



Institut de Recherche en Informatique de Toulouse

Université Paul Sabatier – Institut National Polytechniques de Toulouse
Master 2 Recherche - Informatique et Télécommunications, spécialité « Recherche
d'Information et Bases de Données » (RIBD)
Responsable : Zoubir Mammeri- Professeur
Equipe SIG-D2S2 (Systèmes d'informations généralisés)
Année 2008 – 2009

Recherche d'information spatiale : contribution à l'interrogation « par croquis » (sketch)

Par

Yamen BOUAZIZ

Directeur de recherches : Mme Florence SEDES, Professeur

Responsables de stage : Mme Florence SEDES, Professeur

M. Moultazem GHAZAL, Doctorant

Résumé :

Le croquis à main levée (sketch) est une vieille forme de communication qui a été employée pour visualiser, échanger et enregistrer l'information. En dépit de son expressivité prouvée, il n'est pas encore devenu une modalité utilisée dans le cadre de l'interaction entre l'homme et les systèmes informatiques. Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) ont des besoins particuliers de telles formes avancées d'interaction, parce qu'ils impliquent des données dont les structures sont complexes et hétérogènes qui sont souvent difficiles à décrire par des textes classiques ou des prédicats basés sur des attributs. L'objectif de ce travail est de montrer l'utilité du sketch dans les systèmes de recherche d'information spatiale dans un cas particulier qui est les données géographiques. Dans ce cadre, nous avons mis en place un prototype logiciel correspondant à un système d'interrogation par croquis à main levée pour vérifier les concepts et les théories développés.

Mots-clés : Données spatiales, Croquis.

Abstract :

The sketch is an old form of communication that was used to visualize, share and store information. Despite its proven expressiveness, it has not yet become a used modality in the interaction between humans and computer systems. Geographic Information Systems (GIS) have special needs for such advanced forms of interaction, because they involve complex and heterogeneous data structures, which are often difficult to describe by the text or by predicates based on attributes. The objective of this work is to show the usefulness of the sketch in retrieval spatial information in a particular case which is the geographic data. In this context, a prototype application of sketch query system is implemented in order to verify the concepts and theories developed.

Keywords : Spatial data, Sketch.

Université Paul Sabatier – Institut National Polytechniques de Toulouse
Master 2 Recherche - Informatique et Télécommunications, spécialité « Recherche
d'Information et Bases de Données » (RIBD)
Responsable : Zoubir Mammeri- Professeur
Equipe SIG-D2S2 (Systèmes d'informations généralisés)
Année 2008 – 2009

Recherche d'information spatiale : contribution à l'interrogation « par croquis » (sketch)

Par

Yamen BOUAZIZ

Directeur de recherches : Mme Florence SEDES, Professeur

Responsables de stage : Mme Florence SEDES, Professeur

M. Moultazem GHAZAL, Doctorant

Résumé :

Le croquis à main levée (sketch) est une vieille forme de communication qui a été employée pour visualiser, échanger et enregistrer l'information. En dépit de son expressivité prouvée, il n'est pas encore devenu une modalité utilisée dans le cadre de l'interaction entre l'homme et les systèmes informatiques. Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) ont des besoins particuliers de telles formes avancées d'interaction, parce qu'ils impliquent des données dont les structures sont complexes et hétérogènes qui sont souvent difficiles à décrire par des textes classiques ou des prédicats basés sur des attributs. L'objectif de ce travail est de montrer l'utilité du sketch dans les systèmes de recherche d'information spatiale dans un cas particulier qui est les données géographiques. Dans ce cadre, nous avons mis en place un prototype logiciel correspondant à un système d'interrogation par croquis à main levée pour vérifier les concepts et les théories développés.

Mots-clés : Données spatiales, Croquis.

Abstract :

The sketch is an old form of communication that was used to visualize, share and store information. Despite its proven expressiveness, it has not yet become a used modality in the interaction between humans and computer systems. Geographic Information Systems (GIS) have special needs for such advanced forms of interaction, because they involve complex and heterogeneous data structures, which are often difficult to describe by the text or by predicates based on attributes. The objective of this work is to show the usefulness of the sketch in retrieval spatial information in a particular case which is the geographic data. In this context, a prototype application of sketch query system is implemented in order to verify the concepts and theories developed.

Keywords : Spatial data, Sketch.

*A ma mère et mon père
A mes frères et ma sœur
A ma fiancée
A toute ma famille
A tous*

Amén

Je remercie Monsieur Zoubir MAMMERY responsable de la formation de Master et Monsieur Mohand BOUGHANEM responsable du parcours RIBD pour m'avoir permis de suivre la formation de Master de recherche Informatique et Télécommunications (M2RIT).

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Claude CHRISMENT de m'avoir accueilli au sein de l'équipe SIG.

Je remercie Madame Florence SEDES, Professeur à l'Université Paul Sabatier pour sa confiance, sa gentillesse, son soutien, ses conseils judicieux et ses remarques constructives qui ont contribué à améliorer la qualité des travaux présentés dans ce mémoire. Qu'elle soit assurée de ma profonde gratitude et de mon très grand respect.

Je voudrais également témoigner ma reconnaissance à Monsieur Moulazem GHAZAL qui m'a beaucoup appris durant mon stage. Son aide précieuse, ses encouragements et son soutien m'ont permis d'avancer.

Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury qui me font le grand honneur de juger mon travail.

Je tiens à remercier aussi Monsieur Anis JEDIDI et Monsieur Mohamed TMAR pour m'avoir aidé à travailler avec l'équipe SIG.

Mes sincères remerciements s'adressent à tous mes amis et collègues de l'équipe SIG du laboratoire IRIT pour leur accueil bienveillant et chaleureux, leur aide, leur soutien et leur gentillesse.

1. Introduction Générale	1
1.1. Systèmes de recherche d'information spatiale	1
1.2. Sketch : Une autre modalité pour les SIG	2

Chapitre I : État de l'art

1. Les systèmes visuels de recherche d'information	4
1.1. Introduction	4
1.2. Systèmes se focalisant sur les champs.....	5
1.2.1. Existence des champs.....	6
1.2.2. Existence de champs avec des relations spatiales	10
1.3. Systèmes se focalisant sur les objets	11
1.3.1. Existence des objets	12
1.3.2. Existence des objets avec des relations spatiales	14
1.4. Synthèse.....	19
1.5. Conclusion	21
2. Méthode d'appariement des graphes.....	22
2.1. Introduction	22
2.2. Notions de graphes	22
2.2.1. Définitions.....	22
2.2.2. Appariements de graphes	22
2.3. Représentation par des graphes	23
2.4. Mesure de similarité des graphes.....	24
2.4.1. Distance d'édits.....	24
2.4.2. Mesure de Papadopoulos et Manolopoulos.....	25
2.4.3. Mesure de similarité basée sur le plus grand sous-graphe commun	26
2.4.4. Mesure de similarité \emptyset -distance.....	27
2.4.5. Notion de graphe Médian.....	27
2.5. Conclusion	28

Chapitre II : Notre Contribution

1. Approche proposée	30
1.1. Introduction	30
1.2. Données géographiques	30

1.3.	Graphe d'association	31
1.4.	Méthodes de simplification du graphe d'association	32
1.5.	Graphe de voisinage spatial	33
1.5.1.	Modèle de données	34
1.6.	Conclusion	40
2.	Mise en œuvre	41
2.1.	Introduction	41
2.2.	Recherche d'images synthétiques	41
2.3.	Description des attributs choisis dans la modélisation des graphes.	41
2.3.1.	Distance	41
2.3.2.	Angle	42
2.3.3.	Relations topologiques	44
2.4.	Expérimentation et discussion	45
2.4.1.	Recherche d'images selon la distance	45
2.4.2.	Recherche d'images selon le nombre d'objets	45
2.4.3.	Recherche d'images selon l'angle relatif	46
2.4.4.	Recherche d'images selon la relation topologique	46
2.4.5.	Recherche d'images selon la relation topologique, l'angle et la distance	47
2.4.6.	Algorithme d'appariement proposé	47
2.4.7.	Distance entre deux configurations géographiques	49
2.5.	Evaluation du moteur de recherche d'image synthétique	52
2.5.1.	Mesure de performance	52
2.5.2.	Résultats faisant intervenir relation topologique, angle et distance.	53
2.6.	Application de recherche de données géographiques par des graphes	54
2.6.1.	Architecture globale de notre application	54
2.6.2.	Processus de recherche	55
2.6.3.	Fonctionnement de l'application	56
	Conclusion Générale	62

Figure 1 : Une partie de l'interface de Chabot montrant la liste des couleurs.....	6
Figure 2 : L'interface utilisateur de BDLP.	7
Figure 3 : L'interface utilisateur de CHROMA.	9
Figure 4 : Les photos obtenues par la sous-image sélectionnée par le rectangle blanc.	10
Figure 5 : L'image requête et les caractéristiques choisies sont en haut de la figure et le résultat obtenu en bas.	12
Figure 6 : Le résultat obtenu par l'interrogation sur la couleur et la texture.	13
Figure 7 : La formulation de la requête en traçant le contour autour des objets d'intérêt.	15
Figure 8 : Un exemple de requête (a) formulation de la requête dans VisualSEEK, (b) résultat de cette requête.	16
Figure 9 : Le résultat obtenu pour un sketch d'une bouteille dans une bibliothèque de dessins.	18
Figure 10 : Les deux fenêtres de l'interface utilisateur de Sketch! (a) s-fenêtre analogique et (b) p-fenêtre propositionnelle.	19
Figure 11 : Un graphe attribué qui représente les relations entre les régions de l'image.	24
Figure 12 : La technique de pliage d'histogramme de Papadopoulos et Manolopoulos.	26
Figure 13 : Étapes à suivre pour établir le graphique de voisinage.	37
Figure 14 : Construction du graphe (étape 1).	38
Figure 15 : Construction du graphe (étape 2).	39
Figure 16 : Construction du graphe (étape de renforcement).	40
Figure 17 : Distance entre deux objets.	42
Figure 18 : Définition d'angle entre deux objets.	43
Figure 19 : Valeur d'angle.	43
Figure 20 : Recherche d'images selon la distance relative ; l'image requête et les trois images semblables.	45
Figure 21 : Recherche d'images selon le nombre d'objets ; l'image requête et les trois images semblables.	45
Figure 22 : Recherche d'images selon l'angle ; l'image requête et les trois images semblables.	46
Figure 23 : Recherche d'images selon la relation topologique ; l'image requête et les trois images semblables.	46
Figure 24 : Recherche d'images selon la relation topologique, l'angle et la distance ; l'image requête et les trois images semblables.	47
Figure 25 : Représentation graphique des deux graphes G et G'.	48
Figure 26 : Distance entre les nombres de relations topologiques.	51
Figure 27 : Distance entre les relations topologiques.	51
Figure 28 : Courbe de rappel faisant intervenir la relation topologique, l'angle et la distance.	53
Figure 29 : Courbe de précision faisant intervenir la relation topologique, l'angle et la distance.	53
Figure 30 : Architecture globale de l'application.	54
Figure 31 : Processus de recherche.	55
Figure 32 : Interface principale.	56
Figure 33 : Fenêtre résultat.	57

Figure 34 : Fenêtre de dessin.....	57
Figure 35 : Requête utilisateur.	58
Figure 36 : Demande d’affichage des liens.	58
Figure 37 : Enregistrement requête.	59
Figure 38 : Affichage résultat.....	59
Figure 39 : Rapport résultat.....	60
Figure 40 : Consultation requête enregistrée.....	60

Tableau 1 : Aperçu sur les systèmes visuels de recherche d'information.	20
Tableau 2 : Transformation de valeurs quantitatives en valeurs qualitatives.	37
Tableau 3 : Valeur d'angle.	43
Tableau 4 : Relations Topologiques.....	44
Matrice 1 : Distances quantitatives.	37
Matrice 2 : Valeurs qualitatives.	38
Matrice 3: Valeurs qualitatives.	38
Matrice 4 : Valeurs qualitatives.	39

1. Introduction Générale

Le croquis à main levée (sketch) est une vieille forme de communication qui a été employée pour visualiser, échanger et enregistrer l'information. En dépit de son expressivité prouvée, il n'est pas encore devenu une modalité utilisée dans le cadre de l'interaction entre l'homme et les systèmes informatiques. Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) ont des besoins particuliers de telles formes avancées d'interaction, parce qu'ils impliquent des données dont les structures sont complexes et hétérogènes qui sont souvent difficiles à décrire par des textes classiques ou des prédicats basés sur des attributs.

L'objectif de ce travail est de montrer l'utilité du sketch dans les systèmes de recherche d'information spatiale dans un cas particulier qui est les données géographiques. Dans ce cadre, nous avons mis en place un prototype logiciel correspondant à un système d'interrogation par croquis à main levée pour vérifier les concepts et les théories développées.

1.1. Systèmes de recherche d'information spatiale

Pendant les vingt dernières années, l'information spatiale a pris une place prépondérante et l'évolution des applications a montré qu'il est plus approprié de représenter cette information dans l'espace que par des formes abstraites. Cette tendance a favorisé le développement de systèmes qui permettent à l'utilisateur de saisir, vérifier, intégrer, manipuler, analyser, et afficher l'information spatiale [1]. Les systèmes avec de telles capacités sont désignés sous le terme de « Systèmes d'Information Géographiques ».

Les premiers SIG ont été principalement employés pour produire des cartes, des démographies, ou autres index géographiques. Les SIG actuels sont plus variés et ont réussi à pénétrer des domaines d'applications [2]. Cette diversification a changé la communauté des utilisateurs de SIG. Les personnes les utilisant appartenaient à une petite élite des techniciens ou d'ingénieurs. Aujourd'hui, un SIG doit s'adapter à différents niveaux de compétence des utilisateurs. Il est donc crucial qu'un SIG fournisse des moyens d'interaction appropriés, permettant à l'utilisateur d'accéder plus facilement à l'information spatiale.

Le stockage, la gestion, et l'analyse de l'information sont des thèmes importants pour les SIG. Cependant l'information est seulement utile si elle peut être retrouvée. Le processus de recherche d'information se déroule en trois étapes. La première étape est la formulation de la requête. À ce stade, l'utilisateur définit ce dont il a besoin. La seconde étape exige du système de naviguer dans l'ensemble des données disponibles et de rechercher celles

correspondant à la demande de l'utilisateur. Si des données correspondent à la requête de l'utilisateur, elles sont alors affichées pour compléter le processus de recherche.

Il est possible de définir les exigences du système pour chacune de ces étapes. Pour la première étape, la formulation de requête doit être simple, intuitive, mais expressive de manière à ce qu'on puisse poser des requêtes précises. Pendant la phase de recherche, l'accent est mis sur la précision et l'efficacité, de sorte que le résultat de la recherche doit correspondre à la requête de l'utilisateur et ses attentes. L'efficacité d'une recherche dépend de la façon dont le contenu de la requête est comparé avec les informations stockées dans le système. La présentation de résultat est la dernière étape dans la recherche de l'information. À ce stade, il est essentiel de présenter les résultats de recherche sous une forme compréhensible, sans laisser l'utilisateur se dissiper avec les détails non pertinents.

1.2. Sketch : Une autre modalité pour les SIG

Dans les SIG, des outils primaires comme le clavier, la souris, parfois une tablette de digitalisation sont utilisés pour l'interaction avec l'utilisateur. Les tâches sont exécutées par l'intermédiaire de menus déroulants ou de boutons prédéfinis dans des boîtes de dialogue. Malheureusement, ce genre d'interaction entre l'utilisateur et le système est souvent non intuitif et lourd pour les données spatiales, comme conséquence des coûts élevés pour la formation et beaucoup d'erreurs opérationnelles.

L'intégration d'autres moyens pour l'interaction dans les interfaces de SIG semble une approche prometteuse pour améliorer cette situation, notamment pour les applications où l'information spatiale doit être retrouvée [3]. Deux moyens d'interaction sont très intéressants qui sont le sketch et l'annotation. Les gens les utilisent quotidiennement, de manière à ce qu'ils puissent développer une explication de haut niveau. Ces deux modalités ont des avantages spécifiques pour certains domaines d'application, mais le sketch est particulièrement bien adapté pour décrire les scènes spatiales [4]. Cette caractéristique a un intérêt particulier pour le système de recherche d'information spatiale, puisque la plupart des méthodes actuelles de recherche s'appuient sur la formulation des requêtes textuelles.

Les langages de requête textuels sont non spatiaux. En conséquence, il est souvent difficile et non intuitif de formuler textuellement une requête spatiale [5]. Les objets peuvent être représentés en deux dimensions, leurs caractéristiques telles que la forme ou l'orientation, peuvent facilement être rendues. Les attributs non spatiaux et leurs propriétés peuvent être assignés via les annotations.

Le sketch et l'annotation sont complémentaires aux formes traditionnelles d'interaction avec l'utilisateur. Une interface idéale pour un SIG doit combiner plusieurs moyens d'interaction pour permettre à l'utilisateur de choisir la méthode d'interaction selon sa connaissance, sa compétence, son affection et selon la partialité de la situation [6].

Ce mémoire s'organise en deux chapitres. Dans le premier chapitre nous présentons un état de l'art sur les systèmes visuels de recherche d'information et les méthodes d'appariement des graphes. Le deuxième chapitre présente ensuite notre contribution concernant une méthode de calcul de la similarité entre deux configurations géographiques.

CHAPITRE I : ÉTAT DE L'ART

1. Les systèmes visuels de recherche d'information

1.1. Introduction

Les systèmes de recherche d'information sont basés sur des méthodes qui permettent aux utilisateurs de formuler leurs besoins en vue de récupérer l'information souhaitée. Les premiers travaux sur la recherche d'images sont apparus à la fin des années soixante-dix. En 1979, une conférence sur les techniques de base de données pour gérer des collections d'images a eu lieu à Florence, Italie [7]. Depuis lors, la gestion de la base d'images a attiré l'attention des chercheurs. Les premières techniques de recherche d'images ne sont pas généralement basées sur les contenus visuels mais sur des annotations textuelles. En d'autres mots, les images ont été annotées par des textes, ensuite elles ont été recherchées à l'aide d'une approche fondée sur un système de gestion de base de données traditionnel. Un panorama sur les méthodes de recherche d'images basées sur le texte a été présenté dans [8]. La recherche d'images basée sur le texte utilise les techniques traditionnelles de base de données pour gérer les images. A travers des descripteurs textuels, les images peuvent être organisées hiérarchiquement selon les thèmes ou les sémantiques afin de faciliter la navigation et la recherche dans la base. Toutefois, puisque la génération automatique des descripteurs textuels pour un ensemble d'images n'est pas faisable, la plupart de ces systèmes exigent l'annotation manuelle des images. Évidemment, l'annotation manuelle des images est une tâche lourde et coûteuse pour les grandes bases d'images, elle est souvent subjective, sensible au contexte et incomplète. En conséquence, il est difficile que les méthodes traditionnelles (basées sur le texte) soutiennent l'interrogation des grandes bases d'images.

Au début des années quatre-vingt-dix, en raison des progrès d'internet et des nouvelles technologies de capteurs d'images numériques, les difficultés à gérer un ensemble d'images sont devenues de plus en plus importantes. La gestion efficace de l'expansion rapide de l'information visuelle est devenue un problème majeur. Cette nécessité constitue la force derrière l'apparition des nouvelles techniques de recherche d'images basées sur le contenu visuel. Il a été largement identifié que la manière la plus efficace et intuitive pour représenter et indexer l'information visuelle est basée sur les propriétés qui sont extraites des images elles-mêmes [9]. Des chercheurs de différentes communautés (« vision par ordinateur », « gestion de bases de données », « interface homme machine », « recherche d'information ») ont été attirés par ce domaine. Depuis lors, la recherche d'images par le contenu a connu un développement assez rapide.

Les systèmes de recherche d'images basés sur le contenu visuel peuvent être classés en deux catégories :

- 1) des systèmes permettant la formulation des requêtes en focalisant sur les champs.
- 2) des systèmes qui focalisent sur les objets.

La raison pour laquelle certains systèmes favorisent une approche plutôt qu'une autre est plus souvent liée au type de données interrogées.

Les champs sont des régions de l'espace caractérisées par certaines propriétés. Les différents points d'un champ peuvent avoir des attributs multiples, mais ils ne conservent aucune information explicite sur leur environnement ou leur voisinage. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) est un exemple typique de champ [10].

Les objets sont des représentations physiques des régions qui définissent l'information de haut niveau. Ils sont généralement créés par l'interprétation et le raffinement des données. Un objet a une identité unique et il peut avoir plusieurs attributs et caractéristiques. Ainsi, il peut incorporer des connaissances sur son environnement [1].

Si un système de recherche permet à l'utilisateur d'interroger plusieurs caractéristiques (champs) ou instants (objets) dans la même requête, les relations spatiales entre ces objets peuvent être prises en compte. Cette nouvelle caractéristique conduit à raffiner la classification des systèmes de recherche d'images en quatre catégories :

- 1- Systèmes focalisant sur l'existence des champs.
- 2- Systèmes focalisant sur les champs et les relations spatiales.
- 3- Systèmes focalisant sur l'existence des objets.
- 4- Systèmes focalisant sur les objets et les relations spatiales.

Les sections suivantes présentent les systèmes les plus connus dans le domaine de recherche d'images par le contenu.

1.2. Systèmes se focalisant sur les champs

Ce type de systèmes permet à l'utilisateur d'interroger une base d'images en spécifiant des caractéristiques d'un champ. Une telle caractéristique peut être un attribut commun (par

exemple, la couleur rouge) ou un modèle spécifique (par exemple, un sommet en MNT). La localisation spatiale du champ peut être fixée par l'utilisateur ou non.

Ces systèmes donnent de bons résultats, si la requête est semblable aux données recherchées. En d'autres termes, l'utilisateur doit avoir des connaissances a priori sur les images qu'il cherche, cela inclut tous les attributs tels que la couleur ou la texture. Si ces connaissances ne sont pas disponibles, il devient très difficile de récupérer l'information désirée.

1.2.1. Existence des champs

Ces systèmes permettent à l'utilisateur d'interroger une base d'images sur l'existence des caractéristiques. Si plusieurs caractéristiques sont demandées, les relations spatiales entre elles ne sont pas prises en compte. Cependant, quelques systèmes de cette catégorie permettent à l'utilisateur de spécifier explicitement la localisation spatiale de ces caractéristiques par rapport à l'image elle-même.

Chabot [11] a été un des premiers systèmes de recherche d'images par le contenu, il a été développé à l'université de Californie, Berkeley, USA. Il vise à combiner les descripteurs textuels des images avec leurs contenus visuels pour faciliter la recherche dans une grande base d'images. Le système utilise les descripteurs textuels existants d'une base d'images (une collection de photographies du département des ressources en eau de Californie), il ajoute d'autres informations textuelles telles que la date de prise de vue, la localisation, la perspective de la photo. Le contenu visuel d'une image est présenté dans ce système par un histogramme de couleurs qui ne contient que vingt couleurs.

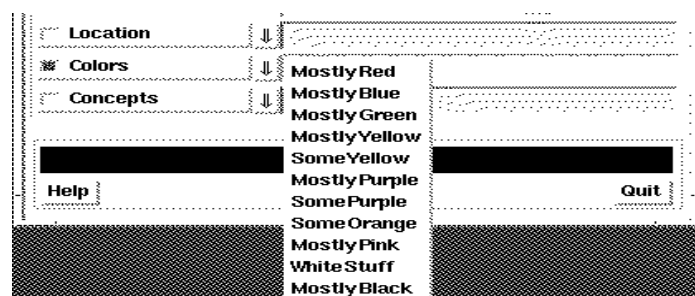


Figure 1 : Une partie de l'interface de Chabot montrant la liste des couleurs.

L'utilisateur peut interroger la base par une liste de critères tels que les mots clés, le nom du photographe, le format de l'image, la date de prise de vue, la perspective, la localisation, et les couleurs. Pour les couleurs, l'utilisateur a une possibilité trop limitée pour choisir les couleurs comme « plutôt blanc » ou « quelques régions bleues ». D'autre part, il a

la possibilité de définir des concepts, qui sont des combinaisons de critères. Par exemple, le concept « coucher de soleil » est défini en tant qu'une combinaison de mot-clé « soleil » et du critère de couleur « la plupart orange ». Les images et les données associées sont stockées dans une base de données POSTGRES (développé à l'université de Californie, Berkeley), et le résultat est affiché à l'utilisateur sans ordre spécifique.

BDLP (Berkeley Digital Library Project) [12] a été développé à l'université de Californie, Stanford, USA. Il permet à l'utilisateur d'interroger une base d'images par le contenu visuel et certains mots clés comme : la collection, la localisation spatiale et le nom du photographe. Pour extraire le contenu visuel, les couleurs de chaque image sont quantifiées en treize couleurs. Six valeurs sont associées à chaque couleur : le pourcentage de cette couleur dans l'image et le nombre de régions qui ont une taille « très petite », « petite », « moyenne », « grande », et « très grande » de cette couleur dans l'image.



Figure 2 : L'interface utilisateur de BDLP.

A l'interrogation, l'utilisateur peut sélectionner treize couleurs au plus et indiquer la quantité (« n'importe quelle », « une partie », « la plupart ») de chaque couleur dans l'image. En outre, pour les régions qui ont cette couleur, l'utilisateur peut indiquer leurs tailles (« n'importe laquelle », « petite », « moyenne », « grande ») et le nombre de régions (« n'importe laquelle », « peu », « quelques-unes », « beaucoup »).

Les caractéristiques de l'image sont stockées par des chaînes. Par exemple, une photo d'un ciel nuageux peut être représentée par une grande quantité de couleur bleu et quelques grandes régions blanches. La chaîne qui décrit cette photo peut être « la plupart bleu et quelques grandes blanches ». L'appariement est fait par la recherche de sous-chaînes : par exemple, la requête qui peut retrouver la photo précédente peut être « grandes blanches ». Les photos trouvées sont affichées sans ordre, avec le numéro de l'identification, le nom du photographe, et la collection.

CHROMA (Colour Hierarchical Representation Oriented Management Architecture) [13] a été développé à l'université de Sunderland, UK. Dans ce système, le vecteur des couleurs dominantes est extrait pour chaque image. Ce vecteur contient au maximum dix couleurs. Dans ce vecteur, les couleurs sont ordonnées selon la dominance décroissante. En fait, ce système regroupe les couleurs en dix classes : {couleurs incertaines comme très foncées ou très liminales}, {blanc}, {gris}, {noir}, {rouge, rose}, {marron, jaune foncé, vert olive}, {jaune, orange, jaune clair}, {vert}, {bleu, cyan, turquoise}, {pourpre, violet, magenta}. Chaque pixel dans une image est classé dans une de ces classes. La première composante du vecteur des couleurs dominantes est la classe la plus fréquente dans l'image, etc. La longueur de ce vecteur dépend du nombre de classes aux quelles les pixels ont appartenu. Si une classe n'apparaît pas dans une image, alors le vecteur de cette image ne contient pas cette classe et il a donc moins de dix composants. Le deuxième élément du descripteur des images est une matrice 15x15 des classes de couleurs. Pour l'obtenir, l'image est représentée à la résolution 15x15. Cette matrice contient la classe de couleur de chaque pixel et fournit une description approximative de l'image.

L'utilisateur peut naviguer dans une hiérarchie fondée sur les vecteurs des couleurs dominantes de toutes les images dans la base. La racine contient toutes les images. Chaque noeud i contient toutes les images dont les vecteurs des couleurs dominantes commencent par i . Chaque noeud j au dessous d'un noeud i contient toutes les images dont le vecteur des couleurs dominantes commence par ij , etc. Une autre méthode est l'interrogation par une image exemple. La matrice de l'image requête est comparée avec les matrices des images dans la base. Les images retrouvées sont présentées dans l'ordre décroissant de leur similarité.

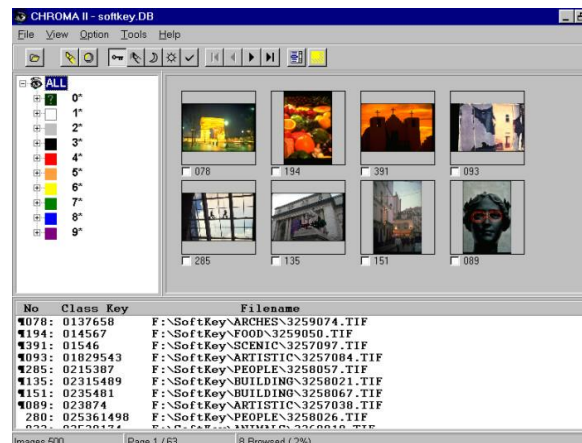


Figure 3 : L'interface utilisateur de CHROMA.

RETIN (REcherche et Traque Interactive) [14] a été développé à l'université de Cergy-Pontoise, France. Dans ce système, un ensemble des pixels est sélectionné au hasard dans chaque image. Pour ces pixels, les valeurs RVB, HSV, Lab et Luv sont prises. La texture de ces pixels est obtenue par l'application des douze filtres de Gabor (quatre différentes directions et trois différentes fréquences). Toutes ces valeurs sont regroupées en plusieurs classes pour toutes les images dans la base en utilisant le réseau de neurones de Kohonen. Ensuite, chaque pixel sélectionné (dans chaque image) est classé dans une de ces classes.

L'utilisateur formule sa requête par une image exemple. La recherche est faite soit par l'image entière, soit par une région d'intérêt dessinée par l'utilisateur. La distribution des classes pour l'image entière ou la région d'intérêt est calculée, et comparée avec celles des images de la base. Selon la comparaison, les images sont ordonnées et montrées à l'utilisateur.

WISE (Wavelet Image Search Engine) [15] a été développé à l'université de Stanford, USA. Il est également appelé WBIIS (Wavelet-Based Image Indexing and Searching). Dans ce système, les images dans la base sont redimensionnées à 128x128 pixels, ensuite elles sont converties de l'espace RVB de couleurs dans un autre espace de couleurs. Cet espace de couleur est défini par $C_1=(R + V + B)/3$, $C_2=(R + \max - B)/2$, $C_3=(R + 2 * (\max - V) + B)/4$, sachant que max est le maximum des composantes RVB pour chaque pixel. Le nouvel espace a été choisi en raison de sa similitude avec l'espace de couleurs utilisé par le système visuel humain. Sur chacune de ces trois composantes de couleurs, l'ondelette de Daubechies est appliquée. Du résultat (trois matrices 128x128 qui sont dénotées WC_1 , WC_2 et WC_3), chaque

16x16 coin supérieur gauche est stocké en tant qu'élément du descripteur de l'image (le 8x8 coin supérieur gauche représente la configuration des objets dans l'image, alors que les trois 8x8 matrices entourant représentent les détails). En outre, l'écart type σ_{C_i} du 8x8 coin supérieur gauche de chaque WC_i est calculé et stocké en tant qu'élément du descripteur.

L'utilisateur interroge le système par une image exemple ou par une sous-image (image partielle). Les images retrouvées sont présentées dans l'ordre décroissant de leur similarité.

1.2.2. Existence de champs avec des relations spatiales

Quelques systèmes qui focalisent sur les champs, peuvent prendre en compte les relations spatiales. À cette fin, les champs sont considérés comme des régions ou des quasi-objets de sorte qu'ils puissent être référencés spatialement les uns par rapport aux autres.

FOCUS (Fast Object Color-based Query System) [16] a été développé à l'université du Massachusetts, USA. Dans ce système, chaque image est divisée en vignettes de 100x100 pixels. Pour chaque vignette, l'histogramme de couleurs dans l'espace HSV est quantifié. Les pics de tous les histogrammes sont déterminés et regroupés dans une liste unique pour l'image entière en fusionnant les pics de la même couleur. En outre, un tableau de fréquence donne pour chaque couleur le nombre d'image qui ont un pic de cette couleur.

Les relations spatiales entre les régions de couleur sont représentées par un graphe de la proximité spatiale, qui est construit en deux phases. Tout d'abord, chaque pic est considéré comme un sommet dans le graphe. Les sommets sont connectés s'ils sont situés dans la même vignette, ou s'ils sont situés dans des vignettes voisines et ils ont la même couleur. Ce graphe est simplifié, en rassemblant les sommets connectés qui ont la même couleur. Le graphe obtenu est présenté par la matrice d'adjacence.

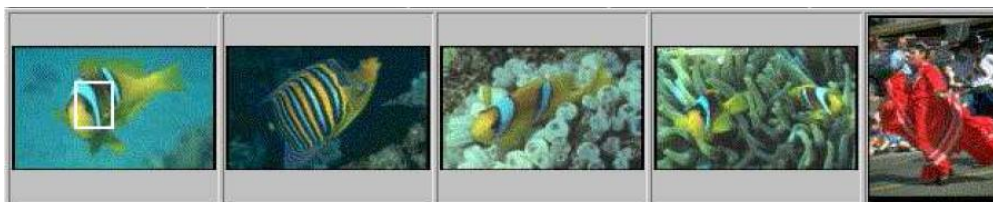


Figure 4 : Les photos obtenues par la sous-image sélectionnée par le rectangle blanc.

Pour la requête, l'utilisateur peut choisir une des images affichées par le système, ou sélectionner une sous image qui contient la région d'intérêt. Les images retrouvées, en première phase de recherche, sont des images qui ont toutes les couleurs de l'image requête.

Le système permet à l'utilisateur de raffiner le résultat en prenant en compte les relations spatiales.

KIWI (Key-points Indexing Web Interface) [17] a été développé à l'INSA Lyon, France. Dans ce système, des points clés sont détectés par l'utilisation d'un détecteur basé sur une ondelette. Les histogrammes de couleurs (un pour chaque canal de couleur) sont construits pour un sous-ensemble de pixels, définis par une matrice 3X3 autour des points clés. Ensuite, les trois premiers moments (« moyenne », « variance », « dissymétrie ») de l'histogramme sont stockés et utilisés pour décrire la distribution de couleurs dans l'image.

Un certain nombre d'intensités invariantes de surface sont calculées et stockées dans un histogramme 2D. Cet histogramme est construit sur toutes les paires de points clés. Vingt-quatre filtres de Gabor (huit différentes directions et trois différentes fréquences) sont également appliqués autour des points clés. Un 2D histogramme de l'amplitude de ces valeurs est construit. La position spatiale relative des ces points clés est codée en utilisant ces deux 2D histogrammes.

L'utilisateur peut interroger le système soit par une image affichée, soit en tapant l'adresse URL d'une image. Le résultat de la recherche est présenté dans l'ordre décroissant de similarité.

1.3. Systèmes se focalisant sur les objets

Ce type de systèmes se focalise sur les différentes entités existant dans l'image. Ils permettent à l'utilisateur d'interroger une base d'images sur l'existence des objets en spécifiant quelques caractéristiques. Les relations spatiales peuvent être prises en compte lorsque la requête contient plus d'un objet.

Les systèmes de cette catégorie sont généralement plus efficaces que les précédents parce que la comparaison se fait à un niveau plus élevé. D'autre part, ces systèmes sont moins sensibles aux interprétations erronées, car les caractéristiques des objets sont interrogées au lieu des caractéristiques des champs. Pour la même raison, il est plus facile d'étendre les requêtes en modifiant les poids des composants ou en remplaçant des composants par d'autres similaires [18].

1.3.1. Existence des objets

Ces systèmes se focalisent sur l'existence des objets, tout en considérant certains attributs, tels que la forme ou la géométrie. Si plusieurs objets sont demandés, les relations spatiales ne sont pas prises en compte.

Blobworld [19] a été développé à l'université de Stanford, USA. Les caractéristiques utilisées pour l'interrogation dans ce système sont : la couleur, la texture, la localisation spatiale et la forme des régions et de l'arrière-plan de la photo. La couleur est décrite par un histogramme de 218 couleurs. La texture est représentée par le contraste moyen et l'anisotropie de la région. La forme est représentée par la superficie, l'excentricité et l'orientation approximative.

L'utilisateur choisit une catégorie qui limite l'espace de recherche. Dans cette catégorie, l'utilisateur choisit une image, sélectionne les régions d'intérêts, et indique leur importance (« peu », « très »). Pour chaque région, l'utilisateur peut spécifier l'importance de la couleur, de la texture, de la localisation spatiale, et de la forme (« pas », « peu », « très »). Les images trouvées sont présentées dans l'ordre de leur similarité, avec une version segmentée (de chaque image) montrant les régions d'intérêt.

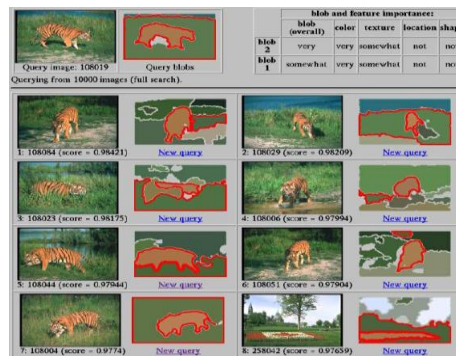


Figure 5 : L'image requête et les caractéristiques choisies sont en haut de la figure et le résultat obtenu en bas.

FRIP (Finding Regions in the Pictures) [20] a été développé à l'université de Yonsei, Korea. Les images, dans ce système, sont segmentées en régions en utilisant des filtres circulaires. Pour chaque région, la couleur, la texture et la forme sont extraites. La couleur est représentée par la couleur moyenne dans l'espace RVB. La texture est extraite en employant une ondelette bi-orthogonale. La forme est représentée par un vecteur de 12 valeurs, représentant les distances entre les centres de régions et les 12 points de la frontière prélevés

d'une manière uniforme après la fixation de l'orientation. En outre, la superficie, les coordonnées du centre et la longueur de l'axe majeur et mineur sont stockés.

L'utilisateur choisit une image pour la requête, cette image sera segmentée. De cette dernière, l'utilisateur sélectionne la région d'intérêt. Les images retrouvées sont présentées dans l'ordre décroissant de leur similarité.

NETRA [21] a été développé à l'université de Stanford, USA. Les images dans la base sont segmentées en régions de même couleur. Pour chaque région, les caractéristiques suivantes sont extraites : la couleur, la texture, la forme et la localisation spatiale.

L'espace de couleurs RVB est quantifié et représenté par une palette qui contient 256 couleurs. La texture est représentée par un vecteur contenant la moyenne et l'écart type d'une série de transformations par l'ondelette de Gabor. La forme est représentée par trois vecteurs. La première, « C » est basée sur la fonction de courbure de contour, qui donne la courbure de chaque point. La deuxième, « D » est basée sur la fonction de distance, qui donne la distance entre chaque point du contour et le centre de la région. La troisième, « X » est la fonction complexe de coordonnées, qui représente chaque point de contour comme un nombre complexe. Le composant réel de ce nombre est égal à l'abscisse, et le composant imaginaire égal à l'ordonnée. Sur 64 échantillons de chacune de ces fonctions, la Transformation de Fourier Rapide (FFT) est appliquée.

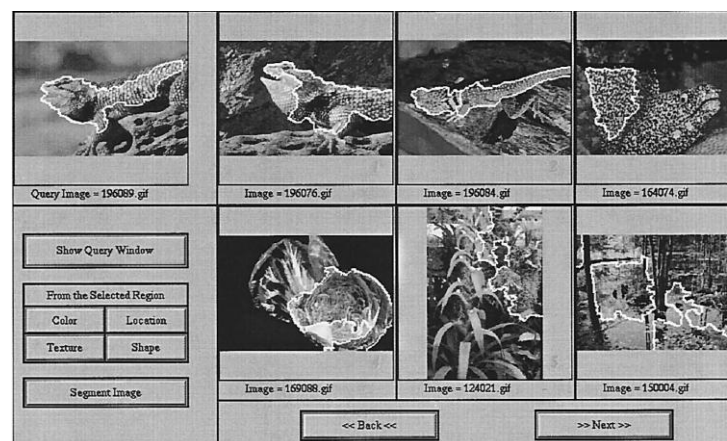


Figure 6 : Le résultat obtenu par l'interrogation sur la couleur et la texture.

Deux manières sont possibles pour l'interrogation dans ce système. Dans la première, l'utilisateur sélectionne une image, identifie les régions d'intérêt et spécifie leurs attributs. Dans la deuxième, l'utilisateur spécifie la couleur et la localisation spatiale de l'objet d'intérêt. Les images retrouvées sont présentées dans l'ordre décroissant de leur similarité.

1.3.2. Existence des objets avec des relations spatiales

Ce type de systèmes se focalise sur l'existence des objets avec des relations spatiales, ce qui fournit le degré le plus élevé de flexibilité pour l'interrogation de l'information spatiale. Deux types de ce genre peuvent être trouvés : les systèmes qui utilisent la représentation symbolique et les systèmes qui utilisent le sketch pour formuler la requête.

1.3.2.1. Icônes et symboles

Ces systèmes permettent à l'utilisateur de formuler sa requête en arrangeant des icônes ou des symboles représentant les objets. Certains systèmes permettent à l'utilisateur de spécifier explicitement les relations spatiales entre les objets.

Picasso [22] a été développé à l'université de Florence, Italie. Il permet à l'utilisateur d'interroger une base d'images en utilisant la forme, la couleur et les relations spatiales entre les régions. La segmentation de l'image est réalisée en utilisant une méthode pyramidale ; chaque niveau de pyramide correspond à un niveau de résolution de la segmentation. Au niveau le plus bas, chaque pixel de l'image correspond à une région, alors que l'image entière représentée par une seule région dans le niveau le plus haut.

Les régions d'image au niveau k sont obtenues en fusionnant les régions adjacentes de niveau $k-1$. Ainsi, à la fin de la procédure, chaque image est associée aux N images segmentées $I_n, n = 1 \dots N$, qui sont représentées par un graphe G . Les sommets de G sont les régions de N images. Il y a deux types d'arêtes entre les sommets : les arêtes intra-niveau qui sont les liens entre les sommets correspondant aux régions voisines dans une image segmentée, et les arêtes inter-niveaux qui sont les liens entre une région R de l'image I_n et les régions de l'image I_{n-1} qui ont été fusionnées pour former la région R .

L'utilisateur choisit une image de la base et trace le contour des objets d'intérêt. Il peut également spécifier des attributs de ces régions (les coordonnées, la superficie, l'orientation, etc.). Les images retrouvées sont présentées à l'utilisateur dans l'ordre décroissant de leur similarité.



Figure 7 : La formulation de la requête en traçant le contour autour des objets d'intérêt.

VisualSEEK [23] a été développé à l'université de Columbia, USA. Chaque image est décomposée en régions en employant la technique de « rétro-projection ». La première étape dans cette technique est la sélection d'un ensemble de couleurs (dans l'espace HSV), qui sont organisées dans un vecteur. Ensuite pour chaque image I dans la base, une autre image B est générée en appliquant certaines transformations. L'image B est filtrée et les localisations spatiales des régions sont extraites.

Le système permet à l'utilisateur de formuler la requête en arrangeant quelques rectangles représentant les objets d'intérêt. Ainsi il permet à l'utilisateur de faire la recherche par une image exemple. L'image requête est décomposée en régions en utilisant la même technique. Toutes les comparaisons sont basées sur REM (Rectangle Englobant Minimal) ; l'ensemble des REM des régions extraites de l'image requête sont comparées avec les images dans la base.

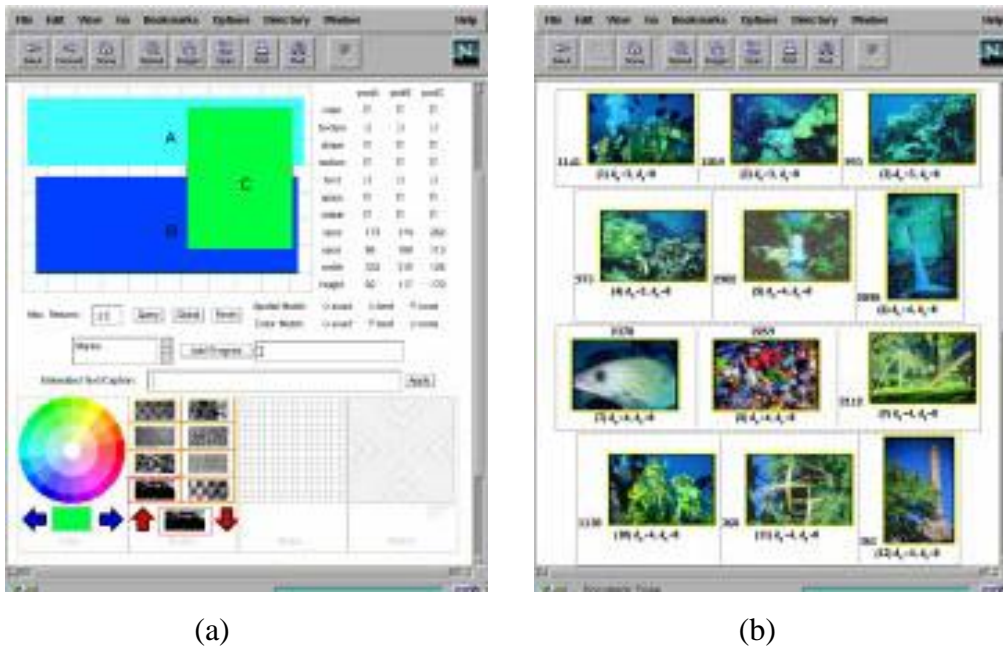


Figure 8 : Un exemple de requête (a) formulation de la requête dans VisualSEEk, (b) résultat de cette requête.

PQL (Pictorial query language) [24] a été développé à l'institut de l'analyse de l'informatique IASI, Italie. C'est un langage d'interrogation visuelle pour l'information géographique, basé sur la théorie des ensembles et le modèle orienté objet de la base de données. Chaque objet est défini comme une région, une ligne ou un point. L'utilisateur formule ses requêtes en choisissant des symboles. L'ensemble de symboles inclut les formes de base, tels que le rectangle et le cercle. Les attributs sont assignés séparément pour chaque objet. Un petit ensemble d'opérateurs est employé pour décrire les relations topologiques entre les objets comme la disjonction, l'inclusion, l'égalité et le chevauchement. Deux types d'opérateurs de distance peuvent être définis dans ce système. Le premier est employé pour exprimer la distance minimale ou maximale entre deux objets. Le deuxième peut inclure des opérateurs métriques classiques, tel que « inférieur », « égal » ou « supérieur ».

Le langage d'interrogation pour les relations topologiques dans SIG par icône [25] a été développé à l'université de Hong Kong, China. Il s'agit d'une approche semblable à PQL avec une interface utilisateur qui se compose de quatre parties :

- 1) une boîte d'icônes,
- 2) un espace pour formuler la requête,
- 3) une fenêtre d'affichage des cartes,

4) une fenêtre de vérification.

Ce système permet à l'utilisateur de formuler sa requête en choisissant des icônes (rectangle, ligne, point) et les dessinant. Pour identifier les relations spatiales entre les icônes, l'utilisateur doit utiliser un ensemble d'opérateurs prédéfinis. Cet ensemble d'opérateurs est différent pour chaque type d'objet. La fenêtre de vérification est utilisée pour permettre à l'utilisateur de contrôler le processus d'analyse et d'interprétation de la requête. Si le système fait une erreur d'interprétation, l'utilisateur a la possibilité de reformuler la requête.

1.3.2.2. Sketch

L'interrogation par « sketch » est une méthode pour formuler la requête. Cette méthode permet à l'utilisateur d'exprimer plus librement ses besoins que les autres méthodes.

« Le système recherche d'image par sketch » [26] a été développée à l'université de Firenze, Italie. Dans ce système, chaque image est associée avec l'information suivante:

- 1) un descripteur de l'image contient toutes les relations spatiales entre les objets,
- 2) un fichier de signatures qui se compose de cinq champs, un pour chaque relation, disjoint, adjacent, contient, dedans et chevauchement,
- 3) les contours des secteurs rectangulaires (un pour chaque forme d'intérêt de taille 128x128) sont extraits par l'algorithme de Canny.

L'utilisateur fait sa requête en dessinant un sketch. La forme de l'objet dessiné est transformée en un modèle élastique. La similarité est calculée en fonction de l'effort nécessaire pour que le modèle élastique de la requête soit assorti avec la forme de l'objet extraite de l'image. L'algorithme est invariant seulement sous la transformation spatiale (changement de la localisation spatiale), mais il ne prend pas en compte le changement de la rotation et de l'échelle.

Les relations spatiales entre les objets sont prises en compte en comparant les projections des objets sur les axes x et y.

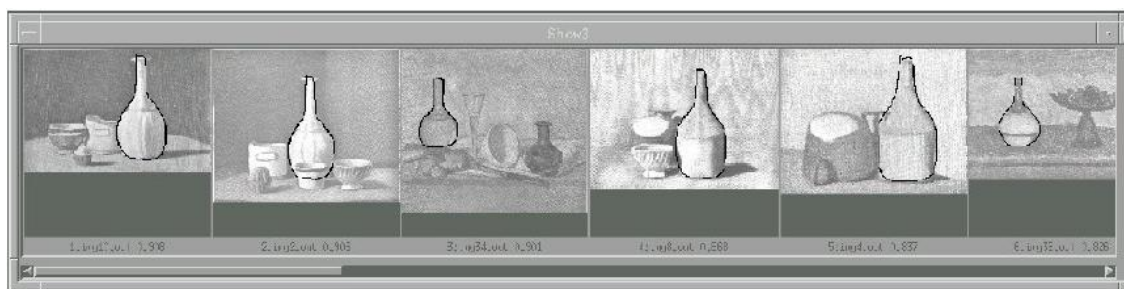


Figure 9 : Le résultat obtenu pour un sketch d'une bouteille dans une bibliothèque de dessins.

« Image requête par sketch » [27] est développé à l'université de Maine, USA. Dans ce système, la base de données se compose de trois bibliothèques:

- 1) une bibliothèque d'images contient les images numériques non traitées (brutes),
- 2) une bibliothèque de méta données qui contient une liste de valeurs qui décrit les propriétés générales des images,
- 3) une bibliothèque de dispositifs contenant les caractéristiques des objets détectés dans les images.

La localisation spatiale des objets est exprimée par leurs MER. L'évaluation de la similitude spatiale est basée sur l'analyse de ces MER et les relations topologiques entre les objets. La formulation de la requête est basée sur une méthode de sketch. La forme et les relations topologiques entre les objets dessinés sont seulement prises en considération dans l'évaluation de similitude. Les images retrouvées sont ordonnées selon l'ordre décroissant de leur similarité.

Sketch! [28] est développé à l'université de Hagen, Allemagne. C'est un langage d'interrogation pour les Systèmes d'Informations Géographiques. Dans ce système, la requête est divisée en deux parties : la première « analogue » est utilisée pour représenter l'information quantitative, tandis que la deuxième « propositionnelle » est utilisée pour mentionner l'existence d'un objet et ses propriétés.

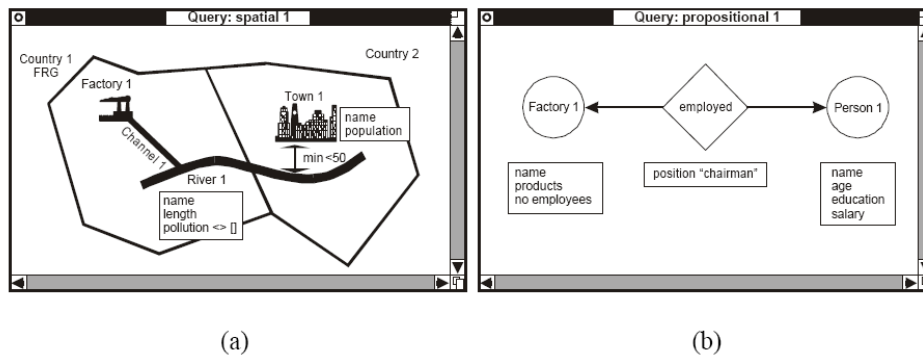


Figure 10 : Les deux fenêtres de l'interface utilisateur de Sketch! (a) s-fenêtre analogique et (b) p-fenêtre propositionnelle.

L'interface de l'utilisateur se compose de deux fenêtres : l'information propositionnelle est montrée dans la p-fenêtre et l'information analogique dans la s-fenêtre. Dans la p-fenêtre, les objets sont représentés par des cercles, les relations par des diamants, et les attributs sont stockés dans des tables associées aux objets ou aux relations. La configuration spatiale des objets est définie par l'utilisateur dans la s-fenêtre. La requête dans cette fenêtre est composée avec un ensemble de points et de lignes (ouvertes ou fermées). Un objet est décrit par sa position et sa surface. Les relations entre les objets peuvent être définies par des prédicats prédéfinis tels que l'intersection, la disjonction, etc. Les relations non spatiales ou invisibles dans la s-fenêtre doivent être définies dans la p-fenêtre en glissant les objets de la s-fenêtre dans la p-fenêtre et en spécifiant ensuite les relations désirées. La complexité de l'interaction augmente rapidement avec le nombre d'objets, puisque chaque objet doit être spécifié dans les deux fenêtres.

1.4. Synthèse

Le tableau 1 présente la synthèse de cet état de l'art pour les systèmes visuels de recherche d'information. La colonne gauche contient les noms des systèmes regroupés en deux catégories (Champ et Objet). La deuxième colonne contient les références, puis les colonnes suivantes montrant les dispositifs : les mots-clés, la couleur, une image exemple, la texture, la relation spatiale, la localisation spatiale, la forme, l'arrière plan, le symbole, le sketch et la surface. Ces systèmes sont spécifiquement conçus pour être utilisés comme moteur de recherche.

Système		Référence	Mots-clés	Couleur	Image exemple	Texture	Relation spatiale	Localisation spatiale	Forme	Arrière plans	Symbole	Sketch	Surface
Champ	CHABOT	[11]	*	*				*					
	DBLP	[12]	*	*				*					
	CHROMA	[13]		*	*								
	RETIN	[14]		*	*	*							
	WISE	[15]		*	*								
	FOCUS	[16]		*	*		*						
	KIWI	[17]	URL	*	*		*						
Objet	BLOBWORLD	[19]		*		*		*	*	*			
	FRIP	[20]		*	*	*			*				
	NETRA	[21]		*	*	*		*	*				
	PICASSO	[22]		*			*		*				
	VISUALSEEK	[23]		*	*		*	*					
	PQL	[24]					*				*		
	Langage d'interrogation pour les relations topologiques	[25]					*				*		
	Recherche d'images par Sketch	[26]					*		*			*	
	Image requête par Sketch	[27]					*	*	*			*	
Sketch !	[28]					*		*			*	*	

Tableau 1 : Aperçu sur les systèmes visuels de recherche d'information.

Pour chaque système (ligne), ses caractéristiques sont énumérées (colonnes). Une étoile dans une colonne (**) marque le soutien à une fonction. Si un système ne supporte pas la fonctionnalité, la table d'entrée est vide.

1.5. Conclusion

Les systèmes de recherche d'images par le contenu permettent aux utilisateurs d'accéder à l'information visuelle de manière plus adaptés que la manière utilisée par les systèmes de recherche d'information traditionnels. Ces systèmes recherchent généralement dans la base, les images similaires à la requête. Selon le type de données interrogées, deux approches différentes pour ces systèmes ont été développées :

- 1) des systèmes qui focalisent sur les champs,
- 2) d'autres qui focalisent sur les objets.

Une autre distinction peut être faite si un système fournit un mécanisme pour prendre en compte les relations spatiales entre les champs ou les objets.

Cette section présente un panorama des systèmes selon ces quatre catégories. L'évaluation de performance de ces systèmes est une tâche difficile à réaliser. Bien sûr, nous pouvons utiliser la précision (le nombre d'images pertinentes retrouvées sur le nombre total d'images retournées par le système) et le rappel (le nombre d'images pertinentes retrouvées sur le nombre total d'images pertinentes dans la base). En fait, la plupart des articles concernant ces systèmes donnent des chiffres sur le rappel et la précision, mais il est difficile de les vérifier ; en effet ces valeurs dépendent de la base interrogée et des requêtes utilisées dans l'évaluation. Généralement, les systèmes qui focalisent sur les champs donnent des résultats acceptables pour le moteur de recherche public où les données sont non structurées, tandis que les systèmes qui focalisent sur les objets sont plus adaptés à interroger les données qui sont bien structurées, prenant en compte les relations spatiales entre les champs où les objets qui aident à l'augmentation de l'expressivité de la requête.

Les SIG focalisent sur les objets géographiques et les relations entre eux. Par conséquent, l'approche choisie pour interroger les données géographiques est la quatrième catégorie qui focalise sur les objets et les relations spatiales.

2. Méthode d'appariement des graphes

2.1. Introduction

En effet, la représentation sous forme de graphe est utilisée dans différentes applications d'analyse d'images. Dans ces applications, le graphe est utilisé pour représenter les objets et les relations spatiales entre objets. Cette représentation structurelle a prouvé sa flexibilité dans plusieurs domaines [29].

Nous présentons dans cette section des travaux sur la représentation sous forme de graphe. Ensuite nous détaillerons quelques travaux sur les mesures de similarité entre les graphes.

2.2. Notions de graphes

2.2.1. Définitions

Un graphe fini $G = (V, E)$ est défini par l'ensemble fini $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ($|V| = n$) dont les éléments sont appelés sommets, et par l'ensemble fini $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ ($|E| = m$) dont les éléments sont appelés arcs.

Un arc e de l'ensemble E est défini par une paire non-ordonnée de sommets, appelés les extrémités de e . Si un arc e relie les sommets a et b , on dira que ces sommets sont adjacents, ou incidents avec e , ou encore que l'arc e est incident avec les sommets a et b . On appelle ordre d'un graphe le nombre de sommets (n) de ce graphe.

2.2.2. Appariements de graphes

Afin de comparer deux graphes, il est nécessaire de mettre en correspondance leurs sommets, c'est à dire de définir un appariement (« matching »).

Étant donné deux graphes $G = (V, E)$ et $G' = (V', E')$, un appariement m entre G et G' est une relation entre V et V' , c'est à dire $m \subseteq V \times V'$. Sans perte de généralité, il est supposé que les ensembles des sommets de G et de G' sont disjoints ($V \cap V' = \emptyset$). Quand aucune contrainte n'est ajoutée à l'appariement, c'est à dire que chaque sommet peut être apparié à zéro, un, ou plusieurs sommet(s) de l'autre graphe, l'appariement est dit multivoque. Cependant, il est possible d'ajouter des contraintes sur le nombre de sommets avec lesquels il peut être apparié. Cela permet de définir les appariements fonctionnels, applicatifs, univoques, injectifs et bijectifs.

Étant donnés deux graphes $G = (V,E)$ et $G'=(V',E')$, un appariement $m \in V \times V'$ est :

- Fonctionnel de G dans G' si m apparie chaque sommet du graphe G avec au plus un sommet du graphe G' : $\forall v \in V, \| m(v) \| \leq 1$
- Applicatif de G dans G' si m apparie chaque sommet du graphe G avec exactement un sommet du graphe G' : $\forall v \in V, \| m(v) \| = 1$
- Univoque entre G et G' si m apparie chaque sommet du graphe G et G' avec au plus un sommet : $\forall v \in V, \| m(v) \| \leq 1 \wedge \forall v' \in V', \| m(v') \| \leq 1$
- Injectif de G dans G' si m apparie chaque sommet du graphe G avec un sommet différent de G' : $\forall v \in V, \| m(v) \| = 1 \wedge \forall v' \in V', \| m(v') \| \leq 1$
- Bijectif entre G et G' si m apparie chaque sommet du graphe G (respectivement de G') avec un sommet différent de G' (respectivement de G) : $\forall v \in V, \| m(v) \| = 1 \wedge \forall v' \in V', \| m(v') \| = 1$

Arcs appariés : Soit m un appariement des sommets de deux graphes $G = (V,E)$ et $G'=(V',E')$, un arc $(u,v) \in E$ est dit apparié à un autre arc $(u',v') \in E'$ si et seulement si $\{(u,u'), (v,v')\} \subseteq m$.

2.3. Représentation par des graphes

Les images sont généralement segmentées en régions. Chaque sommet du graphe représente alors une région de l'image et les arcs représentent les différentes relations possibles entre les régions. L'intérêt principal de l'utilisation des graphes pour la représentation d'images est l'intégration de l'information spatiale dans la modélisation. En effet les représentations classiques telles que les histogrammes de couleurs, les descripteurs de textures, etc. ne donnent aucune information sur la façon dont les régions d'intérêt de l'image sont agencées. Au contraire, la représentation par les graphes permet de décrire la structure de l'image comme la façon dont les régions sont disposées les unes par rapport aux autres (Figure 11). En outre, selon les types de relations choisies, cette représentation en graphe peut être invariante à certaines transformations telles que les rotations de l'image ou les translations de certaines parties de l'image.

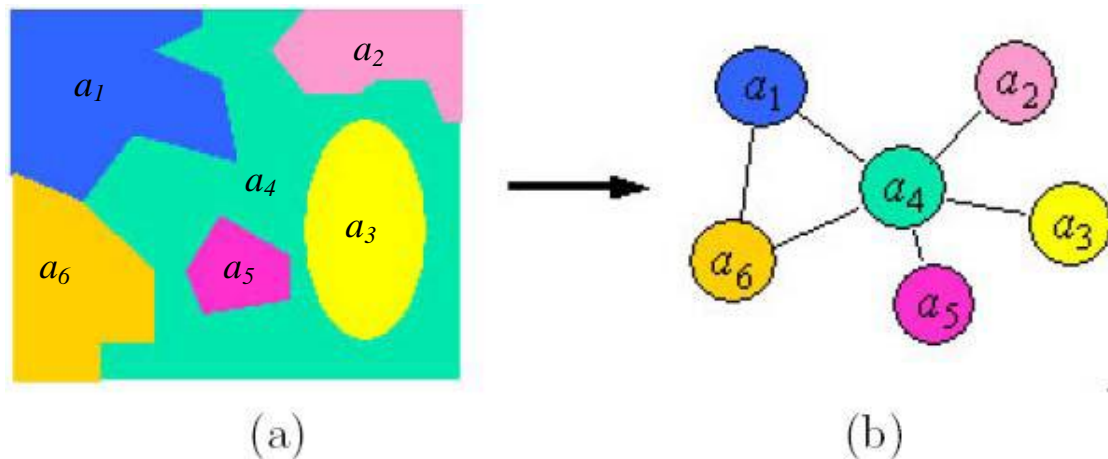


Figure 11 : Un graphe attribué qui représente les relations entre les régions de l'image.

(a) Une image qui contient un groupe de régions.

(b) Le graphe qui représente (a).

La plupart des travaux qui utilisent les graphes comme modèle de représentation, ont pour objectif la définition de la mesure de similarité entre les documents pour les comparer. La section suivante présente des mesures de similarités pour comparer deux graphes.

2.4. Mesure de similarité des graphes

La structure des graphes est caractérisée principalement par la flexibilité, l'universalité et l'utilisation dans des domaines d'applications variés. Ce fait a conduit au développement de plusieurs mesures de similarité pour les graphes qui sont optimisées pour différentes applications. La plupart de ces mesures ont une caractéristique commune qui consiste en quelque sorte à utiliser des opérations d'édition (*edit operations*). Le principe est de définir l'effort nécessaire pour rendre les graphes identiques. Dans la suite, nous détaillerons les mesures les plus connues dans la littérature.

2.4.1. Distance d'édérations

La distance d'édition pour les graphes est l'extension de la distance d'édition pour les chaînes des caractères (*ou distance de Levenshtein*) [30]. C'est une mesure très commune pour évaluer la similarité entre les graphes. La distance d'édition entre deux graphes est le nombre minimum des opérations d'édition qui sont nécessaires pour transformer un graphe en un autre. Les principales opérations d'édition sont, la suppression ou l'insertion des sommets ou arcs, et le changement des attributs des sommets ou des arcs.

Pour calculer la distance entre deux graphes Robles-Kelly [31] propose une méthode de conversion d'un graphe à une séquence de chaînes de caractères afin d'appliquer des techniques de mesure de la distance d'édition de chaîne de caractères. La problématique principale de la distance d'édition est la détermination du coût minimal des opérations d'éditations effectuées. Les solutions proposées à cette problématique sont dans la majorité probabiliste [31] [32].

2.4.2. Mesure de Papadopoulos et Manolopoulos

Papadopoulos et Manolopoulos [33] présentent une mesure de similarité pour les graphes, qui est aussi basée sur le concept des opérations d'édition. Ils proposent trois opérations primitives différentes, qui sont l'insertion de sommet, la suppression de sommet et la mise à jour de sommet. Pendant que les opérations de suppression et d'insertion ont des significations évidentes, l'opération de mise à jour est nécessaire pour insérer ou supprimer les arcs pour un sommet. En plus, Papadopoulos et Manolopoulos introduisent la notion de la séquence de degrés du sommet d'un graphe ordonnée en ordre décroissant. La distance de similarité entre deux graphes est définie comme le nombre minimum des opérations primitives qui sont nécessaires pour que les deux graphes possèdent la même séquence de degrés des sommets.

Pour calculer la mesure de similarité, un histogramme trié de graphe est introduit dans [33]. Soit un graphe $G = (V, E)$, son histogramme est construit par le calcul des degrés de chaque sommet de G . Chaque sommet correspond à une case différente de l'histogramme. En triant ces cases, on obtient un histogramme trié de graphe G (sorted graph histogram). Les auteurs montrent que la L1-distance entre deux histogrammes triés de graphes est égale, à la distance de similarité entre les deux graphes correspondants. En plus, cette distance satisfait les trois propriétés fondamentales de l'espace métrique :

- la positivité : $0 \leq \text{distance}(G1, G2)$
- la symétrie : $\text{distance}(G1, G2) = \text{distance}(G2, G1)$
- l'inégalité triangulaire : $\text{distance}(G1, G3) \leq \text{distance}(G1, G2) + \text{distance}(G2, G3)$

Évidemment, si deux graphes n'ont pas le même ordre, les histogrammes triés des ces graphes auront des dimensions différentes. Pour mesurer la similarité dans ce cas, une technique de pliage a été introduite pour achever à une dimension constante des histogrammes de chaque graphe. Pour créer un histogramme plié à partir d'un histogramme trié, l'ordre

maximum de tous les graphes doit être connu à l'avance. Au début, la dimension désirée n est fixée, et pour les graphes avec un nombre de sommets inférieur à n , la dimension de leurs histogrammes triés est ramenée à la dimension n . Dans tout les autres cas, un nouvel histogramme plié H_p sera construit par échantillonnage de la somme des n -premières valeurs de H_t . Après la résolution du problème de la dimension, les auteurs utilisent la technique d'indexation R-tree pour exploiter leur mesure.

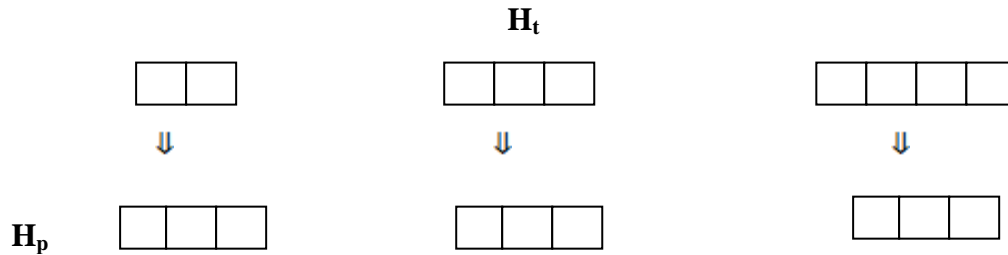


Figure 12 : La technique de pliage d'histogramme de Papadopoulos et Manolopoulos.

2.4.3. Mesure de similarité basée sur le plus grand sous-graphe commun

Cette méthode de mesure de similarité entre deux graphes proposée par Bunke et Shearer dans [34] est basée sur le plus grand sous-graphe commun de deux graphes. Un graphe G est appelé un sous-graphe commun aux deux graphes $G1$ et $G2$, s'il est un sous graphe de $G1$ et $G2$. Un sous-graphe commun G de deux graphes $G1$ et $G2$ est dit maximal (le plus grand) s'il n'existe aucun autre sous-graphe commun de $G1$ et $G2$ avec un ordre (taille, en terme de nombre de sommets) plus grand que celui de G . Dans [34], le plus grand sous-graphe commun est noté « *mcs* » (*maximal common subgraph*). La mesure de similarité entre deux graphes non-vides $G1$ et $G2$ est défini par :

$$d_{mcs}(G1,G2) = 1 - \frac{|mcs(G1,G2)|}{\max\{|G1|,|G2|\}}$$

Où $|mcs(G1,G2)|$ est le nombre des sommets du *mcs* et $|G1|$ et $|G2|$ sont respectivement le nombre de sommets de $G1$ et $G2$. Cette mesure selon [33] respecte les propriétés suivantes :

- $0 \leq d_{mcs} (G1, G2) \leq 1$
- $d_{mcs} (G1, G2) = 0 \leftrightarrow G1$ et $G2$ sont isomorphes l'un à l'autre.
- $d_{mcs} (G1, G2) = d_{mcs} (G2, G1)$
- $d_{mcs} (G1, G3) \leq d_{mcs} (G1, G2) + d_{mcs} (G2, G3)$

2.4.4. Mesure de similarité \emptyset -distance

Une autre mesure de similarité pour les graphes est proposée par Chartrand, Kubicki et Schultz dans [35]. Cette mesure est basée sur des fonctions entre les ensembles des sommets des graphes. Elle est définie pour les graphes connexes de même ordre. Soient deux graphes connexes $G1 = (V1, E1)$ et $G2 = (V2, E2)$ ayant le même ordre n , et l'application linéaire $\emptyset: V1 \mapsto V2$. La \emptyset -distance entre $G1$ et $G2$ est définie par :

$$D_{\emptyset} (G1, G2) = \sum_{u,v} |lp(u, v) - lp(\emptyset u, \emptyset v)|$$

Où $lp(u, v)$ est la longueur du plus court chemin entre u et v dans $G1$, et la somme est prise pour toutes les paires des sommets u et v distincts dans $G1$. La mesure de similarité entre deux graphes connexes $G1$ et $G2$ avec le même ordre est :

$$D (G1, G2) = \min \{ D_{\emptyset} (G1, G2) \}$$

Le minimum est pris parmi toutes les applications \emptyset possibles de $V1$ à $V2$.

Les auteurs Chartrand et al. montrent que leur mesure de similarité respectent les propriétés des espaces métriques, mais ils ne proposent aucun algorithme pour calculer cette mesure.

2.4.5. Notion de graphe Médian

Étant donné un ensemble d'éléments, le médian peut être un concept très utile pour avoir une représentation qui accumule une information globale de l'ensemble. Dans le domaine de l'analyse d'image par approches structurelles, le graphe médian, introduit par Jiang et Bunke dans [36, 37, 38], a pour objectif l'extraction de l'information essentielle à partir d'un ensemble de graphes dans un seul prototype (c'est à dire modèle).

Soit S un ensemble de graphes, le médian est défini comme le graphe dérivé de S qui a la plus petite somme de distances à tous les graphes dans l'ensemble S . Si la condition que le

médian appartienne à l'ensemble des graphes est requise, le médian de l'ensemble est obtenu. Sinon, un graphe médian généralisant est obtenu.

Soit U l'ensemble contenant tout les graphes qui peuvent être construit à partir d'un ensemble $S = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$ (c'est à dire tout graphe avec un nombre de sommet entre 1 et la somme de tous les sommets de g_i). Le graphe médian généralisant et le graphe médian de sont respectivement définis par :

$$\bar{g} = \arg \min_{g \in U} \sum_{i=1}^n d(g, g_i)$$

$$g = \operatorname{argmin}_{g \in S} \sum_{i=1}^n d(g, g_i)$$

Avec $d(.,.)$ une fonction de distance qui mesure la dissimilarité entre deux graphes. Le concept de graphe médian généralisant est plus intéressant parce qu'il a un grand potentiel de capter l'information essentielle de l'ensemble des graphes. Mais il est aussi plus complexe à calculer, en fait sa complexité grandie exponentiellement en fonction du nombre de graphes et de leurs tailles. Par contre, le graphe médian peut être calculé en $O(n^2)$ étapes (pour chaque étape, nous aurons besoin de calculer la distance entre deux graphes).

Même si le problème de graphe médian généralisant est récent, la littérature dans le domaine de l'analyse d'image et de la reconnaissance de forme par approches structurales, présente quelques travaux qui proposent différentes méthodes pour calculer le graphe médian généralisant. Par exemple, Jiang [39] utilise un algorithme génétique avec représentation chromosomique. Hlaoui [40] propose une solution basée sur la décomposition de problème de la minimisation de la somme des distances en deux parties ; une pour la somme des distances dédiée aux sommets et l'autre pour les arcs. Encore, la théorie de graphes spectrale [41] ainsi que la programmation linéaire [42] ont été utilisées pour cette problématique.

2.5. Conclusion

Dans cette section nous avons passé en revue des différentes méthodes d'appariement de graphes. Différentes mesures de similarité ont été proposées dont nous avons cité une liste non-exhaustive. Ces travaux ont été choisis puisqu'ils gardent la structure générale des graphes. Mais les mesures de similarité sont très générales et très complexes. Il y a d'autres travaux essayant de faire l'appariement en transformant un graphe en arbre [43, 44, 45]. Ces travaux ne sont pas présentés dans notre état de l'art puisque la transformation d'un graphe en arbre implique une grande perte d'information.

Nous présentons dans le chapitre suivant notre approche d'appariement de graphes. Cette approche est moins complexe que les méthodes citées ci-dessus, puisqu'elle ne garde que les relations pertinentes entre les sommets.

CHAPITRE II : NOTRE CONTRIBUTION

1. Approche proposée

1.1. Introduction

Les méthodes traditionnelles pour l'interrogation des données géographiques sont fastidieuses [46]. Les difficultés d'interroger une base de données géographiques en utilisant un des langages d'interrogation textuel deviennent plus apparentes lorsque plusieurs utilisateurs ont différents niveaux de compétence. L'origine de ce problème est le fait que les descriptions textuelles d'une configuration géographiques sont souvent ambiguës et peuvent facilement mener aux fausses interprétations [47]. D'autre part, l'information précise dans les bases de données est interrogée généralement en utilisant des expressions approximatives.

Les données géographiques sont spatiales ; ainsi il est plus approprié d'exprimer les requêtes géographiques par des termes et des concepts spatiaux explicites plutôt que par des termes lexicaux. Le sketch est un mode d'interaction qui soutient plus la pensée spatiale de l'être humaine que n'importe quel langage d'interrogation textuelle. Puisque l'utilisateur a fréquemment une image exemple dans sa tête quand il cherche une configuration spatiale [47]. De plus, les contraintes spatiales entre les objets dessinés sont implicites, ainsi l'utilisateur n'a pas besoin de formuler ces contraintes explicitement. Le sketch fournit également un retour visuel direct. Il est donc une étape importante vers l'utilisation réussie des SIG si les utilisateurs ont la possibilité de dessiner les images retrouvées dans leurs cerveaux.

Outre de nombreux aspects intéressants à propos l'interaction par le sketch, la reformulation des données spatiales pour répondre à ce type d'interrogation pose un réel défi. D'une part, si la base de données ne rend que les configurations qui correspondent exactement aux géométries des objets dessinés dans la requête, le résultat sera généralement nul [48]. D'autre part, les méthodes utilisées dans la recherche d'images par le contenu ne peuvent pas être employées dans le domaine géographique, car il y a une grande différence entre la recherche par sketch pour les images et pour les données géographiques. Dans ce mémoire, nous proposons un nouveau modèle pour les données géographiques. Ce modèle permet de récupérer non seulement les éléments identiques à un sketch, mais aussi ceux qu'ils ont un certain degré de similitude.

1.2. Données géographiques

Les SIG stockent l'information du monde réel par une collection de couches thématiques qui peuvent être liées par la géographie. Chaque couche est une carte montrant la

répartition spatiale d'une entité géographique ou d'un phénomène. Dans chaque couche, les données sont représentées soit par le modèle vectoriel soit par le modèle matriciel.

Dans le premier, les données sont stockées dans une matrice où chaque cellule contient une valeur qui décrit l'état de la zone correspondante sur la terre par rapport à un thème. Dans le deuxième, les données sont représentées par une collection de points, de lignes et de polygones. Les données représentées selon le modèle vectoriel sont caractérisées par des attributs spatiaux et des attributs non spatiaux. Les attributs non spatiaux sont employés pour représenter l'information descriptive de l'objet, tandis que les attributs spatiaux sont employés pour définir les propriétés géométriques et les relations spatiales entre les composants. Les relations spatiales peuvent être des relations topologiques, métriques et directionnelles. Les relations topologiques décrivent la connectivité et la contiguïté entre les objets. Les relations métriques sont présentées par des valeurs déterminées par une fonction de distance. Les relations directionnelles décrivent comment un objet est placé par rapport aux autres.

La gestion des données spatiales sous le modèle vectoriel concerne donc deux types d'information : l'information géométrique et les relations spatiales. L'information géométrique décrit l'objet lui-même et ne dispose d'aucune information sur son contexte, alors que les relations spatiales capturent le contexte de l'objet. Par conséquent, même si les relations spatiales sont généralement considérées comme une information dérivée de l'information géométrique, elles semblent être plus appropriées pour décrire les données spatiales de manière plus générale et plus riche dans la sémantique. L'information géométrique et la forme d'objets représentent la partie visuelle des données tandis que les relations spatiales sont représentées par un réseau virtuel qui lie les objets les uns avec les autres.

1.3. Graphe d'association

Le réseau virtuel entre les objets peut être représenté par un graphe d'association. Dans ce graphe, chaque objet est représenté par un sommet, et les relations spatiales sont représentées par les arcs. Théoriquement, chaque objet est lié avec à les autres objets par des relations spatiales. Si toutes les relations sont prises en compte, le graphe d'association est appelé un graphe complet ce qui signifie que tout changement dans la configuration est propagé à tous les autres sommets. Toutefois, le nombre d'arcs dans ce graphe augmente exponentiellement avec le nombre d'objets, et il est donné par l'équation (1), où n est le nombre d'objets dans le graphe :

$$M = \frac{n * (n - 1)}{2} \quad (1)$$

Cette augmentation rend le graphe complet inconvenant pour représenter efficacement les données géographiques, puisque le nombre d'objets dans une configuration géographique est assez grand. D'autre part, il semble peu probable que les gens prennent en compte toutes les relations spatiales entre les objets quand ils interprètent une configuration géographique. Par conséquent, un choix intelligent d'un sous-ensemble de relations a beaucoup d'avantages par rapport à l'approche complète. Par exemple, l'utilisation d'un graphe d'association réduite permettra de diminuer la taille nécessaire pour stocker ces données dans la base, ainsi l'accès à l'information deviendra plus rapide et plus efficace. Donc, le développement d'une méthode qui simplifie la complexité du graphe d'association, tout en maintenant son expressivité, est une contribution importante au but d'augmenter l'efficacité du modèle proposé.

1.4. Méthodes de simplification du graphe d'association

L'efficacité d'un système de recherche d'information est basée sur le modèle de données dans la base et le modèle de requête ; donc, elle dépend de la méthode pour établir le graphe d'association. Comme nous avons vu, le graphe d'association se compose de deux composants (les sommets et les arcs). Par conséquent, il y a deux approches pour simplifier le graphe d'association.

La première approche essaye de réduire le nombre de sommets dans le graphe d'association en utilisant quelques filtres qui ne gardent que les objets importants. Avec cette approche, l'efficacité augmente en $O(n^2)$, parce que pour chaque objet éliminé il y a $n-1$ arcs supprimés. Cependant, de cette approche peuvent être exclus des objets qui sont importants pour la signification des données.

La seconde approche vise à réduire le nombre d'arcs, en éliminant ceux qui n'ont pas une grande importance. L'efficacité dans cette approche augmente en $O(n)$, mais tous les nœuds dans le graphe d'association.

Il semble plus adéquat pour notre objectif d'utiliser la seconde approche qui maintient tous les objets et les sous-ensembles de relations spatiales. Pour réduire le nombre de relations, il est nécessaire de définir une fonction qui détermine si une relation est importante

ou non. En fait, l'importance d'une relation peut être exprimée par la sémantique ou par le contexte spatial.

L'analyse de la sémantique a besoin d'une méthode d'interprétation qui doit prendre en compte la sémantique des objets. Toutefois, la méthode utilisée par les gens pour interpréter une configuration spatiale est encore inconnue [48], par conséquent, il est trop difficile d'interpréter la sémantique des relations spatiales. D'autre part, l'utilisation du contexte spatial n'exige que des connaissances sur les géométries des objets, par conséquent, il est moins difficile à intégrer et plus adaptable pour être utilisé en déterminant l'importance d'une relation. Si le mécanisme d'analyse du contexte spatial est basé sur la proximité, la première loi de Tobler dans la géographie [49] peut être employée « Tout est lié à tout autre, mais les choses qui sont proches sont les plus liées ».

1.5. Graphe de voisinage spatial

Selon l'exigence de chaque application, différentes approches ont été proposées pour construire le graphe de voisinage. Parmi les approches les plus connues qui prennent en compte la distribution spatiale des objets, nous pouvons citer l'arbre couvrant de poids minimal [50], le graphe de voisinage relatif [51] et le graphe de Gabriel [52]. Ces approches construisent des graphes convenables pour l'interrogation précise, mais ces graphes ne sont pas favorables pour l'interrogation flexible comme le sketch.

Afin de construire un graphe d'association convenable à notre objectif, nous devons prendre en compte le comportement de l'utilisateur quand il fait son sketch. Dans notre recherche, nous nous basons sur une étude du comportement de l'utilisateur qui est réalisée dans [53]. L'étude montre que l'utilisateur dessine son sketch avec des objets simples qui n'ont fréquemment aucune signification s'ils sont pris hors du contexte. Par conséquent, la forme de l'objet, dans le sketch géographique, n'a généralement aucune signification. Cela fait une grande différence entre la recherche par sketch pour les images et pour les données géographiques. Dans la recherche d'images, chaque objet dessiné a une signification précise, ainsi nous pouvons le considérer comme un mot dans une recherche textuelle. De l'autre côté, un objet dans une recherche géographique n'a aucune signification (s'il est pris hors du contexte), ainsi il peut être représenté comme une lettre. Par conséquent, il est nécessaire de lier ces lettres ensemble pour avoir un mot qui a une signification. Une autre conclusion de cette note est que l'utilisateur emploie généralement le type d'objet (point, ligne, polygone) et la taille pour refléter la différence sémantique entre les objets. Pour ces raisons nous ne

prenons pas la forme de l'objet en compte dans notre modèle mais nous regroupons les objets dans plusieurs niveaux en fonction de leurs types et leurs tailles.

La deuxième note dans cette étude prouve que la relation topologique préférée pour l'utilisateur est la disjonction (environ 90% de la totalité). A partir de cette note, nous pouvons baser sur les relations topologiques pour évaluer la similitude et négliger les autres relations (métrique et directionnelle). L'importance des relations topologiques dans l'évaluation réside dans le fait qu'elles sont invariables sous les transformations dans l'espace telles que la rotation et le changement d'échelle, tandis que les autres relations sont variables. C'est parce que les autres relations sont généralement représentées par des valeurs quantitatives tandis que les relations topologiques sont représentées par des valeurs qualitatives. Par conséquent, une transformation intelligente de l'information quantitative en une information qualitative rend elle invariables avec le changement. Ainsi nous pouvons les utiliser dans l'évaluation de similitude pour les relations topologiques.

Le dernier point de cette étude montre que l'utilisateur formule sa requête avec une information approximative et dans une résolution spécifique. D'autre part, l'information dans la base de données est très précise et peut être stockée dans une autre résolution. Généralement, pour avoir un bon moteur de recherche, il est nécessaire de pouvoir faire l'appariement entre la requête de l'utilisateur et l'information dans la base de données. Par conséquent, il est nécessaire de transformer l'information dans la base de données en quelque sorte pour rendre cet appariement facile. Nous proposons dans ce mémoire un nouveau modèle pour des données géographiques afin de rendre la recherche de l'information spatiale facile par sketch.

1.5.1. Modèle de données

La première étape dans notre méthode est de rassembler les objets en plusieurs couches en se basant sur leurs types et leurs tailles. Comme nous avons montré, l'utilisateur emploie généralement le type et la taille pour refléter la différence sémantique entre les objets. Dans la première couche, nous mettons les objets qui appartiennent aux réseaux géographiques. Chaque réseau se compose d'un ensemble de segments connectés. La méthode utilisée pour calculer la similitude entre les réseaux géographiques a été présentée dans [54]. Les autres couches contiennent les objets qui représentent les régions. Nous proposons de les organiser en trois niveaux (« grand », « moyen », « petit »). Si tous les objets ont la même taille, nous aurons une seule couche. D'autre part, nous créons une nouvelle couche de taille

s'il y a deux objets $obj1$, $obj2$, leurs tailles sont respectivement $siz1$, $siz2$ et $D > 1$, sachant que D est donné par l'équation suivante (2):

$$D = \frac{|siz2 - siz1|}{\min \{siz1, siz2\}} \quad (2)$$

Pour chaque couche, nous construisons le graphe du voisinage spatial. Après nous lions les différentes couches en utilisant les relations spatiales.

La construction du graphe du voisinage spatial dépend de la manière de définir les voisins de l'objet. Mais comme nous savons que l'information dans les bases des données géographiques appartient normalement à différents niveaux des résolutions. D'ailleurs, la distance visuelle entre deux objets dans une résolution est différente de la distance entre les mêmes objets dans une autre résolution. Par conséquent, nous ne pouvons pas employer la distance normale pour déterminer les voisins d'un objet. Nous proposons d'employer la distance relative qui s'adapte avec le changement de résolution. Néanmoins la distance relative ne peut pas absorber l'inexactitude dans la requête d'utilisateur. Pour cela nous utilisons la distance relative qualitative qui est adéquate à notre objectif. Pour avoir cette distance notre algorithme se base sur une méthode de groupement hiérarchique qui commence en considérant chaque valeur comme une classe et après fusionner les classes proches successivement jusqu'à atteindre un objectif.

❖ Distance relative qualitative :

La première étape donc consiste à classer les distances entre les objets appartenant à la même couche. Par conséquent, nous avons une matrice $n \times n$ pour n objets, nous l'appelons la matrice de distance. Deuxièmement, nous ordonnons les distances selon l'ordre ascendant. Troisièmement, nous calculons les différences entre ces valeurs prises deux à deux et la moyenne de ces différences. Quatrièmement, nous considérons chaque différence qui est supérieure ou égale à la moyenne comme un séparateur entre deux classes. Les valeurs entre deux séparateurs seront regroupées dans une seule classe, si la longueur de l'intervalle est inférieure à L , qui est donné par l'équation suivante (3), sachant que Avg est la moyenne des différences:

$$L = 1,5 * Avg \quad (3)$$

Si la longueur de l'intervalle est supérieure à L, des nouvelles classes seront créés pour regrouper les valeurs. À la fin de cet algorithme, nous avons un ensemble de classes ordonnés, chaque classe représente une distance relative qualitative. Nous réinitialisons la matrice de distance en remplaçant chaque distance par la classe auquel il appartient. Cette nouvelle matrice forme la base pour construire le graphe du voisinage spatial.

Nous prenons de cette matrice chaque cellule dont la valeur appartient à la première classe. Les paires des objets correspondant aux cellules seront reliées par des lignes. En effet, ces lignes relient les objets proches et forment plusieurs groupes. Nous appelons ces groupes « groupe du premier ordre ». Un groupe du premier ordre peut être interprété comme un ensemble d'objets proches les uns par rapport aux autres. Nous considérons chaque groupe comme un objet. Les distances entre cet objet et les autres d'une même configuration géographiques sont données par l'équation suivante (4) :

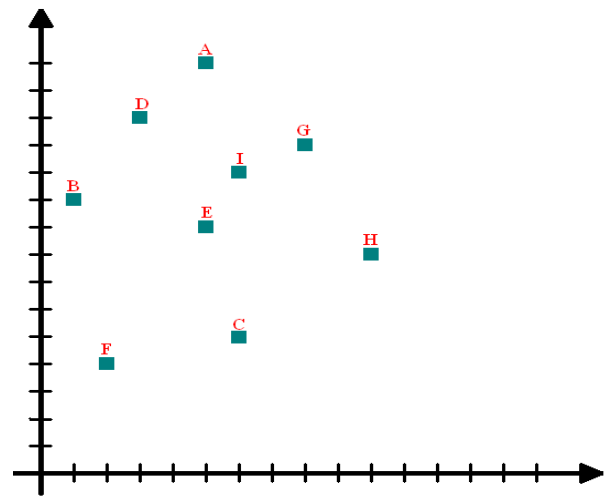
$$\forall x \notin G; dist(x, G) = \min \{ dist(x, y); y \in G \} \quad (4)$$

Nous remplaçons dans la matrice de distance chaque objet par le groupe auquel il appartient et les distances par les nouvelles distances. Après, nous prenons de la nouvelle matrice chaque distance dont la valeur appartient à la deuxième classe. De la même manière, les objets qui ont cette distance seront liés. Dans cette étape des groupes du deuxième ordre peuvent être composés d'un seul objet ; c'est le cas quand un objet à une distance appartient au deuxième cluster avec un groupe du premier ordre et les distances entre ceci et les autres objets sont supérieurs à la deuxième classe. Nous continuons de la même manière jusqu'à ce que nous joignons tous les objets. En conclusion, nous avons des ensembles des groupes liés par des ensembles des lignes. Cette représentation ne prend en compte que les relations entre les objets voisins. Néanmoins, nous avons un petit problème si la demande de l'utilisateur est incomplète. L'utilisateur dessine rarement tous les objets dans la scène. Ce comportement pose un vrai problème pour l'interrogation ; par exemple, supposons que nous avons trois groupes G1, G2, G3, ces groupes sont liés de la manière suivante : G1 est lié avec G2 et G2 avec G3. Si un utilisateur fait sa requête avec deux groupes G1 et G3, la requête dans ce cas se compose de deux groupes G1 et G3 et une ligne entre eux. Comme cette ligne n'existe pas dans la base, nous n'aurons aucun résultat. Pour surmonter ce problème nous allons renforcer

les relations entre les groupes. Dans l'étape du renforcement, chaque groupe doit être lié au moins par deux groupes, et les relations ne doivent pas être limitées à un seul objet dans le groupe si ce groupe se compose de plusieurs objets. Pour clarifier notre méthode nous prenons l'exemple suivant.

La scène géographique présentée dans la Figure 13, contient 9 objets de la même taille. A (5,15), B (1,10), C (6,5), D (3,13), E (5,9), F (2,4), G (8,12), H (10,8), I(6,11). Pour établir la matrice de distance pour cette scène, nous utilisons la distance euclidienne, la distance sera le suivant (matrice 1):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0	6,40	10,04	2,82	6	11,4	4,24	8,60	4,12
B		0	7,07	3,60	4,12	6,08	7,28	9,21	5,09
C			0	8,54	4,12	4,12	7,28	5	6
D				0	4,47	9,05	5,09	8,60	3,6
E					0	5,83	4,24	5,09	2,82
F						0	10	8,94	8,54
G							0	4,47	2,82
H								0	5
I									0



Matrice 1 : Distances quantitatives.

Figure 13 : Étapes à suivre pour établir le graphique de voisinage.

Parmi les 36 cellules, nous avons 21 valeurs différentes. Nous pouvons voir que les différences entre certaines d'entre elles sont très peu, alors que pour d'autres sont très grandes. Nous allons transformer ces valeurs quantitatives à des valeurs qualitatives en utilisant notre méthode de groupement (Tableau 2).

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Distances	2,82	3,6	4,12	4,24	4,47	5	5,09	5,83	6	6,08	6,40	7,07	7,28	8,54	8,60	8,94	9,05	9,21	10	10,04	11,4	
Différences quantitatives	0,78	0,52	0,12	0,23	0,53	0,09	0,74	0,17	0,08	0,32	0,67	0,21	1,26	0,06	0,34	0,11	0,16	0,79	0,04	1,36		
Groupes	1	2	3			4		5			6	7		8			9			10		11

Tableau 2 : Transformation de valeurs quantitatives en valeurs qualitatives.

D'abord nous avons classé les différentes valeurs en ordre ascendant. Après cela, nous avons calculé la différence entre chaque deux valeurs voisines, et la moyenne de ces différences égale à 0,306. La différence de valeurs qui sont plus gros que la moyenne, représente les séparations entre les deux groupes. Après la collecte des valeurs entre deux

séparateurs à un ou plusieurs groupes, nous constatons que ces valeurs peuvent être représentées à l'ordre de 11 groupes. Nous remplaçons chaque valeur par le pôle auquel il appartient et nous avons la matrice (2) suivante:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0	6	10	1	5	11	3	8	3
B		0	7	2	3	5	7	9	4
C			0	8	3	3	7	4	5
D				0	3	9	4	8	2
E					0	5	3	4	1
F						0	10	9	8
G							0	3	1
H								0	4
I									0

Matrice 2 : Valeurs qualitatives.

De cette matrice, nous commençons la construction du graphe de voisinage, la première étape est de prendre toutes les cellules dont la valeur est minimale (égale à un dans cet exemple), nous trouvons trois valeurs. Par conséquent, nous allons tirer trois lignes comme il est représenté dans la Figure 14. Nous obtenons deux groupes G1 (A-D), G2 (E-I-G). En remplaçant chaque objet par le groupe auquel il appartient et le calcul de la distance pour chaque groupe en utilisant l'équation 4, la matrice (3) de distance devient comme suit:

	G1	G2	B	C	F	H
G1	0	2	2	8	9	8
G2		0	3	3	5	3
B			0	7	5	9
C				0	3	4
F					0	9
H						0

Matrice 3: Valeurs qualitatives.

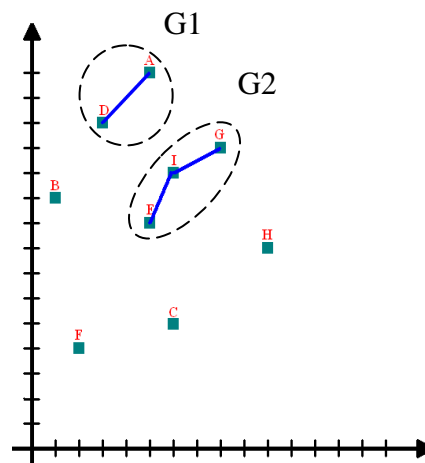


Figure 14 : Construction du graphe (étape 1).

Nous continuons avec la matrice en prenant les cellules dont la valeur est minimal (égale à deux dans cet exemple), nous trouvons deux valeurs. La première cellule sera représentée par une ligne qui relie les deux groupes de la première étape. La deuxième valeur va construire un groupe de deuxième niveau G3(B), qui se compose d'un objet. Le résultat de

cette étape est présentée dans la Figure 15. Comme dans cette étape, nous avons un seul groupe qui se compose d'un objet, de sorte que la matrice de distance reste la même. Nous continuons par la prise de cette matrice chaque valeur égale à trois, nous trouvons quatre valeurs. En remplaçant ces valeurs par des lignes, nous avons deux nouveaux groupes G4(C-F), G5(H) et un réseau connexe pour tous les objets en cette scène. Ce réseau est présenté dans la Figure 15, et la matrice (4) de distance apparaît ci-après:

	G1	G2	G3	G4	G5
G1	0	2	2	8	8
G2		0	3	3	3
G3			0	5	9
G4				0	4
G5					0

Matrice 4 : Valeurs qualitatives.

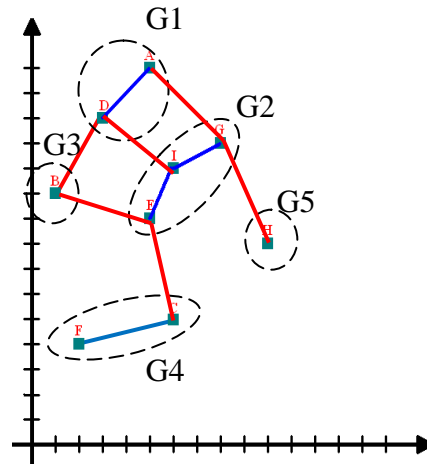


Figure 15 : Construction du graphe (étape 2).

Comme on peut le voir, dans la Figure 15, nous avons deux groupes qui possèdent un seul lien, ce qui nous doit renforcer leurs liens. Groupe G4 (C-F) est lié par deux lignes, mais les deux lignes se rejoignent dans le même point C. Par conséquent, nous attendons de la dernière matrice que F soit relié avec un autre objet différent de C. De cette matrice, on trouve F qui sera lié avec G2 et G3. Le réseau aura la forme qui est présentée dans la Figure 16.a. Afin de renforcer la connexion des G5, on peut utiliser la matrice de ce dernier groupe qui se compose d'un objet. De cette matrice, on trouve G5 sera liée à G4. La dernière forme de réseau est présentée dans Figure 16.b.

À la fin de l'étape précédente, nous avons un ensemble de groupes de différents niveaux d'inertie. Les objets dans un groupe sont liés par des lignes, qui appartiennent à la même distance de classe, et ils sont avec d'autres groupes liés par des lignes, qui appartiennent à différentes classes. En conséquence, nous avons remarqué deux types de relations; relation dans le groupe (intra-groupe) et les relations entre les groupes (inter-groupe).

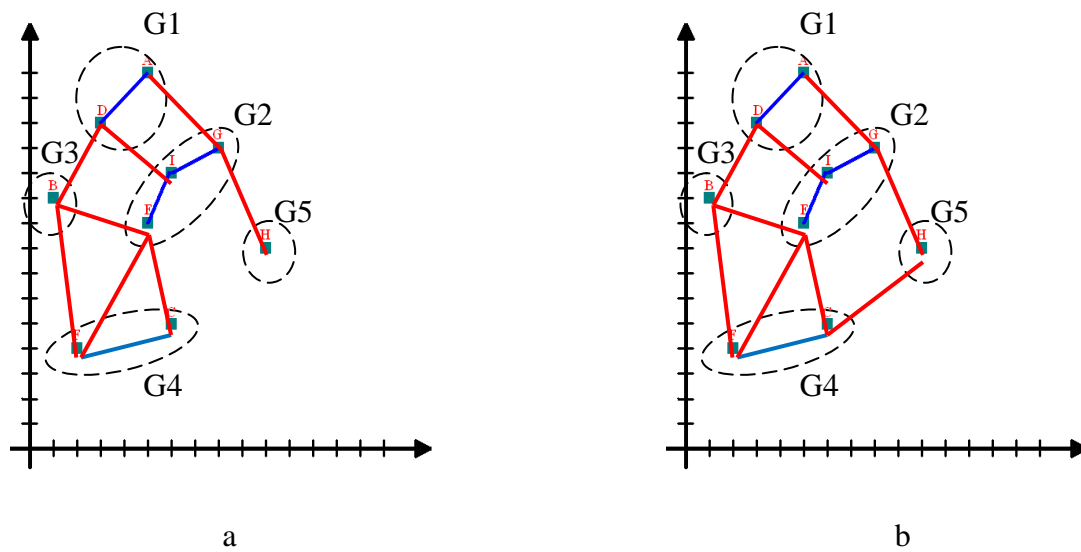


Figure 16 : Construction du graphe (étape de renforcement).

Pour les relations intra-groupe, nous pouvons distinguer deux types: les groupes qui contiennent un objet, de sorte que nous n'avons pas des relations et les groupes qui contiennent deux objets ou plus, seulement relations topologiques entre ces objets sont prises en compte.

1.6. Conclusion

Dans cette section, nous nous sommes concentrés sur le remodelage de l'information de la base de données spatiale, afin de réaliser l'interrogation par sketch. Les données spatiales, au titre de modèle vectoriel, peuvent être représentées par une association graphique, où les sommets sont les objets géographiques et les arcs sont les relations spatiales entre eux. Pour améliorer l'efficacité de cette association graphique, nous avons développé une méthode qui simplifie la complexité et maintient son expressivité. Cette méthode est basée sur l'utilisation de la distance relative qualitative. La méthode proposée s'adapte aux changements de résolution, et est capable d'absorber les erreurs de l'information.

2. Mise en œuvre

2.1. Introduction

Plusieurs travaux utilisent les graphes pour la modélisation et l'indexation de l'image. Ces travaux montrent le potentiel des graphes pour la modélisation et la recherche dans les bases de données.

Nous avons présenté dans la section précédente notre modèle de données géographiques qui est basé sur une structure de graphe. Nous proposons dans ce qui suit une méthode d'appariement et une mesure de similarité pour notre modèle. Afin de valider nos propositions, nous avons implémenté un prototype de recherche des configurations géographiques par sketch.

2.2. Recherche d'images synthétiques

Afin de valider nos propositions nous avons construit une base d'images synthétiques. Le but de cette base est d'une part de faire un pas vers le cas réel (image du monde réel) et d'autre part évaluer l'algorithme d'appariement et la mesure de similarité que nous avons proposés. La base construite comporte des images synthétiques générées manuellement. Les attributs choisis pour faire l'appariement et calculer la similarité seront exposés dans la section qui suivante.

2.3. Description des attributs choisis dans la modélisation des graphes.

2.3.1. Distance

Supposons que nous avons deux objets a et b dans la Figure 17, leurs centres de gravité sont respectivement $g_1(x_a, y_a)$ et $g_2(x_b, y_b)$. Le segment L relie g_1 et g_2 . La distance Δ entre a et b est définie par l'équation (5) :

$$d(a, b) = \sqrt{(Xa - Xb)^2 + (Ya - Yb)^2} - (\sqrt{(Xa - X'a)^2 + (Ya - Y'a)^2} + \sqrt{(Xb - X'b)^2 + (Yb - Y'b)^2}) \quad (5)$$

$$\Delta = \begin{cases} d & \text{si } a \cap b = \emptyset \\ 0 & \text{si } a \cap b \neq \emptyset \end{cases}$$

Sachant que (x'_a, y'_a) et (x'_b, y'_b) sont les points d'intersection du segment L avec les frontières de a et b .

Les distances obtenues par l'équation (5) sont des valeurs quantitatives. Ces derniers sont très précis et sensibles aux changements. Pour cela, nous les avons transformés en valeurs qualitatives comme nous l'avons expliqué dans la section précédente.

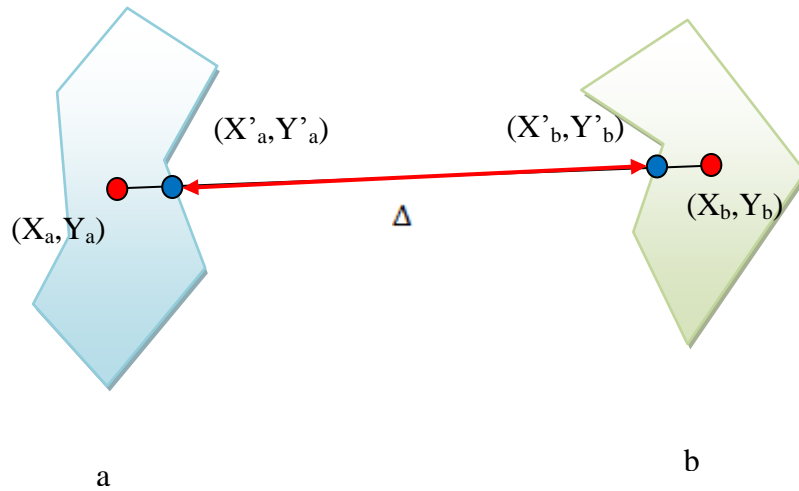


Figure 17 : Distance entre deux objets.

2.3.2. Angle

Supposons que nous avons trois objets, a, b et c (Figure 18). Le segment L_1 relie les centres de gravités de a et b, le segment L_2 relie les centre de gravité de a et c.

L'angle α entre b et c par rapport à a est définie par l'équation (6) :

$$\alpha = \begin{cases} \theta - \varphi + 2\pi & \text{Si } \theta - \varphi < 0 \\ \theta - \varphi - 2\pi & \text{Si } \theta - \varphi > 2\pi \end{cases} \quad (6)$$

Les angles obtenus par l'équation (6) sont des valeurs quantitatives. Nous pouvons les transformer à des valeurs qualitatives en divisant le plein cercle en nombre d'angles égaux. Le nombre de ces angles dépend du niveau de précision souhaité. Dans notre application, nous avons choisi huit angles : α , β , σ , τ , υ , \wp , μ , φ . Les valeurs de ces angles sont données dans le tableau 2. Ces même valeur sont représenté dans la Figure 19.

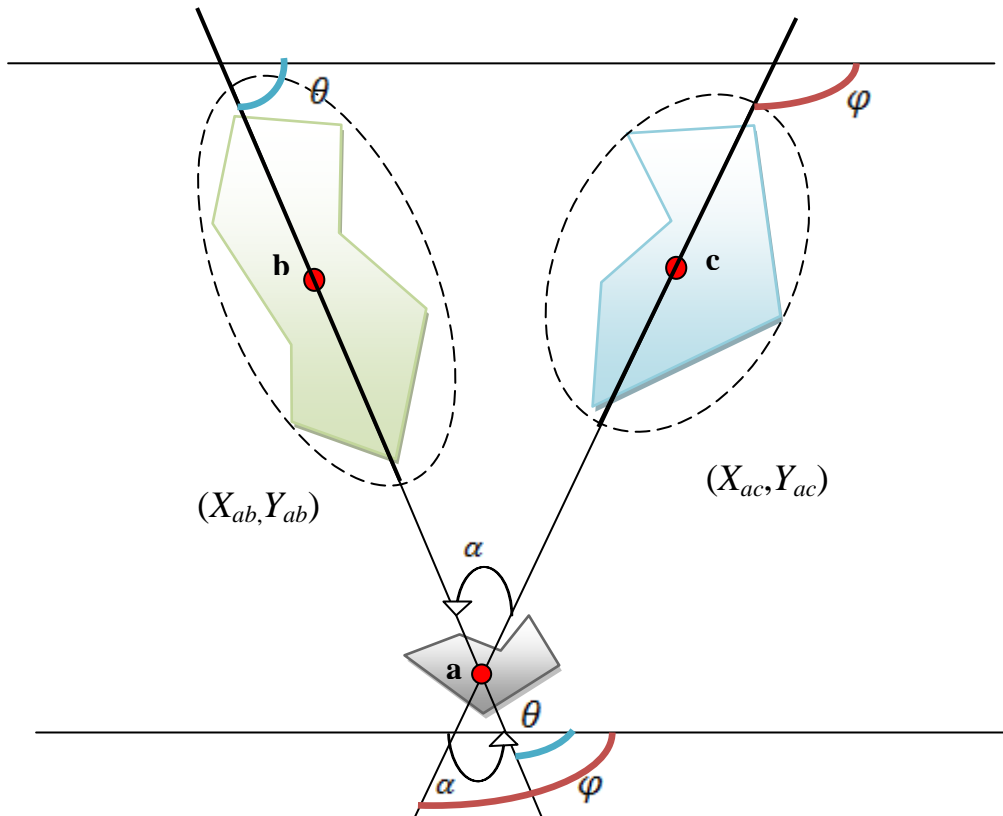


Figure 18 : Définition d'angle entre deux objets.

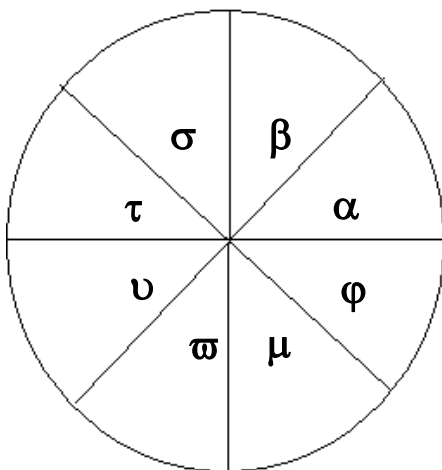


Figure 19 : Valeur d'angle.

Angle quantitative	Angle qualitative
α	$2\pi - \pi/8 \leq \theta \leq \pi/8$
β	$\pi/8 \leq \theta \leq 3\pi/8$
σ	$3\pi/8 \leq \theta \leq 5\pi/8$
τ	$5\pi/8 \leq \theta \leq 7\pi/8$
ν	$7\pi/8 \leq \theta \leq 9\pi/8$
ω	$9\pi/8 \leq \theta \leq 11\pi/8$
μ	$11\pi/8 \leq \theta \leq 13\pi/8$
ϕ	$13\pi/8 \leq \theta \leq 15\pi/8$

Tableau 3 : Valeur d'angle.

2.3.3. Relations topologiques

Les relations géométriques de proximité entre les entités peuvent être décrites au niveau qualitatif par la topologie [55]. Le concept de topologie, bien qu'il nous paraisse abstrait, se rapporte à une démarche courante de notre esprit pour appréhender la réalité. Lorsque nous observons un paysage, un lieu, ou encore lorsque nous consultons une carte, notre perception immédiate est globale. Les objets tels que bâtiment, portion de forêt, ville sont « vus » dans leur contexte. La notion de voisinage est implicite. Au sens de notre appréhension de l'espace géographique, la topologie est donc l'ensemble des relations perçues qui nous permettent de situer les objets les uns par rapport aux autres. La notion de topologie est un élément fondamental de l'analyse spatiale. Dans le cadre des SIG, on fait appel à la topologie pour rendre compte de façon sommaire mais synthétique de la proximité entre les entités. Les relations topologiques exploitées dans ce contexte sont disjonction, l'adjacence, chevauchement et l'inclusion Tableau (4).


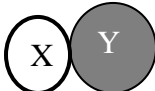


Type	Dessin	Symbole	Définition
Disjonction		$Sd(X,Y)$	Deux régions distinctes
Adjacence		$Sa(X,Y)$	Deux régions se touchant par leurs contours sur un ou plusieurs points ou endroits
Chevauchement		$Sc(X,Y)$	Deux régions se superposant partiellement sur une ou plusieurs parties
Inclusion		$Si(X,Y)$	Deux régions s'emboîtant l'une dans l'autre (le cas particulier de superposition totale de l'une dans l'autre est « l'égalité » entre les deux régions ou images)

Tableau 4 : Relations Topologiques.

2.4. Expérimentation et discussion

2.4.1. Recherche d'images selon la distance

Dans la première expérience, nous ne prenons en compte que les distances entre les groupes d'objets. Supposons qu'un utilisateur formule sa requête comme (Figure 20.a). Chaque configuration (Figure 20.b,c,d) peut être une réponse à sa requête.

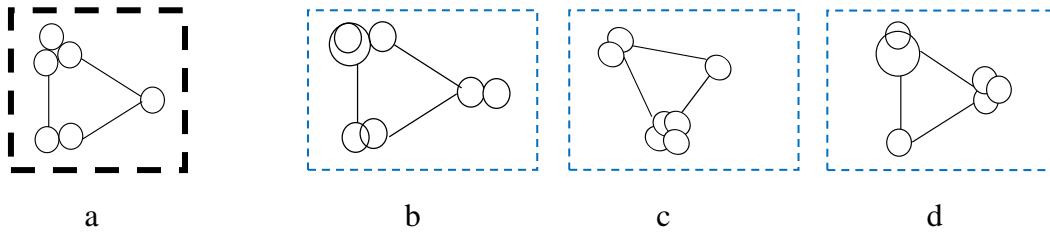


Figure 20 : Recherche d'images selon la distance relative ; l'image requête et les trois images semblables.

Il est clair que ces configurations sont visuellement différentes. Alors l'approche qui est basée sur la distance ne donne pas de résultats pertinents.

2.4.2. Recherche d'images selon le nombre d'objets

Dans la deuxième expérience, nous ne prenons en compte que le nombre d'objets de chaque groupe. Supposons qu'un utilisateur formule sa requête comme (Figure 21.a). Chaque configuration (Figure 21.b,c,d) peut être une réponse à sa requête.

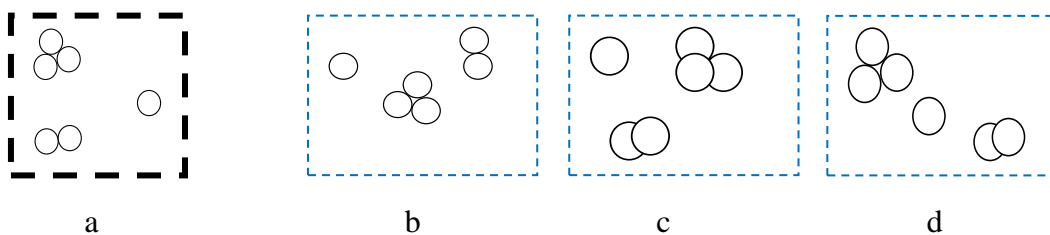


Figure 21 : Recherche d'images selon le nombre d'objets ; l'image requête et les trois images semblables.

Il est clair que ces configurations sont visuellement différentes. Alors l'approche qui est basée sur le nombre d'objets ne donne pas de résultat pertinents.

2.4.3. Recherche d'images selon l'angle relatif

Dans la troisième expérience, nous ne prenons en compte que l'angle entre les groupes d'objets. Supposons qu'un utilisateur formule sa requête comme (Figure 22.a). Chaque configuration (Figure 22.b,c,d) peut être une réponse à sa requête.

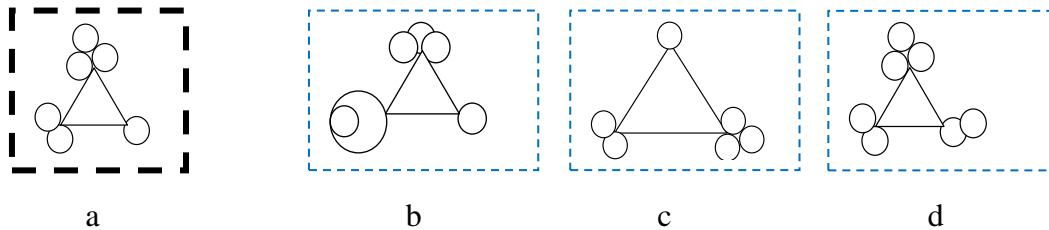


Figure 22 : Recherche d'images selon l'angle ; l'image requête et les trois images semblables.

Il est clair que ces configurations sont visuellement différentes. Alors l'approche qui est basé sur l'angle ne donne pas de résultat pertinents.

2.4.4. Recherche d'images selon la relation topologique

Dans la quatrième expérience, nous ne prenons en compte que les relations topologiques entre les groupes d'objets. Supposons qu'un utilisateur formule sa requête comme (Figure 23.a). Chaque configuration (Figure 23.b,c,d) peut être une réponse à sa requête.

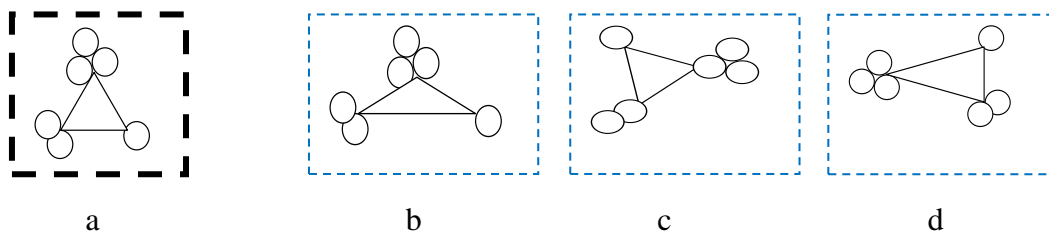


Figure 23 : Recherche d'images selon la relation topologique ; l'image requête et les trois images semblables.

Il est clair que ces configurations sont visuellement différentes. Alors l'approche qui base sur la relation topologique ne donne pas de résultats pertinents.

2.4.5. Recherche d'images selon la relation topologique, l'angle et la distance

Dans la cinquième expérience, nous prenons en compte les relations topologiques, l'angle et la distance entre les groupes d'objets. Supposons qu'un utilisateur formule sa requête comme (Figure 24.a). Chaque configuration (Figure 24.b,c,d) peut être une réponse à sa requête.

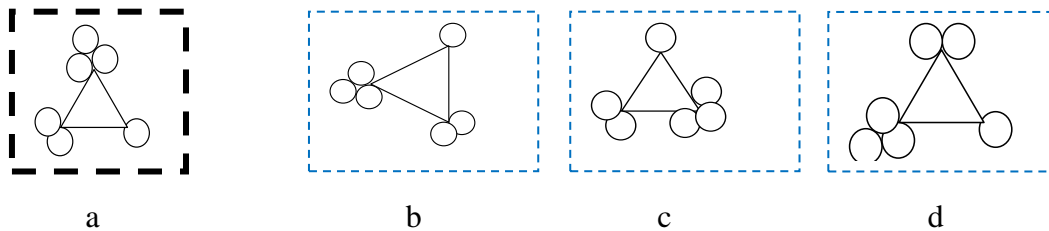


Figure 24 : Recherche d'images selon la relation topologique, l'angle et la distance ; l'image requête et les trois images semblables.

Nous remarquons que les résultats sont pertinents, parce que les configurations sont différentes seulement dans la localisation spatiale. Alors nous nous basons sur cette approche pour établir notre algorithme d'appariement.

2.4.6. Algorithme d'appariement proposé

Les méthodes d'appariement traditionnel qui sont présentées dans le premier chapitre « état de l'art » sont coûteuses aux niveaux du temps d'exécution. Notre méthode d'appariement diminue le temps d'exécution en se basant sur notre modèle qui rassemble les objets en groupes.

Le processus de notre méthode d'appariement se déroule comme suit :

Supposons que nous avons deux graphes G et G' qui sont respectivement la requête et les données géographiques dans la base de données. Pour les considérer similaires chaque groupe $g_i \in G$ doit avoir un analogue $g_i' \in G'$. Les conditions d'apparié un groupe $g_i \in G$ avec un groupe $g_i' \in G'$ sont :

- 1) l'inertie de g_i doit être égale à l'inertie de g_i' .
- 2) le nombre de voisins de g_i doit être inférieur ou égal au nombre de voisins de g_i' .
- 3) le nombre d'objets dans g_i doit être inférieur ou égal au nombre d'objets dans g_i' .

Dans la première étape de notre méthode nous prenons du graphe G les groupes d'objets qui ont une inertie minimale. Parmi eux nous choisissons le groupe qui a le nombre de voisins maximal et le nombre d'objets maximal. Nous appelons ce groupe : le groupe central G_c . Nous ordonnons les voisins du groupe G_c selon un ordre cyclique. Selon cet ordre, nous calculons les angles entre les voisins du G_c pris deux à deux, nous obtenons une séquence d'angles. Nous comparons le groupe G_c avec tous les groupes de G' qui ont une inertie minimale. Les groupes qui ont la possibilité d'être appariés avec G_c doivent vérifier les conditions d'appariement et doivent avoir les mêmes séquences d'angles. En se basant sur les séquences d'angles, nous pouvons faire l'appariement entre les voisins du G_c et les voisins de son analogue. Nous continuerons de la même manière jusqu'à appairer tous les groupes de G .

Pour clarifier notre idée on prend l'exemple suivant :

Exemple :

La Figure 25 ci-dessous présente deux graphes G et G' . Les deux graphes ayant six sommets et qui sont respectivement la requête utilisateur et la configuration géographique dans la base de données.

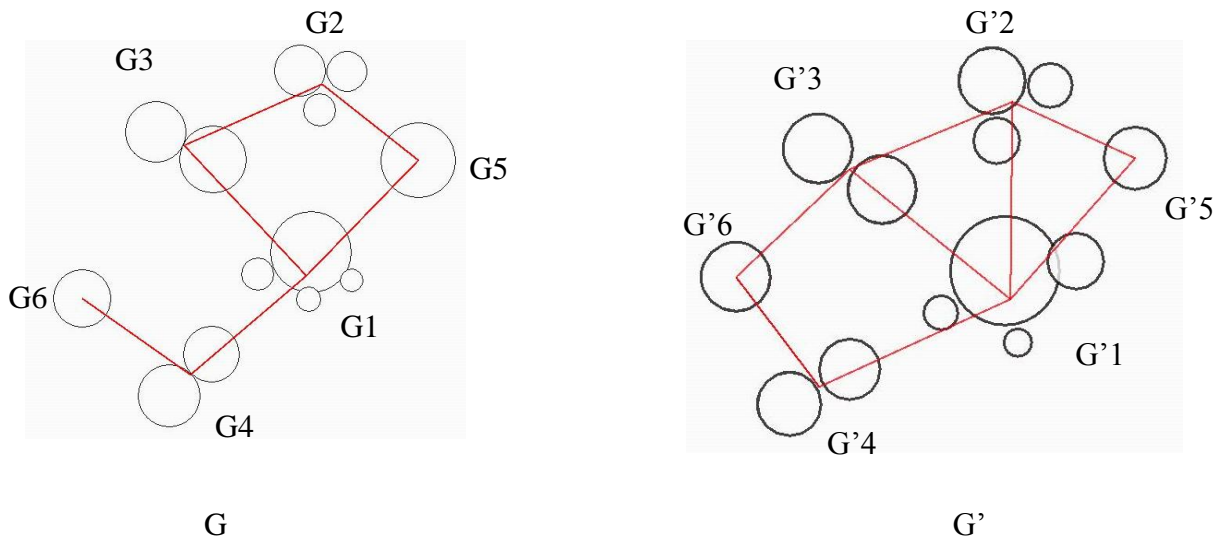


Figure 25 : Représentation graphique des deux graphes G et G' .

Les groupes qui ont une inertie minimale dans le graphe G sont : $\{G1, G2, G3, G4\}$. Parmi ces groupes nous choisissons le groupe qui a le nombre de voisins maximal et le nombre d'objets maximal, c'est le groupe $G1$. La séquence d'angles du groupe $G1$ est : $\{5,4, 3\}$. Les groupes qui ont une inertie minimale dans le graphe G' sont : $\{G'1, G'2, G'3, G'4\}$.

Le groupe qui satisfait les conditions d'appariements avec le groupe G1 est le groupe G'1. En comparant les séquences d'angles de G1 avec les séquences d'angles de G'1 (qui sont enregistrées dans la base) nous trouvons que G4 s'apparie avec G'4, G5 avec G'5 et G3 avec G'3. Nous comparons les séquences d'angle de G4, G5, G3 avec leurs analogues, nous trouvons que G6 s'apparie avec G'6 et G2 avec G'2. D'où les deux graphes sont similaires.

Afin d'évaluer la similarité entre les deux graphes nous présentons dans la section suivante notre mesure de similarité.

2.4.7. Distance entre deux configurations géographiques

Le degré de similarité entre deux graphes est la somme de la similarité intra-groupes S_{TA} et la similarité inter-groupes S_{TE} . Elle est donnée par l'équation suivante (7) :

$$S = \omega S_{TA} + \zeta S_{TE} \quad (7)$$

Si nous avons deux configurations géographiques : la requête contient n groupes d'objets et le données géographiques dans la base de données contient z groupes d'objets, S_{TE} et S_{TA} peuvent être représentés par les équations suivantes (8, 9).

$$S_{TE} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n IG_i * S_{Ai} \right) - \left(\frac{z-n}{n} \right) \sum_{i=n+1}^z IG_i \quad (8)$$

$$S_{TA} = \frac{\alpha}{n} D_{NR} + \frac{\beta}{n} D_{RT} \quad (9)$$

$$IG = \frac{I}{\text{Max}(I)} \text{ avec } I = \frac{\text{nombre objet} * \text{nombre de voisinage}}{\text{inertie}} \quad (10)$$

$$S_A = 1 - \sum_{i=1}^k \frac{|\delta_i - \delta'_i|}{k * 8} \quad (11)$$

S_{TE} est la similarité entre les groupes d'objets qui ont des analogues, moins l'importance des groupes qui n'ont pas des analogues. Sachant que IG_i est l'importance normaliser d'un groupe d'objet G_i , et elle est définit par l'équation (10). S_{Ai} est la similarité entre les angles pour chaque groupe d'objet et son analogue, et elle est définit par l'équation

(11), avec k le nombre d'angles autour d'un groupe d'objets, δ_i est l'angle dans la requête et δ'_i est l'angle correspond dans la base de données.

S_{TA} est la somme de similarités entre le nombre de relations dans un groupe D_{NR} qui est définie dans l'équation (12) et la similarité entre les relations topologiques dans un groupe D_{RT} qui est définie dans l'équation (13). Sachant que le nombre de relations et les relations topologiques sont présentées par des histogrammes ($\{h_i, h'_i\}$ les histogrammes du nombre de relation et $\{\mathcal{H}_i, \mathcal{H}'_i\}$ les histogrammes des relations topologiques).

$$D_{NR} = 1 - \frac{\sum |h_i - h'_i|}{z} \quad (12)$$

$$D_{RT} = 1 - \frac{\sum |\mathcal{H}_i - \mathcal{H}'_i|}{z} \quad (13)$$

En appliquant ces mesure sur l'exemple précédant (Figure 25), le degré de similarité entre les deux graphes est calculé comme suit :

✓ **Calcul similarité inter-groupes (S_{TE})**

❖ Calcul importance des groupes (IG_i) des graphes G et G',

- | | |
|-------------------|--------------------|
| - $IG1 = 1,$ | - $IG'1 = 1,$ |
| - $IG2 = 0.5,$ | - $IG'2 = 0.5625,$ |
| - $IG3 = 0.3333,$ | - $IG'3 = 0.3750,$ |
| - $IG4 = 0.3333,$ | - $IG'4 = 0.25,$ |
| - $IG5 = 0.0278,$ | - $IG'5 = 0.0417,$ |
| - $IG6 = 0.0139.$ | - $IG'6 = 0.025.$ |

❖ Calcul similarité entre les angles (S_{Ai}) des graphes G et G',

$$S_{A1} = 1 - \frac{|3-2| + |5-6| + |3-4|}{3 \cdot 8} = 0,875 \quad S_{A3} = 1 - \frac{|3-2| + |7-5|}{2 \cdot 8} = 0,8125 \quad S_{A5} = 1 - \frac{|3-3| + |7-7|}{2 \cdot 8} = 1$$

$$S_{A2} = 1 - \frac{|4-4| + |6-6|}{2 \cdot 8} = 1 \quad S_{A4} = 1 - \frac{|3-3| + |7-7|}{2 \cdot 8} = 1 \quad S_{A6} = 1 - \frac{|9-10|}{1 \cdot 8} = 0,75$$

❖ Les deux graphes ont le même nombre de groupe d'ou $z = n$, donc $\left(\frac{z-n}{n}\right) \sum_{i=n+1}^z IG_i = 0$

Donc $S_{TE} = \frac{(1 \cdot 0,875) + (0,5 \cdot 1) + (0,3333 \cdot 0,8125) + (0,3333 \cdot 1) + (0,0278 \cdot 1) + (0,0139 \cdot 0,75)}{6} = 0,337$

✓ **Calcul similarité intra-groupes S_{TA}**

❖ **Calcul distance entre les nombres de relations D_{NR} ,**

Nous avons présenté D_{NR} et D_{RT} sous forme d'histogramme.

La représentation du D_{NR} sous forme d'histogramme pour les deux groupes G1 et G'1 est la suivante :

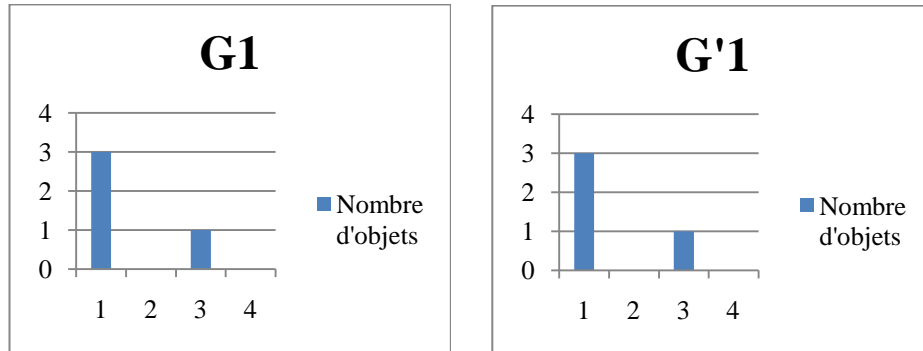


Figure 26 : Distance entre les nombres de relations topologiques.

$$D_{NR1} = 1 - \frac{|3-3| + |0-0| + |1-1| + |0-0|}{6} = 1$$

$$D_{NR2} = 1 - \frac{|2-2| + |1-1| + |0-0| + |0-0|}{6} = 1$$

$$D_{NR3} = 1 - \frac{|2-2| + |0-0| + |0-0| + |0-0|}{6} = 1$$

$$D_{NR4} = 1 - \frac{|2-2| + |0-0| + |0-0| + |0-0|}{6} = 1$$

La représentation du D_{RT} sous forme d'histogramme des deux groupes G1 et G'1 est la suivante :

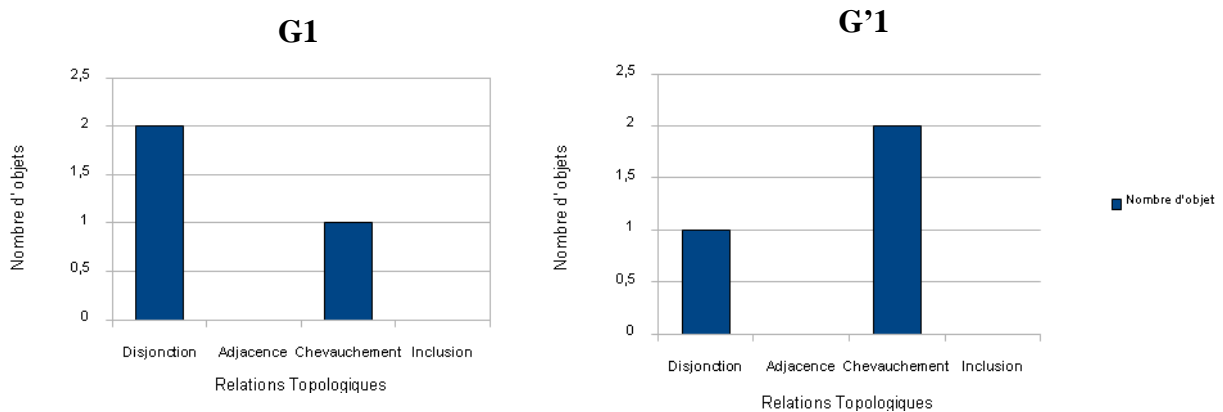


Figure 27 : Distance entre les relations topologiques.

$$D_{RT1} = 1 - \frac{|2-1| + |0-0| + |1-2| + |0-0|}{6} = 0,6667 \quad D_{RT3} = 1 - \frac{|2-0| + |0-2| + |0-0| + |0-0|}{6} = 0,3334$$

$$D_{RT2} = 1 - \frac{|3-3| + |0-0| + |0-0| + |0-0|}{6} = 1 \quad D_{RT4} = 1 - \frac{|2-0| + |0-2| + |0-0| + |0-0|}{6} = 0,3334$$

$$\text{Donc } S_{TE} = \frac{1+1+1+1}{6} + \frac{0,6667+1+0,3334+0,3334}{6} = 1,056$$

La similarité entre G et G' est : $S=0,5 * 0,337 + 0,5 * 1,056= 0,7$

2.5. Evaluation du moteur de recherche d'image synthétique

2.5.1. Mesure de performance

Pour évaluer les différents algorithmes de recherche d'information spatial, nous avons besoin d'une mesure de performance. On retrouve plusieurs types de mesures de performance tels que le PWH « Percentage of Weighted Hits », le RPP « Recall and Precision Pair » et le PSR « Percentage of Similarity Ranking ».

Dans notre travail nous allons utiliser le RPP, en effet c'est la mesure de performance la plus citée et testée dans la littérature.

La performance de la recherche est évaluée en utilisant la précision et le rappel. La précision P est définie comme étant le ratio du nombre des images pertinentes recherchées r sur le nombre total d'images trouvées n, elle mesure donc la capacité du système à retrouver les images pertinentes. Le rappel R est défini comme étant le nombre des images pertinentes recherchées sur le nombre total m des images pertinentes dans toute la base de données, il mesure donc la capacité du système à ne retrouver que les images pertinentes. La précision P et le rappel R sont données par l'équation (14) suivant :

$$P = \frac{r}{n} \quad \text{et} \quad R = \frac{r}{m} \quad (14)$$

Pour mesurer ces paramètres, nous supposons que la base d'images est constituée de classes d'images disjointes dont nous connaissons les cardinaux respectifs m. Toutes les images de la base sont prises successivement en tant qu'images requêtes et nous observons les

images retournées jusqu'à un rang n variable. Pour le paramètre rappel, nous traçons les courbes $R=f(n)$. Plus vite cette courbe tendra vers 1 et plus le système sera performant. Pour le paramètre précision, nous traçons les courbes $P=f(n)$. Plus le système est précis et plus la courbe P décroît lentement.

2.5.2. Résultats faisant intervenir relation topologique, angle et distance.

Nous avons réalisé notre expérimentation sur une base d'images synthétiques prises dans la base.

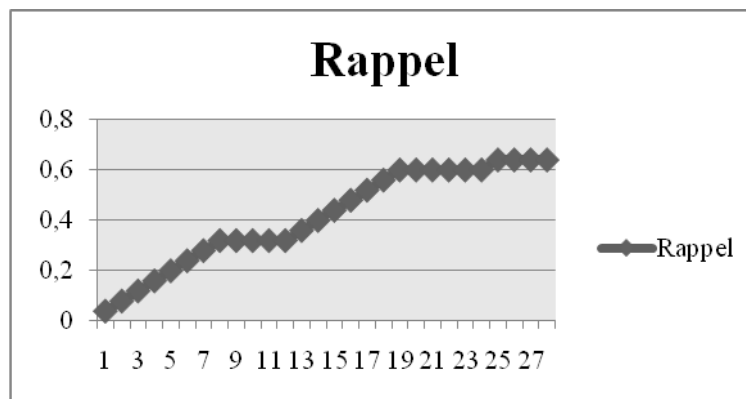


Figure 28 : Courbe de rappel faisant intervenir la relation topologique, l'angle et la distance.

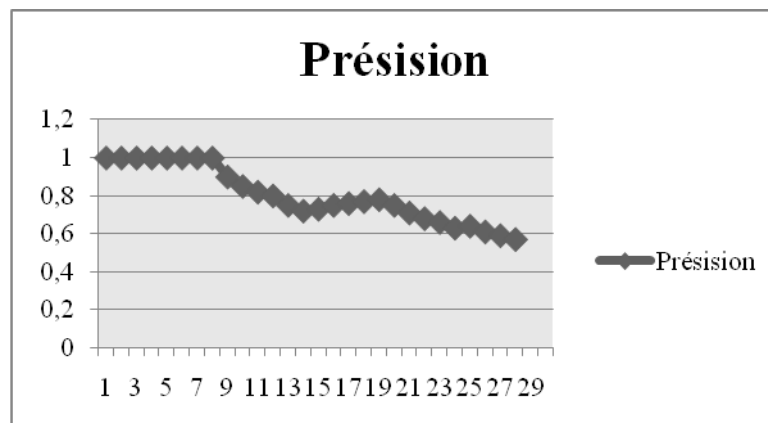


Figure 29 : Courbe de précision faisant intervenir la relation topologique, l'angle et la distance.

La courbe de rappel de la Figure 28 tend rapidement vers 1 et la courbe de précision de la Figure 29 décroît lentement. Les deux courbes de rappel et de précision montrent de très bons résultats au niveau de la performance de notre moteur de recherche.

2.6. Application de recherche de données géographiques par des graphes

Afin de valider notre modèle, la méthode d'appariement et la mesure de similarité, nous présentons dans cette section le fonctionnement de notre prototype.

2.6.1. Architecture globale de notre application

La Figure 30 montre l'architecture globale de l'application.

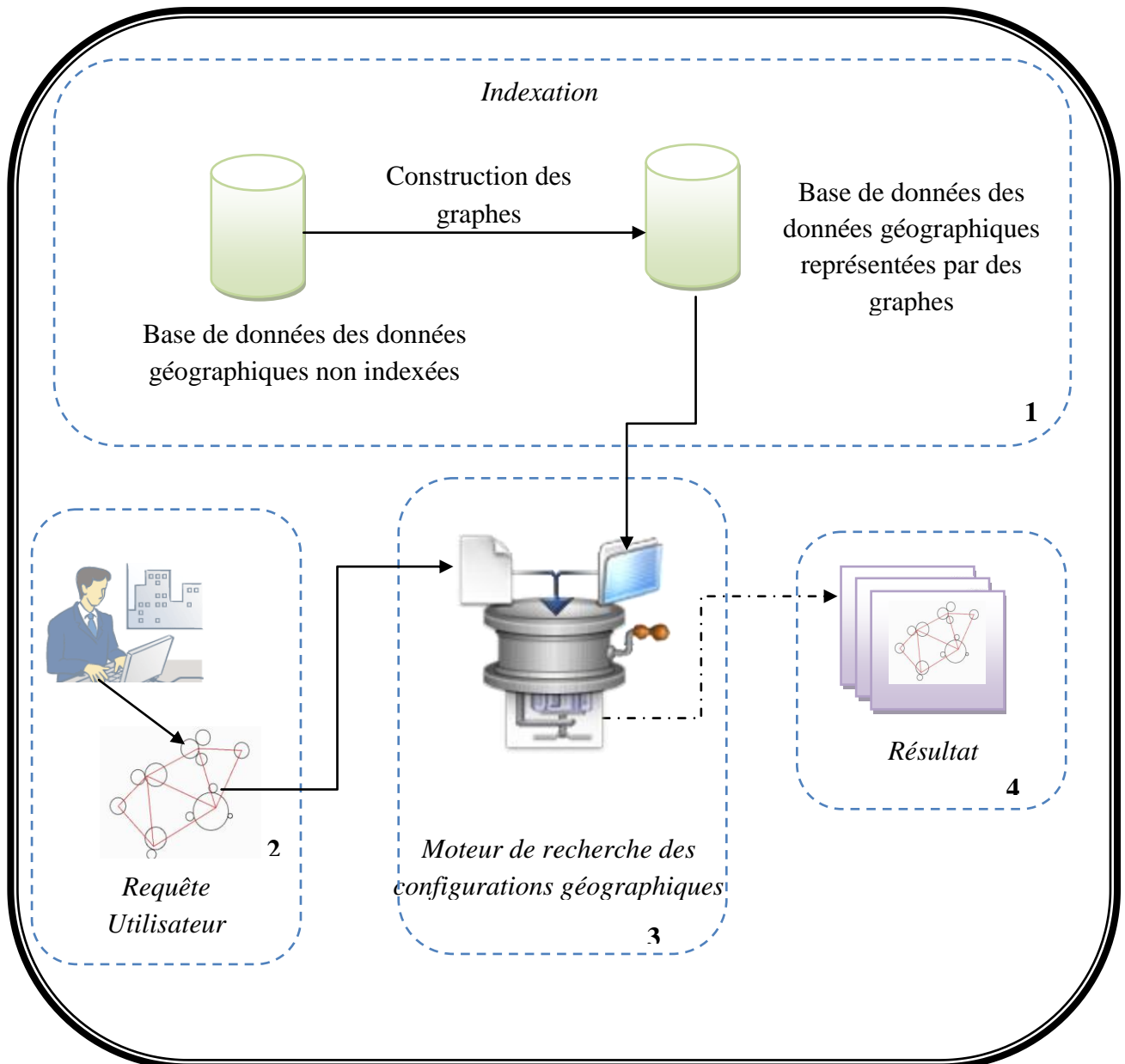


Figure 30 : Architecture globale de l'application.

L'architecture globale de notre application est composée, particulièrement, de quatre parties (Figure 30). La première partie consiste à l'indexation et la représentation des configurations géographiques par des graphes. Cette étape est une phase préliminaire (Offline). La deuxième partie assure une interaction entre l'utilisateur et le système par l'intermédiaire d'une interface graphique destinée principalement pour dessiner les requêtes. La phase d'interrogation commence par dessiner une requête dans la zone de dessin. Cette requête sera envoyée à notre moteur de recherche qui constitue la troisième partie de notre système. Ce moteur va appliquer toutes les méthodes et les algorithmes présentés dans ce chapitre. Une fois la requête exécutée, le système retourne toutes les configurations géographiques similaires à la requête (sous forme d'image). La représentation du résultat est construite et affichée dans la partie 4.

2.6.2. Processus de recherche

Le processus de recherche comprend un ensemble d'opérations. Ces dernières représentent les étapes les plus importantes de notre processus de recherche qui est présenté dans la Figure 31. Au début l'utilisateur dessine sa requête, ensuite le système récupère la requête et la modélise. Après, le système recherche toutes les configurations géographiques similaires à la requête. Ensuite, il calcule les degrés de similarité des configurations trouvées. Enfin, les configurations seront ordonnées dans l'ordre décroissant de leur similarité.

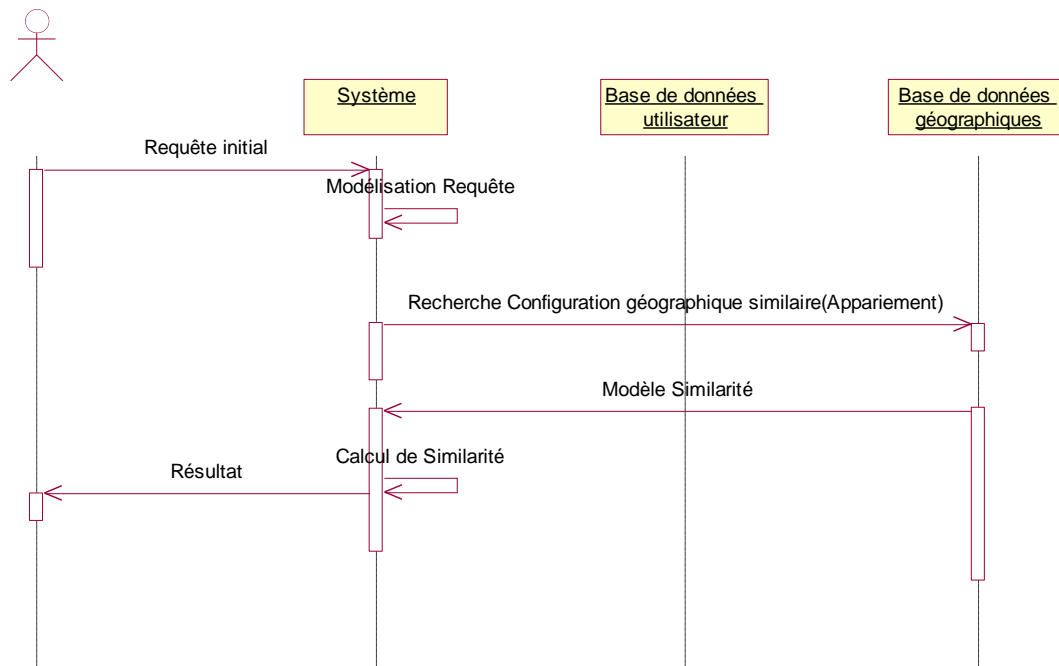


Figure 31 : Processus de recherche.

2.6.3. Fonctionnement de l'application

Nous présentons dans cette section le fonctionnement de notre prototype.

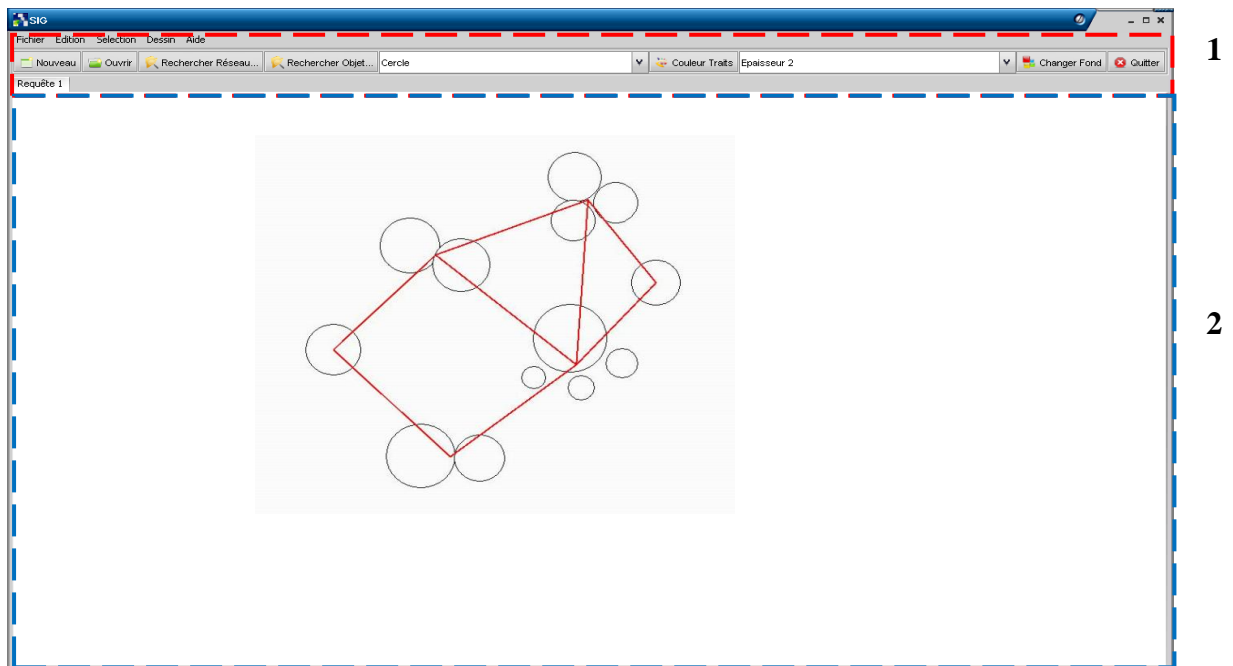


Figure 32 : Interface principale.

La fenêtre principale (Figure 32) se compose de deux parties :

- La partie 1 (rouge) contient les menus et la barre d'outils permettant à l'utilisateur l'exploitation de notre système.
- La partie 2 (bleu) contient la zone de travail permettant à l'utilisateur de présenter et de manipuler ses requêtes.

Le résultat sera présenté dans une fenêtre (Figure 33) qui permet d'afficher en premier lieu tous les résultats ordonnés dans l'ordre décroissant (a), puis le rapport qui détaille les configurations et leurs degrés de similarités (b).

La fenêtre (a) comporte 3 parties :

- La partie 1 (bleu) contient les réseaux similaires à la requête ordonnés par ordre décroissant.
- La partie 2 (rouge) contient la zone dans laquelle l'utilisateur visualise les différentes requêtes trouvées.
- La partie 3 (Vert) est le générateur du rapport de similarité.

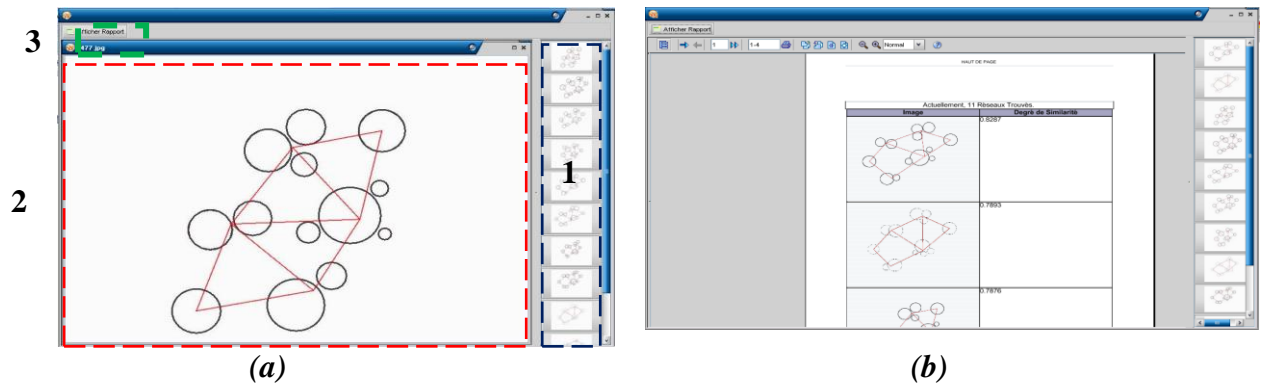


Figure 33 : Fenêtre résultat

Pour présenter clairement les fonctionnalités offertes par ce prototype ainsi que les moyens retenus pour parvenir à faire les différentes recherches, prenons l'exemple suivant.

Exemple :

Pour rechercher une configuration, l'utilisateur doit tout d'abord commencer par activer la fenêtre dans laquelle il va dessiner sa configuration.

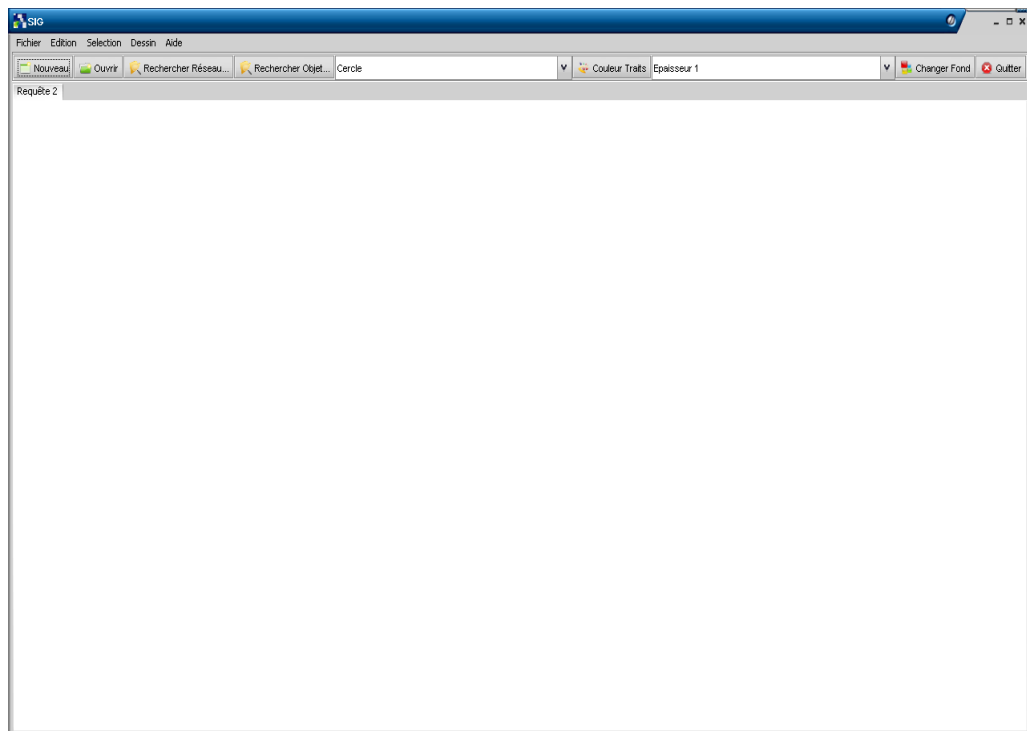


Figure 34 : Fenêtre de dessin.

Après que l'utilisateur ait dessiné sa requête, il demande la recherche des configurations similaires :

- ❖ Le système demande à l'utilisateur de saisir le nom de la requête.

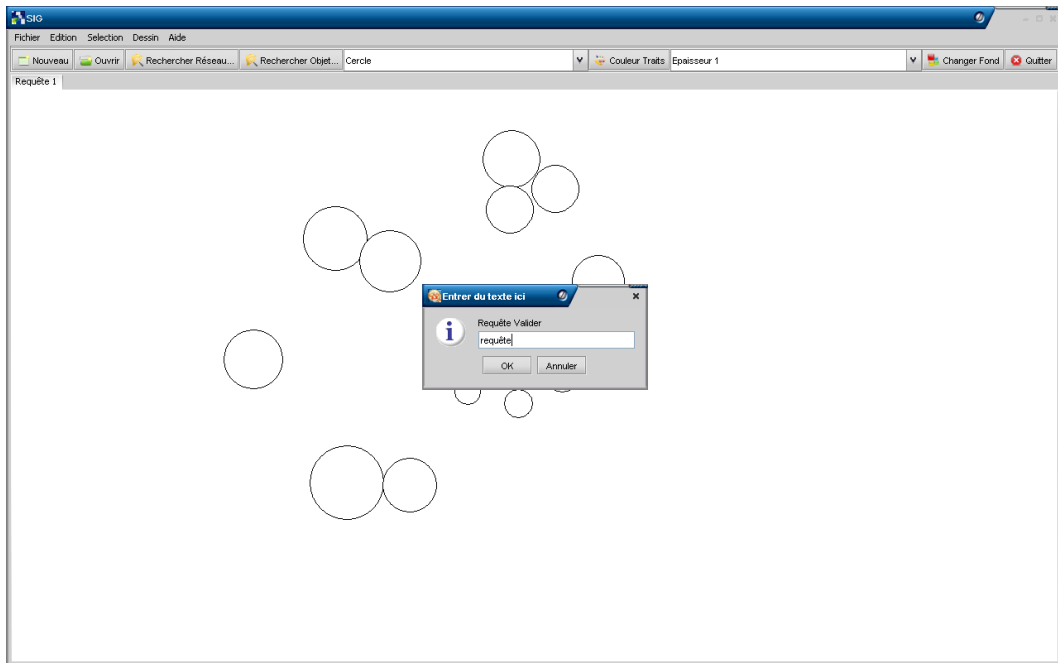


Figure 35 : Requête utilisateur.

- ❖ Le système demande à l'utilisateur s'il veut afficher les liens.

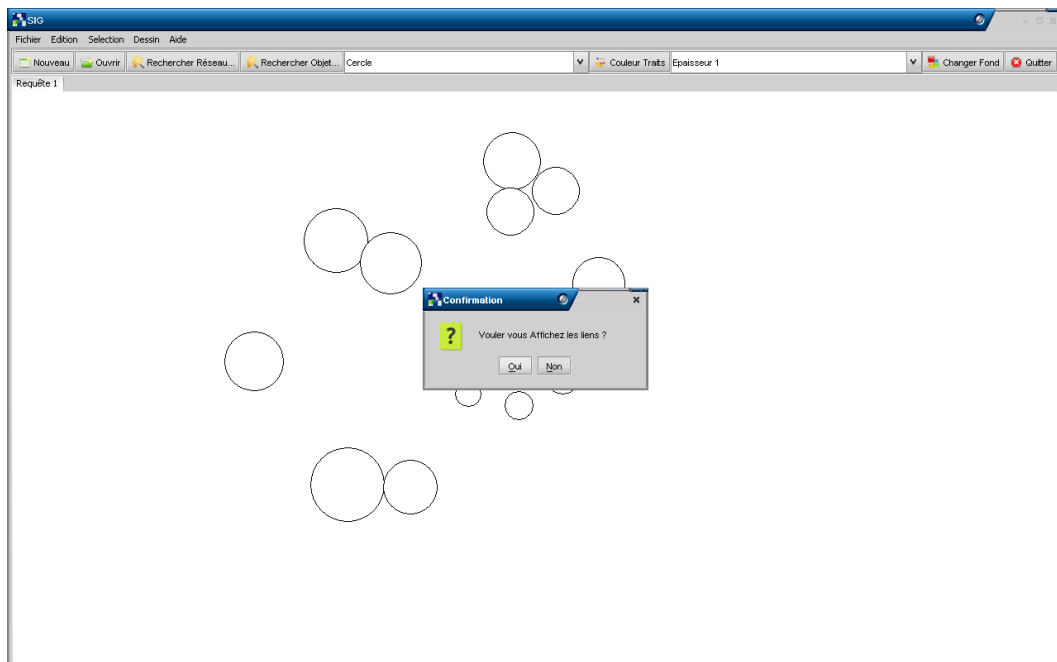


Figure 36 : Demande d'affichage des liens.

- ❖ Ensuite, le système demande à l'utilisateur s'il veut enregistrer la requête sous forme d'image.

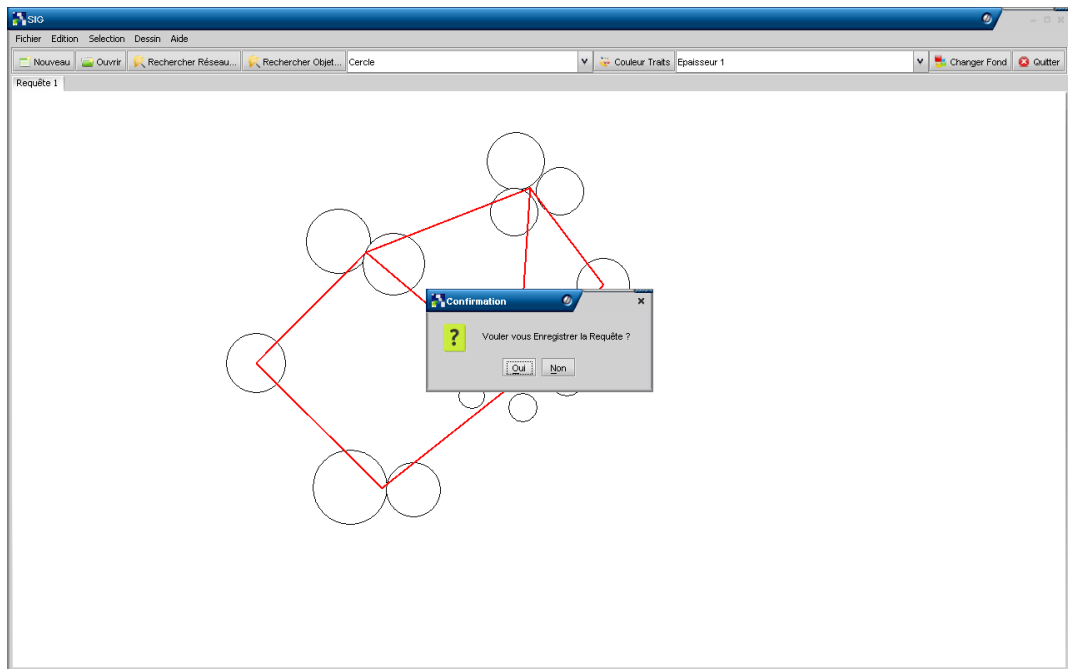


Figure 37 : Enregistrement requête.

- ❖ Après l'enregistrement de la requête sous forme d'image, le système recherche toutes les configurations similaires à la requête. Le résultat sera affiché dans une nouvelle fenêtre (Figure 38, 39).

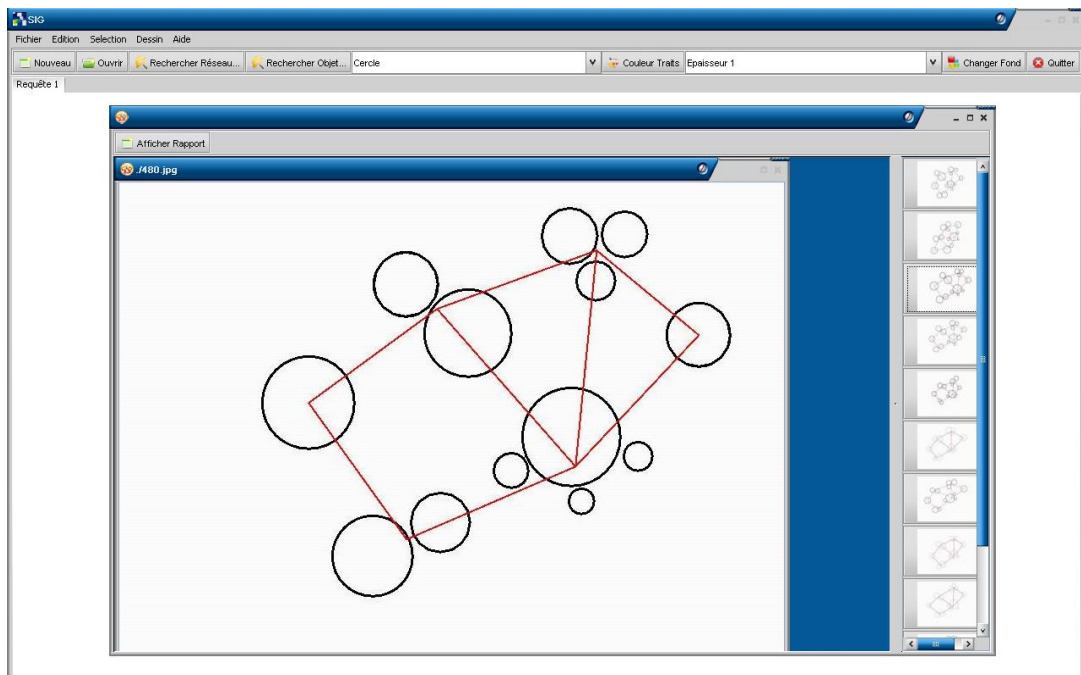


Figure 38 : Affichage résultat.

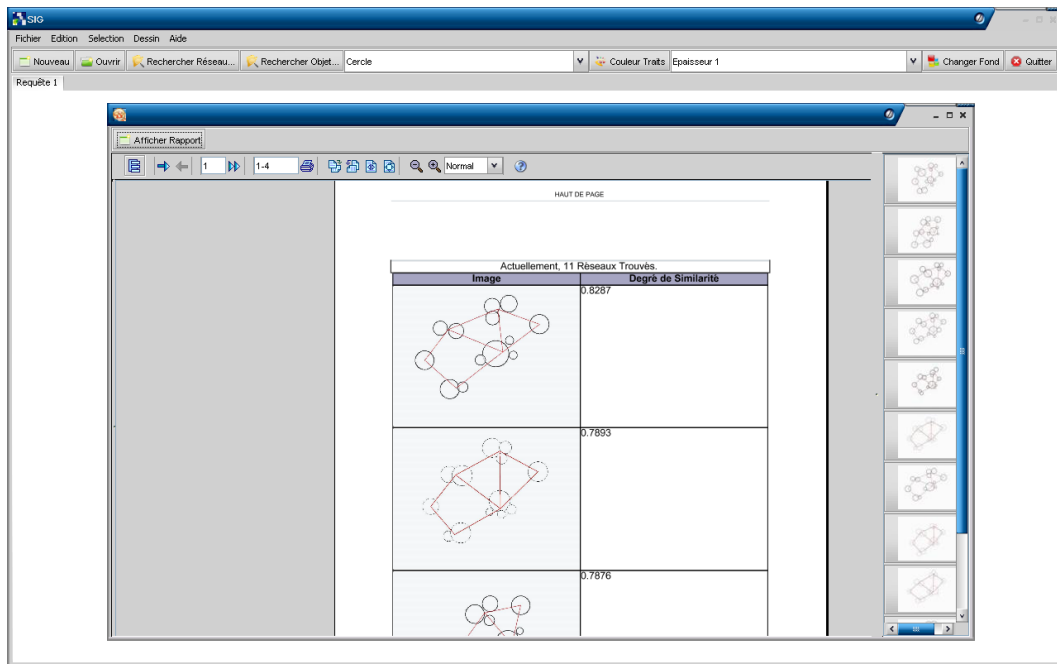


Figure 39 : Rapport résultat.

- ❖ Pour que l'utilisateur consulte ses requêtes, il suffit qu'il sélectionne la requête souhaitée.

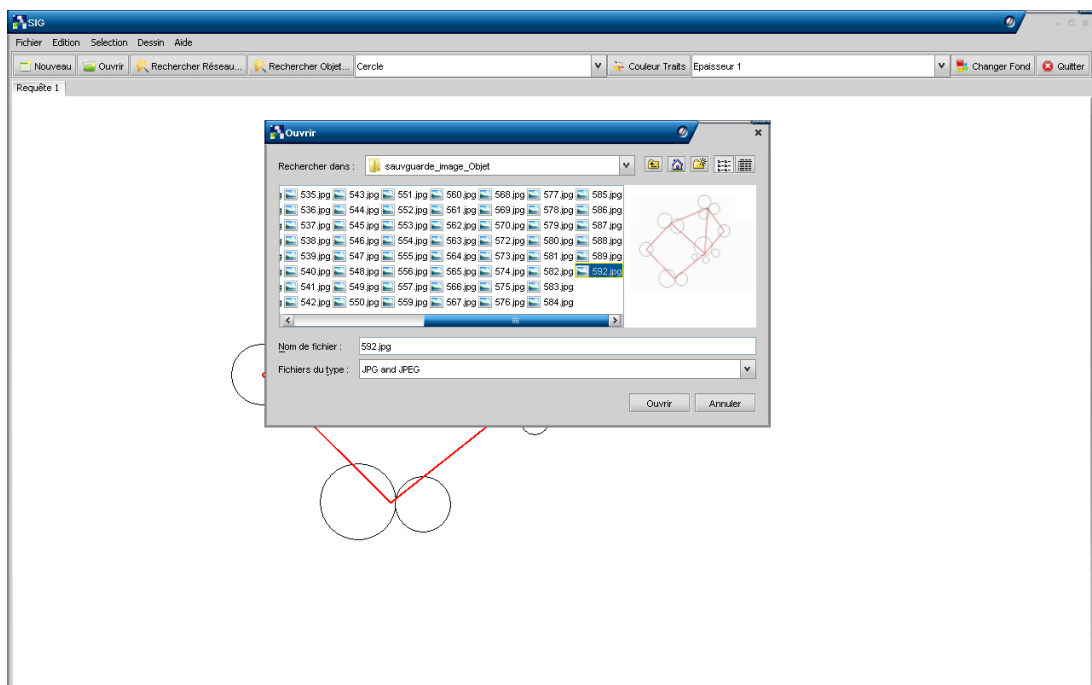


Figure 40 : Consultation requête enregistrée.

Dans ce chapitre nous avons présenté le modèle de données, l'algorithme d'appariement et la méthode de calcul de similarité de notre approche ainsi qu'une vue générale de notre prototype.

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre général de la recherche d'information spatiale. Il s'intéresse plus particulièrement à la recherche des données géographiques basé sur les croquis à main levée « sketch ». Deux axes de recherche ont formé l'épine dorsale de ce travail: la représentation des configurations géographiques par des sketches et la modélisation de ces configurations.

L'intégration du sketch dans le système de recherche d'information spatiale a un intérêt particulier, puisque la plupart des méthodes actuelles de recherche s'appuient sur la formulation des requêtes textuelles. D'autre part, l'interrogation par sketch permet aux utilisateurs de dessiner ce qu'ils recherchent au lieu de traduire leurs demandes par un texte. Des systèmes de recherche par sketch sont déjà apparus dans le domaine de la recherche d'image par le contenu. Afin de bénéficier de ces travaux dans notre recherche, un état de l'art sur ces systèmes a été présenté dans le premier chapitre.

Les bases de données géographiques doivent être modélisées afin de répondre à ce nouveau type d'interrogation. L'utilisation du graphe dans la modélisation présente plusieurs avantages. Un des avantages est la simplicité pour représenter en même temps les objets géographique et les relations spatiales entre objets. La requête dessinée par l'utilisateur sera également modélisée par un graphe.

La recherche des correspondances d'une requête s'effectue en deux étapes : l'appariement et le calcul de similarité entre graphes. Plusieurs travaux dans la littérature ont abordé la problématique d'appariement et le calcul de similarité entre graphes. Nous avons fait un panorama des approches existantes, qui nous permet de détecter leurs avantages et leurs inconvénients.

Notre étude sur les méthodes d'appariement montre leur complexité malgré l'utilisation des graphes étiquetés. Pour atténuer cette complexité, nous avons proposé une solution qui consiste à regrouper les objets en se basant sur la proximité spatiale. L'évaluation effectuée montre la performance de notre proposition.

Les perspectives ouvertes par notre travail sont nombreuses.

La première perspective consiste à réorganiser la base de données de graphes par une classification afin de séparer l'ensemble des graphes en différents groupes. Cette classification permet d'accélérer considérablement la recherche.

Une deuxième perspective consiste à utiliser les relations temporelles et sémantiques entre les objets dans l'étape de modélisations des données géographiques par des graphes.

Une troisième perspective consiste à étudier l'utilité d'utiliser plusieurs modalités d'interrogation à la fois (par exemple sketch et text).

-
- [1] R. Laurini and D. Thompson, "Fundamentals of spatial information systems", Academic press, 1992.
- [2] M. Goodchild and F. Michael, "A spatial analytical perspective on geographical information systems", *Journal of geographical information science*, Vol. 1, No. 4, pp. 327-334, 1987.
- [3] M. Egenhofer and W. Kuhn, "Interacting with GIS", In P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire, and D. Rhind, "Geographical information systems: principles, techniques, applications, and management", Wiley & Sons, pp. 401-412, 1999.
- [4] M. Blades, "The reliability of data collected from sketch maps", *Journal of environmental psychology*, Vol. 10, No. 4, pp. 259-278, 1990.
- S. Oviatt, "Multimodal interactive maps: designing for human performance", *Journal of human computer interaction*, Vol. 12, No. 1, pp. 93-129, 1997.
- [5] M. Egenhofer and K. Al-Taha, "Reasoning about gradual changes of topological relationships", *Conference on theory and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space*, pp. 196-219, 1992.
- [6] P. M. Wilson, "Get your desktop metaphor off my drafting table: user interface design for spatial data handling", *Symposium on spatial data handling*, Vol. 1, pp. 455-462, 1990.
- [7] A. Blaser, "Database techniques for pictorial applications", Springer, 1980.
- [8] S. K. Chang, and A. Hsu, "Image information systems: where do we go from here?", *IEEE Transaction on knowledge and data engineering*, Vol.4, No.5, pp. 431-442, 1992.
- [9] F. Long, H. Zhang and D. Feng, "Fundamentals of content-based image retrieval", In D. Feng and H. Zhang, "Multimedia information retrieval and management: technological fundamentals and applications", Springer, pp. 1-26, 2003.
- [10] M. Goodchild, "A spatial analytical perspective on geographical information systems", *Journal of geographical information systems*, Vol. 4, No. 1, pp. 327-334, 1987.
- [11] V.E. Ogle and M. Stonebraker, "Chabot: retrieval from a relational database of images", *IEEE Computer*, Vol. 28, No. 9, pp. 40-48, 1995.
- [12] C. Carson and V. E. Ogle, "Storage and retrieval of feature data for a very large online image collection", *IEEE Computer society bulletin of the technical committee on data engineering*, Vol. 19, No. 4, pp. 19-27, 1996.
- [13] T. S. Lai, "CHROMA: a photographic image retrieval system", PhD thesis, School of computing, engineering and technology, University of Sunderland, UK, 2000.
- [14] J. Fournier, M. Cord and S. Philipp-Foliguet, "Retin: a content-based image indexing and retrieval system", *Journal of pattern Analysis and applications*, Vol. 4, No. 2/3, pp. 153-173, 2001.
- [15] J. Z. Wang, G. Wiederhold, O. Firschein and S. X. Wei, "Wavelet-based image indexing techniques with partial sketch retrieval capability", *Forum on research and technology advances in digital libraries*, pp. 13-24, 1997.
- [16] M. Das, E. M. Riseman and B. Draper, "Focus: Searching for multi-colored objects in a diverse image database". *IEEE computer vision and pattern recognition*, pp. 756-761, 1997.
- [17] E. Loupias and S. Bres, "Key point-based indexing for pre-attentive similarities: The kiwi system", *Journal of pattern analysis and applications*, Vol. 4, No. 2/3, pp. 200-214, 2001.
- [18] A. Rodriguez, M. Egenhofer and R. Rugg, "Assessing semantic similarities among geospatial feature class definition", *Conference on interoperating geographic information system*, pp. 189-202, 1999.
- [19] C. Carson, M. Thomas, S. Belongie, J. M. Hellerstein, and J. Malik, "Blobworld: a system for region-based image indexing and retrieval", *Conference on visual information systems*, pp. 509-516, 1999
- [20] B. C. Ko, J. Peng, and H. Byun, "Region-based image retrieval using probabilistic feature relevance learning". *Journal of pattern analysis and applications*, Vol. 4, No. 2/3, pp.174-184, 2001.

- [21] W. Y. Ma and B. S. Manjunath, "Netra: A toolbox for navigating large image databases", Conference on image processing, Vol. 1, pp. 568-571, 1997.
- [22] A. Del Bimbo, M. Mugnaini, P. Pala and F. Turco, "Picasso: visual querying by color perceptible regions", Conference on visual information systems, pp. 125-131, 1997.
- [23] J. R. Smith and S. F. Chang, "Querying by color regions using the VisualSEEK content-based visual query system", M. T. Maybury, "Intelligent multimedia information retrieval", pp. 23-42, 1997.
- [24] M. Rafanelli, F. Massari, F. Ferri and F. Di Loreto, "A pictorial query language for geographical databases", Conference on advanced visual interfaces, pp. 233-244, 1996.
- [25] Y. Lee and F. Chin, "An iconic query language for topological relationships in GIS", Journal of geographical information systems, Vol. 9, No. 1, pp. 24-46, 1995.
- [26] A. Del Bimbo, P. Pala and S. Santini, "Visual image retrieval by elastic deformation of object sketches", IEEE Symposium on visual languages, pp. 216-223, 1994.
- [27] P. Agouris, J. Carswell and A. Stefanidis, "An environment for content-based image retrieval from large spatial databases", Journal of photogrammetry and remote sensing, Vol. 54, No. 4, pp. 263-272, 1999.
- [28] B. Meyer, "Beyond icons: towards new metaphors for visual query languages for spatial information systems" Workshop on interfaces to database system, pp. 113-135, 1993.
- [29] D. Blostein, "Graph transformation in document image analysis: approaches and challenges", Workshop on graph-based representations in pattern recognition, pp. 23-34, 2005.
- [30] R. A. Wagner and M. J. Fisher, "The string-to-string correction problem". Journal of the ACM, Vol. 21, No. 1, pp. 168-173, 1974.
- [31] A. Robles-Kelly and E. Hancock, "Graph edit distance from spectral seriation", IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 27, No. 3, pp. 365-378, 2005.
- [32] M. Neuhaus and H. Bunke, "A probabilistic approach to learning costs for graph edit distance", Conference on pattern recognition, Vol. 3, pp. 389-393, 2004.
- [33] A. N. Papadopoulos and Y. Manolopoulos, "Structure-based similarity search with graph histograms", Workshop on database and expert systems applications, pp. 174-178, 1999.
- [34] H. Bunke and K. Shearer, "A graph distance metric based on the maximal common subgraph", Journal of pattern recognition letters, Vol. 19, No. 3/4, pp. 255-259, 1998.
- [35] G. Chartrand, G. Kubicki, and M. Schultz, "Graph similarity and distance in graphs". Journal of Aequationes Mathematicae, Vol. 55, No. 1/2, 129-145, 1998.
- [36] X. Jiang, A. Munger, and H. Bunke, "On median graphs :properties, algorithms, and applications", IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 23, No. 10, pp. 1144-1151, 2001.
- [37] X. Jiang and H. Bunke, "Optimal lower bound for generalized median problems in metric space", Workshop on structural, syntactic and statistical pattern recognition, pp. 143-151, 2002.
- [38] H. Bunke, "Recent advances in structural pattern recognition with applications to visual form analysis", Workshop on visual form, pp. 11-23, 2001.
- [39] X. Jiang, A. Munger, and H. Bunke, "Computing the generalized median of a set of graphs", Workshop on graph based representations, pp. 115-124, 1999.
- [40] A. Hlaoui and S. Wang, "A new median graph algorithm", Workshop on graph-based representations in pattern recognition, pp. 225-234, 2003.
- [41] M. Ferrer, F. Serratos, and A. Sanfeliu, "Synthesis of median spectral graph", Conference on Pattern recognition and image analysis, pp. 139-146, 2005.

- [42] L. Mukherjee, V. Singh, J. Peng, J. Xu, M. Zeitz, and R. Berezney, “Generalized median graphs: theory and applications”, IEEE Conference on computer vision, pp. 1-8, 2007.
- [43] O. Grygorash, Y. Zhou, Z. Jorgensen, Minimum Spanning Tree Based Clustering Algorithms, 18th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, pp.73-81, 2006.
- [44] A. ALILAOUAR, “Contribution à l’interrogation flexible de données semi-structurées”, thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, 2007
- [45] C. ZAYANI, “Contribution à la définition et à la mise en œuvre de mécanismes d’adaptation de documents semi-structurés”, thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, 2008
- [46] M. Egenhofer and J. Herring, “Querying a geographical information system”, In D. Medyckyj-Scott and H.M. Hearnshaw, “Human factors in geographical information systems”, Belhaven Press, pp. 124-135, 1993.
- [47] M. Egenhofer, “Query processing in spatial-query-by-sketch”, Journal of visual languages and computing, Vol. 8, No. 4, pp. 403-424, 1997.
- [48] H. Bruns and M. Egenhofer, “Similarity of spatial scenes”, Symposium on spatial data handling, pp. 31-42, 1996.
- [49] W. Tobler, “A computer movie simulating urban growth in detroit region”, Journal of economic geography, Vol. 46, No. 2, pp. 234-240, 1970.
- [50] J. Neseřil, E. Milková and H.Neseřilová, “Otakar boruvka on minimum spanning tree problem: translation of both the 1926 papers, comments, history”, Journal of discrete mathematics, Vol. 233, No. 1/3, pp. 3-36, 2001.
- [51] G. Toussaint, “The relative neighbourhood graph of a finite planar set”, Journal of pattern recognition, Vol. 12, No. 4, pp. 261- 268, 1980.
- [52] K. Gabriel and R. Sokal, “A new statistical approach to geographic variation analysis”, Journal of systematic zoology, Vol. 18, No. 3, pp. 259–270, 1969.
- [53] A. Blaser, “A study of people's sketching habits in GIS”, Journal of spatial cognition and computation, Vol. 2, No. 4, pp. 393–419, 2001.
- [54] M. Ghazal and F. Sèdes, “Similarity among geographic networks”, Conference on information and communication technologies: from theory to applications, pp. 7-11, 2008.
- [55] <http://www.gitta.info> - Version: 20.2.2009

