permettra la construction des deux autres phrases visuelles :

$$\begin{aligned} &\langle S_2, \langle S_2 : sentier, Puy de Dôme, topologique, passe par \rangle, int_1(x), mat(x) \rangle \\ &\langle S_{3.1}, \langle S_{3.1} : sentier, lac, métrique, passe près de \rangle, int_2(x), mat(x) \rangle \end{aligned}$$

Nous venons de montrer, sur le modèle formel, comment notre interaction bimodale lève les ambiguïtés. Nous allons maintenant reprendre un à un les exemples sur lesquels nous avons relevé ces ambiguïtés et montrer comment la bimodalité traite ces problèmes.

1.2 Retour sur les cas de sur-spécification

Les quatre cas de sur-spécification que nous avons mis en évidence dans le chapitre précédent portent sur l'absence de contrainte spatiale, les différents aspects de la géographie, la précision spatiale et les sous-objets. Pour poser ces problèmes nous nous étions servis d'exemples. Nous allons reprendre chacun d'entre eux sur notre nouvelle interface.

Grâce à ces exemples, nous verrons comment la matérialisation sous forme de microtextes et la liberté de modifier ces microtextes permettent de résoudre ces problèmes de sur-spécification. Pour chacun des exemples nous tâcherons de mettre en évidence la complémentarité entre le schéma et le texte. Cette synthèse a déjà été faite dans un précédent travail de thèse [OAL03] portant précisément sur la justification du feedback sémantique. Nous allons ici refaire le même travail, simplifié mais mis en relation avec notre étude théorique des langages visuels. En conclusion nous introduirons alors la notion de *glissement de sens*, déjà introduite par le travail de [OAL03], nécessaire à la modification des microtextes.

1.2.1 Absence de contrainte spatiale

Le problème d'absence de contrainte porte sur le cas d'un utilisateur ne souhaitant pas spécifier de contrainte entre deux objets. L'exemple donné est représenté figure 1.3. Il s'agit d'un utilisateur qui cherche un sentier traversant une forêt et passant à côté d'un lac.

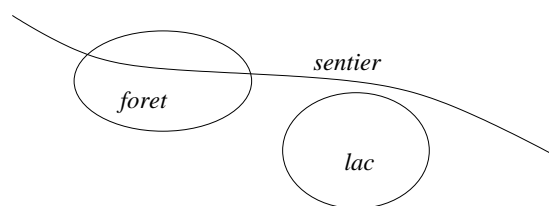


FIG. 1.3 – Absence ou présence de contraintes

Sur notre interface le lac va être jugé *proche* de la forêt, et cette contrainte ne sera pas affichée. La matérialisation prendra alors la forme du microtexte suivant :

*Le sentier traverse la forêt et passe à côté du lac
Le lac est proche de la forêt*

L'utilisateur va se rendre compte de la contrainte qui a été posée entre le lac et la forêt. Ne la souhaitant pas, il va modifier la matérialisation de façon à supprimer cette contrainte :

Le sentier traverse la forêt et passe à côté du lac

Sur cet exemple, la sur-spécification du schéma a conduit à spécifier la contrainte *proche* là où aucune contrainte n'était souhaitée. Dans une interface par métaphore du tableau noir "classique", rien n'aurait mis en évidence cette contrainte. Grâce à la matérialisation, cette contrainte a pu être mise en évidence et supprimée par l'utilisateur.

Ici ce n'est pas le contenu d'un microtexte qui a levé l'ambiguïté. L'existence même du microtexte portant sur les deux objets Lac et Forêt impliquait une contrainte entre les deux objets alors qu'il n'en fallait pas. Nous avons donc utilisé la complémentarité d'un mode qui explique et qui énumère une à une les contraintes pour résoudre le problème. La matérialisation sous forme de microtextes donne satisfaction pour ce type de problème.

1.2.2 Les différents aspects de la géographie

Pour ce problème, l'exemple que nous avons analysé était celui d'un utilisateur qui cherche les campings dans le nord des Vosges. Sur notre interface il peut alors construire un schéma tel que celui de la figure 1.4.

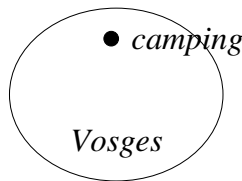


FIG. 1.4 – Comment caractériser la position du camping par rapport à la région des Vosges ?

En utilisant différentes fonctions d'interprétation, le système peut obtenir les résultats suivants : (S représente la sous-image du camping et des Vosges) :

- $int_1(S) = \langle S : \text{camping, Vosges, topologique, dedans} \rangle$
- $int_2(S) = \langle S : \text{camping, Vosges, métrique, sur le bord} \rangle$
- $int_3(S) = \langle S : \text{camping, Vosges, orientation, dans le nord} \rangle$

Un premier choix peut se porter arbitrairement sur l'interprétation $int_{1_{spatiale}}(x)$, nous aurons alors la matérialisation :

Le camping est dans les Vosges.

L'utilisateur va voir alors que ce n'est pas ce qu'il souhaite spécifier et demander une modification. Les deux autres fonctions d'interprétation seront utilisées. Seront alors proposées par microtextes les matérialisations suivantes :

*Le camping est près de la frontière des Vosges.
Le camping est dans le nord des Vosges.*

il choisira naturellement la seconde et aura ainsi modifié la matérialisation pour obtenir :

Le camping est dans le nord des Vosges.

Cet exemple portait sur un problème de choix de l'aspect géographique à retenir. Le schéma évoquait tous les aspects à la fois. C'est ici la complémentarité du texte, avec sa précision sur la contrainte posée par la fonction d'interprétation qui a permis de résoudre le problème.

1.2.3 Précision spatiale

L'exemple que nous avons utilisé était celui d'un utilisateur cherchant tous les fleuves qui coupent le Calvados en deux parties égales. Il peut alors spécifier cette requête par la figure 1.5.

Pour interpréter sur ce schéma que les deux parties sont de tailles approximativement égales, le système doit être capable de discerner les configurations 1.6.a et 1.6.b. Si le système n'est pas capable de faire ce discernement, comment en faire prendre conscience à l'utilisateur ?

Le système va matérialiser son interprétation par le microtexte :

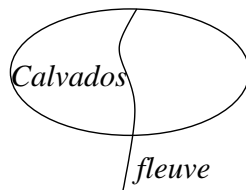


FIG. 1.5 – L'exemple du fleuve traversant le Calvados

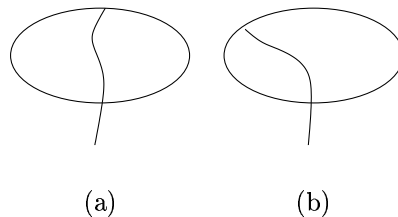


FIG. 1.6 – Deux configurations qui peuvent être différenciées à condition de relever certaines précisions spatiales.

Le fleuve coupe le Calvados.

En voyant que le microtexte n'évoque aucune égalité entre les deux parties du Calvados il pourra en déduire que cette égalité qu'il souhaitait spécifier n'a pas été retenue par le système. Nous retrouvons une complémentarité entre le microtexte et le schéma.

Le cas inverse pourrait aussi se produire. Le système serait capable de comparer les deux parties du Calvados et de discerner les configurations 1.6.a et 1.6.b. L'utilisateur, lui, voudrait simplement trouver un fleuve coupant le calvados en deux.

Dans ce cas, l'utilisateur pourrait toujours matérialiser sa requête par le schéma 1.5 sans prêter attention à l'égalité des deux parties du Calvados sur ce schéma. Le système matérialiserait alors son interprétation comme suit :

Le fleuve coupe le Calvados en deux parties d'égales surfaces.

L'utilisateur prendrait alors conscience que le système tient compte de l'égalité des deux surfaces. Nous nous retrouvons alors face à une ambiguïté due aux différents aspects de la géographie. Il faudrait seulement tenir compte de l'aspect topologique et pas de la façon dont le fleuve coupe le Calvados. Il demanderait alors à changer ce microtexte. Une autre fonction d'interprétation serait utilisée, cette fois elle ne tiendrait pas compte de l'égalité des surfaces :

Le fleuve coupe le Calvados en deux parties.

Dans les deux exemples, le microtexte a permis à l'utilisateur de prendre conscience que le système était soit moins précis que son schéma, soit trop précis par rapport à ce qu'il souhaitait spécifier.

1.2.4 Sous-objets

L'exemple étudié était le suivant : une rivière traverse une forêt, la coupant alors en deux rives, droite et gauche. Dans la forêt se trouve un étang, rive droite sur le dessin. Un schéma représentant cette requête se trouve figure 1.7. Il faut alors savoir si l'étang doit simplement se trouver dans la forêt ou bien s'il doit spécifiquement être rive droite dans la forêt ?

Après interprétation, la matérialisation proposée par le système va être la suivante :

*La rivière traverse la forêt.
L'étang est dans la forêt.
L'étang est sur la rive droite de la rivière.*

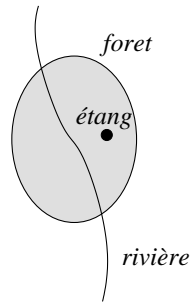


FIG. 1.7 – Une forêt traversée par une rivière. Elle se trouve alors divisée en deux sous-objets, la rive droite et la rive gauche.

À la lecture des trois microtextes, l'utilisateur pourra conclure que dans son interprétation du schéma, la machine place bien l'étang dans la partie de la forêt située rive droite : sur le schéma, la rivière divise bien la forêt en deux parties et l'étang est bien dans la forêt. Il en a confirmation par les deux premiers microtextes. Du troisième microtexte il pourra inférer que l'étang représenté est situé sur la rive droite de la forêt.

Si cette solution ne lui convient pas et s'il ne voulait rien spécifier entre l'étang et la rivière il peut alors simplement demander la suppression du dernier microtexte :

*La rivière traverse la forêt.
L'étang est dans la forêt.*

Autre hypothèse : l'utilisateur pouvait vouloir spécifier une proximité entre l'étang et la rivière mais sans préciser la rive sur laquelle il se situe. Il va alors demander la modification du troisième microtexte. La machine va lui proposer ces trois alternatives :

*L'étang est proche de la rivière, sur sa rive droite.
L'étang est proche de la rivière.
L'étang est disjoint de la rivière.*

L'utilisateur va alors choisir le second microtexte qui pose une contrainte sur la proximité mais ne spécifie rien quant à la rive sur laquelle se situe l'étang.

*La rivière traverse la forêt.
L'étang est dans la forêt.
L'étang est proche de la rivière.*

L'exemple portait sur un problème de sous-objet. Sous-objet créé ici par le partage en deux d'une zone par une ligne. L'objet zone donnait alors deux sous-objets nommés rive droite et rive gauche. Pour notre système les sous-objets rives droite et gauche n'existent pas explicitement. Cependant, grâce aux spécifications précises des relations avec la ligne, il est possible d'évoquer implicitement des relations avec ces sous-objets. La précision nécessaire à ces spécifications nous a été donnée par les microtextes. C'est encore la complémentarité du texte par rapport au schéma qui nous permet de lever ce problème de sur-spécification.

Conclusion

Nous venons de voir comment résoudre quatre cas d'ambiguïté. Ces résolutions se sont faites en changeant les microtextes proposés par la machine. Ces changements étaient soit des ajouts, des suppressions ou encore des modifications d'un microtexte. Le tableau qui suit récapitule quels types d'ambiguïté nécessitent la suppression ou la modification de microtextes.

<i>Absence de contrainte</i>	suppression
<i>Différents aspects</i>	modification
<i>Précision spatiale</i>	suppression
<i>Sous-objet</i>	modification ou suppression

Pour la suppression, l'utilisateur ordonne seulement au système de ne plus tenir compte d'une contrainte, il n'a qu'à l'enlever de sa liste de contraintes. Pour la modification le problème est différent. Quand un utilisateur demande à modifier un microtexte, le système doit lui proposer un ou plusieurs microtextes à substituer au microtexte initial. Chacun de ces microtextes correspond à des sens différents du sens porté par le microtexte initial. Ces différents sens étant les résultats de différentes fonctions d'interprétation. En changeant de microtexte l'utilisateur va donc changer le sens du microtexte. Cette opération est appelée un *glissement de sens*.

Nous avons vu que ces ambiguïtés correspondaient à un problème de choix d'une fonction d'interprétation. Parfois il y a suppression de la contrainte. Ceci va alors revenir à utiliser une fonction d'interprétation qui, quels que soient deux objets O_1 et O_2 laisse libre leur relation spatiale. Nous la nommerons $int_0(x)$:

$$int_0(S) = \langle S : O_1, O_2, \text{vide, peu importe} \rangle$$

Nous venons de voir les quatre problèmes de sur-spécification. Nous allons maintenant étudier la résolution de l'ambiguïté d'appréciation.

1.3 Retour sur l'ambiguïté d'appréciation

Le système peut être capable de discerner les deux contraintes *proche* et *éloigné*. Considérons le schéma 1.8 réalisé par un utilisateur souhaitant spécifier qu'un vignoble est proche de Pau. La distance qu'il a laissé entre les deux objets lui paraissant suffisamment petite pour évoquer le terme *proche*. Le système, quant à lui, peut attendre une plus petite distance entre les objets pour les qualifier de *proches*, il retournera alors le microtexte :

Le vignoble est loin de Pau.

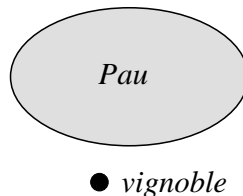


FIG. 1.8 – Un schéma S donnant lieu à un problème d'ambiguïté sur l'appréciation

L'utilisateur verra alors que ce n'est pas le sens qu'il a souhaité donner à sa configuration, il va donc demander à le modifier. Le système doit être en mesure de fournir comme alternative le terme « *proche* » pour satisfaire l'utilisateur. Pour cela il ne va plus considérer le schéma S de l'utilisateur mais un ensemble de schémas voisins, S_1 et S_2 , qui en utilisant la même fonction d'interprétation donneront d'autres descriptions :

$$\begin{aligned} int_2(S) &= \langle S : \text{vignoble, Pau, métrique, loin} \rangle \\ int_2(S_1) &= \langle S : \text{vignoble, Pau, métrique, proche} \rangle \\ int_2(S_2) &= \langle S : \text{vignoble, Pau, métrique, très loin} \rangle \end{aligned}$$

L'utilisateur aura alors le choix entre les microtextes :

Le vignoble est proche de Pau.
Le vignoble est très loin de Pau.

Il choisira le premier microtexte. Nous utilisons ici la précision par le texte pour remédier à une certaine imprécision du schéma.

Comme pour les problèmes de sur-spécification liés aux différents aspects et aux sous-objets, l'utilisateur lève l'ambiguïté en modifiant le microtexte. Nous devons effectuer ce que nous avons préalablement nommé « *glissement de sens* ». Le système doit donc être en mesure de proposer ces glissements de sens pour les deux problèmes de sur-spécification et pour ce nouveau problème : l'ambiguïté d'appréciation. Dans la section suivante nous allons définir comment seront déterminés ces glissements de sens.

1.4 Les glissements de sens

Dans les deux sections précédentes nous avons introduit la notion de *glissement de sens* nécessaire à la résolution de trois problèmes d'ambiguïté. Ces glissements se sont révélés nécessaires pour la raison suivante. Un utilisateur prend connaissance des microtextes caractérisant son schéma. Il signifie à la machine qu'un microtexte ne lui convient pas. Notre mode d'interaction veut alors qu'on propose à l'utilisateur de modifier ce microtexte pour en obtenir un autre ayant un sens voisin. D'où la notion de *glissement de sens*. Selon les modèles préalablement adoptés, ces glissements de sens correspondent soit au choix d'une fonction d'interprétation, soit au choix d'un schéma voisin à interpréter.

La présente section va avoir pour but de déterminer quels glissements de sens vont être proposés à l'utilisateur. En termes de fonction d'interprétation et de voisinage entre schémas : quelles fonctions et quels schémas voisins allons nous proposer à l'utilisateur ?

Nous commencerons par catégoriser les glissements de sens. Nous nous appuyerons pour cela sur un exemple. Cette catégorisation aboutira à distinguer deux types de glissements. Les deux sections suivantes étudieront ces deux catégories. En conclusion nous définirons précisément ce que nous attendons de l'analyse spatiale. Nous verrons la différence avec l'ensemble des modèles et techniques présentés lors de l'état de l'art sur l'analyse spatiale.

1.4.1 Catégorisation des glissements de sens

Pour catégoriser les glissements nous allons partir d'un exemple sur lequel trois types d'ambiguïté seront présents. Nous donnerons volontairement un premier ensemble de microtextes dont aucun ne convient à l'utilisateur. Il devra demander trois modifications correspondant aux trois types d'ambiguïté. En observant quels glissements de sens vont être nécessaires pour satisfaire l'utilisateur, nous les catégoriserons.

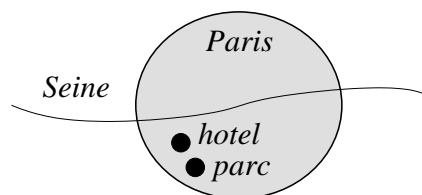


FIG. 1.9 – Un schéma pour rechercher tous les hôtels dans l'ouest de Paris, rive gauche et proche d'un parc.

Soit un utilisateur désirant trouver tous les hôtels dans l'ouest de Paris, rive gauche à côté d'un parc. Il peut alors formuler sa requête par le schéma figure 1.9. Sur ce schéma nous trouvons les trois types d'ambiguïté à la fois, par exemple :

- *Différents aspects* : l'hôtel est-il simplement dans Paris ou bien dans l'ouest ou alors dans le sud-ouest ?
- *Sous-objet* : la Seine partage Paris en deux, l'hôtel doit-il être spécifiquement rive gauche ou bien peut-il être sur n'importe quelle rive ?
- *Ambiguïté d'appréciation* : le parc est-il dessiné suffisamment près de l'hôtel pour qu'il soit qualifié « à côté » ?

La première matérialisation que va retourner le système va spécifier les relations entre toutes les paires d'objets, en cachant les relations « disjoint ». Par exemple le système pourrait faire les interprétations suivantes (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 et S_6 représentent respectivement les sous images formées des couples d'objets Paris-Seine, Paris-hôtel, Paris-parc, Seine-hôtel, Seine-parc et parc-hôtel) :

$int_2(S_1) = \langle S_1 : \textit{Seine, Paris, métrique, traverse} \rangle$
 $int_1(S_2) = \langle S_2 : \textit{hôtel, Paris, topologique, dedans} \rangle$
 $int_1(S_3) = \langle S_3 : \textit{parc, Paris, topologique, dedans} \rangle$
 $int_2(S_4) = \langle S_4 : \textit{hôtel, Seine, métrique, proche} \rangle$
 $int_1(S_5) = \langle S_5 : \textit{parc, Seine, topologique, disjoint} \rangle$
 $int_2(S_6) = \langle S_6 : \textit{parc, hôtel, métrique, proche} \rangle$

Nous aurions alors la matérialisation :

La Seine traverse Paris.
L'hôtel est dans Paris.
Le parc est dans Paris.
L'hôtel est proche de la Seine.
L'hôtel est proche du parc

Comment pourrait réagir un utilisateur face à cette matérialisation ? Il voudrait que l'hôtel soit rive gauche et rien ne le spécifie. Il voudrait que l'hôtel soit à coté d'un parc, il est spécifié qu'ils sont seulement *proches*. L'utilisateur peut lire un à un les microtextes et décider de les conserver ou non.

« *La Seine traverse Paris* »

Cette contrainte concerne deux objets identifiés, elle est géographiquement vraie, qu'il la laisse ou non cela ne change rien, supposons qu'il la supprime.

« *L'hôtel est dans Paris* »

L'utilisateur souhaite effectivement préciser la position de l'hôtel par rapport à la capitale, il la laisse pour la modifier par la suite.

« *Le parc est dans Paris* »

Il voulait surtout préciser que le parc était proche de l'hôtel, il supprime ce microtexte.

« *L'hôtel est proche de la Seine* »

Voulant spécifier que l'hôtel est rive gauche il laisse ce microtexte pour le modifier ultérieurement.

« *Le parc est proche de l'hôtel* »

Il laisse ce microtexte pour pouvoir spécifier qu'ils sont à côté.

La matérialisation va donc se trouver transformée et devenir :

L'hôtel est dans Paris.
L'hôtel est proche de la Seine.
Le parc est proche de l'hôtel.

Ces trois microtextes ne correspondent toujours pas à la requête de l'utilisateur. Pour que ce soit le cas il faudrait maintenant effectuer des transformations pour avoir les microtextes suivants :

L'hôtel est dans l'ouest de Paris.
L'hôtel est rive gauche de la Seine.
Le parc est à coté de l'hôtel.

Pour permettre de telles modifications sur la matérialisation, il faut que le système soit capable de proposer les glissements de sens suivants :

$$\begin{array}{lll} \textit{dans} & \rightarrow & \textit{dans l'ouest} \quad (1) \\ \textit{proche} & \rightarrow & \textit{rive gauche} \quad (2) \\ \textit{proche} & \rightarrow & \textit{\`a cot\`e} \quad (3) \end{array}$$

Analysons quels changements sont effectués dans ces glissements.

Pour le glissement (1), les deux termes « *dans* » et « *dans l'ouest* » ne sont pas contradictoires, l'un est seulement plus précis que l'autre, « *dans* » ne prend en compte que l'aspect topologique, « *dans l'ouest* » tient compte, en outre, de la position cardinale. Pour le glissement (1), il faut passer d'un terme qui ne tient compte que de l'aspect topologique à un terme qui tient compte de l'aspect topologique et de position cardinale.

Pour le glissement (2), c'est le même type de transformation qu'en (1). Le terme « *proche* » ne prend en compte que l'aspect métrique alors que le terme « *rive gauche* » ne prend en compte que l'aspect topologique. Pour le glissement (2), il faut donc passer d'un terme qui ne tient compte que de l'aspect métrique à un terme qui ne tient compte que de l'aspect topologique.

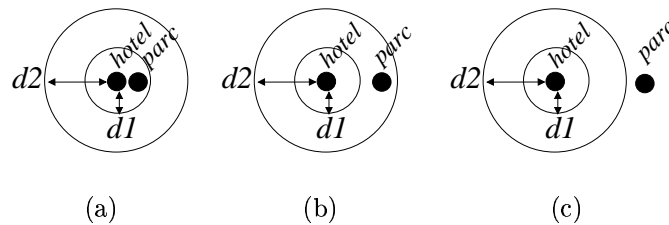


FIG. 1.10 – Appréciation de la distance entre deux points. Ils sont qualifiés (a) d'*\`a cot\`e* si $d < d_1$ (b) de *proches* si $d \geq d_1$ et $d < d_2$ et de (c) *éloignés* si $d \geq d_2$

En ce qui concerne le glissement (3), le problème est différent. Les deux relations *proche* et *\`a cot\`e* font toutes deux référence à l'aspect métrique. Nous pouvons associer ces deux relations à deux points dont la distance est respectivement supérieure et inférieure à une valeur frontière (voir figure 1.10). Proposer ce glissement : *proche* → *\`a cot\`e* revient alors à proposer des changements d'interprétation au sein d'un même aspect géographique, ici l'aspect métrique.

Pour le glissement (1) nous avons ajouté un aspect dans l'interprétation : la position cardinale. Dans le glissement (2) nous avons modifié l'aspect, nous sommes passés de l'aspect métrique à l'aspect topologique. Pour le glissement (3), nous n'avons pas modifié l'aspect sur lequel se fait l'interprétation. Nous avons modifié l'interprétation au sein d'un même aspect.

Les glissements (1) et (2) correspondent à des problèmes de sur-spécification alors que le glissement (3) correspond à une ambiguïté d'appréciation. En termes de fonction d'interprétation et de voisinage de schémas, les glissements (1) et (2) vont engendrer un changement de fonction d'interprétation. Le glissement (3) va engendrer un changement de schéma (du schéma 1.10.b vers le schéma 1.10.a)

Compte tenu de ces trois remarques, nous allons classer nos glissements de sens selon deux types qui sont des glissements inter-aspects et des glissements intra-aspect. Ces deux glissements correspondant respectivement au choix d'une fonction d'interprétation et au choix d'un schéma voisin :

- (1) et (2) : glissement inter-aspects. Il s'agit de changer, supprimer ou encore de combiner différents aspects sur lesquels porte l'interprétation
- (3) : glissement intra-aspect. Il s'agit de considérer, au sein d'un même aspect, des proximités conceptuelles entre les configurations. Des glissements de sens sont alors proposés entre ces configurations proches.

En ce qui concerne l'analyse spatiale, ces deux types de glissement, inter et intra-aspects, seront nommés respectivement « *modularité des aspects* » et « *adjacence conceptuelle* ».

Nous avons résumé la façon de traiter les problèmes d'ambiguïté figure 1.11. Les flèches en trait continu indiquent les types d'ambiguïtés, celles en pointillés les façons de les traiter. Les interfaces par métaphore du tableau noir donnent lieu à cinq problèmes d'ambiguïté classés en deux groupes : ambiguïté

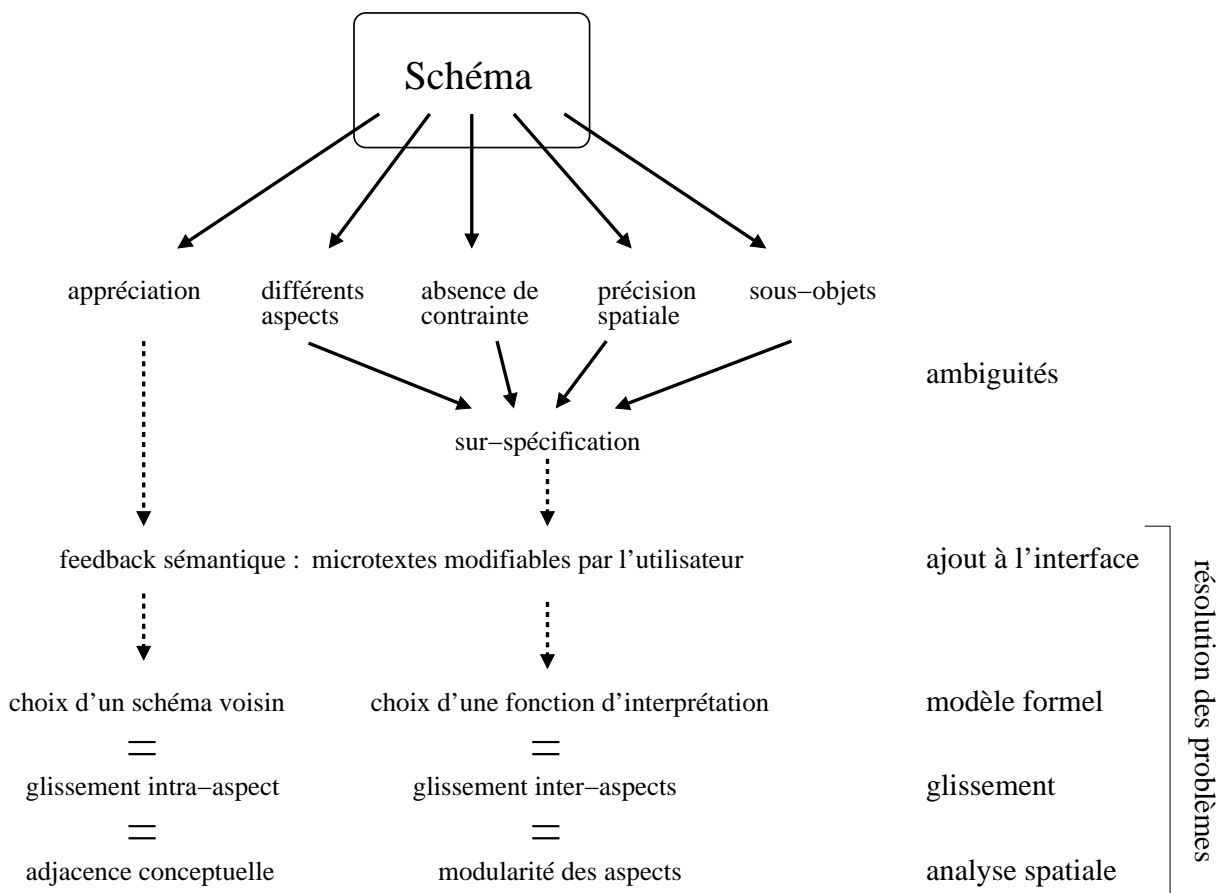


FIG. 1.11 – Résumé des problèmes d'ambiguïtés et de la façon de les résoudre.

d'appréciation et problème de sur-spécification. Pour chacun de ces deux groupes, l'interface que nous proposons traite le problème grâce à l'ajout d'un *feedback sémantique* sous forme de microtextes que l'utilisateur peut modifier. Cette modification entraîne un problème de choix qui peut être représenté selon trois points de vue :

- selon le modèle mathématique : dans le cas des problèmes de sur-spécification il s'agit du choix de la fonction d'interprétation ; dans le cas de l'ambiguïté d'appréciation il s'agit du choix du schéma initial ou d'un schéma voisin
- selon les glissements de sens : dans le cas des problèmes de sur-spécification il s'agit d'un glissement inter-aspects ; dans le cas de l'ambiguïté d'appréciation il s'agit d'un glissement intra-aspect
- selon l'analyse spatiale : dans le cas des problèmes de sur-spécification il s'agit de savoir quel(s) aspect(s) l'analyse spatiale doit retenir, nous parlerons de la modularité des aspects ; dans le cas de l'ambiguïté d'appréciation il s'agit d'une adjacence conceptuelle

Dans les deux sections suivantes, nous allons préciser quels choix nous allons proposer à l'utilisateur. Nous aborderons le problème selon l'analyse spatiale. Ces deux sections traiteront donc respectivement de la modularité des aspects et de l'adjacence conceptuelle.

1.4.2 Modularité des aspects

Dans les sections précédentes, nous avons vu que notre mode d'interaction propose à l'utilisateur des glissements de sens entre des interprétations portant sur différents aspects, avec la possibilité de les combiner entre eux. Chacun de ces glissements de sens se trouve matérialisé sous la forme d'un microtexte. Nous allons maintenant étudier sur un exemple comment se combinent entre elles ces interprétations et comment les microtextes en découlent.

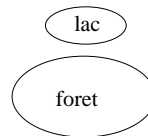


FIG. 1.12 – Un exemple de relation entre deux objets : comment proposer les différentes interprétations à l'utilisateur ?

Prenons l'exemple du schéma représenté sur la figure 1.12. Une petite zone représente un lac, une grande zone représente une forêt. Le lac se situe assez près [P] de la forêt mais en est néanmoins disjoint [D]. Le lac est aussi situé au dessus [N] de la forêt. Faut-il tenir compte de la proximité entre ces deux objets ? Faut-il tenir compte de la situation du lac au dessus de la forêt ? Faut-il tenir compte de ces deux faits à la fois ?

En tenant compte ou non de ces différentes contraintes géographiques nous pouvons déduire différentes combinaisons correspondant chacune à une interprétation. Nous retiendrons les aspects déjà cités : P, D, N, ce qui nous fait $2^3 = 8$ combinaisons possibles donnant lieu à 8 interprétations. Pour chacune des ces interprétations nous donnerons un microtexte la matérialisant. Le tableau 1.13 montre l'ensemble de ces combinaisons et les matérialisations qui en découlent. Pour nommer une interprétation et sa matérialisation qui l'accompagne, nous utiliserons le nombre composé des quatre valeurs binaires de P, D et N pris dans cet ordre. Par exemple la troisième interprétation dans le tableau sera nommée 010.

Notre utilisateur va donc avoir le choix parmi ces huit microtextes. Comment va se faire le choix du premier microtexte qui lui sera proposé ? S'il n'est pas d'accord, alors nous lui donnerons à choisir parmi les sept autres ou pouvons nous en sélectionner certains ? Nous allons maintenant évoquer deux méthodes de navigation dans les microtextes.

La première méthode consiste à donner initialement le microtexte le plus complet. Ensuite l'utilisateur a la possibilité d'éliminer certaines contraintes. Après que l'utilisateur ait dessiné le schéma précédent, la machine peut lui retourner le microtexte 111, c'est-à-dire le plus complet. Si l'utilisateur souhaite en fait simplement spécifier les contraintes contenues dans l'interprétation 001 alors nous pouvons prévoir un moyen d'interaction par élimination des contraintes. Le premier microtexte affiché sera donc :

P	D	N	Matérialisation
0	0	0	<i>Peu importe la relation entre le lac et la forêt</i>
1	0	0	<i>Le lac est proche de la frontière de la forêt</i>
0	1	0	<i>Le lac est disjoint de la forêt</i>
1	1	0	<i>Le lac est proche de la forêt</i>
0	0	1	<i>Le lac est dans le secteur nord de la forêt</i>
1	0	1	<i>Le lac est proche de la frontière nord de la forêt</i>
0	1	1	<i>Le lac est au nord de la forêt</i>
1	1	1	<i>Le lac est juste au nord de la forêt</i>

FIG. 1.13 – Différentes interprétations d'un schéma

Le lac est juste au nord de la forêt

L'utilisateur peut d'abord supprimer le mot « nord » celui-ci correspondant à la contrainte N ceci revient à ne plus tenir compte de cette contrainte. C'est alors l'interprétation 110 qui la remplacera :

Le lac est proche de la forêt

À nouveau l'utilisateur peut choisir de supprimer « proche », la contrainte P n'est plus prise en compte et c'est alors l'interprétation 010 qui sera affichée :

Le lac est disjoint de la forêt

L'utilisateur a supprimé une à une les contraintes correspondantes aux trois aspects qui ne l'intéressaient pas. Entre les microtextes possibles, il a parcouru le chemin :

111 → 110 → 010

Supprimer une contrainte revient à remplacer un 1 par un 0 dans le numéro de l'interprétation. On ne peut supprimer qu'une contrainte à la fois donc entre deux interprétations successives, une seule des quatre valeurs binaires peut être modifiée.

Nous venons de donner une méthode qui part d'une interprétation prenant en compte tous les aspects et qui propose d'en éliminer certains. Une autre solution consiste à choisir une contrainte par défaut, par exemple P : le système retourne par défaut l'interprétation 010 :

Le lac est disjoint de la forêt

Si l'utilisateur n'est pas satisfait par cette interprétation, il aurait alors le choix entre supprimer des contraintes comme précédemment ou bien demander à en ajouter. Quelles autres microtextes lui proposer dans ce cas ? Comme pour la suppression nous pouvons proposer les interprétations dont le numéro varie d'une valeur par rapport à l'interprétation en cours. Ajouter une contrainte revient à remplacer un 0 par un 1. Dans ce cas nous lui proposerions de choisir entre les interprétations 011 et 000 :

Le lac est au nord de la forêt
Peu importe la relation entre le lac et la forêt

Nous venons de voir deux façons d'effectuer des glissements de sens inter-aspects : la suppression et l'ajout. La technique que nous proposons permet la suppression ou l'ajout d'une seule contrainte à la fois. Nous pouvons reprendre toutes les interprétations de la figure 1.13 et les lier entre elles avec les glissements de sens que nous venons de voir. Nous obtenons alors le graphe représenté figure 1.14. Nous nommerons un tel graphe un *graphe de navigation*.

Par une gestion précise des aspects géographiques pris en compte nous sommes en mesure de gérer les glissements de sens inter-aspects permettant de déterminer la fonction d'interprétation souhaitée par l'utilisateur. Nous allons maintenant en faire autant pour les glissements de sens intra-aspect.

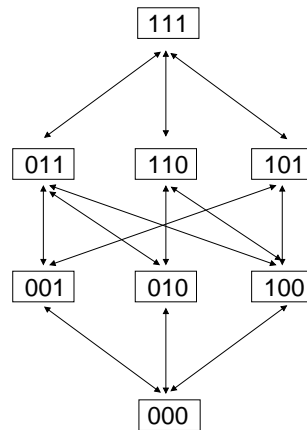


FIG. 1.14 – Graphe de navigation dans les interprétations selon différents aspects à retenir.

1.4.3 Adjacence conceptuelle

Dans la section précédente la gestion des glissements de sens inter-aspects a abouti à la conception d'un graphe nommé graphe de navigation. En ce qui concerne l'adjacence conceptuelle, l'étude de différents modèles d'analyse spatiale a montré que la notion de voisinage entre les configurations est présente dans de nombreux modèles. Cette notion de voisinage implique l'existence de graphes d'adjacence conceptuelle, nous en avons donné des exemples.

Considérons un modèle d'analyse spatiale correspondant à une fonction d'interprétation déterminée, appelons-la $int(x)$. Ce modèle serait capable d'analyser trois configurations C_1 , C_2 et C_3 et proposerait le graphe suivant :

$$C_1 \leftrightarrow C_2 \leftrightarrow C_3$$

Un utilisateur dessine un schéma dont la configuration entre deux objets est C_2 . Le microtexte relatant la relation entre ces deux objets va donc utiliser le terme résultat de $int(C_2)$.

Si l'utilisateur n'est pas satisfait de cette interprétation mais que néanmoins elle porte sur l'aspect géographique qu'il souhaitait spécifier, nous allons alors lui donner la possibilité de modifier cette interprétation. Nous lui donnerons alors le choix entre les deux microtextes relatant les termes issus de $int(C_1)$ et de $int(C_3)$. Ce n'est donc plus son schéma qui aura été interprété mais un schéma voisin dans le graphe.

Conclusion

Le début de ce chapitre a permis de définir un mode d'interaction propre à notre interface qui fait usage d'un *feedback sémantique* sous forme de microtextes. Nous nous sommes appliqués à montrer que ce *feedback*, associé à la possibilité de faire des glissements de sens, permettait de résoudre les problèmes d'ambiguïté présents dans les interfaces par métaphore du tableau noir.

À propos des glissement de sens, nous avons défini deux façons de les effectuer : entre des interprétations relatives à différents aspects géographiques et entre des interprétations propres à un seul aspect. Dans le cas des glissements inter-aspects, il s'agit d'un graphe que nous avons créé par introduction ou non de tel ou tel aspect géographique dans l'analyse. Nous l'avons nommé : *graphe de navigation*. Dans le cas des glissements intra-aspect nous n'avons pas spécifiquement créé un graphe. Nous nous sommes contenté de montrer une utilisation de ce qui est couramment nommé *graphe d'adjacence conceptuelle* et que l'on trouve dans de nombreux modèles d'analyse spatiale. La réalisation pratique du graphe d'adjacence conceptuelle est de l'ordre de l'analyse spatiale, elle sera donc étudiée dans le chapitre suivant. Le graphe de navigation, quant à lui, dépend uniquement du choix des aspects géographiques retenus. Nous allons faire ce choix maintenant.

1.5 Quels aspects géographiques retenir ?

Afin de mieux comprendre les choix qui pourront être faits pour retenir ou non tel ou tel aspect, nous allons brièvement rappeler à quoi sert et pourquoi on se sert de l'Antéserveur Géographique. Rappelons d'abord à quoi sert l'Antéserveur.

Nous avons vu que l'Antéserveur s'intercale entre un utilisateur et différentes sources d'information. Il permet à l'utilisateur d'éviter la difficulté propre à la recherche d'information dans certaines sources. L'utilisateur va formuler sa demande à l'Antéserveur qui devra ensuite la traduire vers un certain langage d'interrogation propre à une source de données. Ce sera le langage cible. Ce langage cible aura nécessairement des limites quant à son pouvoir expressif. Donc rien ne sert de permettre à l'utilisateur de spécifier certaines configurations spatiales si aucun langage cible ne permet de formuler ces configurations.

Afin de répondre à la question « pourquoi on se sert de l'Antéserveur Géographique » nous nous reposerons sur l'article de J.M. Egenhofer [EM95b] intitulé *Naive Geography*. L'auteur évoque la façon dont nous percevons l'espace géographique au quotidien. Le terme « naïve » n'est pas à prendre au sens réducteur. Il évoque juste une façon simple, parfois inexacte, de percevoir l'espace. Cette perception de l'espace est propre à la géographie. Elle ne s'applique pas à des espaces plus petits dont nous avons une vue générale comme par exemple la surface de notre bureau.

Plusieurs faits dans la manière dont l'espace géographique est perçu dans la géographie naïve sont relevés. Voici quelques exemples. L'espace y est la plupart du temps à deux dimensions. Les deux composantes horizontales sont dissociées de la composante verticale, l'altitude, qui est d'avantage vue comme une composante thématique que comme une composante spatiale. Dans la géographie naïve, le monde est plat, le chemin le plus court est toujours une ligne droite : la courbure de la terre n'est pas prise en compte. L'espace et le temps sont souvent liés : aux États-Unis par exemple les distances entre les villes s'évoquent en heure de route. C'est entre autres pour cette raison que les distances sont asymétriques : le trafic routier, la pente, etc. peuvent influencer sur le temps de trajet qui peut alors être différent suivant le sens.

Nous allons choisir les aspects géographiques à retenir sur un principe similaire à celui de la *Géographie Naïve*. Inutile de chercher à caractériser des configurations qui n'évoqueraient rien de « commun » pour nous. La plupart du temps ces significations géographiques s'expriment par des termes du langage composé d'un mot ou d'un syntagme. Ce sont des termes « simples », non « savants » connus de tous : « le château est proche du lac », « l'hôtel est dans le centre de Toulouse », « la nationale contourne la zone commerciale », etc.

Avec ces critères de sélection, deux règles nous guideront pour dresser la liste des termes abordés : inutile de permettre à l'utilisateur de spécifier certaines configurations spatiales si aucun langage cible ne permet de formuler ces configurations et inutile de chercher à caractériser des configurations qui n'évoqueraient rien de familier pour nous.

Nous allons maintenant reprendre un à un les aspects géographiques évoqués dans le chapitre 3 et discuter de leur importance dans notre cadre de la *Géographie Naïve*. C'est-à-dire que nous chercherons à savoir si leur usage est fréquent.

1.5.1 Topologie

Il s'agit là d'un aspect majeur de la géographie : discerner un objet dans une zone d'un objet en dehors de cette zone. Le modèle 9-intersections de J.M. Egenhofer qui propose trois parties : *intérieur*, *frontière* et *extérieur*, appliqué entre un point et une zone en est un très bon exemple. Il propose trois configurations qui correspondent toutes à des concepts spatiaux courants. Supposons que la zone représente une forêt et que le point représente un château, nous nous trouvons alors face à trois configurations représentant trois dispositions tout à fait communes pour nous : un château dans une forêt, un château à la lisière d'une forêt ou bien un château en dehors d'une forêt. Cet aspect sera donc retenu.

1.5.2 Direction

Nous faisons aussi couramment usage de la direction dans nos représentations géographiques courantes. L'usage des termes Nord, Sud, Est, Ouest est pratiqué, du moins connu de tous. Ayant connaissance

d'une ville par exemple, sa proximité nord est autre chose que sa proximité sud. Nous retiendrons donc cet aspect.

1.5.3 Distance

Le distance fait elle aussi partie des aspects couramment considérés. Rechercher un hôtel proche de la gare ou un terrain à bâtir loin d'une zone industrielle sont des demandes courantes. Pour cette raison cet aspect ne doit pas être écarté. Nous le traiterons de façon simple, sans entrer dans des raffinements métriques trop complexes. La différenciation de deux ou trois termes *loin*, *proche* et *très proche* nous suffira.

1.5.4 Recouvrement

Nous avons étudié le recouvrement grâce au modèle d'Antony Galton [Gal98]. Nous ne prétendons pas que cet aspect soit évoqué couramment. Si nous observons les configurations de ce modèle (figure 3.27), nous pouvons chercher quelles configurations peuvent être énoncées par des termes simples, connus. Sur les 23 configurations qu'identifie ce modèle, 6 sont déjà identifiées par les modèles topologiques RCC-8 et n-intersections. La configuration $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$ pourrait correspondre au terme « traverse », la configuration $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ « coupe en deux ». Nous remarquerons que ces termes correspondent plus à des relation ligne-zone qu'à des relations zone-zone. À ce sujet nous remarquerons une similitude entre les configurations du modèle d'Antony Galton [Gal98] et les configurations du modèle de J.M. Egenhofer [EH90] appliquées entre une zone et une ligne. Quatre exemples sont présentés sur la figure 1.15. Une des deux zones voit sa forme allongée et se comporte alors plus comme un objet linéaire que surfacique.

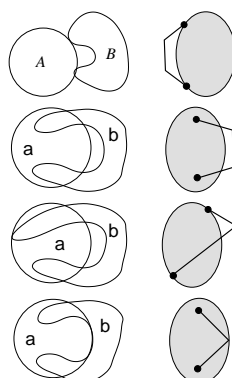


FIG. 1.15 – Similitudes entre certaines configurations du modèle d'Antony Galton et des configurations du modèle de J.M. Egenhofer

Les configurations que propose de relever ce modèle sont peu évocatrices d'un sens usuel. Les quelques configurations correspondant à un sens usuel sont plutôt évocatrices d'une relation zone-ligne. Nous ne retiendrons donc pas cet aspect.

1.5.5 Vague

L'existence de zones géographiques dont la frontière ne serait pas précisément déterminée est tout à fait courante. Nous citerons par exemple un secteur de pollution autour d'une zone industrielle ou encore une zone climatique. Le modèle en «jaune d'œuf» que nous avons présenté [CG96], permet de déduire des termes tels que «jamais une zone n'est une partie d'une autre» ou bien encore «aucune partie des deux zones n'en recouvre une autre». Un utilisateur pourrait par exemple chercher une région où aucune partie n'est en zone inondable.

Malgré l'existence de zones vagues en géographie et l'utilité certaine de cette notion dans la construction d'une requête, nous aurons une remarque à faire quant à l'intégration d'un modèle en "jaune d'œuf" ou similaire dans notre interface. En effet ce modèle fournit en fait des relations topologiques entre les objets. Ils correspondent plus à l'introduction d'un nouvel objet (une zone vague), qu'à une nouvelle fonction d'interprétation. La prise en compte du vague nécessiterait donc l'introduction d'un nouvel objet surfacique.

Notre interface se situe dans une phase pré-expérimentale, c'est à dire qu'elle se prépare à être testée auprès d'utilisateurs. Dans cette phase nous aurons comme souci de ne pas inonder l'utilisateur avec des fonctionnalités trop nombreuses. L'introduction d'un objet spécifique, la zone vague, rendrait donc l'interface plus complexe. Ceci ne nous semble donc pas être à retenir dans le cadre de ce travail de thèse où nous préferons conserver une interface simple pour l'utilisateur.

Conclusion

Nous avons mis en évidence cinq aspects géographiques : la topologie, la métrique, l'orientation, le recouvrement et le vague. De ces cinq aspects nous avons décidé de n'en retenir que trois : la topologie, la métrique et l'orientation. Le recouvrement n'a pas été retenu car nous avons jugé que l'expression de tels configurations sur les zones n'était pas nécessaire. Le vague n'a pas été retenu non plus, pour des raisons de simplicité cette fois. Il aurait en effet nécessité l'introduction d'un nouvel objet dans l'interface alors que nous avons souhaité limiter le nombre d'objets par souci de simplicité.

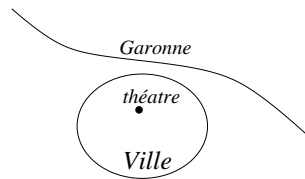


FIG. 1.16 – Un schéma que nous allons pouvoir analyser à l'aide de quatre fonctions d'interprétation

Nos trois aspects géographiques ayant été retenus, nous pouvons retourner au modèle décrit au chapitre 2 et en déduire les fonctions d'interprétation correspondantes. Auparavant nous avons nommé nos fonctions d'interprétation $int_i(x)$ et ces fonctions portaient sur quatre aspects nommés : *vide*, *topologique*, *métrique* et *orientation*. Nous allons maintenant utiliser une notation plus précise. Les indices des noms de fonction vont représenter les trois aspects géographiques retenus. Ainsi nous nommerons les fonctions sous la forme : int_{TMO} où T , M et O sont trois nombres binaires représentant respectivement les trois aspects Topologique, Métrique et Orientation. S'il est à 1 c'est que l'aspect est retenu, sinon il est à 0.

Jusqu'ici, l'orientation était un aspect géographique comme la topologie ou la métrique. Nous allons remarquer qu'il est utile de l'associer soit à la topologie soit à la métrique. Comment différencier ces deux contraintes : « a est dans le nord de b » et « a est au nord de b ». La première contrainte stipule que *a est dans b*, la seconde qu'il est à l'extérieur de b. Nous trouvons ici une fonction d'interprétation, combinaison de l'aspect topologique et de l'orientation : $int_{101}(X)$. Si elle n'est pas associée à la topologie, nous l'associerons alors à la métrique pour proposer des contraintes comme « a est loin et au nord de b » ou encore « a est à l'est du centre de b ». Nous aurons donc une fonction combinant l'aspect métrique et l'orientation : $int_{011}(X)$.

Avec cette notation, la fonction ne relevant aucune contrainte sera $int_{000}(x)$. Avec nos trois aspects géographiques et les combinaisons parmi ceux-ci, nous avons 5 fonctions d'interprétation :

fonction	aspect(s) géographique(s)
$int_{000}(x)$	<i>vide</i>
$int_{100}(x)$	<i>topologique</i>
$int_{010}(x)$	<i>métrique</i>
$int_{101}(x)$	<i>topologique+orientation</i>
$int_{011}(x)$	<i>métrique+orientation</i>

Prenons comme exemple le schéma de la figure 1.16. Nous pouvons en extraire trois sous-images S_1 , S_2 et S_3 . S_1 représentera la ville et la *Garonne*, S_2 représentera la ville et le théâtre, S_3 représentera la *Garonne* et le théâtre. Nous pouvons alors effectuer les $3 \times 5 = 15$ interprétations suivantes :

- $int_{000}(S_1) = \langle S_1 : \textit{Garonne, ville, vide, peu import e} \rangle$
 $int_{100}(S_1) = \langle S_1 : \textit{Garonne, ville, topologique, disjointe} \rangle$
 $int_{010}(S_1) = \langle S_1 : \textit{Garonne, ville, métrique, passe près de} \rangle$
 $int_{101}(S_1) = \langle S_1 : \textit{Garonne, ville, topologique+orientation, passe au nord} \rangle$
 $int_{011}(S_1) = \langle S_1 : \textit{Garonne, ville, métrique+orientation, passe au nord près de} \rangle$
- $int_{000}(S_2) = \langle S_2 : \textit{théâtre, ville, vide, peu importe} \rangle$
 $int_{100}(S_2) = \langle S_2 : \textit{théâtre, ville, topologique, dedans} \rangle$
 $int_{010}(S_2) = \langle S_2 : \textit{théâtre, ville, métrique, au bord} \rangle$
 $int_{101}(S_2) = \langle S_2 : \textit{théâtre, ville, topologique+orientation, dans le nord} \rangle$
 $int_{011}(S_2) = \langle S_2 : \textit{théâtre, ville, métrique+orientation, au bord dans le nord} \rangle$
- $int_{000}(S_3) = \langle S_3 : \textit{théâtre, Garonne, vide, peu importe} \rangle$
 $int_{100}(S_3) = \langle S_3 : \textit{théâtre, Garonne, topologique, disjoint} \rangle$
 $int_{010}(S_3) = \langle S_3 : \textit{théâtre, Garonne, métrique, loin} \rangle$
 $int_{101}(S_3) = \langle S_3 : \textit{théâtre, Garonne, topologique+orientation, au sud} \rangle$
 $int_{011}(S_3) = \langle S_3 : \textit{théâtre, Garonne, métrique+orientation, loin au sud} \rangle$

Chapitre 2

L'analyse spatiale dans l'Antéserveur Géographique

L'objet de ce chapitre va être de décrire le modèle d'analyse spatiale, au centre de mon travail de thèse. Au chapitre précédent nous avons précisé les trois domaines auxquels les configurations relevées par notre analyseur spatial devaient appartenir : la topologie, la métrique et l'orientation. En ce qui concerne les glissements de sens, ceux-ci dépendent du graphe d'adjacence du modèle d'analyse utilisé. L'état de l'art sur les différents modèles d'analyse spatiale a révélé plusieurs principes pour construire ces graphes. La première section de ce chapitre va décrire le principe d'adjacence que nous allons utiliser dans notre modèle. Dans une seconde section nous évoquerons les problèmes de dépendance entre les configurations correspondant à différents aspects géographiques pour justifier l'intérêt d'un graphe d'adjacence prenant en compte les trois aspects géographiques à la fois.

Dans les deux sections suivantes nous exposerons le modèle puis la construction du graphe d'adjacence en prenant l'exemple de la relation zone-point. Nous donnerons alors un algorithme pour construire automatiquement le graphe que nous avons tracé manuellement au chapitre précédent. Dans la cinquième et dernière section nous généraliserons la procédure utilisée pour l'exemple zone-point. En suivant cette procédure le modèle s'applique alors aux relations entre les autres objets.

2.1 Quelle adjacence conceptuelle retenir ?

L'étude de différents modèles d'analyse spatiale a révélé plusieurs façons de concevoir des graphes d'adjacence conceptuelle. Rappelons que le graphe d'adjacence conceptuelle est nécessaire pour résoudre les ambiguïtés d'appréciation. Dans le modèle que nous avons choisi, cette ambiguïté portait sur la question de savoir sur quelle image appliquer une fonction d'interprétation. L'utilisateur, en dessinant son schéma, construit une image. Si la fonction d'interprétation, appliquée sur cette image, ne retourne pas un résultat satisfaisant, alors la fonction d'interprétation pourra être appliquée sur une image voisine de celle qui était d'abord dessinée. D'où l'importance de la notion de voisinage qui se retrouve dans les graphes d'adjacence conceptuelle.

Pour étudier les différentes façons de construire des graphes d'adjacence nous allons observer les graphes proposés par J.M. Egenhofer pour ses modèles n-intersections. Au chapitre 3 de la première partie, deux modèles y ont été présentés, ils portent sur les relations zone-ligne. Le premier modèle (figure 3.12) repose sur la distance topologique. Chaque configuration est caractérisée par une matrice. Entre deux matrices, une fonction permet de calculer la distance topologique et toutes les configurations distantes de 1 sont reliées dans le graphe. Le second modèle autorise une déformation de la ligne. Cette déformation peut entraîner soit un déplacement de la frontière de la ligne, soit un déplacement de l'intérieur de la ligne.

Nous pouvons nous demander si de telles notions, distance topologique égale à 1 ou bien déformation d'un objet, représenteront des proximités intuitives pour l'utilisateur. Pour cela nous allons construire une proximité que nous souhaiterions voir dans le graphe, nous verrons ensuite quel graphe l'incorpore. Nous

allons donc étudier quels critères nous allons retenir pour juger de la proximité de deux configurations, ensuite nous expliquerons précisément la manière de construire notre propre graphe.

2.1.1 La double fonction du graphe d'adjacence

Dans le modèle que nous avons mis en place pour représenter l'interaction utilisateur-système, le graphe d'adjacence sert à remédier au problème d'ambiguïté d'appréciation. Un utilisateur peut attribuer à une configuration A un sens que le système attribuerait à une configuration B . Un glissement de A vers B serait alors souhaité. Nous nommerons cette fonction "*modifier*". C'est à dire que le système ne considère plus la configuration A mais la configuration B . Il a virtuellement modifié le schéma pour qu'il ne soit plus en configuration A mais en configuration B .

La seconde fonction du graphe d'adjacence va être de combler des vides dans l'étiquetage des configurations. Tous les modèles d'analyse spatiale que nous avons étudiés sont complets. C'est-à-dire que tout dessin correspondra à une configuration. Ceci a un avantage : les ensembles de configurations que proposent les modèles sont finis et de dimensions raisonnables. Un modèle étant choisi, il suffit de traiter l'ensemble des configurations qu'il propose pour traiter tous les schémas possibles.

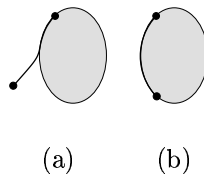


FIG. 2.1 – Deux configurations que ne différencie pas le modèle 4-intersections.

Cette complétude a aussi un désavantage : elle entraîne des configurations non désirables. Prenons comme exemple le modèle de J.M. Egenhofer et le passage du modèle 4-intersections au modèle 9-intersections. Pour la relation zone-ligne, le modèle 4-intersections relève 11 configurations. À chacune de ces configurations il est aisé d'associer un terme. Nous dirons qu'il n'y a pas de vide dans l'étiquetage.

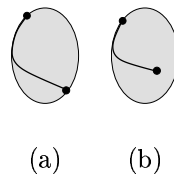


FIG. 2.2 – Deux configurations que différencie le modèle 9-intersections mais qui sont difficiles à étiqueter.

Nous avons aussi vu que ce modèle présentait un inconvénient. Comme nous l'observons sur la figure 2.1 ces deux configurations peuvent correspondre à des sens très différents. Nous pourrions dire que le schéma (a) correspond au sens *rejoindre la frontière* alors que le schéma (b) correspond au sens *être sur la frontière*. Le modèle 4-intersections ne différencie pas ces deux configurations, d'où l'introduction du modèle 9-intersections. Celui-ci discerne bien ces deux configurations, mais en même temps il va en discerner d'autres auxquelles nous ne savons pas mettre d'étiquette. Par exemple les deux configurations de la figure 2.2 sont difficiles à caractériser et la différence entre les concepts spatiaux qu'elles représentent ne va pas de soi.

Dans un tel cas, un graphe d'adjacence va permettre d'attribuer à une configuration l'étiquette d'une configuration voisine. Prenons l'exemple du graphe partiel de la figure 2.3. Au milieu figure une configuration étiquetée « coupe en deux ». À cette configuration sont reliées les deux configurations (a) et (b) non étiquetées de la figure 2.2. Ainsi nous pourrions considérer que ces deux configurations méritent aussi, approximativement, l'étiquette « coupe en deux » (voir figure 2.3).

Sur ce principe, reprenons le graphe d'adjacence par distance topologique de J.M. Egenhofer, étiquetons un certain nombre de configurations et observons comment d'autres configurations se retrouvent étiquetées indirectement. Nous choisissons d'étiqueter les configurations suivantes :

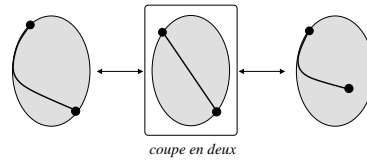
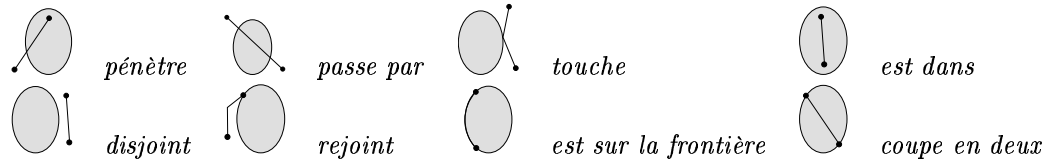


FIG. 2.3 – Deux adjacences pour attribuer une étiquette unique à trois configurations.



Sur la figure 2.4, en haut, nous avons représenté le graphe d'adjacence en y encadrant d'un carré les configurations que nous venons d'étiqueter. Ensuite nous avons relié les configurations non étiquetées à leurs configurations étiquetées voisines, si elles en avaient une. Nous avons nommé ce type d'étiquetage un étiquetage indirect.

Pour juger de la qualité d'un graphe d'adjacence nous nous poserons deux questions. Toutes les configurations ont-elles une étiquette, directement ou indirectement par l'intermédiaire d'un voisin ? Les arêtes du graphe s'appliquent-elles bien à un étiquetage commun à une configuration et à sa voisine ?

Sur notre exemple, nous pouvons déjà répondre « non » à la première question. Trois configurations ne sont pas étiquetées. Pour répondre à la seconde question, 'les arêtes du graphe s'appliquent-elles bien à un étiquetage commun à une configuration et à sa voisine ? », nous allons analyser des exemples d'adjacence pour pouvoir juger du bien fondé des liens conceptuels entre les configurations. Sur ce point le graphe par distance topologique nous satisfait peu. Observons les deux configurations représentées figure 2.5. La différence entre les deux se situe dans la position d'une extrémité de la ligne. Sur la figure de gauche (R_6), ses deux extrémités sont dans la zone. Sur la figure de droite (R_7), l'une est dans la zone est à l'extérieur. Entre les deux configurations, une des extrémités est donc passée de l'intérieur vers l'extérieur. Pouvons-nous considérer un point dessiné à l'intérieur d'une zone comme étant à l'extérieur de celle-ci ? La différence *dedans*, *dehors* nous paraît beaucoup trop marquée.

Le second modèle que propose J.M. Egenhofer repose sur le mouvement. Avec ce modèle le glissement de la figure 2.5 n'existe pas. Pour passer de R_6 à R_7 , une extrémité devant sortir de la zone, elle passe par la frontière de celle-ci, donc par la configuration intermédiaire R_{19} . Ce modèle du mouvement, qui impose une frontière entre l'intérieur et l'extérieur, nous convient beaucoup mieux. Figure 2.4, en bas, nous trouvons le graphe d'adjacence par mouvement. Nous avons reproduit le même étiquetage que pour le graphe par distance topologique. Qu'observons nous ? Ce graphe comportant davantage d'arêtes que le précédent, le nombre de configurations non étiquetées est passé de trois à deux. Le glissement de la figure 2.5, qui ne nous convenait pas, a bien disparu. À cette occasion la configuration R_6 n'est plus étiquetée.

Le principe du mouvement nous convient quant aux liens qu'il établit entre les configurations. Néanmoins ce nombre de liens n'est pas suffisant et il reste des configurations non étiquetées. D'où la question : ne pourrions nous pas ajouter d'autres mouvements pour créer d'autres liens dans le graphe ? Nous allons prendre exemple sur des schémas et observer quels mouvements nous voudrions autoriser.

Figure 2.6, en haut, nous avons dessiné six schémas, tous correspondent à la configuration R_6 de la figure 2.7. À chacun de ces six schémas nous avons associé un autre schéma qui en est visuellement proche. Aucun de ces six nouveaux schémas n'est en configuration R_6 et tous sont dans des configurations différentes : R_{18} , R_{15} , R_{12} , R_{16} , R_{13} et R_8 . Puisque tous ces schémas sont visuellement proches deux à deux, nous voudrions autoriser les glissements de sens de l'un vers l'autre. Or, aucun de ces glissements ne figure dans le graphe d'adjacence par mouvement de J.M. Egenhofer. Pourquoi ? Parce que le mouvement pour effectuer le glissement nécessite de déplacer deux parties de la ligne à la fois. Or, dans le modèle de J.M. Egenhofer, une seule partie doit être déplacée à la fois.

Nous voudrions donc un graphe intégrant non seulement des mouvements d'une partie de la ligne

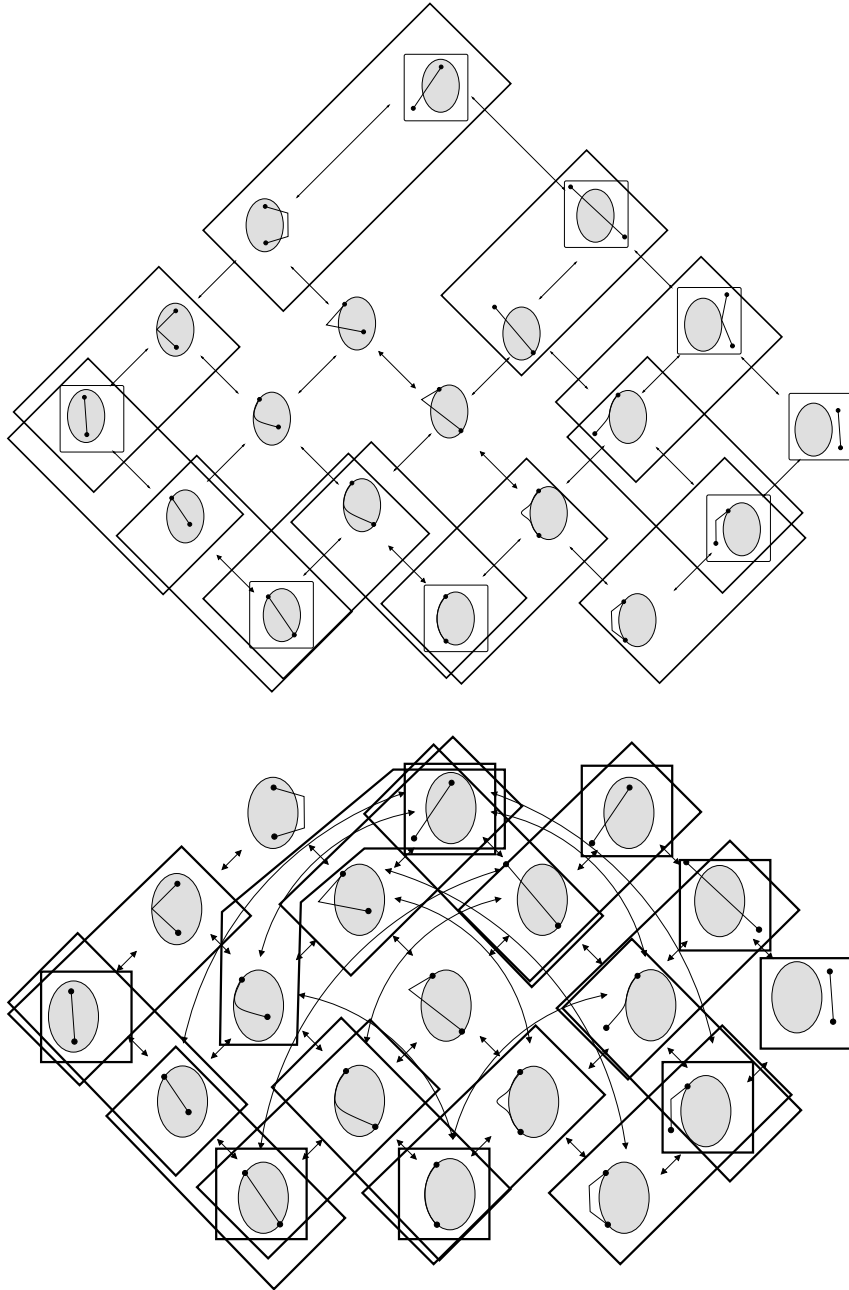


FIG. 2.4 – En haut, le graphe d'adjacence par distance topologique avec les configurations directement étiquetées entourées d'un carré et les configuration indirectement étiquetées reliées à celles-ci dans un rectangle. En bas, les mêmes opérations sur le graphe d'adjacence par glissement.

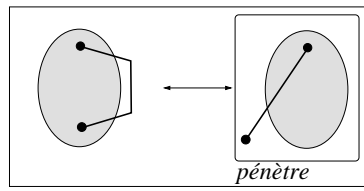


FIG. 2.5 – L'étiquette *pénètre* a été attribuée indirectement à la configuration de gauche. Ce choix est-il judicieux ?

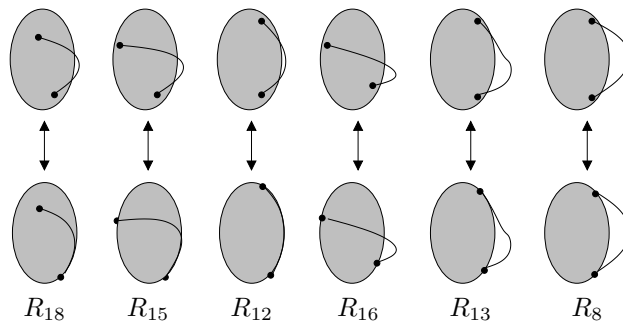


FIG. 2.6 – 6 schémas, tous en configuration R_6 , pouvant donner lieu à 6 glissement vers 6 configurations différentes.

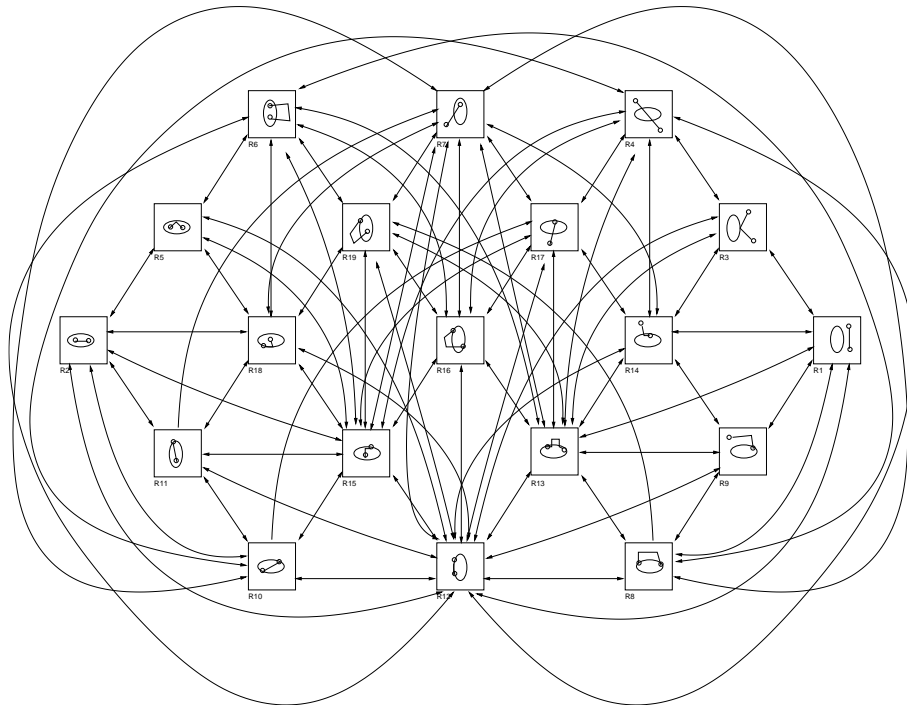


FIG. 2.7 – Le graphe d'adjacence conceptuelle de M. Szmurlo.

mais aussi les mouvements de deux parties à la fois. La réalisation de ce graphe a été un des travaux de M. Szmurlo [SG98], il est représenté figure 2.7. C'est donc ce principe d'adjacence que nous souhaitons retenir pour effectuer notre analyse spatiale.

Sur l'exemple des relations topologiques zone-ligne, nous avons expliqué quelle adjacence conceptuelle nous voulions retenir. Il s'en est suivi un graphe d'adjacence qui porte donc sur les relations topologiques entre une zone et une ligne. Pour les relations zone-point, ligne-point, etc. il est aisé de construire des graphes similaires (voir figure 2.8). Qu'en est-il pour les relations métriques ? Qu'en est-il de l'orientation ? Doit-on tenir compte des relations métriques lorsque l'on effectue un glissement topologique ? La section suivante, dernière de ce chapitre, va étudier ce problème.

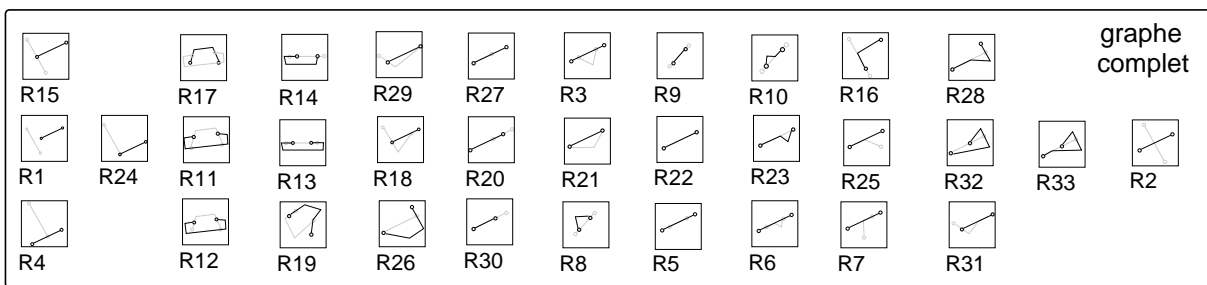
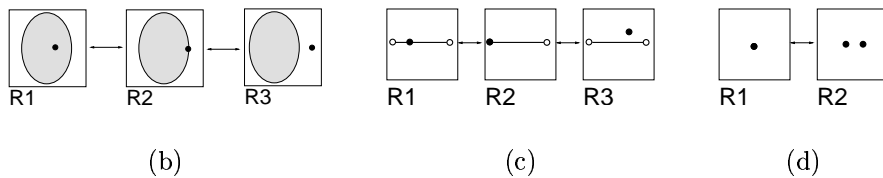
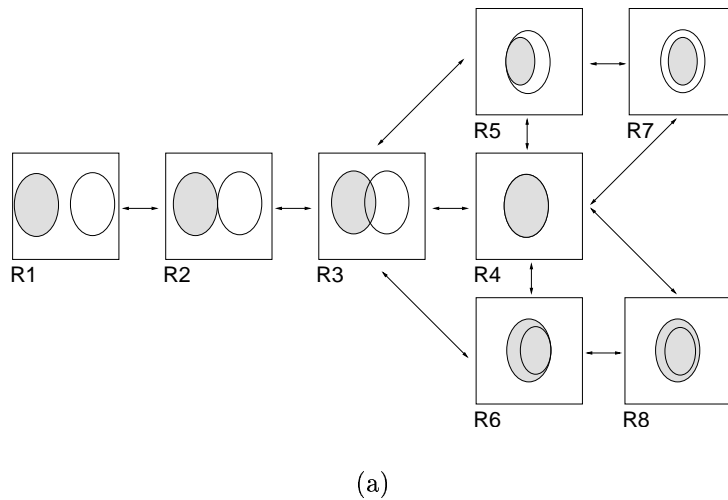


FIG. 2.8 – Les différents graphes d'adjacences : entre deux zones (a), entre une zone et un point (b), entre une ligne et un point (c), entre deux points (d) et entre deux lignes (e). Entre deux lignes, le graphe est complet (la ligne possède la particularité d'avoir un intérieur connexe à son extérieur), pour des raisons de lisibilité les liens n'ont pas été représentés.

2.2 Dépendances inter-aspects

Nous venons d'énoncer le concept que nous voulons retenir pour créer des adjacences conceptuelles entre des configurations. Nous nous sommes appuyés sur les relations topologiques. Nous avons vu aussi que nous voulions traiter non seulement l'aspect topologique mais aussi l'aspect métrique et l'orientation. Sur le même principe, celui du mouvement de plusieurs parties des objets, nous pourrions construire des graphes d'adjacence portant sur les configurations métriques ainsi que sur les configurations d'orientation. Nous posons alors la question suivante : y a-t-il indépendance entre ces graphes ? Un glissement dans un graphe peut-il impliquer un glissement dans un autre graphe ? C'est ce que nous allons étudier dans cette section.

Observons le schéma de la figure 2.9. Nous y avons représenté différentes configurations entre une zone et un point. Toutes ces configurations sont différentes si nous retenons les aspects topologiques, métriques et l'orientation. Nous les avons numérotées de 1 à 13. L'aspect topologique retient trois configurations : *dehors*, *sur la frontière* et *dedans* correspondant respectivement aux trois groupes de positions du point : $\{1,2,6,7,8,9,10,11,12\}$, $\{3\}$, $\{4,5,13\}$. L'aspect métrique en retient trois : *loin*, *proche de la frontière* et *dans le centre*, correspondant respectivement aux positions : $\{1\}$, $\{2,3,4,6,7,8,9,10,11,12\}$ et $\{5,13\}$. Enfin l'orientation en retient neuf : *à l'est*, *au nord-est*, *au nord* jusqu'à *au sud-est* correspondant respectivement aux positions $\{1,2,3,4,5\}$, $\{6\}$, $\{7\}$, $\{8\}$, $\{9\}$, $\{10\}$, $\{11\}$, $\{12\}$ ainsi que la position *au centre* correspondant à la position $\{13\}$.

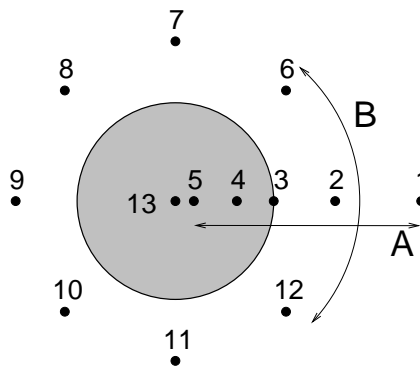


FIG. 2.9 – Dépendance entre les glissements de sens de différents aspects.

Sur le modèle du mouvement, l'aspect topologique autorise le glissement de la configuration *dehors* vers la configuration *sur la frontière*. L'aspect métrique, lui, autorise le glissement de *loin* vers *proche de la frontière*, de *proche de la frontière* vers *dans le centre* mais interdit le glissement de *loin* vers *dans le centre*. Les glissements topologiques nous permettent donc de déplacer le point de la position 1 vers la position 3. Les glissements métriques, eux, autorisent de déplacer le point de la position 1 vers la position 2 et de la position 2 vers la position 3 mais interdisent le déplacement de 1 vers 3.

Nous venons de remarquer qu'un glissement autorisé par un graphe peut engendrer un glissement interdit par un autre graphe. Ceci est-il important ? Faut-il tenir compte de cette contradiction entre les deux glissements ? Nous répondrons « oui ». Le glissement de sens, fondé sur le mouvement, relie deux configurations qui sont potentiellement proches visuellement. Le mot « *potentiellement* » a toute son importance. Il signifie que les deux configurations peuvent ne pas être visuellement proches. Dans ce cas le glissement n'aurait pas lieu d'être. Prenons le glissement topologique *dehors* ↔ *sur la frontière*. Il part de l'hypothèse que le point est potentiellement proche de la zone. S'il se trouve loin de la zone le glissement sera toujours présent, pourtant il ne se justifierait plus. Une analyse topologique seule ne permet pas de savoir si le point est proche ou pas de la zone. En revanche, une analyse métrique nous le révèle. Il serait dommage de ne pas profiter de l'analyse métrique pour affiner les glissements de sens topologiques et interdire le glissement vers la frontière dans ce cas.

Nous venons là de montrer des dépendances entre glissements ainsi que la complémentarité des différents aspects analysés. Nous le voyons sur la figure 2.9 : les glissements topologiques et métriques

s'effectuent sur le même axe A alors que les glissements sur l'orientation (hormis un glissement possible vers le centre) s'effectuent sur l'axe B qui lui est orthogonal, d'où l'indépendance.

La dépendance entre les différents glissements nous oblige à ne pas les isoler les uns des autres. Au contraire nous allons nous orienter vers une analyse globale dont les glissements tiennent compte des trois aspects à la fois, leurs complémentarités affinant les glissements. Ceci est équivalent à construire un graphe d'adjacence portant aussi sur les trois aspects à la fois. Reprenons notre exemple de la figure 2.9, en considérant un point éloigné de la zone et en l'approchant de celle-ci. Il passe successivement par les positions 1, 2, 3, 4, 5 puis 13. À chacune de ces positions correspond une configuration topologique, une configuration métrique et une orientation. Nous les avons notées dans le tableau suivant :

positions	13	5	4	3	2	1
métrique	<i>dans le centre</i>	<i>dans le centre</i>	<i>proche de la frontière</i>	<i>proche de la frontière</i>	<i>proche de la frontière</i>	<i>loin</i>
topologie	<i>dedans</i>	<i>dedans</i>	<i>dedans</i>	<i>sur la frontière</i>	<i>dehors</i>	<i>dehors</i>
orientation	<i>au centre</i>	<i>secteur est</i>	<i>secteur est</i>	<i>secteur est</i>	<i>secteur est</i>	<i>secteur est</i>

Les six positions se sont enchaînées avec le mouvement du point. Elles correspondent donc à l'enchaînement souhaité pour les glissements de sens. Nous pouvons considérer le graphe $1 \leftrightarrow 2 \leftrightarrow 3 \leftrightarrow 4 \leftrightarrow 5 \rightarrow 13$, comme une partie du graphe d'adjacence conceptuelle global aux trois aspects. Notons une configuration par le triplet $\{A, B, C\}$, l'ensemble des configurations respectivement métrique, topologique et d'orientation. Ainsi, avec la configuration $\{loin, dehors, secteur est\}$, position 1, nous avons comme configuration voisine $\{proche de la frontière, dehors, secteur est\}$, position 2. Le glissement *dehors* \rightarrow *sur la frontière* n'est pas proposé dans ce cas, contrairement à la configuration $\{proche de la frontière, dehors, secteur est\}$ qui a comme voisine $\{proche de la frontière, sur la frontière, à l'est\}$.

L'exemple sur lequel nous nous sommes appuyé porte sur la paire d'objets zone-point. Entre ces deux objets, les configurations ne sont pas très nombreuses. Le calcul «de tête» des six configurations du tableau est assez simple, il n'y a pas ou peu de risque d'en oublier. Les six configurations du tableau ne possèdent qu'une seule orientation : *secteur est*. En tenant compte de toutes les orientations possibles du point par rapport à la zone, nous trouvons un total de 41 positions. Nous les avons représentées sur la figure 2.10. De la même façon il est simple d'associer tous les glissements entre ces positions.

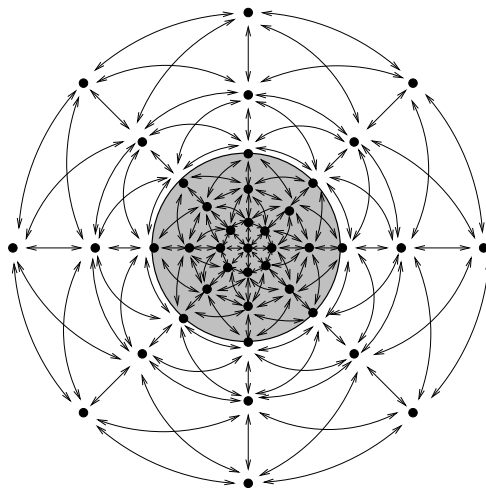


FIG. 2.10 – Les 41 positions et les glissements d'un point par rapport à une zone.

En observant les 41 positions du point par rapport à la zone de la figure 2.10, il est possible d'en déduire toutes les configurations (tous les triplets) correspondantes. Nous avons ainsi un graphe d'adjacence global

tenant compte des trois aspects à la fois. Ce travail est facile pour les relations point-zone mais il peut s'avérer beaucoup plus difficile pour d'autres relations. Le même modèle n-intersections qui relève 3 configurations topologiques entre une zone et un point en relève 8 entre deux zones et 19 entre une zone et une ligne par exemple. La construction manuelle d'un graphe d'adjacence global parait difficilement envisageable dans ces cas.

Les sections suivantes vont décrire un modèle d'analyse spatiale global aux trois aspects : métrique, topologique et orientation. Avec ce modèle nous disposerons d'un moyen de calculer automatiquement les configurations voisines d'une configuration donnée. Nous pourrons donc calculer le graphe 2.10 tracé ici manuellement.

2.3 L'analyse d'une configuration

Notre modèle d'analyse spatiale repose sur le modèle 9-intersections de Max. J. Egenhofer que nous avons décrit au chapitre 3. Nous commencerons par rappeler le principe de la décomposition en neuf intersections. Ensuite, nous définirons un modèle dérivé de celui-ci, que nous nommerons modèle intérieur-extérieur. Enfin, à l'aide de ces deux modèles, nous verrons comment effectuer l'analyse spatiale selon les critères que nous avons définis.

2.3.1 Le modèle 9-intersections

Le modèle 9-intersections s'applique sur trois types d'objets : les zones, les lignes et les points. À chacun d'entre eux, il attribue trois parties : un intérieur, une frontière et un extérieur (voir figure 2.11). La relation spatiale qu'entretiennent deux objets entre eux est caractérisée par une matrice représentant les intersections entre chacune des trois parties des deux objets en question. Comme chaque objet a 3 parties, nous avons une matrice $3 \times 3 = 9$ intersections.

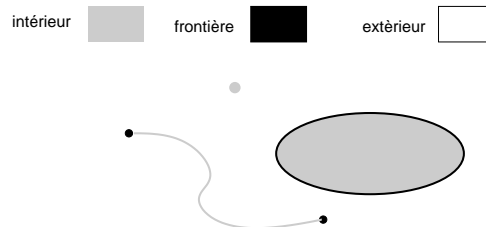


FIG. 2.11 – La décomposition des objets en trois parties.

Comme nous l'avons déjà remarqué au chapitre 3, ce modèle 9-intersections ne relève que l'aspect topologique des relations spatiales. Nous avons vu que nous souhaitons relever trois aspects : la topologie, la métrique et l'orientation. L'utilisation de ce modèle tel quel ne peut donc nous suffire. Nous allons d'une part créer un nouveau modèle inspiré du modèle 9-intersections. Ensuite, nous verrons comment à l'aide de notre nouveau modèle et du modèle 9-intersections, nous pourrons traiter la topologie, la métrique et l'orientation.

2.3.2 Les objets complexes

Nous venons d'introduire un modèle d'analyse spatiale, le modèle de Max J. Egenhofer. Celui-ci attribue trois parties aux objets et ne permet de relever que des contraintes topologiques. Nous voudrions aussi relever des contraintes métriques et des contraintes sur l'orientation cardinale. Nous allons donc introduire des parties supplémentaires.

En ce qui concerne les relations métriques par rapport à une zone, nous allons ajouter deux parties. Une partie représentera le centre de la zone, une autre partie représentera la périphérie (voir figure 2.12). Le centre et la périphérie sont des copies de la zone dont les tailles sont proportionnelles à celle-ci. Pour l'orientation, ce sont huit secteurs cardinaux qui vont être ajoutés. Des secteurs d'angle $2\pi/8$, disposés

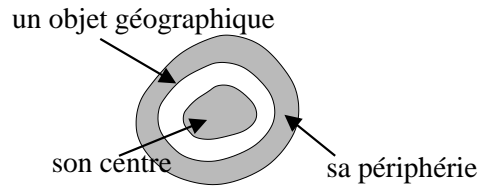


FIG. 2.12 – Le centre et la périphérie d'une zone aussi appelés découpage en « oignon ».

les uns à coté des autres et représentant les positions cardinales nord, nord-ouest, ouest, sud-ouest, sud, sud-est, est et nord-est (voir figure 2.13).

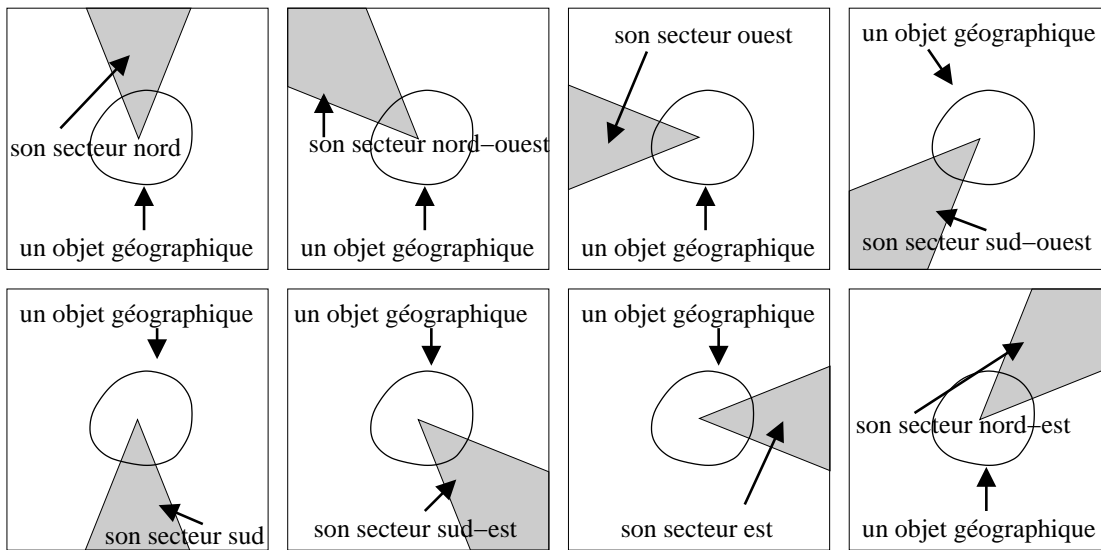


FIG. 2.13 – Les huit secteurs angulaires (de gauche à droite et de haut en bas) : nord, nord-ouest, ouest, sud-ouest, sud, sud-est, est et nord-est.

En ajoutant un centre et une périphérie à une zone, elle n'a plus 3 mais $3 + 1 + 3 = 7$ parties. En ce qui concerne les secteurs angulaires, ils présentent 8 intérieurs distincts, 8 frontières communes deux à deux, une frontière commune à tous, ce qui fait un total de 17 parties. En superposant ces deux partitionnements de l'espace, nous trouvons alors $7 \times (8+8) + 1 = 113$ parties, comme illustré figure 2.14. Nous appellerons un objet ainsi constitué, un *objet complexe*.

Sur la figure 2.14, la zone complexe est en relation avec un point qui, lui, reste un objet simple. La zone complexe possède 113 parties, le point 3 parties. La caractérisation de leur relation spatiale par une matrice conduirait à une matrice 3×113 , entre deux zones complexes nous aurions une matrice 113×113 . Une telle expansion de la taille de la matrice nous invite à ne plus caractériser la relation entre deux objets par une seule matrice. La méthode que nous proposons dans la section suivante consiste à décomposer l'objet complexe pour en faire des caractérisations partielles qu'à l'aide de matrices 3×3 .

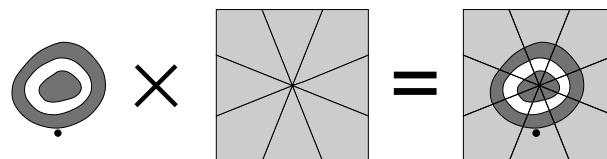


FIG. 2.14 – Un objet complexe, ici une zone et ses $7 \times (8 + 8) + 1 = 113$ parties en relation avec un point.

2.3.3 Décomposition et recombinaison

Dans la section précédente nous avons fait le choix de ne pas représenter les relations spatiales sous forme de matrices s'il y a un objet complexe dans la relation. Nous allons décomposer l'objet complexe selon les parties qui ont servi à le composer. C'est ce qui a été fait figure 2.15, sur l'exemple zone complexe-point. L'ajout de parties supplémentaires sur la zone s'est fait en deux étapes. D'une part nous avons ajouté une périphérie et un centre pour relever des contraintes de proximité, d'autre part nous avons ajouté des secteurs cardinaux pour relever des contraintes sur l'orientation. La décomposition va suivre le même chemin. Dans une première étape les secteurs cardinaux vont être dissociés de la zone avec son centre et sa périphérie. Dans une seconde étape, chaque secteur cardinal, la zone, le centre et la périphérie vont être dissociés les uns des autres. Le point, quant à lui, ne subit pas de décomposition puisque ce n'est pas un objet complexe.

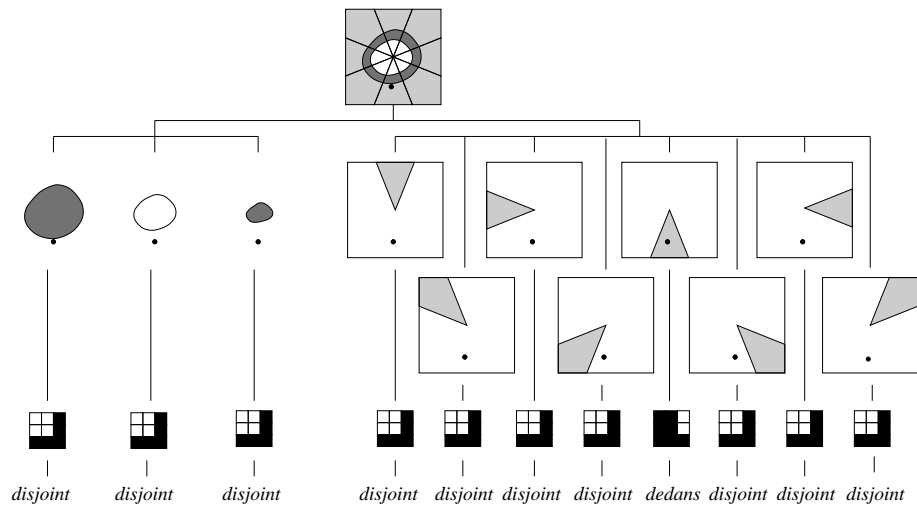


FIG. 2.15 – Décomposition d'un objet complexe.

Un fois cette décomposition faite, qu'observons nous ? Tout à gauche, nous trouvons la relation entre le point et la périphérie, ce sont deux objets simples dont la relation spatiale se caractérise par une matrice 3×3 . Ensuite nous trouvons le point et l'objet en question, toujours deux objets simples, cette relation se caractérise encore par une matrice 3×3 . De même pour la relation entre le point et le centre ainsi qu'avec les huit secteurs cardinaux. Pour chacune de ces matrices, nous pouvons associer le terme caractérisant la relation.

Après la décomposition de la zone complexe, nous obtenons 11 matrices caractéristiques qui seront le résultat de ce que nous appellerons *analyses simples*. Vient alors la recombinaison de ces matrices caractéristiques. En prenant en compte telle ou telle de ces analyses simples, nous pouvons déduire différentes analyses portant sur l'objet complexe. Nous appellerons cette étape *analyse complexe*.

La figure 2.16 montre les différentes analyses complexes sur l'exemple zone-point. Dans le premier cas (a), seule l'analyse simple portant sur l'objet géographique est retenue. L'analyse complexe qui en découle ne retiendra donc que l'aspect topologique issu du modèle 9-intersections. De la même façon nous pouvons ne tenir compte que de l'aspect métrique, cas (b), ou que de l'orientation, cas (c). Nous pouvons aussi prendre en compte deux aspects à la fois. En (d) les aspects topologiques et métriques sont pris en compte, relevant que le point est à la fois proche de la frontière et disjoint de la zone, il en est déduit qu'il est proche de la zone. En (e), il est retenu que le point est à la fois dans le secteur sud et disjoint, il est alors déduit qu'il est au sud (par opposition à un point dans le sud). De la même façon il est déduit dans le cas (f) que le point est proche de la frontière sud. En prenant en compte les trois aspects, c'est-à-dire en prenant toutes les analyses simples, l'analyse complexe relève que le point est à la fois loin et au sud de la zone (g). Enfin en ne prenant en compte aucune analyse simple, il n'y a plus de contrainte entre la zone et le point (e).

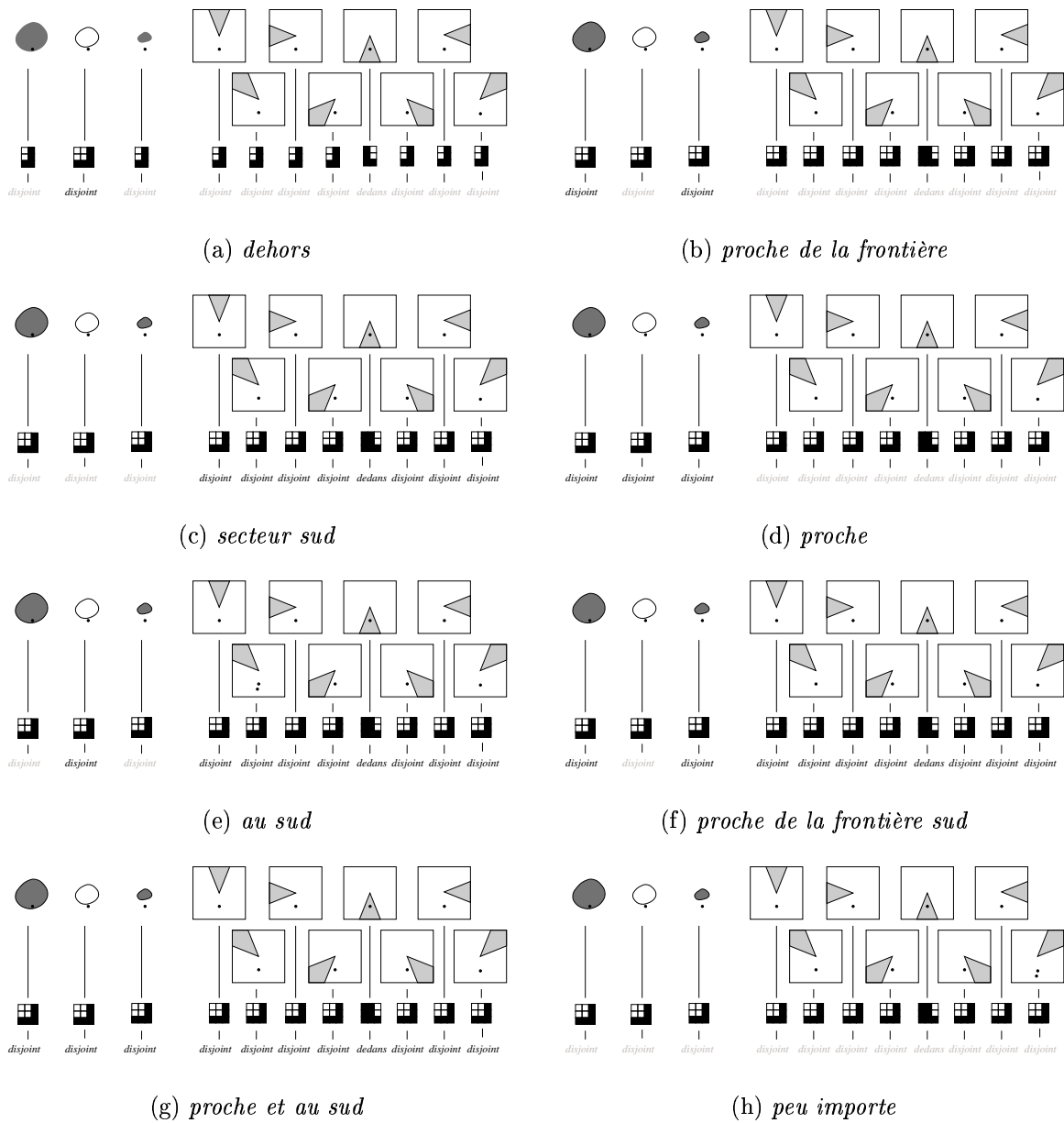


FIG. 2.16 – Re-compositions de l'objet complexe : la figure 2.15 est reprise huit fois pour donner lieu à huit interprétations différentes. En bas des figures nous y retrouvons donc les mêmes termes caractérisant les matrices, s'ils sont grisés c'est qu'il ne sont pas pris en compte.

Revenons sur le modèle formel de [BCLM95]. Nous souhaitons disposer de plusieurs fonctions d'interprétation. Les différentes analyses complexes que nous venons de citer nous donnent justement ces fonctions d'interprétation. Nous nommerons ces fonctions sous la forme int_{TMO} , où T , M et O sont trois nombres binaires pour indiquer si chacun des trois aspects Topologique, Métrique et Orientation sont respectivement pris en compte ou non. Pour les huit cas de la figure 2.16, que nous nommerons S_1 pour l'occasion, les cinq fonctions d'interprétation donnent les résultats suivants :

$int_{000}(S_1) = \langle S_1 : \text{zone, point, vide, peu importe} \rangle$
 $int_{100}(S_1) = \langle S_1 : \text{zone, point, topologique, dehors} \rangle$
 $int_{010}(S_1) = \langle S_1 : \text{zone, point, métrique, proche de la frontière} \rangle$
 $int_{001}(S_1) = \langle S_1 : \text{zone, point, orientation, secteur sud} \rangle$
 $int_{110}(S_1) = \langle S_1 : \text{zone, point, topologique+métrique, proche} \rangle$
 $int_{101}(S_1) = \langle S_1 : \text{zone, point, topologique+orientation, au sud} \rangle$
 $int_{011}(S_1) = \langle S_1 : \text{zone, point, métrique+orientation, proche de la frontière sud} \rangle$
 $int_{111}(S_1) = \langle S_1 : \text{zone, point, topologique+métrique+orientation, proche et au sud} \rangle$

Pour définir la fonction $int_{000}(X)$, c'est très simple, nous pouvons la définir ainsi :

$int_{000}(X) = \langle X : \text{zone, point, peu importe} \rangle$

La définition des autres fonctions d'interprétation va se faire par énumération des différents résultats des analyses simples ou d'autres fonctions d'interprétation. Nous allons commencer par les fonctions d'interprétation tenant compte d'un seul aspect. Prenons la fonction d'interprétation métrique (int_{010}), nous voulons qu'elle soit capable de relever les trois termes *loin*, *proche de la frontière* et *dans le centre*. La fonction d'interprétation va donc retourner tel ou tel de ces termes en fonction des résultats des analyses simples. L'analyse simple correspond au simple calcul d'une matrice. Nous noterons cette fonction $M(x, y)$, retournant le résultat de l'analyse simple entre deux objets simples x et y , c'est-à-dire la matrice caractérisant la relation spatiale entre x et y . Par exemple $matrice(\text{centre, point}) = r_3$. Avec ces notations nous pouvons définir notre fonction d'interprétation int_{010} comme suit :

fonction $int_{010}(X)$:

si $matrice(\text{périphérie, point}) = r_3$ **et** $matrice(\text{centre, point}) = r_3$ **alors**
retourner $\langle X : \text{zone, point, métrique, loin} \rangle$
sinon si $matrice(\text{périphérie, point}) = r_1$ **et** $matrice(\text{centre, point}) = r_3$ **alors**
retourner $\langle X : \text{zone, point, métrique, proche de la frontière} \rangle$
sinon si $matrice(\text{périphérie, point}) = r_1$ **et** $matrice(\text{centre, point}) = r_3$ **alors**
retourner $\langle X : \text{zone, point, métrique, sur le bord} \rangle$
sinon si $matrice(\text{périphérie, point}) = r_1$ **et** $matrice(\text{centre, point}) = r_1$ **alors**
retourner $\langle X : \text{zone, point, métrique, dans le centre} \rangle$
sinon retourner \emptyset

Nous noterons qu'il existe des configurations pour lesquelles cette fonction n'est pas définie, par exemple lorsque le point est sur la frontière de la périphérie. Dans ce cas, la fonction ne retourne rien, d'où la dernière ligne de la fonction qui retourne l'ensemble vide. En autorisant que les fonctions ne soient pas définies pour toutes les configurations nous donnons une souplesse pour la définition de ces fonctions. Seules les configurations qui nous intéressent sont définies, sans se soucier d'être exhaustif sur l'énumération des configurations.

Comme $int_{010}(X)$, la fonction $int_{001}(X)$ est de la forme :

```

fonction int001(X) :
  si matrice(nord, point)= r1 alors
    retourner < X : zone, point, orientation, secteur nord >
  sinon si matrice(nord-ouest, point)= r1 alors
    retourner < X : zone, point, orientation, secteur nord-ouest >
    :
  sinon si matrice(nord-est, point)= r1 alors
    < X : zone, point, orientation, secteur nord-est >
  sinon si matrice(nord, point)= r1 et
    matrice(nord-ouest, point)= r1 et
    :
    matrice(nord-est, point)= r1 alors
  retourner < X : zone, point, orientation, au centre >

```

La fonction *int*₁₀₀(*X*), quant à elle, associe un terme à chacune des trois configurations :

```

fonction int100(X) :
  si matrice(zone, point)= r1 alors
    int100(X) =< X : zone, point, topologique, dedans >
  sinon si matrice(zone, point)= r2 alors
    int100(X) =< X : zone, point, topologique, sur la frontière >
  sinon si matrice(zone, point)= r3 alors
    retourner int100(X) =< X : zone, point, topologique, dehors >

```

Les fonctions tenant compte de plusieurs aspects à la fois vont pouvoir utiliser les résultats des fonctions ne tenant compte que d'un aspect. La fonction *int*₁₁₀(*X*) pourra être définie ainsi :

```

fonction int110(X) :
  si int010(X) =< X : zone, point, métrique, dans le centre > alors
    retourner < X : zone, point, topologique+métrique, dans le centre >
  sinon si int100(X) =< X : zone, point, topologique, dedans > et
    int010(X) =< X : zone, point, métrique, proche de la frontière > alors
    retourner < X : zone, point, topologique+métrique, sur le bord >
  sinon si int100(X) =< X : zone, point, topologique, sur la frontière > alors
    retourner < X : zone, point, topologique+métrique, sur la frontière >
  sinon si int100(X) =< X : zone, point, topologique, dehors > et
    int010(X) =< X : zone, point, métrique, proche de la frontière > alors
    retourner < X : zone, point, topologique+métrique, proche >
  sinon si int010(X) =< X : zone, point, métrique, loin > alors
    retourner < X : zone, point, topologique+métrique, loin >

```

Ainsi les fonctions sont susceptibles de retourner soit un résultat vide soit un résultat non vide. Une seule déroge à cette règle : *int*₀₀₀(*X*) qui retourne toujours un résultat non vide. Ainsi, quel que soit le schéma, si toutes les fonctions autres que *int*₀₀₀(*X*) retournent un résultat vide, il y aura toujours le résultat de la fonction *int*₀₀₀(*X*) comme interprétation du schéma initial. Un seul mode sera alors proposé à l'utilisateur pour interpréter la relation entre ces deux objets, sans modifier son schéma initial.

Avec ces fonctions d'interprétation, si nous reprenons le schéma du chapitre précédent, reproduit figure 2.17, nous obtenons les interprétations suivantes (la description ne figure pas entièrement, seul le champ RELATION_SPATIALE est noté). Nous remarquerons que les fonction *int*₀₁₀(*X*) et *int*₀₁₁(*X*) ne sont pas définies lorsque le point est sur la frontière :

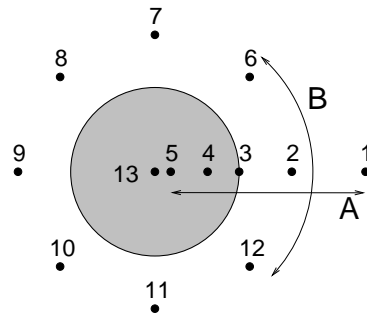


FIG. 2.17 – Dépendance entre les glissements de sens de différents aspects

	13	5	4	3	2	1
$int_{000}(X)$	<i>peu importe</i>	<i>peu importe</i>	<i>peu importe</i>	<i>peu importe</i>	<i>peu importe</i>	<i>peu importe</i>
$int_{100}(X)$	<i>dedans</i>	<i>dedans</i>	<i>dedans</i>	<i>sur la frontière</i>	<i>dehors</i>	<i>dehors</i>
$int_{010}(X)$	<i>dans le centre</i>	<i>dans le centre</i>	<i>proche de la frontière</i>	<i>proche de la frontière</i>	<i>proche de la frontière</i>	<i>loin</i>
$int_{001}(X)$	<i>au centre</i>	<i>secteur est</i>	<i>secteur est</i>	<i>secteur est</i>	<i>secteur est</i>	<i>secteur est</i>
$int_{110}(X)$	<i>dans le centre</i>	<i>dans le centre</i>	<i>au bord</i>	<i>sur la frontière</i>	<i>près de</i>	<i>loin</i>
$int_{101}(X)$	<i>au centre</i>	<i>dans l'est</i>	<i>dans l'est</i>	<i>sur la frontière est</i>	<i>à l'est</i>	<i>à l'est</i>
$int_{011}(X)$	<i>au centre</i>	<i>dans le centre est</i>	<i>proche de la frontière est</i>	<i>proche de la frontière est</i>	<i>proche de la frontière est</i>	<i>loin et à l'est</i>
$int_{111}(X)$	<i>au centre</i>	<i>dans le centre est</i>	<i>au bord est</i>	<i>sur la frontière est</i>	<i>proche et à l'est</i>	<i>loin et à l'est</i>

Le modèle d'analyse spatiale doit d'une part disposer de plusieurs fonctions d'interprétation donnant plusieurs interprétations d'un schéma. D'autre part, il doit aussi disposer d'un graphe d'adjacence pour déterminer des schémas proches du schéma initial. Dans cette section nous avons montré comment notre modèle permet de disposer de plusieurs fonctions d'interprétation. Dans la section suivante nous allons voir comment construire un graphe d'adjacence conceptuelle avec des objets complexes.

2.4 Les glissements de sens

En utilisant le modèle 9-intersections de Max J.Egenhofer, nous venons de proposer un moyen d'analyse spatiale capable de relever des contraintes topologiques, métriques, d'orientation et de les composer entre elles. Le modèle 9-intersections possède déjà un graphe d'adjacence conceptuelle pour les objets simples. Une remarque s'impose alors. À l'aide de ces objets simples nous avons fait des objets complexes : quels sont les graphes d'adjacence pour ces nouveaux objets? C'est à cette question que nous allons répondre dans cette section. Dans une première partie nous rappellerons le principe du glissement de sens et nous donnerons les graphes d'adjacence pour les objets simples. Dans une seconde partie nous verrons comment déterminer les glissements sur les objets complexes en fonction des glissements sur les objets simples.

2.4.1 Les glissements sur les objets simples

Au chapitre précédent nous avons retenu le principe du mouvement continu pour déterminer les glissements de sens. Avec ce principe deux configurations sont liées si l'on peut passer de l'une à l'autre

par déformation ou déplacement des objets sans passer par une troisième configuration intermédiaire. Sur notre exemple zone-point, les trois configurations r_1 , r_2 et r_3 sont liées par le graphe de la figure 2.18.

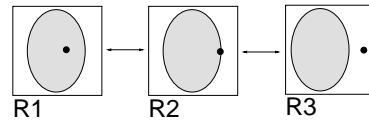


FIG. 2.18 – Le graphe d'adjacence conceptuelle du modèle 9-intersections.

Les objets comme le centre, la périphérie ou les secteurs cardinaux sont ajoutés à la zone initiale pour relever des contraintes métriques et d'orientation. Lors de la composition en objet complexe, il faut donc discerner deux types d'objets : l'objet initial, celui tracé par l'utilisateur et les objets ajoutés. La frontière des objets ajoutés n'a pas besoin d'être considérée. Prenons l'exemple de la périphérie, elle sert à discerner un objet loin d'une zone d'un objet proche. Ainsi, la frontière de la périphérie va délimiter le seuil entre ces deux concepts. D'un côté de la frontière, on est proche, de l'autre côté, on est loin. Le positionnement sur la frontière ne correspond à aucun concept particulier, d'où le choix de la rendre invisible pour l'utilisateur : les traits des frontières des objets ajoutés ne figurent pas sur le schéma, seules figurent les frontières des objets initiaux. Lors des glissements de sens, nous voudrions aussi que les frontières des objets ajoutés ne soient plus prises en compte. Nous allons alors créer un graphe d'adjacence pour les objets ajoutés dont on veut ignorer la frontière. Ce graphe peut être déduit du graphe sur les objets avec frontière. La frontière n'étant plus considérée, nous allons autoriser le point à « sauter par dessus ». Ce « saut » consiste à enchaîner deux mouvements de suite, voir figure 2.19.

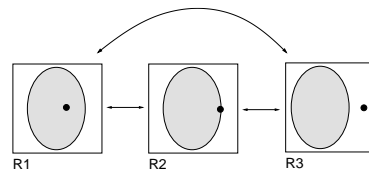


FIG. 2.19 – Le graphe d'adjacence conceptuelle sur une zone ajoutée. Il peut être déduit du graphe sur les objets initiaux : on ignore la frontière en « sautant par dessus ».

Un tel glissement sera nommé un « saut ». Nous nommerons un saut avec la notation $\overset{\frown}{a}b$ où a et b sont deux configurations telles que pour se retrouver dans la configuration b il a fallu passer par la configuration a . Le saut sera à différencier des glissements que nous avons vus dans les graphes d'adjacence conceptuelle et que nous nommerons « glissement direct ». Ces deux types de glissements seront représentés par deux fonctions : $gl_direct(x)$ et $gl_saut(x)$. Le glissement $gl_direct(x)$ retourne l'ensemble des voisins d'une configuration simple x pour les objets simples avec frontière. Le glissement $gl_saut(x)$ sera la même fonction pour les objets simples dont on veut ignorer la frontière, elle retournera l'ensemble des sauts possibles depuis une configuration. Ainsi :

$$\begin{aligned} gl_direct(r_1) &= \{r_2\} \\ gl_direct(r_2) &= \{r_1, r_3\} \\ gl_direct(r_3) &= \{r_2\} \\ gl_saut(r_1) &= \{\overset{\frown}{r_2}r_3\} \\ gl_saut(r_3) &= \{\overset{\frown}{r_2}r_1\} \end{aligned}$$

Sur l'exemple zone-point, nous venons de voir les glissements pour les relations entre objets simples, ils donnent lieu à deux fonctions. Pour les relations zone complexe-point, nous allons proposer un graphe construit par un algorithme utilisant ces deux fonctions.

2.4.2 Les glissements sur les objets complexes

Reprenons le schéma de la figure 2.17 et intéressons-nous aux glissements $1 \leftrightarrow 2 \leftrightarrow 3$. Ces glissements ne concernent pas des changements d'orientation. Les trois configurations, 1, 2 et 3, ainsi que leurs

décompositions en relations simples sont reproduites figure 2.20.

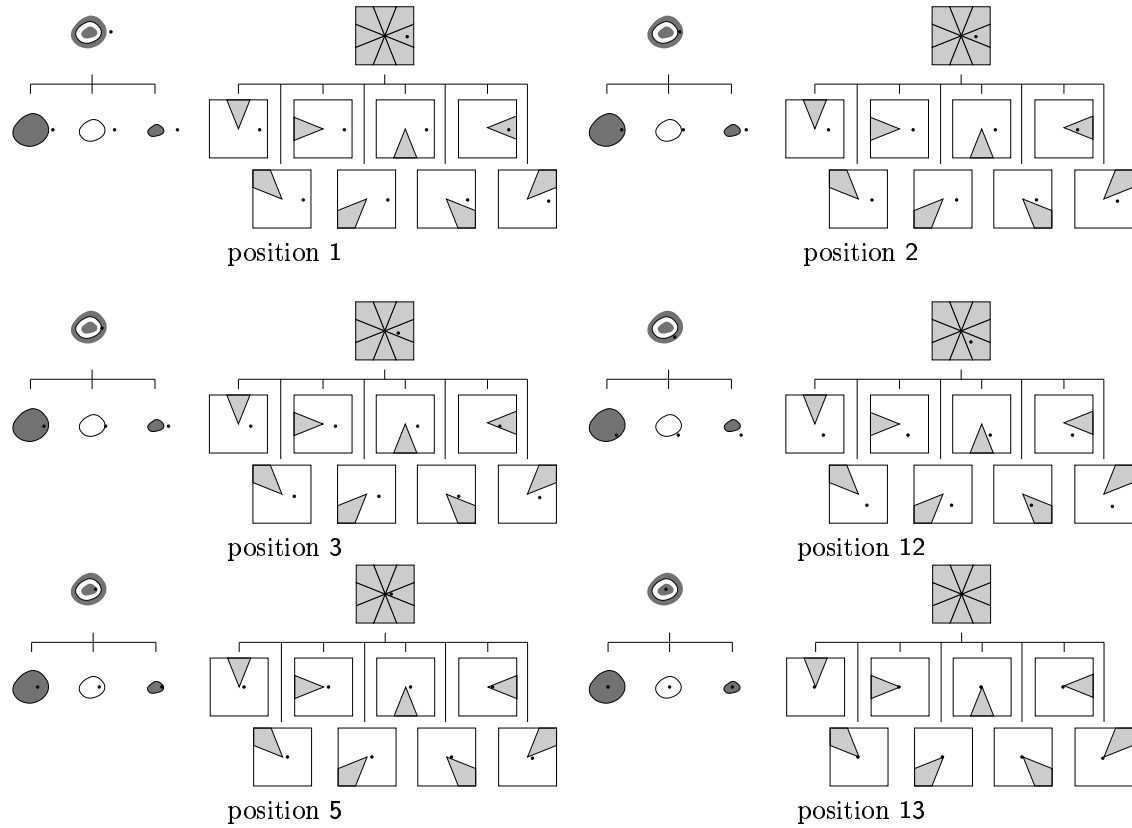


FIG. 2.20 – Six exemples de positions entre un point et une zone avec leurs décompositions en objets simples, ils mettent en évidence la distance du point par rapport à la zone ainsi que son orientation.

Nous souhaitons avoir un glissement entre la position 1 et la position 2. En observant les configurations simples des deux schémas 1 et 2 de la figure 2.20, nous voyons que c'est la configuration entre le point et la périphérie de la zone qui change, elle passe de la position r_1 à la position r_3 . Naturellement, ce glissement ($r_1 \leftrightarrow r_3$) nous est donné par le glissement sur les objets simples sans frontière. De la même façon, le glissement entre les positions 2 et 3 correspond à un changement de configuration entre le point et la zone. Le point passe de l'extérieur de la zone sur sa frontière, c'est le glissement $r_1 \leftrightarrow r_2$ du graphe sur les objets simples.

Nous pouvons alors formaliser la façon dont nous notons les configurations complexes. Représentons une configuration complexe par la liste ordonnée des 11 configurations simples :

$$(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, M_{C,Pt}, M_{N,Pt}, M_{NO,Pt}, M_{O,Pt}, M_{SO,Pt}, M_{S,Pt}, M_{SE,Pt}, M_{E,Pt}, M_{NE,Pt})$$

représentant respectivement les relations du point avec la périphérie de la zone, avec le centre de la zone et avec les 8 secteurs nord, nord-ouest, ouest, sud-ouest, sud, sud-est, est et nord-est. Dans la position 1 nous sommes dans la configuration $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$. Pour $M_{P,Pt}$ il existe un glissement $r_1 \leftrightarrow r_3$, ce qui nous autorise à passer dans la configuration de la position 2 : $(r_1, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$. Enfin, depuis la position 2, pour $M_{Z,Pt}$ il existe un glissement $r_2 \leftrightarrow r_3$ qui nous autorise à passer dans la configuration de la position 3 : $(r_1, r_2, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$.

Dans cet exemple, les glissements ne portaient pas sur les secteurs cardinaux, nous allons maintenant nous y intéresser. Observons à cette fin le glissement $1 \leftrightarrow 12$ sur la figure 2.17. Nous pouvons à nouveau décomposer les configurations simples correspondant aux positions 1 et 12 de la figure 2.20.

La position 1 correspond à la configuration $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$, la position 12 à la configuration $(r_1, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3, r_3)$. Entre les deux, trois glissements sur les objets simples

ont été effectués simultanément. Pour $M_{P,Pt}$ nous sommes passés de la configuration r_3 à la configuration r_1 , pour E nous sommes passés de la configuration r_1 à la configuration r_3 et pour SE nous sommes passé de r_3 à r_1 . Ces trois glissements sont toujours issus des graphes sur les objets simples. Dans ce cas les frontières de E et de SE sont ignorées.

Prenons un second exemple, toujours figure 2.20, le glissement $5 \leftrightarrow 13$. Dans la position 5, nous sommes dans la configuration $(r_1, r_1, r_1, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$, en faisant le glissement $r_1 \rightarrow r_2$ sur E et le glissement $r_3 \rightarrow r_2$, sur tous les autres secteurs, nous passons vers la configuration $(r_1, r_1, r_1, r_2, r_2, r_2, r_2, r_2, r_2, r_2, r_2)$ correspondant à la position 13. Dans ce cas les frontières des secteurs cardinaux ne sont pas ignorées.

Notons $gl_complexe(X)$ une fonction qui retourne l'ensemble des configurations complexes accessibles depuis une configuration complexe X . Avec les fonctions de glissement sur les objets simples, nous pouvons définir les fonctions de glissements sur les objets complexes comme suit. Soit une configuration complexe $C = (M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, M_{C,Pt}, M_{N,Pt}, M_{NO,Pt}, M_{O,Pt}, M_{SO,Pt}, M_{S,Pt}, M_{SE,Pt}, M_{E,Pt})$ telle que $gl_complexe(C) = V$. Soit une configuration complexe $C' = (M'_{P,Pt}, M'_{Z,Pt}, M'_{C,Pt}, M'_{N,Pt}, M'_{NO,Pt}, M'_{O,Pt}, M'_{SO,Pt}, M'_{S,Pt}, M'_{SE,Pt}, M'_{E,Pt}, M'_{NE,Pt})$ telle que $C' \in V$. Alors, avec ce que nous connaissons sur les glissements de sens sur les configurations complexes nous pouvons dire que :

$$M'_{P,Pt} = M_{P,Pt} \text{ ou } M'_{P,Pt} \in gl_saut(M_{P,Pt}) \text{ ou } M'_{P,Pt} \in gl_direct(M_{P,Pt}) \quad (1)$$

$$\text{et } M'_{Z,Pt} = M_{Z,Pt} \text{ ou } M'_{Z,Pt} \in gl_direct(M_{Z,Pt}) \quad (2)$$

$$\text{et } M'_{C,Pt} = M_{C,Pt} \text{ ou } M'_{C,Pt} \in gl_saut(M_{C,Pt}) \text{ ou } M'_{C,Pt} \in gl_direct(M_{C,Pt}) \quad (3)$$

$$\text{et } M'_{N,Pt} = M_{N,Pt} \text{ ou } M'_{N,Pt} \in gl_saut(M_{N,Pt}) \text{ ou } M'_{N,Pt} \in gl_direct(M_{N,Pt}) \quad (4)$$

$$\text{et } M'_{NO,Pt} = M_{NO,Pt} \text{ ou } M'_{NO,Pt} \in gl_saut(M_{NO,Pt}) \text{ ou } M'_{NO,Pt} \in gl_direct(M_{NO,Pt}) \quad (5)$$

$$\text{et } M'_{O,Pt} = M_{O,Pt} \text{ ou } M'_{O,Pt} \in gl_saut(M_{O,Pt}) \text{ ou } M'_{O,Pt} \in gl_direct(M_{O,Pt}) \quad (6)$$

$$\text{et } M'_{SO,Pt} = M_{SO,Pt} \text{ ou } M'_{SO,Pt} \in gl_saut(M_{SO,Pt}) \text{ ou } M'_{SO,Pt} \in gl_direct(M_{SO,Pt}) \quad (7)$$

$$\text{et } M'_{S,Pt} = M_{S,Pt} \text{ ou } M'_{S,Pt} \in gl_saut(M_{S,Pt}) \text{ ou } M'_{S,Pt} \in gl_direct(M_{S,Pt}) \quad (8)$$

$$\text{et } M'_{SE,Pt} = M_{SE,Pt} \text{ ou } M'_{SE,Pt} \in gl_saut(M_{SE,Pt}) \text{ ou } M'_{SE,Pt} \in gl_direct(M_{SE,Pt}) \quad (9)$$

$$\text{et } M'_{E,Pt} = M_{E,Pt} \text{ ou } M'_{E,Pt} \in gl_saut(M_{E,Pt}) \text{ ou } M'_{E,Pt} \in gl_direct(M_{E,Pt}) \quad (10)$$

$$\text{et } M'_{NE,Pt} = M_{NE,Pt} \text{ ou } M'_{NE,Pt} \in gl_saut(M_{NE,Pt}) \text{ ou } M'_{NE,Pt} \in gl_direct(M_{NE,Pt}) \quad (11)$$

$$\text{et } M'_{P,Pt} \neq M_{P,Pt} \text{ ou } M'_{Z,Pt} \neq M_{Z,Pt} \text{ ou } M'_{C,Pt} \neq M_{C,Pt} \text{ ou } M'_{N,Pt} \neq M_{N,Pt} \text{ ou } M'_{NO,Pt} \neq M_{NO,Pt} \text{ ou } M'_{O,Pt} \neq M_{O,Pt} \text{ ou } M'_{SO,Pt} \neq M_{SO,Pt} \text{ ou } M'_{S,Pt} \neq M_{S,Pt} \text{ ou } M'_{SE,Pt} \neq M_{SE,Pt} \text{ ou } M'_{E,Pt} \neq M_{E,Pt} \text{ ou } M'_{NE,Pt} \neq M_{NE,Pt} \quad (12)$$

Autrement dit, l'ensemble de tous les glissements complexes est inclu dans l'ensemble de toutes les combinaisons des glissements simples possibles sur tout ou partie des configurations simples.

Cette définition n'est bien sûr pas suffisante. Un premier tri doit être fait pour choisir entre les glissements directs et les sauts. Prenons la configuration $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$. Deux glissements simples peuvent y être faits, $r_1 \rightarrow r_2$ pour E et $r_3 \rightarrow r_2$ pour SE , donnant ainsi la configuration $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_2, r_2, r_3)$. Le point se situe alors sur la frontière des deux secteurs E et SE . Cette position par rapport aux secteurs ne nous intéresse pas. Nous cherchons à situer le point dans l'intérieur d'un secteur pour lui attribuer une orientation par rapport à la zone, cette position « à cheval » sur deux secteurs ne nous convient pas et nous voudrions que ce glissement ne soit pas proposé. Pour ne pas proposer ce glissement, il est donc nécessaire de savoir que la position à laquelle il aboutit ne nous intéresse pas. Pour le savoir il suffit de regarder les fonctions d'interprétation, ici :

$$int_{001}((r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_2, r_2, r_3)) = \emptyset$$

Un glissement sera donc proposé si la position p à laquelle il aboutit vérifie les trois conditions :

$$\begin{aligned} int_{100}(p) &\neq \emptyset \\ int_{010}(p) &\neq \emptyset \\ int_{001}(p) &\neq \emptyset \end{aligned}$$

Dans ce cas, nous dirons que la position est « définie ».

Une fois ce premier tri fait parmi toutes les combinaisons possibles de glissements simples, la plupart sont impossibles topologiquement. Dans ce cas nous dirons que la configuration complexe présente des configurations incompatibles. Par exemple depuis la configuration $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$, si nous effectuons le glissement simple $r_3 \rightarrow r_1$ sur le centre, nous obtenons la configuration $(r_3, r_3, r_1, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$ signifiant que le point est à la fois dans le centre et en dehors de la périphérie. Cette configuration est bien entendu impossible car la configuration C est incompatible avec $M_{P,Pt}$ ainsi qu'avec $M_{Z,Pt}$. Elle ne doit pas être retenue. Nous introduirons donc une troisième fonction qui dit si oui ou non toutes les configurations d'une configuration complexe C sont compatibles. Appelons cette fonction $tt_cptes(C) : tt_cptes(C) = VRAI$ si et seulement si C est une configuration topologiquement possible sinon $tt_cptes(C) = FAUX$. Nous verrons plus loin comment construire une telle fonction. Nous pouvons alors ajouter une contrainte supplémentaire aux 8 contraintes précédentes :

$$\wedge tt_cptes((M'_{P,Pt}, M'_{Z,Pt}, M'_{C,Pt}, M'_{N,Pt}, M'_{NO,Pt}, M'_{O,Pt}, M'_{SO,Pt}, M'_{S,Pt}, M'_{SE,Pt}, M'_{E,Pt}, M'_{NE,Pt})) \quad (12)$$

Avec la fonction tt_cptes , les configurations retournées par la fonction $gl_complexe$ sont toutes topologiquement possibles. Ces contraintes sont elles suffisantes ? Prenons à nouveau la configuration $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$ correspondant à la position 1 sur la figure 2.17. Nous pouvons effectuer sur elle deux glissements simples sur la périphérie et sur la zone : sur $M_{P,Pt} : r_3 \rightarrow r_1$, sur $M_{Z,Pt} : r_3 \rightarrow r_2$. Nous obtenons la configuration $(r_1, r_1, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$. Cette configuration est topologiquement possible puisque c'est celle correspondant à la position 3 sur la figure 2.17. Avec ce glissement nous passerions de la position 1 à la position 3. Or, pour passer entre ces deux positions, il est nécessaire de passer par la position 2. Selon le principe du mouvement continu, le glissement $1 \leftrightarrow 3$ ne doit donc pas exister. Nous devons donc ajouter une contrainte supplémentaire pour interdire ce glissement.

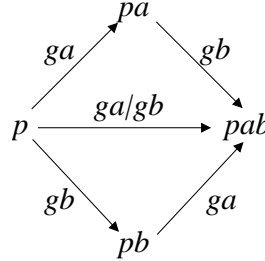


FIG. 2.21 – Les trois façons d'effectuer deux glissements.

Considérons deux positions p et pab respectivement dans les configurations C_p et C_{pab} . Considérons qu'entre p et pab , deux glissements simples ont été effectués, sur deux objets simples que nous nommerons a et b . Le glissement vers l'objet simple a sera nommé g_a , le glissement vers l'objet simple b sera nommé g_b . Pour passer de la position p à la position pab , il faut effectuer les deux glissements g_a et g_b . Le déplacement des objets pour passer de p à pab peut alors se faire de trois façons différentes :

- g_a se produit avant g_b (1)
- g_b se produit avant g_a (2)
- g_a et g_b se produisent au même instant (3)

Dans le cas (1), il existe une position intermédiaire correspondant à la configuration où seul g_a s'est produit, nous l'appellerons C_{pa} . Idem pour le cas (2) : il existe une configuration intermédiaire où seul g_b s'est produit, nous l'appellerons C_{pb} . Dans le cas (3), les deux glissements se produisant simultanément, il n'y a pas de configuration intermédiaire entre C_p et C_{pab} (voir figure 2.21). L'existence d'une position intermédiaire dans les cas (1) et (2) fait que ces deux cas doivent être évitables pour que le glissement complexe soit accepté. Éviter les cas (1) et (2) signifie choisir le cas (3). Donc pour qu'un glissement complexe soit accepté, il faut que g_a et g_b puissent s'effectuer simultanément.

Observons les deux configurations de la figure 2.22. Dans la configuration de gauche, une zone en contient une autre, sans qu'elle soit sur le bord. Pour atteindre la position pab , le point doit d'abord

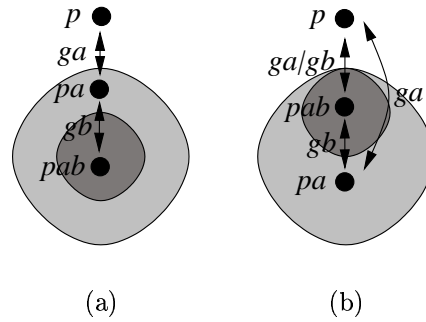


FIG. 2.22 – En (a), les deux glissements g_a et g_b ne sont pas possibles simultanément, en (b), ils sont possibles simultanément. Comment différencier ces deux cas ?

passer par la position p_a , les deux glissements g_a et g_b ne peuvent donc pas s'effectuer simultanément. Cette configuration correspond à celle d'une zone avec son centre ou bien d'une zone avec sa périphérie. Dans la configuration de droite, une zone en contient toujours une autre mais cette fois-ci, celle-ci est sur le bord. Pour atteindre la position p_{ab} , le point peut effectuer les deux glissements g_a et g_b simultanément.

De façon générale, nous pouvons exposer la situation grâce aux quatre configurations de la figure 2.23. En (a) et (b), nous trouvons une zone contenant une autre. Dans cette situation il faut savoir si un point peut passer simultanément de l'extérieur des deux zones vers leurs intérieurs. Dans le cas (a), c'est impossible alors que c'est possible dans le cas (b). En (c) et (d), nous trouvons deux zones disjointes. Dans cette situation il faut savoir si un point peut passer simultanément d'une zone à l'autre. Encore une fois, c'est impossible dans le cas (c) mais possible dans l'autre cas (d). Il faut donc être capable de différencier le cas (a) du cas (b) ainsi que le cas (c) du cas (d). Pour les différencier nous proposons de représenter les configurations entre les zones à l'aide de matrices d'intersection.

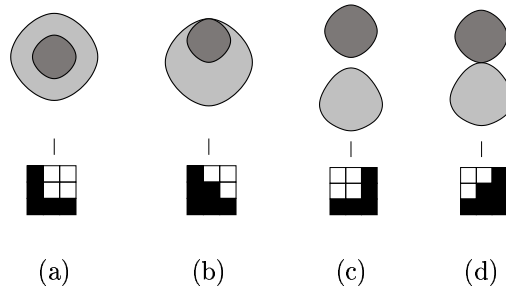


FIG. 2.23 – Quatre configurations et leurs matrices que nous nommerons r_6 pour (a), r_4 pour (b), r_1 pour (c) et r_2 pour (d). L'intersection ou non des frontières, visible dans les matrices, permet d'interdire deux glissements simultanés dans les cas (a) et (c) et de les autoriser dans les cas (b) et (d).

Nous pouvons donc empêcher les deux glissements simultanés de la configuration 2.22.(a) et autoriser les glissements simultanés de la configuration 2.22.(b). Ceci grâce à leurs matrices d'intersection qui possèdent une intersection frontière-frontière dans le cas (b) et pas dans le cas (a). Comment utiliser cette intersection à ces fins ? Les règles pour autoriser ou non deux glissements simultanés vont trouver justification dans l'analyse temporelle d'un glissement.

Dans le cas d'un saut, le passage d'une configuration ra_1 à une configuration ra_2 , passe par une configuration intermédiaire que nous appellerons oa ($\widehat{oa} ra_2 \in gl_saut(ra_1)$). Il y a donc une première transition de ra_1 vers oa , suivie d'une seconde transition de oa vers ra_2 . Entre ces deux transitions, les objets sont donc dans la configuration oa . Lorsque les objets sont dans la configuration intermédiaire oa , le glissement a commencé mais n'est pas encore fini, c'est le moment de la transition : voir figure 2.24.(a). Si ce saut doit se faire simultanément avec un autre saut, par exemple un saut de rb_1 vers rb_2 en passant par ob ($\widehat{ob} rb_2 \in gl_saut(rb_1)$), les moments des deux transitions doivent être simultanés. Ceci implique que les configurations ra_1 avec rb_1 , oa avec ob et ra_2 avec rb_2 soient compatibles topologiquement. Pour

la première, ra_1 avec rb_1 , c'est vrai par hypothèse puisque c'est la configuration initiale, pour les deux autres, c'est à vérifier.

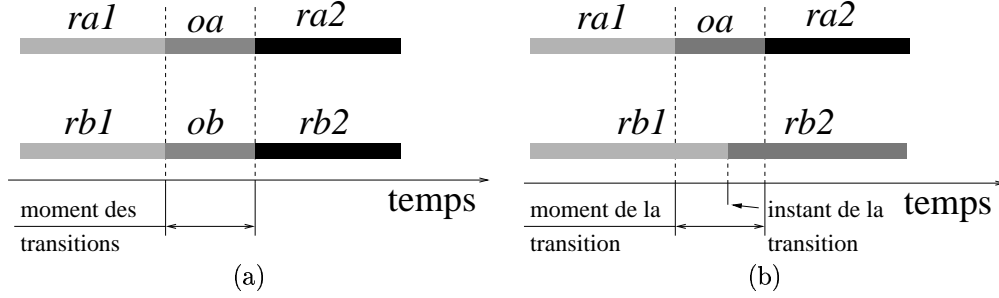


FIG. 2.24 – Pour deux sauts simultanés, ce sont les moments des transitions qui doivent avoir lieu simultanément, dans le cas d'un saut et d'un glissement direct, l'instant de la transition du glissement direct doit avoir lieu pendant la transition du saut.

Considérons maintenant le cas d'un saut d'une configuration ra_1 vers une configuration ra_2 , passant par une configuration intermédiaire oa avec un glissement direct de rb_1 vers rb_2 ($rb_2 \in gl_direct(rb_1)$). Pour se produire simultanément, l'instant de la transition du glissement direct doit avoir lieu pendant la transition du saut, c'est-à-dire quand il est en configuration oa (voir figure 2.24.b). Ceci implique que les configurations ra_1 avec rb_1 , oa avec rb_1 , oa avec rb_2 et ra_2 avec rb_2 soient compatibles. Pour la première, ra_1 avec rb_1 , c'est vrai par hypothèse puisque c'est la configuration initiale, pour les trois autres, c'est à vérifier. Nous appellerons ces contraintes les « règles de simultanété ».

Précédemment nous avons dû vérifier la cohérence topologique de toute une configuration complexe, d'où la fonction $tt_cptes(C)$. Cette fois ci nous devons vérifier la cohérence topologique de deux configurations simples en connaissant une troisième configuration, celle des objets auxquels elles se rapportent. Nous introduirons alors la fonction $trpt_cptes(R_{ba}, R_{ac}, R_{bc})$ qui vérifiera la compatibilité d'un triplet de relations. R_{ba} , R_{ac} et R_{bc} représentent respectivement les relations entre un objet b et un objet a , entre un objet a et un objet c et entre un objet b et un objet c . Cette fonction retourne *VRAI* ou *FAUX* selon que les trois configurations sont compatibles ou non.

Appliquons ces règles sur l'exemple de la figure 2.22. Notons (f, c) la relation du point respectivement avec les zones foncées et claires. Intéressons-nous d'abord à la configuration (a) de la figure 2.22. Les deux zones sont en configuration r_6 . En position p , le point est en relation (r_3, r_3) avec les deux zones, en position pab il est en position (r_1, r_1) . Pour passer de l'une à l'autre il faut effectuer simultanément le saut vers \hat{r}_1 sur les deux zones. Ce saut est issu du glissement $gl_saut(r_3) = \{\hat{r}_1\}$. En effectuant ces sauts, le point passe simultanément par les configurations $(r_3, r_3) \rightarrow (r_2, r_2) \rightarrow (r_1, r_1)$. Nous pouvons alors constater que les deux configurations (r_2, r_2) ne sont pas compatibles ($trpt_cptes(r_6, r_2, r_2) = FAUX$), donc ces deux glissements ne sont pas possibles simultanément.

Le même principe peut s'appliquer à la configuration (b). Cette fois ci les deux zones sont dans la configuration r_4 . Il faut dans ce cas encore passer de la configuration (r_3, r_3) à la configuration (r_1, r_1) . Ceci implique toujours le saut vers \hat{r}_1 sur les deux zones. En effectuant ces sauts, le point passe simultanément par les configurations $(r_1, r_1) \rightarrow (r_2, r_2) \rightarrow (r_3, r_3)$. Encore une fois ceci implique une position intermédiaire (r_2, r_2) mais cette fois ci elles ne sont plus incompatibles ($trpt_cptes(r_4, r_2, r_2) = VRAI$). Ces deux glissements peuvent alors être autorisés simultanément.

Appliquons maintenant les règles de simultanété sur l'exemple du glissement d'un point par rapport à une zone sans frontière et une zone avec frontière. Observons la figure 2.25.(a). Notons (c, b) la relation du point respectivement avec les zones claire et blanche. En p le point est en position (r_3, r_3) , en pab il est en position (r_1, r_2) . Pour passer de l'une à l'autre il faut effectuer le saut vers \hat{r}_1 pour c et le glissement direct vers r_2 pour b . Le saut est issu du glissement $gl_saut(r_3) = \{\hat{r}_1\}$, le glissement direct est issu de $gl_direct(r_3) = \{r_2\}$. Ce double glissement nécessite de passer successivement par les positions $(r_3, r_3) \rightarrow (r_2, r_3) \rightarrow (r_2, r_2) \rightarrow (r_1, r_2)$. Or il existe une position, (r_2, r_2) , qui est incohérente topologiquement ($trpt_cptes(r_6, r_2, r_2) = FAUX$). D'où le refus de ces deux glissements simultanément.

Nous pouvons résumer ainsi les deux situations précédentes : soit un objet complexe composé, entre

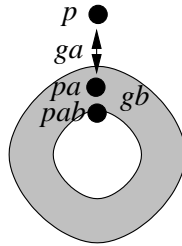


FIG. 2.25 – Non simultanéité des glissements entre une zone sans frontière et une zone avec frontière.

autres, de deux objets simples a et b . Leur relation topologique sera notée M_{ba} . Soit c un troisième objet simple issu d'un autre objet complexe. Soit $(M_{a,c}, M_{b,c})$ les deux relations qu'entretient respectivement l'objet c avec a et b . Si a et b sont deux objets aux frontières masquées, alors s'il existe deux glissements simples produisant deux sauts $\widehat{M_{o,a}} M'_{a,c}$ et $\widehat{o,b} M'_{b,c}$ tels que $\widehat{M_{o,a}} M'_{a,c} \in gl_saut(M_{a,c})$ et $\widehat{M_{o,b}} M'_{b,c} \in gl_saut(M_{b,c})$, ces deux glissements peuvent se faire simultanément si :

$$\begin{aligned} & trpt_cptes(M_{ba}, M_{o,a}, M_{o,b}) = VRAI \\ \wedge & trpt_cptes(M_{b,a}, M'_{a,c}, M'_{b,c}) = VRAI \end{aligned}$$

Si a est un objet à frontière masquée et b un objet avec frontière visible, alors s'il existe deux glissements simples produisant un saut vers $\widehat{M_{o,a}} M'_{a,c}$ et un glissement vers $M'_{b,c}$ tels que $\widehat{M_{o,a}} M'_{a,c} \in gl_saut(M_{a,c})$ et $M'_{b,c} \in gl_direct(M_{b,c})$, ces deux glissements peuvent se faire simultanément si :

$$\begin{aligned} & trpt_cptes(M_{b,a}, M_{o,a}, M_{b,c}) = VRAI \\ \wedge & trpt_cptes(M_{b,a}, M_{o,a}, M'_{b,c}) = VRAI \\ \wedge & trpt_cptes(M_{b,a}, M'_{a,c}, M'_{b,c}) = VRAI \end{aligned}$$

Ces problèmes de simultanéité ont été donnés sur l'exemple d'un point et de deux zones. Ils n'impliquent donc que trois objets. Les vérifications nécessaires se font alors grâce à la fonction $trpt_cptes(x, y, z)$ qui prend justement en compte trois objets. Nous allons maintenant commencer à généraliser le cas en prenant en compte n objets.

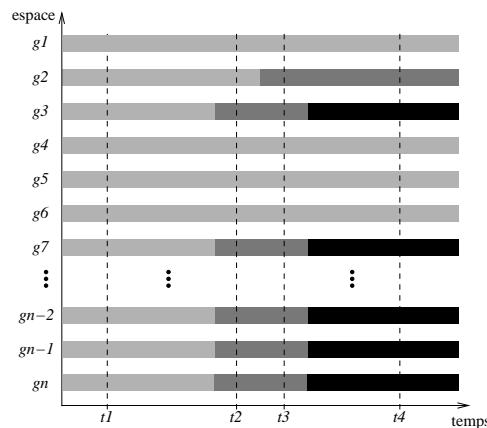


FIG. 2.26 – La simultanéité des glissements entre n objets.

Soient n glissements $g_1, g_2, g_3 \dots g_n$ candidats pour être effectués simultanément. Le terme glissement sera aussi utilisé dans le cas d'un déplacement nul, laissant les objets dans leurs positions initiales. Quelles conditions faut-il vérifier pour s'assurer que leurs exécutions simultanées soit possibles ?

Sur la figure 2.26, n glissements ont été représentés dans le temps sous forme de bande. Si la bande ne comporte qu'une seule nuance de gris, c'est un glissement nul, si elle en comporte deux c'est un glissement

direct, si elle en comporte trois, c'est un saut. Nous pouvons alors généraliser notre raisonnement précédent et dire qu'il faut vérifier la cohérence topologique de toute la configuration aux instants t_2, t_3 (l'instant t_1 correspondant à la configuration initiale, la configuration y est nécessairement correcte, l'instant t_4 correspondant à la configuration finale il est déjà vérifié).

En passant de 3 objets à n objets, nous passons de la fonction $trpt_cptes(x, y, z)$ à la fonction $tt_cptes(c)$. Nous allons maintenant voir les liens qui existent entre ces deux fonctions. Nous évoquerons alors des problèmes de dépendance ou d'indépendance des positions entre les objets.

2.4.3 Dépendances des positions sur l'exemple point-zone

Nous allons poser une condition sur les configurations entre les objets simples d'un objet complexe : soient $o_1, o_2 \dots o_n$, n objets simples composant un même objet complexe. Soit d un $n + i^{eme}$ objet simple issu d'un autre objet complexe. Notons $M_{x,y}$ une relation spatiale entre deux objets simples x et y . Soient les conditions S :

$$\begin{aligned} & trpt_cptes(M_{o_2, o_1}, M_{o_1, d}, M_{o_2, d}) = VRAI \\ \wedge & trpt_cptes(M_{o_3, o_1}, M_{o_1, d}, M_{o_3, d}) = VRAI \\ & \vdots \\ \wedge & trpt_cptes(M_{o_n, o_1}, M_{o_1, d}, M_{o_n, d}) = VRAI \\ \wedge & trpt_cptes(M_{o_3, o_2}, M_{o_2, d}, M_{o_3, d}) = VRAI \\ & \vdots \\ \wedge & trpt_cptes(M_{o_n, o_2}, M_{o_2, d}, M_{o_n, d}) = VRAI \\ & \vdots \\ \wedge & trpt_cptes(M_{o_n, o_{n-1}}, M_{o_{n-1}, d}, M_{o_n, d}) = VRAI \end{aligned}$$

alors d doit aussi pouvoir se trouver simultanément dans les n configurations $M_{o_1, d}, M_{o_2, d} \dots M_{o_n, d}$. Nous nommerons ces conditions *indépendance des positions*. Si elles sont respectées alors, la fonction $tt_cptes((M_{o_1, d}, M_{o_2, d}, \dots M_{o_n, d}))$ peut se contenter de vérifier les conditions S pour assurer la compatibilité de toutes les configurations.

Que se passe-t-il si les conditions d'indépendance des positions ne sont pas réunies ? Il se peut que nous ayons trois objets simples o_i, o_j et o_k appartenant à un même objet complexe, un objet simple d issu d'un autre objet complexe tels que

$$\begin{aligned} & trpt_cptes(M_{o_i, o_j}, M_{o_i, d}, M_{o_j, d}) = VRAI \\ \wedge & trpt_cptes(M_{o_j, o_k}, M_{o_j, d}, M_{o_k, d}) = VRAI \\ \wedge & trpt_cptes(M_{o_i, o_k}, M_{o_i, d}, M_{o_k, d}) = VRAI \end{aligned}$$

mais que les trois configurations $M_{o_i, d}, M_{o_j, d}$ et $M_{o_k, d}$ ne puissent pas être trouvées simultanément. Un tel fait révèle donc une dépendance entre certaines positions : certaines positions vont en impliquer d'autres. Ces dépendances doivent alors être relevées. Sur notre exemple, point-zone, y a-t-il des dépendances ? Observons le centre de la zone, là où se rejoignent les secteurs cardinaux (figure 2.27). Que pouvons-nous dire d'un point p qui serait à la fois sur la frontière du secteur N et sur la frontière du secteur S ? L'intersection des frontières de ces deux secteurs n'étant qu'un point, p serait aussi sur la frontière de tous les autres secteurs : NO, O, SO, SE, E et NE . De plus cette intersection des frontières de tous les secteurs se situant dans le centre de la zone, p se situe donc aussi dans ce même centre.

Nous venons donc de définir deux dépendances. Une première dépendance spécifie que si un point se situe sur la frontière de deux secteurs qui ne sont pas côte à côte ¹ alors il se situe aussi sur la frontière de tous les secteurs. La seconde dépendance spécifie que si un point se situe sur la frontière de tous les secteurs, alors il se situe dans le centre de la zone. Nous noterons que ces deux dépendances peuvent se regrouper en une seule. Nous ajouterons aussi une troisième dépendance concernant un point à l'extérieur de toutes les zones : le point se trouve alors rejeté infiniment loin de la zone, donc à l'extérieur de la périphérie.

¹ Les secteurs dits « côte à côte » sont les secteurs $N - NO, NO - O, O - SO, SO - S, S - SE, SE - E, E - NE$ et $NE - N$.

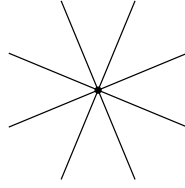


FIG. 2.27 – Le centre de la zone et le point commun des 8 secteurs cardinaux.

Nous noterons ces dépendances sous la forme d'implications. Notons c et d les conjonctions de clauses :

$$\begin{aligned} c &\rightarrow M_{C,x} = r_1 \wedge M_{N,x} = r_2 \wedge M_{NO,x} = r_3 \wedge M_{O,x} = r_4 \wedge M_{SO,x} = r_5 \wedge M_{S,x} = r_6 \wedge M_{SE,x} = r_7 \wedge M_{E,x} = r_8 \wedge M_{NE,x} = r_9 \\ d &\rightarrow M_{P,x} = r_1 \wedge M_{Z,x} = r_2 \wedge M_{C,x} = r_3 \end{aligned}$$

Alors nous avons les dépendances suivantes :

$$\begin{aligned} d_1 & M_{N,x} = r_2 \wedge M_{O,x} = r_4 \Rightarrow c \\ d_2 & M_{N,x} = r_2 \wedge M_{SO,x} = r_5 \Rightarrow c \\ & \vdots \\ d_5 & M_{N,x} = r_2 \wedge M_{E,x} = r_8 \Rightarrow c \\ & \vdots \\ d_{20} & M_{SE,x} = r_7 \wedge M_{NE,x} = r_9 \Rightarrow c \\ d_{21} & M_{N,x} = r_2 \wedge M_{NO,x} = r_3 \wedge M_{O,x} = r_4 \wedge M_{SO,x} = r_5 \wedge \\ & M_{S,x} = r_6 \wedge M_{SE,x} = r_7 \wedge M_{E,x} = r_8 \wedge M_{NE,x} = r_9 \Rightarrow d \end{aligned}$$

Ainsi, en ayant relevé les dépendances, nous pouvons considérer que s'il n'y a pas de dépendance spécifiée entre des positions, c'est qu'elles sont indépendantes. La fonction $tte_cptc(c)$ va donc consister à vérifier que toutes les dépendances sont respectées, puis à vérifier que les conditions S le sont aussi :

fonction

```
tt_cpte((MP,Pt, MZ,Pt, MC,Pt, MN,Pt, MNO,Pt, MO,Pt, MSO,Pt, MS,Pt, MSE,Pt, ME,Pt, MNE,Pt)) :
  si toutes les dépendances sont respectées alors
    si toutes les conditions  $S$  sont respectées alors
      retourner VRAI
    retourner FAUX
```

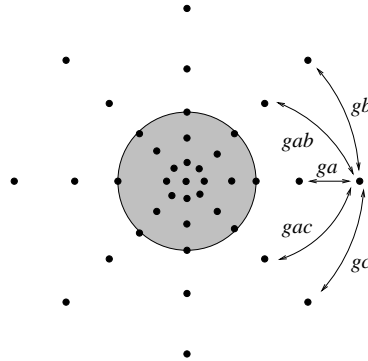
2.4.4 Mouvement d'un point autour d'une zone

Appliquons maintenant ce qui vient d'être dit sur un exemple. Observons le tableau de la figure 2.28. Dans ce tableau, nous avons reporté toutes les configurations complexes compatibles topologiquement, définies, et accessibles par des combinaisons de glissements simples depuis la configuration initiale $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$. Ensuite, pour chacune des configurations complexes trouvées, nous avons noté si les conditions d'indépendance des glissements étaient respectées. Nous avons un total de 18 configurations complexes, parmi celles-ci seulement 5 respectent les conditions (les configurations numérotées 1, 3, 4, 5 et 6).

Ces 5 configurations complexes représentent donc les 5 voisines de la configuration initiale $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$. Elles proviennent de glissements simples portant sur la partie P pour le premier glissement, que nous nommerons g_a ; sur la partie E et NE pour le second glissement, que nous nommerons g_b ; sur la partie SE et E pour le troisième, que nous nommerons g_c ; sur les parties P , E et NE pour le quatrième, nous le nommerons g_{ab} ; enfin, sur les parties P , SE et E pour le cinquième glissement que nous nommerons g_{ac} . Ces 5 glissements sont illustrés sur la figure 2.29. Nous retrouvons donc une portion du graphe que nous avons proposé au chapitre précédent.

Nous pouvons répéter la même opération sur chacun des points extérieurs à la périphérie de la zone. Nous obtenons alors le graphe de la figure 2.30.a. Depuis les points qui sont toujours à l'extérieur de la

configuration	condition	
$(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$	configuration initiale	(0)
$(\widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, id, id, id, id, id, id)$	toutes VRAI	(1)
$(\widehat{r_2} r_1, r_2, id, id, id, id, id, id, id, id, id)$	$trpt_cptes(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, r_6) = FAUX$	(2)
$(id, id, id, id, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, \widehat{r_2} r_1)$	toutes VRAI	(3)
$(id, id, id, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, \widehat{r_2} r_3, id)$	toutes VRAI	(4)
$(\widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, \widehat{r_2} r_1)$	toutes VRAI	(5)
$(\widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, \widehat{r_2} r_3, id)$	toutes VRAI	(6)
$(\widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{S,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(7)
$(\widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{SO,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(8)
$(\widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{O,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(9)
$(\widehat{r_2} r_1, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{NO,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(10)
$(\widehat{r_2} r_1, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{N,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(11)
$(\widehat{r_2} r_1, r_2, id, id, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, \widehat{r_2} r_1)$	$trpt_cptes(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, r_6) = FAUX$	(12)
$(\widehat{r_2} r_1, r_2, id, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, r_6) = FAUX$	(13)
$(\widehat{r_2} r_1, r_2, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, r_6) = FAUX$ et $trpt_cptes(M_{S,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(14)
$(\widehat{r_2} r_1, r_2, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, r_6) = FAUX$ et $trpt_cptes(M_{SO,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(15)
$(\widehat{r_2} r_1, r_2, id, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, r_6) = FAUX$ $trpt_cptes(M_{O,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(16)
$(\widehat{r_2} r_1, r_2, id, id, \widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, r_6) = FAUX$ et $trpt_cptes(M_{NO,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(17)
$(\widehat{r_2} r_1, r_2, id, \widehat{r_2} r_1, id, id, id, id, id, \widehat{r_2} r_3, id)$	$trpt_cptes(M_{P,Pt}, M_{Z,Pt}, r_6) = FAUX$ et $trpt_cptes(M_{N,Pt}, M_{E,Pt}, r_2) = FAUX$	(18)

 FIG. 2.28 – Tableau des combinaisons de glissements simples, topologiquement possibles, depuis la configuration $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$.

 FIG. 2.29 – Les cinq glissements calculés depuis la configuration $(r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_3, r_1, r_3)$.

zone, mais dans la périphérie cette fois, nous pouvons effectuer des glissements similaires. Cette fois ci nous pouvons faire un glissement de la partie $M_{Z,Pt}$, allant de la configuration r_3 vers r_2 . Les glissements sur les secteurs cardinaux ne changent pas par rapport à l'étape précédente, nous obtenons le graphe de la figure 2.30.b. Depuis les points sur la frontière de la zone nous pouvons effectuer le glissement de r_2 vers r_1 avec la partie $M_{Z,Pt}$, les glissements sur les secteurs ne changeant toujours pas : voir figure 2.30.c. Puis nous pouvons effectuer un glissement avec la partie C , de r_3 vers r_1 , encore avec les mêmes glissements sur les secteurs cardinaux, nous obtenons la figure 2.30.(d). Enfin, nous pouvons opérer les glissements vers r_2 pour tous les secteurs cardinaux. Le point se trouve alors au centre de la zone. Le graphe d'adjacence conceptuelle pour la relation zone-point se trouve alors construit selon les spécifications que nous avons posées.

Dans cette section nous nous servons de deux fonctions : $tt_cptes(x)$ et $trpt_cptes(x, y, z)$. La première détermine si toutes les configurations d'une configuration complexe sont topologiquement compatibles. La seconde détermine si les trois configurations x, y et z entre trois objets sont compatibles topologiquement. Nous allons étudier le fonctionnement de ces fonctions dans la section suivante.

2.4.5 Les fonctions $trpt_cptes(x, y, z)$

Dans l'algorithme que nous avons défini pour déterminer les glissements sur les objets complexes, nous utilisons une fonction : $trpt_cptes(x, y, z)$ retournant *VRAI* ou *FAUX* selon que les trois configurations x, y et z sont compatibles topologiquement ou pas. Comment pouvons nous définir une telle fonction? Prenons comme exemple une zone et son centre. Nous pouvons caractériser leurs relations spatiales à l'aide de la matrice suivante (la zone est représentée verticalement, le centre horizontalement) :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$M_{centre-zone}$

Soit un point en relation avec la zone et son centre. Considérons trois relations topologiquement incompatibles. Le point devrait être sur la frontière de la zone et dans le centre. Ces deux relations se caractériseraient par deux nouvelles matrices et nous avons alors un total des trois matrices (le point est représenté verticalement) :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$M_{centre,zone} \quad M_{zone,point} \quad M_{centre,point}$

La première colonne de la matrice centre-zone nous indique que l'intérieur du centre est uniquement dans l'intérieur de la zone. La première ligne de la matrice centre-point indique que le point est dans l'intérieur du centre. Nous pouvons alors en déduire que l'intérieur du point est à l'intérieur de la zone. Or, la première ligne de la matrice zone-point nous indique que l'intérieur du point est sur la frontière de la zone. Il y a donc contradiction, d'où l'incompatibilité topologique de ces trois matrices.

De façon plus générale, il y a un 1 au premier élément de la première colonne de la matrice centre-point et cela signifie qu'il y a intersection entre l'intérieur du point et l'intérieur du centre. La relation entre l'intérieur du centre et la zone est donnée par la première colonne de la matrice centre-zone. Donc, puisqu'il y a intersection entre l'intérieur du point et l'intérieur du centre, il doit exister une intersection entre l'intérieur du point et une des parties de la zone qu'intersecte l'intérieur du centre. Les parties de la zone qu'intersecte l'intérieur du centre sont données par les 1 de la première colonne de la matrice centre-zone. Dans la matrice zone-point, l'intersection entre l'intérieur du point et l'intérieur de la zone est donnée par la première ligne. Nous devons donc trouver dans cette ligne au moins un 1 dans une des positions indiquées par les 1 de la première colonne de la matrice centre-zone.

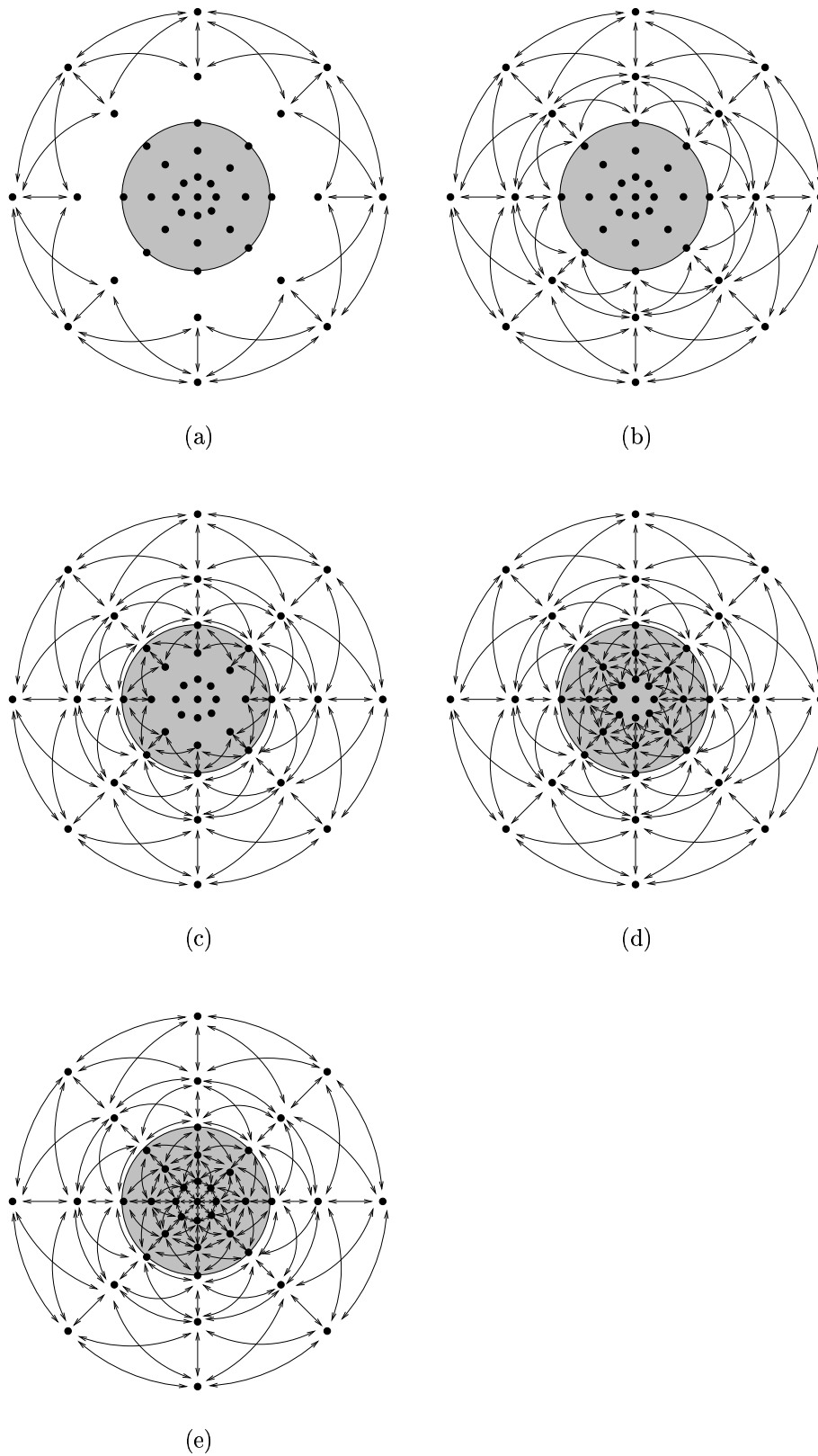


FIG. 2.30 – Construction du graphe complet : le point peut s'approcher de la frontière (a), rejoindre la frontière (b), pénétrer à l'intérieur (c), aller vers le centre (d), rejoindre le centre (e). Parallèlement il peut tourner autour de la zone.

Nommons la i^{eme} colonne et la i^{eme} ligne d'une matrice M respectivement $C_i(M)$ et $L_i(M)$. Nommons l'élément situé à la i^{eme} ligne et à la j^{eme} colonne d'une matrice M , $elt_{i,j}(M)$. Alors :

$$\begin{aligned} elt_{1,1}(M_{centre,point}) &= 1 \\ C_1(M_{centre,zone}) &= \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ L_1(M_{zone,point}) &= (0 \quad 1 \quad 0) \end{aligned}$$

Il y a une intersection entre l'intérieur du centre et l'intérieur du point $elt_{1,1}(M_{centre,point})$. Nous allons alors nous intéresser à la relation de la zone avec l'intérieur du point $C_1(M_{centre,zone})$ et l'intérieur de la zone $L_1(M_{zone,point})$. Nous constatons qu'il n'y a qu'un seul 1 dans C_1 (l'intérieur du centre est uniquement dans l'intérieur de la zone), L_1 devrait alors impérativement avoir un 1 en premier élément, ce qui n'est pas le cas, d'où le rejet de ce triplet de matrices. Nous définirons alors la fonction $mask(C, L)$ qui retourne *VRAI* ou *FAUX* suivant qu'il y a au moins un 1 dans la ligne L à un emplacement déterminé par la position des 1 dans la colonne C .

Nous avons construit notre raisonnement sur l'exemple point, zone et centre, mais en aucun cas notre raisonnement n'a été spécifique à un de ces objets. Nous pouvons alors donner un algorithme général pour déterminer si un triplet de configurations est topologiquement possible. Soient trois objets a, b et c ayant respectivement n_a, n_b et n_c parties. Les relations spatiales entre ces objets seront représentées par trois matrices, M_{ba} pour la relation entre b et a (b horizontalement, a verticalement); M_{ac} pour la relation entre a et c (a horizontalement, c verticalement); M_{bc} pour la relation entre b et c (b horizontalement, c verticalement). Pour savoir si les trois configurations représentées par les trois matrices M_{ba}, M_{ac} et M_{bc} sont topologiquement compatibles, nous appliquerons l'algorithme qui suit. Le résultat de cet algorithme détermine la fonction $trpt_cpte(x, y, z)$:

```

fonction  $trpt\_cpte(M_{ba}, M_{ac}, M_{bc})$  :
  pour  $i$  de 1 à 3
    pour  $j$  de 1 à 3
      si  $elt_{i,j}(M_{ba}) == 1$  alors
        si  $non(mask(C_j(M_{ac}), C_i(M_{bc}))$  alors retourner FAUX
      si  $elt_{i,j}(M_{ac}) == 1$  alors
        si  $non(mask(L_i(M_{ba}), L_j(M_{bc}))$  alors retourner FAUX
      si  $elt_{i,j}(M_{bc}) == 1$  alors
        si  $non(mask(C_i(M_{ba}), L_j(M_{ac}))$  alors retourner FAUX
  retourner VRAI

```

Cette section définit une fonction qui s'applique sur des matrices d'intersection. Ces matrices représentent des relations spatiales entre n'importe quel type d'objets. Autrement dit, cette fonction n'est pas propre à l'exemple zone-point de la section précédente, au contraire elle peut s'appliquer à tous les autres types de relations. Dans la section suivante nous allons continuer à nous tenir sur le plan général. Nous allons définir une méthodologie de l'analyse spatiale, indépendamment des objets en question.

2.5 Méthodologie de l'analyse spatiale

Nous venons de donner une méthode d'analyse spatiale et un algorithme pour construire un graphe d'adjacence conceptuel sur un exemple précis : entre une zone et un point. À la zone nous avons ajouté d'autres objets simples, le point a été laissé tel quel. Nous allons maintenant élaborer une méthodologie générale pour effectuer l'analyse spatiale entre deux objets. Les deux objets en question pourront être aussi bien des zones, des lignes ou des points.

2.5.1 Composition des objets

Soient deux objets simples nommés a_0 et b_0 qui peuvent chacun aussi bien être une zone, une ligne ou un point. La première étape consiste, à choisir d'autres objets simples qui vont composer a_0 et b_0 . Nous

les nommerons respectivement $a_1, a_2 \dots a_n$ et $b_1, b_2 \dots b_m$. Nous nommerons cette étape : *composition des objets complexes*. Le nombre de ces nouveaux objets simples peut éventuellement être nul ($n = 0$ ou $m = 0$). Une fois ces objets simples ajoutés à a_0 et b_0 , nous sommes en présence de deux objets complexes que nous nommerons respectivement A et B et que nous représenterons par deux listes :

$$\begin{aligned} A &= (a_0, a_1, a_2 \dots a_n) \\ B &= (b_0, b_1, b_2 \dots b_m) \end{aligned}$$

2.5.2 Choix des relations

Vient ensuite l'étape d'analyse spatiale entre A et B qui sont deux objets complexes. Cette analyse spatiale sera l'analyse complexe et nous la noterons $AnalyseCp(A, B)$. À cette étape, il va falloir choisir quels objets simples de A vont être analysés avec quels objets simples de B . L'analyse complexe ($AnalyseCp(x, y)$) entre les deux objets complexes A et B se notera alors sous la forme d'une liste de matrice caractérisant les relations spatiales entre objets simples :

$$\begin{aligned} AnalyseCp(A, B) = & (M_{a_p, b_r}, \dots, M_{a_p, b_s}, \\ & \vdots \\ & M_{a_q, b_t}, \dots, M_{a_q, b_u}) \end{aligned}$$

Avec $0 \leq p, q \leq n$ et $0 \leq r, s, t, u \leq m$. Cette étape, qui consiste à choisir quels objets simples de A et B analyser entre eux sera nommée : *choix des relations pertinentes*.

2.5.3 Définitions des fonctions

Une fois les relations pertinentes choisies, il est possible de donner les définitions des fonctions d'interprétation. Ces fonctions $int_{100}(AnalyseCp(A, B))$, $int_{010}(AnalyseCp(A, B))$ et $int_{001}(AnalyseCp(A, B))$ seront définies ainsi que d'éventuelles fonctions tenant compte de plusieurs aspects. Nous nommerons cette étape *définition des fonctions d'interprétation*.

2.5.4 Détermination des dépendances

Pour effectuer des glissements de sens il faut d'abord s'assurer que la *condition d'indépendance des positions* est bien respectée pour A et pour B . Dans les cas où elle ne l'est pas, alors il faut noter les dépendances, nous les nommerons $d_1, d_2 \dots d_x$. Sous quelle forme noter ces dépendances ? Précédemment, nous les avons notées pour le cas propre au problème zone-point, nous voulions exprimer des contraintes telles que : «si un point se trouve sur la frontière de deux secteurs qui ne sont pas côte à côte, alors il se situe sur la frontière de tous les secteurs et dans le centre de la zone». Ces règles s'énonçaient sous la forme :

$$M_{x_1, y_1} = r_i \wedge \dots \wedge M_{x_n, y_n} = r_j \implies M_{u_1, v_1} = r_k \wedge \dots \wedge M_{u_m, v_m} = r_l$$

La forme utilisée pour qualifier une matrice : $M_{x, y} = r_i$, spécifie les 9 éléments de la matrice. Nous allons opter pour une définition plus souple, plus générale, permettant de qualifier séparément chaque élément de la matrice et de lui associer un élément correspondant dans une autre matrice. Nous retiendrons pour cela la notation déjà utilisée pour faire référence à un élément situé à la i^{eme} ligne et j^{eme} colonne d'une matrice M : $elt_{i, j}(M)$. Ainsi, étant données deux matrices $M_{o, o'}$ et $M_{o, o''}$, pour exprimer une contrainte telle que : quel que soit la partie p de l'objet o , si p intersecte la frontière de l'objet o' alors p intersecte aussi l'intérieur de l'objet o'' nous évoquerons les trois dépendances :

$$\begin{aligned} elt_{2,1}(M_{o, o'}) = 1 & \implies elt_{1,1}(M_{o, o''}) = 1 \\ elt_{2,2}(M_{o, o'}) = 1 & \implies elt_{1,2}(M_{o, o''}) = 1 \\ elt_{2,3}(M_{o, o'}) = 1 & \implies elt_{1,3}(M_{o, o''}) = 1 \end{aligned}$$

Nous nommerons cette étape *détermination des dépendances*.

À l'aide des différents graphes d'adjacence entre zone, ligne et point de la figure 2.8, nous sommes alors capable de calculer des glissements de sens depuis $AnalyseCp(A, B)$. C'est-à-dire, selon le modèle

du mouvement, déplacer ou déformer A et B l'un par rapport à l'autre. Ce déplacement prend la forme de nouvelles configurations spatiales entre A et B , c'est-à-dire que les matrices M_{a_i, b_j} seront remplacées par de nouvelles matrices M'_{a_i, b_j} . Après déplacement nous les appellerons respectivement A' et B' . Nous noterons alors l'analyse complexe sous la forme :

$$\text{AnalyseCp}(A', B') = (M'_{a_p, b_r}, \dots, M'_{a_p, b_s}, \\ \vdots \\ M'_{a_q, b_t}, \dots, M'_{a_q, b_u})$$

Un glissement s'effectue donc en remplaçant certaines matrices par des matrices voisines dans les graphes d'adjacence des objets simples correspondant. Ces nouvelles matrices sont trouvées soit par un glissement direct soit par un saut. Nous avons vu précédemment comment vérifier la cohérence topologique du glissement aux instants que nous avons nommés t_2, t_3 et t_4 (t_4 étant la position finale). Cette fonction s'appelle $tt_cpt(c)$, elle est définie indépendamment des différents choix qui viennent d'être faits, elle n'est fonction que des dépendances qui, à cette étape, ont été définies.

Conclusion

Avant d'entamer ce chapitre, nous connaissions les aspects géographiques que nous souhaitions voir traiter par l'Antéserveur Géographique : topologie, métrique et orientation. Il nous fallait alors un modèle d'analyse spatiale capable de les traiter. Ce chapitre décrit précisément ce modèle, elle s'est faite en deux étapes. Nous avons commencé par définir le principe sur lequel nous souhaitions fonder l'adjacence conceptuelle, nous y avons aussi mis en lumière le problème de dépendance des glissements. Ensuite nous avons décrit précisément le fonctionnement de notre modèle. Cette description s'est faite en deux étapes, nous sommes partis d'un exemple, puis nous avons généralisé. Grâce à cette généralisation le modèle est capable d'être transposé vers les autres relations entre zone, ligne et point.

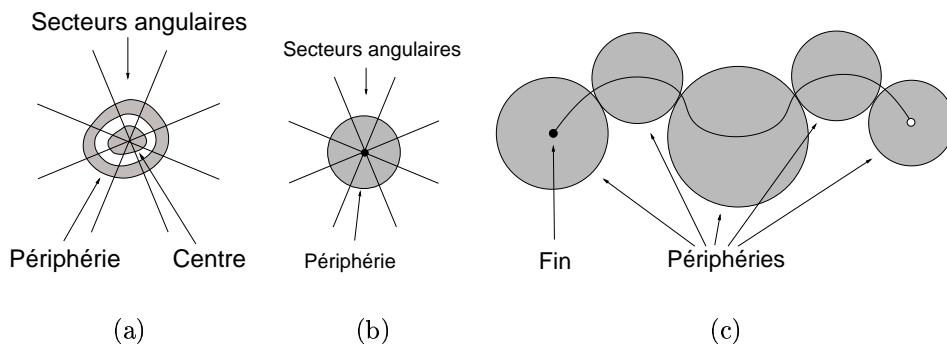


FIG. 2.31 – La zone complexe précédemment définie (a), le point complexe avec sa périphérie et ses 8 secteurs (b), la ligne complexe avec sa fin et ses deux périphéries à ses deux extrémités (c).

Ce qui a été fait dans ce chapitre sur l'exemple point-zone peut être fait avec les autres paires d'objets. À titre d'exemple, nous pouvons décrire ce que peuvent être les autres objets complexes. Figure 2.31 nous avons représenté les trois objets complexes : on y retrouve la zone complexe décrite précédemment ainsi que la ligne complexe et le point complexe. Le point complexe possède ici une zone périphérique de taille fixe et huit secteurs angulaires, comme pour la zone. Il est ainsi possible de discerner des proximités et l'orientation par rapport à un point. La ligne complexe possède un point représentant sa fin, elle se trouve alors orientée. Des zones périphériques centrées sur ses points d'inflexions dont la taille est calculée pour qu'elles se touchent deux à deux permettent de reconnaître le parallélisme entre deux lignes ou simplement la proximité de deux lignes.

Au terme du chapitre de l'état de l'art sur les modèles d'analyse spatiale, nous avons disposé ces différents modèles au sein d'un graphe avec trois types de liens : transformation, élargissement et extension. Maintenant que nous avons un nouveau modèle d'analyse, nous allons à son tour le placer dans ce

graphe. Notre modèle, construit sur le modèle n-intersections étend celui-ci en lui donnant la capacité de relever l'aspect métrique et l'orientation. Le lien qui convient peut donc être l'extension de notre modèle vers le modèle n-intersections. Néanmoins, comparé aux autres modèles qui étendent aussi le modèle n-intersections, une particularité apparaît ici : cette extension du modèle ne se fait que par utilisation successive de celui-ci. Nous utiliserons alors un terme propre nommé *extension par récursion* donnant lieu à un nouveau type de lien dans notre graphe (voir figure 2.32).

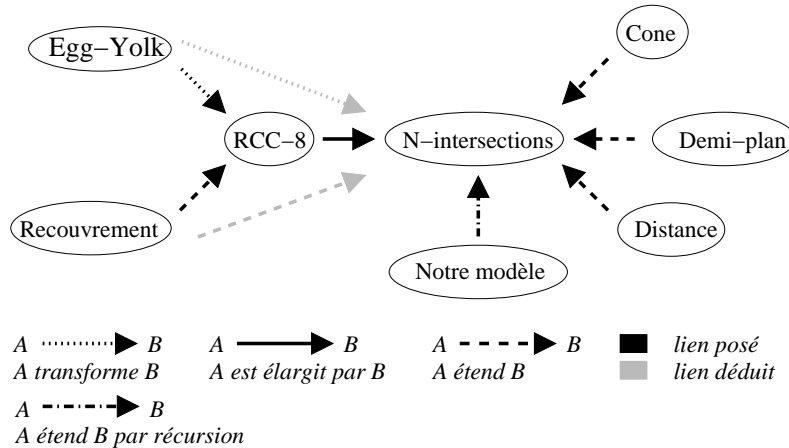


FIG. 2.32 – Notre modèle d'analyse spatiale au sein des sept autres modèles étudiés.

Les modèles que nous avons étudiés dans l'état de l'art fixent un certain nombre de configurations. Notre modèle ne procède pas ainsi. La section *Méthodologie de l'analyse spatiale* évoque 4 étapes :

- *composition des objets complexes*
- *choix des relations pertinentes*
- *définition des fonctions d'interprétation*
- *détermination des dépendances*

Or, les termes « composer » un objet, « choisir », « définir » évoquent le caractère modulaire et adaptable de notre modèle d'analyse. C'est pour cette raison que nous allons conclure ce rapport de thèse par une réalisation informatique mettant en œuvre l'Antéservateur Géographique et donc la méthodologie de l'analyse spatiale.

Chapitre 3

Réalisation informatique

Le fonctionnement de l'interface de l'Antéserveur Géographique se déroule comme suit : l'utilisateur exprime sa requête à l'aide d'un schéma, grâce à des glissements de sens sur les microtextes décrivant les relations spatiales du schéma, celui-ci est désambiguïté. Ce rapport de thèse a porté jusqu'ici sur cette interface bimodale. Ce dernier chapitre présente une réalisation informatique qui, pour expérimenter la bimodalité auprès d'utilisateurs, intègre l'interface dans une chaîne de traitement. Cette chaîne de traitement consiste, une fois le schéma désambiguïté, à aller chercher de l'information répondant à la requête et à présenter cette information à l'utilisateur. Nous discernons donc deux parties distinctes :

- l'interaction qui commence par la réalisation du schéma et qui se poursuit par sa désambiguïté à l'aide des microtextes.
- la sélection de l'information géographique qui doit ensuite être présentée à l'utilisateur.

L'information géographique est nécessaire pour associer l'interface à un espace géographique et rendre ainsi son utilisation plus attrayante. Nous attendons de cette expérimentation qu'elle montre si la bimodalité permet aux utilisateurs de trouver l'information qu'ils cherchent. S'ils y arrivent, alors nous voulons pouvoir observer comment ils y sont parvenus.

Ce chapitre sera composé de 3 sections. D'abord nous présenterons les différents composants de notre chaîne de traitement puis nous décrirons son architecture informatique. Enfin nous présenterons un cas d'utilisation.

3.1 La chaîne de traitement

La chaîne de traitement comprend deux parties. D'une part, elle met à disposition de l'utilisateur une interface graphique mettant en œuvre la bimodalité décrite dans ce rapport. D'autre part, une fois la requête spécifiée, elle sélectionne l'information dans des données géographiques et présente cette information à l'utilisateur. Dans cette section, nous allons présenter ces deux parties mais avant commençons par définir ce que nous entendons par «expérimenter la bimodalité».

L'interaction, décrite tout au long de ce rapport, peut se résumer ainsi : l'utilisateur exprime sa requête à l'aide d'un schéma, celui-ci comporte des ambiguïtés que nous avons classées en deux catégories : ambiguïtés de sur-spécification et ambiguïtés de spécification incertaine. Toutes deux correspondent à un problème de choix. Choix de la fonction d'interprétation pour la première catégorie, choix du schéma sur lequel appliquer la fonction pour la seconde. Nous proposons des microtextes à l'utilisateur, chacun relatant une fonction d'interprétation appliquée à un schéma. Grâce aux glissements de sens, il a la possibilité de choisir d'autres fonctions d'interprétation appliquées à des schémas voisins. C'est ce que nous avons nommé «bimodalité». Ainsi les ambiguïtés peuvent être levées.

L'interaction bimodale est alors liée à deux conditions : il faut disposer d'un modèle d'analyse spatiale apte à fournir les glissements de sens et l'usage des glissements de sens doit pouvoir être assimilé par l'utilisateur. Dans ce rapport, nous avons présenté une méthode d'analyse spatiale capable de proposer différentes fonctions d'interprétation et de calculer des voisinages entre schémas. La condition sur les glissements de sens est donc remplie, reste à remplir la seconde condition. C'est le but de notre expé-

rimentation : trouver des solutions ergonomiques qui permettent à l'utilisateur d'assimiler l'interaction bimodale avec ses glissements de sens.

3.1.1 L'interaction bimodale

Dans le chapitre 1 de cette partie, une section sur le choix des aspects géographiques en retenait trois : la topologie, la métrie et l'orientation cardinale. La méthode d'analyse spatiale que nous proposons reprenait ces trois aspects. Néanmoins, l'ambiguïté sur l'aspect à retenir apparaît dès lors qu'il y en a deux. Dans cette réalisation, qui a comme but de trouver des solutions ergonomiques pour l'interaction bimodale, nous nous contenterons du minimum suffisant. Deux aspects suffisent, nous ne retiendrons donc que la topologie et la métrie, ces deux aspects étant suffisants pour soumettre l'utilisateur à $2^2 = 4$ choix en les modulant. Les objets sont donc ici dépourvus de secteurs angulaires. Pour les zones, leur centre est réduit à $2/3$ de la taille de la zone, la périphérie s'étend à $4/3$. La périphérie autour d'un point mesure 50 points de diamètre, cette valeur a été fixée proportionnellement à la feuille de dessin qui est de 300×200 .

Pour chaque paire d'entités géographiques, 4 fonctions d'interprétation seront proposées à l'utilisateur, appliquées sur le schéma initial ou sur des schémas voisins. Sans interprétation sur l'orientation cardinale, le choix des interprétations à proposer à l'utilisateur se trouve ainsi réduit. La mise en place de solutions ergonomiques pour présenter ces choix s'en trouve alors facilitée.

3.1.2 La sélection de l'information géographique

Une fois la requête désambiguïsée, il faut disposer de sources d'information pour y rechercher celle correspondante. Pour notre chaîne de traitement, nous ne disposons que d'une seule source. Nous avons choisi des données physiques et administratives stockées dans une base de données spatiales. Sous cette forme, nous pouvons facilement avoir de la précision dans les requêtes et s'assurer ainsi de la conformité entre la requête exprimée par le schéma et l'information sélectionnée.

Les données sont de source IGN, l'espace géographique a été limité à une partie du Calvados appelée Suisse-Normande. Située au Sud de Caen, elle présente, autour du fleuve l'Orne, un relief prononcé en comparaison des environs, d'où son nom. Limiter l'espace à la Suisse-Normande nous permet de situer l'utilisateur sur deux thèmes précis, propres à cette région, le tourisme et les loisirs de plein air et pour lesquels nous disposons d'information.

Notre source d'information étant spatiale, le résultat de la requête est donné sous forme d'une carte électronique. Nous avons choisi la carte pour sa rapidité de lecture, principalement sur l'information spatiale qu'elle colporte. L'utilisateur peut ainsi immédiatement se rendre compte de la ressemblance entre son schéma et la carte.

L'interface graphique se manipule comme suit. Trois types d'objets graphiques sont mis à la disposition de l'utilisateur : l'octogone régulier, la ligne brisée et le point. Ces choix ont été fait de façon à faciliter l'agencement des objets entre eux. La figure 3.1 montre un exemple simple avec trois objets et seulement deux contraintes entre objets : un utilisateur cherche toutes les rivières traversant la commune de Clécy ainsi que tous les bois qui touchent cette commune. Il commence par tracer un octogone. Une fois celui-ci tracé, le système l'oblige à l'étiqueter. Il lui propose pour cela de remplir librement un champ textuel qu'il va par exemple étiqueter « *commune : Clécy* ». Il va faire de même avec la ligne qu'il étiquettera « *rivière* ». Enfin il placera de la même façon un second octogone pour représenter un bois. Le dessin fini, l'utilisateur clique sur le bouton interpréter. Le système lui matérialisera alors le résultat de son interprétation sous forme des microtextes et de glissements de sens.

Une fois la requête désambiguïsée, la carte est construite dynamiquement en puisant dans notre source d'information. Un fond de carte représentant la Suisse-Normande est dessiné en jaune clair, les objets trouvés sont dessinés par dessus : Clécy en rose, la rivière en bleu et les bois en vert.

3.2 Architecture de notre réalisation

L'architecture que nous avons choisi prend la forme de deux serveurs utilisant le protocole HTTP, voir figure 3.2. Ce choix nous assure disponibilité et sécurité. L'interface graphique est une applet Java

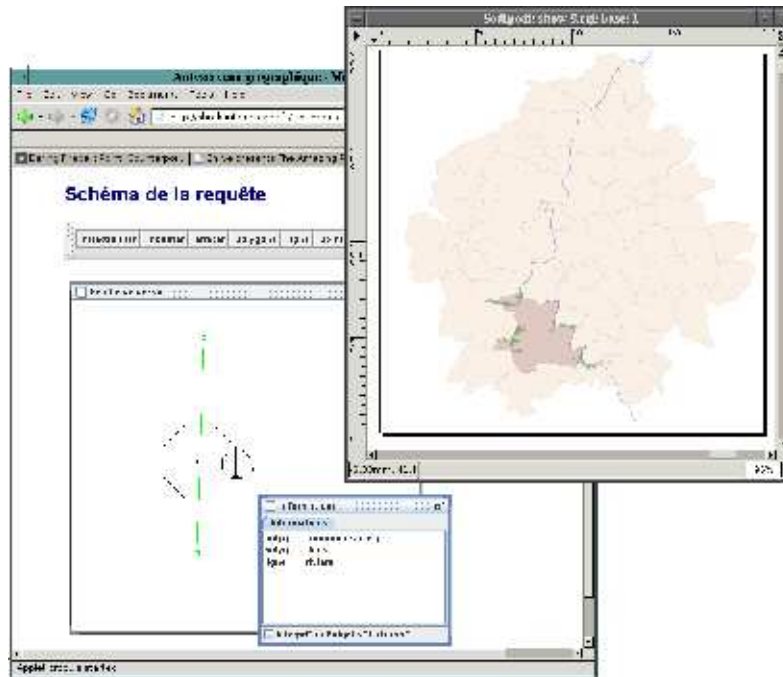


FIG. 3.1 – L’interface et le résultat d’une requête sous forme de carte : «quelles sont les rivières qui traversent la commune de Clécy ainsi que les bois qui sont proches de Clécy».

chargée dans le navigateur du client à partir d’une URL propre à notre site sur la Suisse-normande. Une fois le schéma dessiné, l’ensemble des données géométriques et thématiques est envoyé à une seconde URL nommée *Anteserveur* (étape 1). Cette URL fait une analyse spatiale des données géométriques, une analyse linguistique des données thématiques issues des étiquettes et retourne les microtextes correspondant aux relations principales et aux glissement de sens entre les objets (étape 2). Grâce au mécanisme de glissement de sens, l’utilisateur choisit les microtextes qui lui conviennent. Une fois terminé, il valide. Ses choix sont envoyés vers une troisième URL nommée *constructeur de cartes* (étape 3), une carte sous forme d’une image SVG est retournée (étape 4).

Lors des étapes 1, 2 et 3, toutes les données qui transitent sont sous la forme d’un document XML qui s’enrichit ou se modifie au cours de ces trois étapes. À l’étape 1, le document ne comporte que les données géométriques du schéma et les données thématiques des étiquettes. À l’étape 2, le document s’enrichit des microtextes construits par les différentes interprétations du schéma. Enfin, à l’étape 3, les glissements de sens effectués par l’utilisateur permettent de préciser, dans ce fichier XML, quelles interprétations ont été choisies par l’utilisateur. Le fichier XML est alors enregistré sur le serveur, créant alors un historique des requêtes réalisées. Cet historique peut se visiter grâce à un outil qui réaffiche graphiquement les enregistrements. Ainsi nous avons les moyens d’analyser l’usage qui est fait de notre interface. L’URL du site est la suivante :

<http://anteserveurgeo.info.unicaen.fr/~dumoncel/sn2/>

En ce qui concerne l’étape 4, la construction de la carte, elle peut être divisée en deux sous étapes. Dans un premier temps, le fichier XML, qui contient les étiquettes des objets et les relations spatiales choisies entre ces objets, est transformé en une requête SQL. Cette requête est envoyée à la base de donnée qui retourne la géométrie des objets trouvés. En fonction de ces géométries, la carte au format SVG est créée, c’est la seconde sous-étape.

Pour accéder à d’autres sources d’information deux cas sont envisageables. Si les sources d’information sont indépendantes, alors l’étape 4 doit être dupliquée et adaptée pour une autre source de données, donnant un résultat, peut être sous une autre forme que la carte. Si, comme nous l’avons évoqué dans l’introduction, la sélection s’améliore en croisant les informations de différentes sources alors la duplication

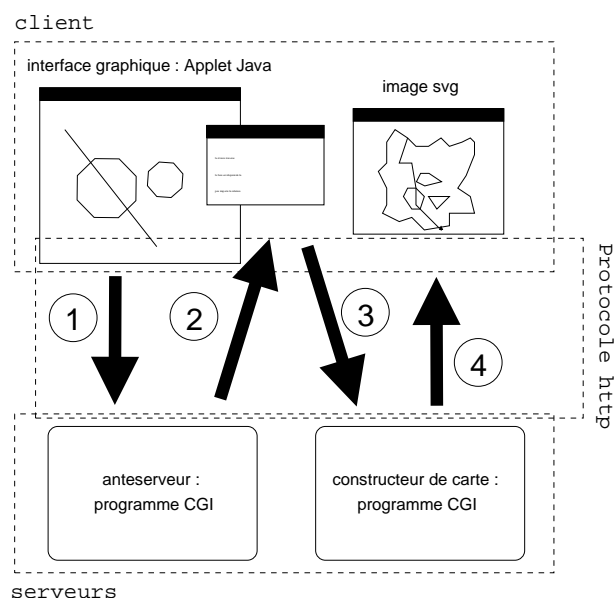


FIG. 3.2 – L’architecture de notre réalisation.

de l’étape 4 ne suffit plus. Rien n’est pour le moment prévu pour ce cas mais il serait envisageable que l’étape 4 enrichisse elle aussi le document XML, apportant ainsi des précisions en provenance d’une source et permettant d’améliorer la sélection des informations d’une autre source.

3.3 Cas d’utilisation

Nous allons terminer ce chapitre et donc ce rapport de thèse par la description d’un cas d’utilisation, un exemple dans lequel les deux types d’ambiguïté apparaissent et où les microtextes et les glissements de sens permettent de lever ces ambiguïtés. Le cas d’utilisation que nous allons détailler dans cette section va consister à exprimer la requête suivante : « Quels cours d’eau passent par les bois situés sur la frontière de Thury-Harcourt ? ». Cette requête peut s’exprimer par la figure 3.3. La grande zone représente une entité géographique nommée : Thury-Harcourt, la petite zone représente le bois, la ligne représente les cours d’eau.

Entre Thury-Harcourt et la rivière, il n’y a pas de contrainte spatiale, un premier glissement de sens est donc nécessaire pour choisir le terme « peu importe » entre ces deux entités. Pour la relation entre la rivière et le bois, le terme « passe par » évoque l’aspect topologique. Dans notre système, ce terme est attribué dès que l’intérieur d’une ligne coupe l’intérieur d’une zone et que les deux frontières de la ligne sont en dehors de la zone. Sur le schéma, la rivière et le bois sont dans cette situation, de plus nous avons choisi de prendre en compte l’aspect topologique pour la première interprétation du schéma. Il n’y a donc pas de glissement à faire en ce qui concerne la relation entre ces deux entités. Intéressons nous maintenant à la relation entre Thury-Harcourt et le bois.

Dans notre système, pour qu’une zone A soit sur la frontière d’une zone B , la frontière de B doit naturellement passer par l’intérieur de A et A doit être nettement plus petite que B : la périphérie de A ne doit pas rencontrer le centre de B . Cette condition est nécessaire pour discerner le sens de la relation². Sur la figure 3.4, nous voyons à gauche la configuration associée au terme « est sur la frontière », à droite de celle-ci une configuration voisine où la périphérie d’une zone rencontre le centre de l’autre zone. Les deux configurations sont ressemblantes. Considérons que sur notre exemple l’utilisateur ait dessiné celle

²Si la frontière de B passe par l’intérieur de A alors la frontière de A passe aussi par l’intérieur de B , la relation est symétrique. Pour savoir si A est sur la frontière de B ou si B est sur la frontière de A nous utilisons la règle suivante : la plus petite des deux zones est sur la frontière de l’autre zone, on observe pour cela les périphéries et les centres des deux zones.

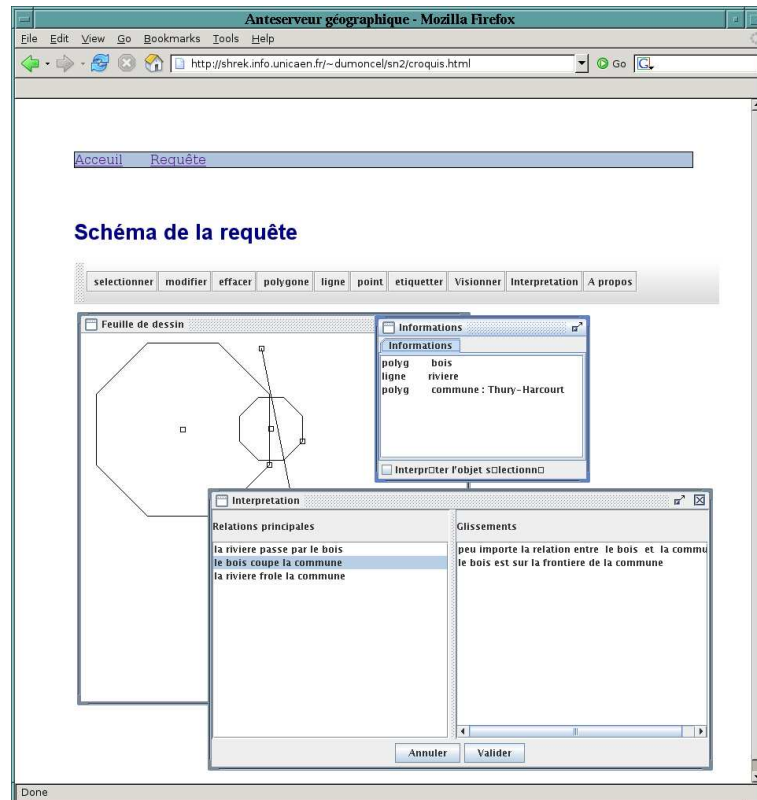
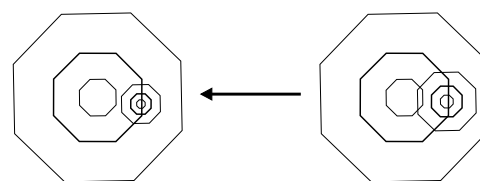


FIG. 3.3 – L'interface avec le schéma et les glissements de sens permettant de rechercher les cours d'eau passant par les bois situés sur la frontière de Thury-Harcourt.



sur la frontière

FIG. 3.4 – Le glissement de sens permettant d'associer la configuration de droite à celle de gauche qui correspond au terme *sur la frontière*.

de droite, alors, par voisinage dans le graphe d'adjacence il est tout de même possible d'associer le terme « est sur la frontière » entre Thury-Harcourt et le bois et de le proposer comme glissement de sens.

Conclusion

L'exemple que nous venons de citer montre que, avec un schéma approximatif, les glissements de sens permettent de trouver le terme désiré. Nous venons donc de montrer que, sur le plan théorique, notre interface fonctionne convenablement. Elle doit maintenant être confronté à « l'épreuve » des utilisateurs pour aboutir à une bonne ergonomie. La jeunesse de cette réalisation ne nous permet pas de rapporter ici des résultats expérimentaux. Cependant, l'accès libre dont bénéficie l'interface permet déjà à chacun d'entre nous de l'expérimenter personnellement.

Conclusion

L'introduction de ce rapport de thèse présentait les défauts des interfaces d'accès aux sources d'information géographique. Deux défauts majeurs étaient mis en évidence : soit l'utilisation des interfaces était complexe, soit elle était peu précise dans la spécification de l'information recherchée. Notre projet, l'Anteserveur Géographique, propose une interface indépendante des différentes sources d'information et fait ensuite office de médiateur d'accès à ces sources. De plus, cette interface se veut accessible à un large public, non spécialiste en informatique. La solution retenue pour satisfaire ce dernier critère est de permettre à l'utilisateur d'exprimer sa requête par un schéma. La difficulté réside alors dans l'interprétation du schéma qui véhicule de nombreuses ambiguïtés. Pour lever ces ambiguïtés nous proposons d'utiliser un mode complémentaire au schéma : le texte. De courtes phrases, appelées *microtextes*, caractérisent alors le schéma. En les modifiant, de façon guidée par une opération que nous avons appelée *glissement de sens*, l'utilisateur va lever les ambiguïtés de son schéma. Grâce à cette interaction bimodale (schéma et texte) nous pouvons considérer le schéma comme le moyen d'expression d'une requête sans ambiguïté.

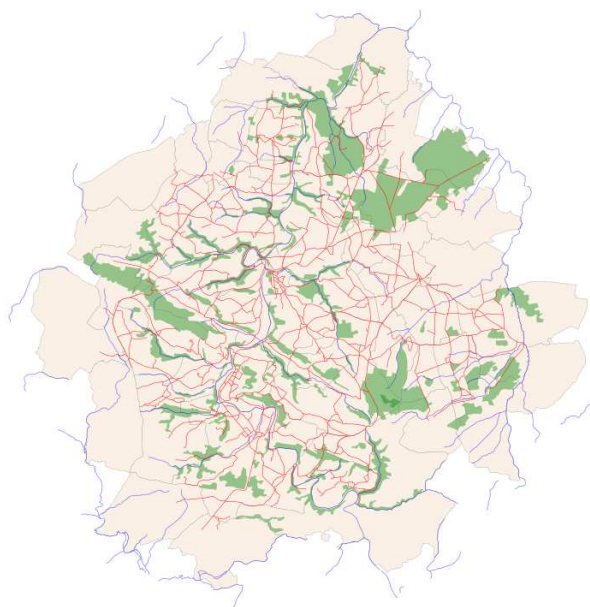


FIG. 1 – Une source d'information représentée sous forme de carte, ici la Suisse Normande.

Pour définir l'information géographique, nous avons utilisé la notion d'*entité géographique* incluse dans un *espace géographique*. Le contenu des sources d'information géographique peut alors se représenter à l'aide de ces deux concepts. La carte est une visualisation de l'information géographique. Si nous observons celle représentée figure 1, nous pouvons y relever un espace géographique, la Suisse Normande avec ses entités géographiques : communes, fleuves, routes, bois. Inversement, toute entité géographique au sein de son espace géographique peut se représenter à l'aide d'une carte : l'espace géographique donne les limites de la carte sur laquelle on pose les entités géographiques. Ainsi, pour cette conclusion, considérons la carte comme le moyen de visualiser les sources d'information géographique. Sur notre exemple, la carte

figure 1 visualise l'information géographique disponible sur la Suisse Normande. Les expérimentations de l'Antéserveur ont toutes pris cette région comme espace géographique. Le travail de l'Antéserveur peut alors s'y résumer ainsi : identifier sur la carte de la figure 1 quelles entités géographiques répondent à la requête exprimée par le schéma de l'utilisateur. La réponse se trouve alors dans une carte générée dynamiquement. En visualisant l'information géographiques sous cette forme, l'Antéserveur établit un lien de ressemblance entre le schéma de l'utilisateur et l'information qu'il lui retourne.

Sur la figure 2 qui représente une saisie d'écran de l'interface, nous avons un schéma exprimant une requête qui cherche quelles sont les communes (de la Suisse Normande) ayant des bois traversés par l'Orne (qui est la principale rivière de la Suisse Normande). À l'aide de deux octogones et d'une ligne, l'utilisateur dessine les trois entités géographiques : commune, bois et Orne. L'Orne est au nord-est de la commune, assez distante de celle-ci, elle traverse le bois du nord-ouest vers le sud-est. Le bois, lui, intersecte le nord-est de la commune. Après desambiguïsation du schéma, il sera seulement pris en compte que l'Orne traverse le bois qui intersecte la commune. La tâche de l'Antéserveur Géographique consiste alors à transformer la requête qui en découle dans les langages propres aux différentes sources d'information disponibles. Il en ressort la réponse que nous visualisons par la carte à droite du schéma. Notre constatation initiale était que les interfaces d'accès à l'information géographique étaient soit complexes d'utilisation soit peu précises dans la spécification de la requête. L'exemple que nous venons de voir montre la simplicité du schéma et la précision de la requête.

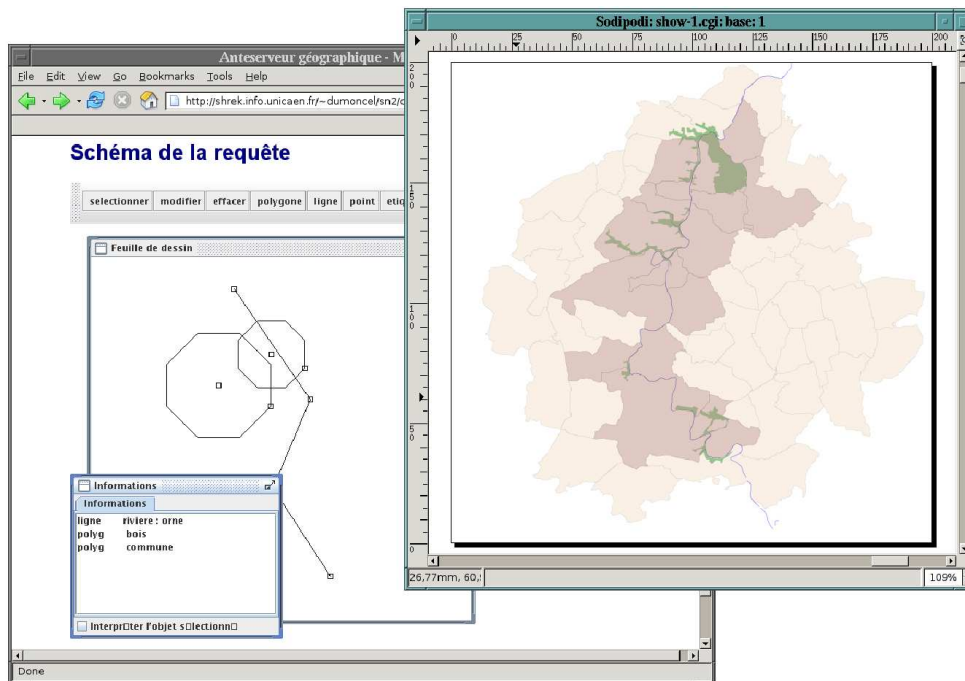


FIG. 2 – À gauche une requête pour rechercher dans quelles communes sont les bois traversés par la rivière Orne. À droite, les entités géographiques correspondantes à cette requête.

Notre interface propose une interaction faite de glissements de sens autour de microtextes. Caractériser le schéma par les microtextes et proposer des glissements de sens requiert un système d'analyse spatiale approprié. En particulier nous avons vu la nécessité de considérer plusieurs aspects géographiques simultanément pour déterminer les glissements de sens. Parmi les aspects géographiques qui nous intéressent : topologie, métrique et orientation, les différents modèles que nous avons étudiés dans l'état de l'art n'en aborde qu'un à la fois. Nous avons proposé une utilisation originale du modèle 9-intersections de MAX, J. EGENHOFER pour traiter ensemble ces différents aspects.

Le modèle 9-intersections traite des relations topologiques entre des zones, des lignes et des points. La prise en compte de l'aspect métrique et de l'orientation cardinale se fait en ajoutant des objets

(invisibles à l'utilisateur) aux objets du schéma. Cet ajout permet de traiter la métrique et l'orientation en n'utilisant que les propriétés topologiques du modèle 9-intersections. Par exemple, en ajoutant à un objet zone un centre et une périphérie et en analysant les relations 9-intersections avec ces nouveaux objets, nous pouvons relever des contraintes métriques. Nous faisons donc une utilisation récurrente du modèle 9-intersections : sur les objets principaux et sur les objets ajoutés. Nous sommes alors capables de relever des contraintes métriques et d'orientation en plus des contraintes topologiques relevées par le modèle initial.

Le modèle 9-intersections possède un graphe d'adjacence sur ses relations topologiques. Nous utilisons ce modèle de façon récurrente pour traiter la métrique et l'orientation. Grâce à un algorithme approprié, ce graphe aussi peut s'utiliser sur chacun des objets ajoutés pour déterminer des glissements de sens portant sur les trois aspects à la fois. Grâce à cet algorithme, nous proposons une solution élégante permettant de générer automatiquement un graphe. Sans cela, la détermination de glissements de sens tenant compte des trois aspects aurait nécessité la réalisation manuelle d'un graphe d'adjacence. Une telle réalisation, outre le fait d'être fastidieuse, nous fait risquer d'oublier des configurations ou des liens dans le graphe, d'où l'intérêt à calculer ce graphe avec un algorithme.

Notre algorithme d'analyse spatiale s'appuie sur l'ajout d'objets supplémentaires aux objets principaux présents sur le schéma, nous les appelons des sous-objets. Pour connaître la relation spatiale entre un objet principal et chacun de ses sous-objets, l'algorithme utilise à nouveau le modèle 9-intersections. Ainsi le choix des sous-objets est modifiable à volonté, l'algorithme prenant en compte les nouvelles relations spatiales des nouveaux sous-objets. Par exemple, pour présenter l'algorithme, nous avons choisi une zone avec son centre et ses secteurs cardinaux. Lors de la réalisation nous avons utilisé moins de sous-objets afin d'adapter l'analyse aux besoins de l'expérimentation. Cette modularité offre la possibilité d'adapter l'analyse spatiale à différents besoins. Notons de plus la facilité de cette adaptation dans notre implémentation qui utilise une description déclarative de ce découpage en XML.

Quelles sont les futures voies de recherche sur cette interface ? La réalisation informatique que nous avons présentée au dernier chapitre met en œuvre le mécanisme de désambiguïsation du schéma : dessin du schéma initial, interprétation de celui-ci avec des glissements de sens correspondant à des schémas voisins, ce qui permet à l'utilisateur de choisir parmi ces interprétations. Dans le cas où celui-ci choisit une interprétation issue de ces glissements, nous pouvons alors représenter l'interaction comme l'enchaînement des 3 étapes : dessin, interprétation, choix des glissements. Nous l'avons vu dans ce rapport, certains des glissements correspondent à des interprétations d'un schéma voisin du schéma initial. Dans le cas où un de ces glissements est choisi, il y a alors une incohérence entre le schéma présent sur l'interface et les microtextes qui caractérisent alors un schéma différent du schéma initial, toujours affiché. Pour conserver la cohérence entre microtextes et schéma, il faut alors que ce dernier soit modifié en fonction des glissements choisis par l'utilisateur. Nous nommerons cette étape la *réparation du schéma*. Aux 3 étapes de l'interaction : dessin, interprétation, choix des glissements, s'ajoute alors une quatrième étape de réparation du schéma initial (voir figure 3). Ce retour sur le dessin ferme l'enchaînement des étapes d'interaction. Ce travail laisse entrevoir une voie d'amélioration importante où l'interaction se déroulerait alors en boucle, le schéma se modifiant en fonction des glissements choisis par l'utilisateur [DBGM05].

Notre système d'analyse spatiale, qui utilise de façon récurrente le modèle 9-intersections, se prête assez bien à ce travail de réparation du schéma. Les objets complexes de notre modèle sont composés d'objets simples. L'analyse des relations spatiales entre ces objets complexes ne lance en fait que de multiples analyses sur les objets simples. Un glissement de sens correspond à analyser un schéma proche du schéma initial. Dans un tel schéma, les objets complexes sont dans des dispositions proches du schéma initial ; la réparation du schéma revient alors à déplacer ces objets complexes pour qu'ils soient dans la nouvelle disposition. Le déplacement des objets complexes se fait en déplaçant chacun des objets simples les constituant. Ainsi, pour réparer un schéma, il suffit de savoir réparer chacun des objets simples entre eux, dont les dispositions relèvent du modèle 9-intersections. Ce modèle porte sur des zones, des lignes et des points. Un travail de DEA [Baz04] a donné des résultats prometteurs en ce qui concerne les relations zone-zone, zone-ligne, zone-point, ligne-point et point-point. Chaque relation du modèle 9-intersections est décrite par un ensemble de contraintes, un glissement de sens revient alors à devoir respecter d'autres contraintes. Les objets sont alors déplacés ou déformés pas à pas jusqu'à ce qu'ils respectent les nouvelles contraintes. La réparation des relations ligne-ligne, quant à elle, reste plus compliquée et ouvre la voie à d'autres recherches, peut-être par résolution globale des contraintes.

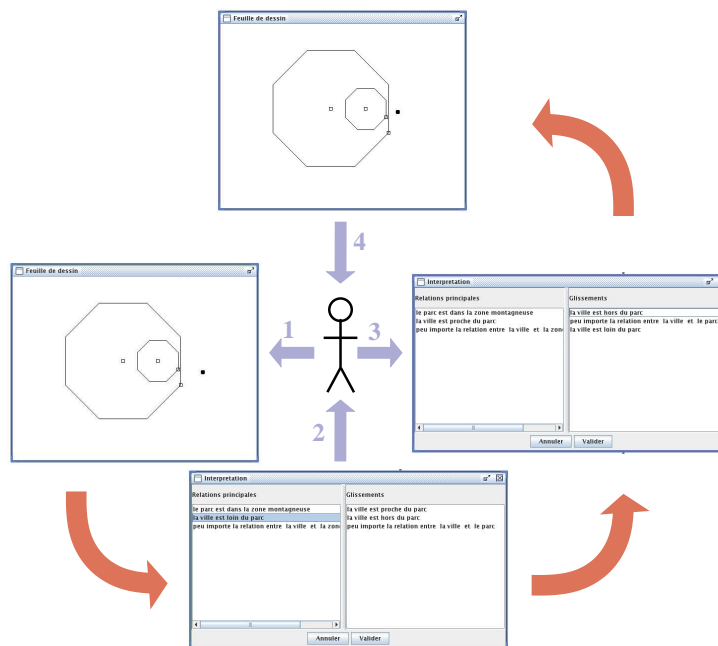


FIG. 3 – Une voie d’amélioration future : l’interaction en boucle.

Une autre voie de recherche concerne la reformulation sous forme de microtextes. Il est possible d’utiliser plusieurs techniques afin d’alléger ce retour textuel et de le rendre ainsi plus lisible. Par exemple la reformulation sous forme de focus [OAL03] permet d’exprimer les relations d’un seul objet par rapport à tous les autres. Il est aussi possible de détecter les relations évidentes afin de ne pas les afficher, par exemple, si un objet A est inclus dans un objet B , lui même inclus dans un objet C alors inutile de dire que A est inclus dans C . Il est aussi possible de prendre en compte des relations mettant en jeu trois objets : un objet situé entre deux autres objets, deux objets reliés par une route, etc. Ces améliorations tendent toutes vers une description plus globale du schéma, alors que nous ne faisons pour l’instant qu’une description élémentaire des objets deux à deux.

Bibliographie

- [ABL98] M-A. Aufaure, C. Bonhomme, and A. Lbath. Lvis : Un langage visuel d'interrogation de bases de données spatiales. In *Actes de la 14e journée en bases de données avancées*, Hamamet, Tunisie, 26-30 oct 1998.
- [All81] J. F. Allen. An interval based representation of temporal knowledge. In *IJCAI*, pages 221–226, 1981.
- [AP92] M.A. Aufaure-Portiers. *CIGALES : un langage graphique d'interrogation de Systèmes d'Information Géographiques*. PhD thesis, Université Paris 6, 1992.
- [Baz04] C. Bazin. *Réparation de schémas via un modèle «pseudo physique» dans la cadre du projet Antéserveur Géographique*. PhD thesis, Université de Caen, Septembre 2004.
- [BCLM95] P Bottoni, M.F Costabile, S Leviardi, and P Mussio. Formalising visual languages. *IEEE Symposium on Visual Languages 95*, pages 45–52, 1995.
- [BCTH00] B. Bennett, A. G. Cohn, P. Torrini, and M. Hazarika. A foundation for region-based qualitative geometry. *jhjh*, 2000.
- [BTAML] C. Bonhomme, C. Trepied, M.R. Abascal Mena, and R. Laurini. A visual language for querying spatio-temporal database. In C. Bauzer-Medeiros, editor, *Proceedings of the 7th International Symposium on GIS*, Kansas City, November 5-6.
- [CG94a] A. G. Cohn and N. M. Gotts. Spatial regions with undetermined boundaries. In *Gaithesburg Workshop on GIS, ACM.*, 1994.
- [CG94b] A. G. Cohn and N. M. Gotts. A theory of spatial regions with indeterminate boundaries. C. Eschenbach, C. Habel and B. Smith, 1994.
- [CG96] A. G. Cohn and N. M. Gotts. The 'egg-yolk' representation of regions with indeterminate boundaries. Burrough and Frank, 1996.
- [CH01] A G Cohn and S M Hazarika. Qualitative spatial representation and reasoning : An overview. *Fundamenta Informaticae*, 46(1-2) :1–29, 2001.
- [Coh96] A. G. Cohn. Calculi for qualitative spatial reasoning. *Artificial Intelligence and Symbolic Mathematical Computation*, pages 124–143, 1996.
- [Coh99] A. G. Cohn. Qualitative spatial representations. *Workshop Adaptive Spatial Representations of Dynamic Environments*, 1999.
- [CSE94] E Clementini, J Sharma, and M Egenhofer. Modeling topological spatial relations : Strategies for query processing. *Computers and Graphics*, pages 815–822, 1994.
- [DBGM05] F. Dumoncel, C. Bazin, M. Gaio, and J. Madelaine. Bi-modal interaction loop for a geo-spatial query. Las Vegas, 2005.
- [Den97] M. Denis. *Langage et Cognition Spatiale*. 1997.
- [dpdldC87] Centre de publication de l'université de Caen, editor. *L'Ambiguïté et la Paraphrase*. Fuchs, C., 1987.
- [EAT92] M Egenhofer and K Al-Taha. Reasoning about gradual changes of topological relationships. In A. Frank, I. Campari, and U. Formentini, editors, *Theory and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space*, volume 639, pages 196–219. Springer-Verlag, september 1992.

- [ECdF94] M. Egenhofer, E. Clementini, and P. di Felice. Topological relations between regions with holes. *International Journal of Geographical Information Systems*, pages 129–144, 1994.
- [EF91] M. Egenhofer and R. Franzosa. Point-set topological spatial relations. *International Journal of Geographical Information Systems*, pages 161–174, 1991.
- [Ege89] M Egenhofer. A formal definition of binary topological relationships. Third International Conference on Foundations of Data Organization and Algorithms (FODO), 1989.
- [Ege93] M. Egenhofer. A model for detailed binary topological relationships. *Geomatica*, (47) :261–273, 1993.
- [Ege94a] M Egenhofer. Definitions of line-line relations for geographic databases. *Data Engineering*, 16(11), 1994.
- [Ege94b] M. Egenhofer. Deriving the composition of binary topological relations. *journal of Visual Languages and Computing*, pages 133–149, 1994.
- [Ege97] M. Egenhofer. Query processing in spatial-query-by-sketch. *Journal of Visual Languages and Computing*, 8(4) :403–424, 1997.
- [EH90] M. Egenhofer and J. Herring. Categorizing binary topological relations between regions, lines, and points in geographic databases. Technical report, Department of Surveying Engineering, University of Maine, 1990.
- [EM95a] M. Egenhofer and D. Mark. Modeling conceptual neighbourhoods of topological line-region relations. *Int. J. Geographical Information Systems*, 9(5) :555–565, 1995.
- [EM95b] M. Egenhofer and D. Mark. Naive geography. In *COSIT '95*, pages 1–15. Springer-Verlag, September 1995.
- [EMH94] M. Egenhofer, D. Mark, and J. Herring. The 9-intersection : Formalism and its use for natural language spatial predicates. Technical Report TR 94-1, National Center for Geographic Information and Analysis, May 1994.
- [ER98] M Egenhofer and B.M Rashid, A Shariff. Metric details for natural-language spatial relations. *ACM Transactions on Information Systems*, 16(4) :295–321, 1998.
- [ESM] M Egenhofer, J Sharma, and D Mark. A critical comparison of the 4-intersection and 9-intersection models for spatial relations : Formal analysis.
- [FAP00] F Favetta and M-A Aulaire-Portier. About ambiguities in visual gis query languages : a taxonomy and solutions. *Fourth International Conference on Visual Information Systems (VISUAL'2000)*, 2000.
- [Fav03] F. Favetta. *Ambiguïtés dans les langages visuels d'interrogation spatiales et précision topologiques des Bases de données spatiales*. PhD thesis, Université de Marne-La-Vallée, 2003.
- [Fra91] A Frank. Qualitative spatial reasoning about cardinal directions. In M. David and W. Dermis, editors, *tenth international symposium on Computer-assisted cartography*, 1991.
- [Fra96] A Frank. Qualitative spatial reasoning : Cardinal directions as an example. *International Journal of Geographical Information Science*, 10(3) :269–290, 1996.
- [Gai] M. Gaio. PhD thesis, Université de Caen.
- [Gal98] A. Galton. Modes of overlap. *Journal of Visual Languages and Computing*, 9(1) :61–79, 1998.
- [GBGG97] Cohn A . G., B. Bennett, J. Gooday, and N. M. Gotts. Qualitative spatial representation and reasoning with the region connection calculus. *GeoInformatica*, 1(3) :275–316, 1997.
- [GGB94] Cohn A . G., J. Gooday, and B. Bennett. A comparison of structures in spatial and temporal logics. 1994.
- [GS02] M. Gaio and M. Szmurlo. L'apport de la bi-modalité dans l'élaboration d'interfaces adaptées à la recherche d'informations géographiques. *R.I.H.M, Revue d'Interaction Homme-Machine*, 3(1) :19–40, 2002.
- [LC99] C. Lecocq-Carpentier. *La gestion des ambiguïté dans un langage visuel : Application au langage de base de données CIGALES*. PhD thesis, Université d'Evry Val d'Essonne, 1999.

-
- [MC02] M. Mainguenaud and C. Carpentier. Classifying ambiguities in a visual spatial language. *GeoInformatica*, 3 :285–316, september 2002.
- [ME94] D. Mark and M Egenhofer. Modeling spatial relations between lines and regions : Combining formal mathematical models and human subjects testing. *Cartography and Geographical Information Systems*, pages 195–212, 1994.
- [Mey92] B. Meyer. Towards new metaphors for visual query languages for spatial information systems. *Interfaces to Database Systems*, 1992.
- [NV98] A. Nicolle and J. Vivier. *Questions de méthode en dialogue homme-machine, l'expérience Compèrobot*. L'Harmattan, 1998.
- [OAL98] M. Ould Ahmed Limam. Génération automatique de micro-textes décrivant des configurations spatiales. rapport de dea sous la direction de mauro gaio et patrice enjalbert. Technical report, Université de Caen, Septembere 1998.
- [OAL03] M. Ould Ahmed Limam. *Interaction avec feedback sémantique dans un environnement dédié à la recherche d'informations géographiques*. PhD thesis, Université de Caen, Septembre 2003.
- [OALG02] M. Ould Ahmed Limam and M. Gaio. Description textuelle de schémas géographiques, génération de texte guidée par focus. In *Actes du colloque CIDE'5, CFD 2002*, Hamamet, Tunisie, 2002.
- [Ope99] Open GIS Consortium. *OpenGIS Simple Features Specification For SQL Revision 1.1*, may 1999.
- [pos] *PostGIS Manual*, paul ramsey edition.
- [SEM98] A. Shariff, M. Egenhofer, and D. Mark. Natural-language spatial relation between linear and areal objects : The topology and metric of english-language terms. *Int. J. Geographical Information Science*, 12 :215–246, 1998.
- [SG98] M. Szmurlo and M. Gaio. Extended conceptual neighborhoods. In D. Fritsch, M. English, and M. Sester, editors, *Proc. of the ISPRS Comm. IV Symposium : Gis - Between Visions and Applications*, volume 32. Institute for Photogrammetry, Stuttgart University, 7-10 September 1998.
- [TGM02] C. Turbout, M. Gaio, and J. Madelaine. De la gestion à la réutilisation d'information géographique hétérogène multi-sources sur internet. In *Actes des 6eme Journées Cassini 2002 - Brest - France*, pages 369–388, 2002.
- [Tur98] C. Turbout. L'atlas transmanche, rédaction collaborative de documents composites sur internet. Master's thesis, octobre 1998.
- [Tur99] C. Turbout. Systèmes d'informations documentaires : spécificités du document géographique. In Jean-Pierre Goulette, Jacques Madelaine, and Khaldoun Zreik, editors, *Conception des nouveaux Système d'Information, 01'Design'99*, pages 67–77, Saint Ferréol, France, décembre 1999. Europia, Paris.

Résumé

Géographie et Graphes – Une interaction pour exprimer des requêtes spatiales guidée par des adjacences conceptuelles.

L'accès à l'information géographique sous forme électronique s'ouvre de plus en plus au grand public. Des interfaces intuitives ne nécessitant pas ou peu d'apprentissage apparaissent alors dans le domaine. Néanmoins, lorsqu'il s'agit de spécifier plus finement l'information recherchée, le pouvoir expressif de ces interfaces est limité. Le projet Antéserveur Géographique propose un environnement complet pour permettre d'exprimer une requête de manière bi-modale (schéma + étiquette textuelle). Dans la première partie du manuscrit nous mettons en avant deux qualités de la modalité schématique : apprentissage réduit et pouvoir expressif riche. En contre partie, nous voyons les problèmes d'ambiguïtés dus aux différents sens qu'une telle modalité peut véhiculer. La seconde partie évoque le fonctionnement multimodal de notre interface et notamment la complémentarité du texte et du schéma pour lever les ambiguïtés grâce à une interaction contrôlée, celle-ci reposant sur un mécanisme appelé glissement de sens. Le mode textuel et les glissements de sens nécessitent une analyse spatiale adaptée du schéma. Nous abordons alors le domaine de l'analyse spatiale qualitative, au coeur de ce travail de recherche, dans lequel une utilisation récurrente par centre d'intérêt du modèle 9-intersections de M.J. EGENHOFER est proposée. Grâce à cette méthode, nous disposons d'un modèle d'analyse spatiale unique permettant de relever différentes contraintes relevées jusqu'ici par des modèles distincts et sans lien. C'est cette unité qui nous permet de mettre en oeuvre notre mécanisme de glissement de sens. Enfin, nous présentons brièvement notre réalisation informatique.

Abstract

Geography and Graphs – An interaction to express space requests guided by conceptual adjacencies.

New information technologies allow more and more access to geographical information for a wide variety of public. Convivial and intuitive interface needing quite no training are available. Nevertheless, these tools have a limited power of expression when very precise specification of the information is needed. The "geographical anteserver" gives a complete environment allowing the expression of a query in a bi-modal manner (sketch + textual labels). In a first part, we show the two main qualities of the sketch modality : no need of training and great expressiveness. As a counterpart, we point the ambiguities due to the different levels of interpretation that such a modality leads to. The second part describes the use of the multimodal interface and focus on the complementarity of text and sketch to disambiguate the query thanks to a controlled interaction with the end-user using a mechanism of shifting in meaning. Textual interpretation of a sketch and shifting in meaning require a fine spatial analysis. At this point, we present the heart of this research : a qualitative spatial analysis model using recurrently the 9-intersections model of M.J. EGENHOFER. This spatial analytical model may capture topological, metric or orientation constraints, contrary to the models presented in the literature. This unification allows an easy implementation of the mechanism of shifting in meaning. As a conclusion, we present our software implementation.