

Indexation et recherche d'image fondées sur les relations spatiales entre objets

Indexing and retrieval based on spatial relationships between objects

par Jamal MALKI, El-Hadi ZAHZAH, Laurent MASCARILLA

Laboratoire L3I : Informatique, Image et Interaction, Université de La Rochelle, Avenue Michel Crépeau, 17042 cedex1 La Rochelle, France
{jmaliki,ezahzah,lmascari}@univ-lr.fr

résumé et mots clés

L'accès à une base de données d'images s'effectue généralement selon des requêtes fondées entre autres sur des indices visuels apparents (la forme, la couleur, la texture, etc.), qui ont pour but de définir une similarité entre celles-ci et le reste des images de la base. Dans ce travail, nous nous intéressons à la modélisation du contenu d'images en terme de relations spatiales existantes entre les différents objets extraits de celles-ci. L'approche proposée utilise conjointement les relations topologiques et d'orientation et préserve les propriétés intrinsèques des objets spatiaux.

Relations spatiales, relations d'Allen, indexation par le contenu, similarité.

abstract and key words

In the context of image database retrieval, users often formulate queries based on the content of images modeled in terms of different features such as shape, color or texture etc. Another type of these queries may be expressed in terms of spatial arrangement of objects. In this paper, we focus on spatial relationships modeling among objects extracted from images. The introduced approach preserves objects properties (form, shape, etc.) and exploits topological and directional information.

Spatial relationships, Allen relations, content-based indexing, similarity.

1. introduction

L'application du raisonnement spatial à des domaines tels que la Recherche d'Images Par le Contenu (RIPC) ou les Systèmes d'Information Géographiques (SIG), s'appuie sur différentes modélisations spatiales. Dans le contexte des SIG [Frank, 1992], l'information spatiale est souvent qualitative et les relations sont données par un ensemble fini de valeurs symboliques. Dans le domaine des bases de données d'images, l'approche de Chang *et al.* [Chang et al, 1987] dite « projection symbolique » est à la base de plusieurs travaux concernant les relations spatiales pour la recherche d'images [Nabil et al, 1995].

Suivant l'approche de « projection symbolique », les relations topologiques et directionnelles entre objets bidimensionnels sont la composition de relations qualitatives résultantes de la projection des objets sur les axes du référentiel. Afin d'assurer un ordre total et transitif des projections, les objets sont assimilés à des points : les centres de leurs Rectangles Minimum Englobants (RME) (Fig. 1). La représentation des relations spatiales entre les objets est donnée par une structure séquentielle, dite « 2D String ». Une « 2D String » peut être donnée par le couple (U, V) , où U (respectivement V) est une chaîne représentant la relation entre les projections des objets d'une image sur l'axe (ox) (respectivement (oy)).

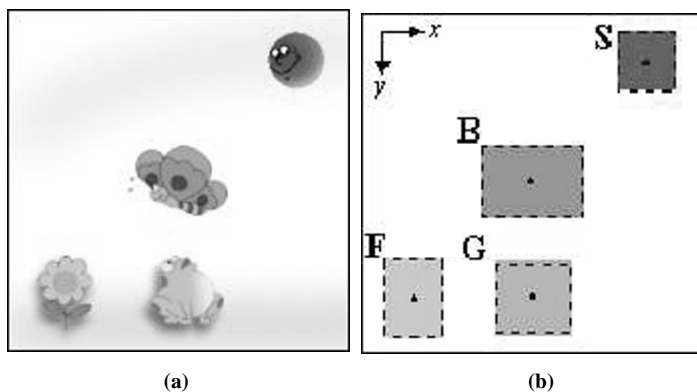


Figure 1. – La figure (a) montre une scène spatiale. La figure (b) montre les RME et les centres des objets après traitement.

Pour illustrer cette notion dans le cas de la figure (1), on considère deux relations symboliques : « = » désigne « au même emplacement » et « < » « gauche-droite » ou « haut-bas ». Une formulation « 2D String » des relations spatiales entre les objets de la figure (1) est alors :

$$(F < B = G < S, S < B < F = G) \quad (1)$$

L'avantage de la structure « 2D String » donnée par la relation (1) est l'utilisation du RME qui simplifie les objets, et donc nécessite peu de mémoire, et la complexité d'appariement est généralement linéaire. Les méthodes basées sur les RME, bien

qu'elles permettent dans certains cas de donner une idée de la nature de la relation spatiale entre les objets, elles impliquent une perte des propriétés géométriques des objets, restent imprécises et ne permettent pas de considérer toutes les configurations possibles de l'espace.

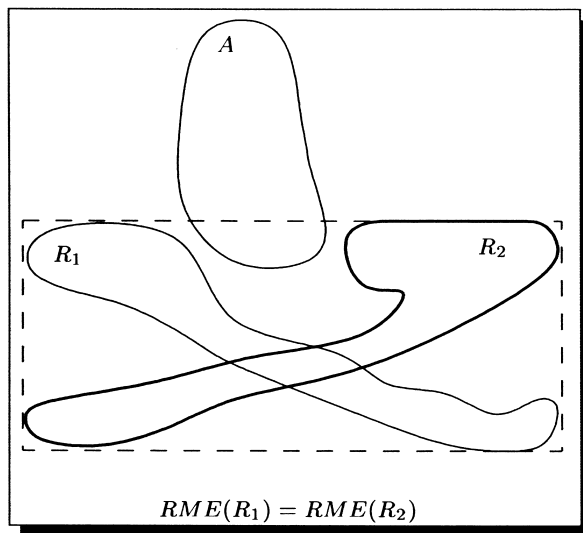


Figure 2. – Approximation par RME.

Dans la figure (2), les deux objets R_1 et R_2 sont différents mais le rectangle minimum englobant associé à chacun d'eux coïncident. Par conséquent, la relation d'orientation entre le couple d'objets (A, R_1) et celle entre le couple (A, R_2) sont égales lorsque R_1 et R_2 sont réduits à leur rectangle minimum englobant. Toutefois, les deux relations d'orientation sont bien différentes. En effet, on remarque facilement que l'objet A est *en haut à droite* de R_1 , et qu'il se trouve *en haut à gauche* de l'objet R_2 .

Les différents travaux qui ont suivi ceux de Chang *et al.* [Chang et al, 1987] se focalisent sur l'extension du modèle « 2D String » pour prendre en compte la forme des objets, citons la décomposition des objets en sous parties d'enveloppes convexes disjointes [Lee et Hsu, 1992]. Tandis qu'un effort considérable se fait dans cette direction, les limites de la théorie de « projection symbolique » héritées du raisonnement qualitatif, restent inchangées. En effet, le trait commun aux modèles « 2D String » est une classification booléenne de l'arrangement spatial en des relations mutuellement exclusives. Comme le montre la relation (1), l'indexation spatiale par ce concept est facile ce qui permet une comparaison et une inférence rapide. Toutefois, ces relations ne permettent pas l'utilisation d'une métrique comme mesure de similarité. Par conséquent, la robustesse du système de comparaison est limitée.

Pour réaliser un appariement spatial utilisant une distance, Gudivada *et al.* [Dudivada et Raghavan, 1993] introduisent des

relations spatiales quantitatives. Les auteurs représentent l'information de direction entre deux objets par la valeur numérique de l'orientation de la ligne joignant le centre de l'objet réfèrent à celui de l'objet argument. Le point critique de cette représentation réside dans la considération de l'objet comme un point. Pour représenter quantitativement la relation spatiale entre un objet argument et réfèrent, Del Bimbo *et al.* [Del Bimbo et Vicario, 1998] proposent d'utiliser les chemins reliant chaque point de l'objet réfèrent à chaque point de l'objet argument. Dans cette approche, la relation entre les deux objets est représentée par un ensemble fini de classes d'équivalence de l'ensemble dense des chemins possible entre les couples de points des deux objets. Le poids d'une classe d'équivalence est donné alors par le nombre de couples de points connectés par un chemin appartenant à la classe en question. Cette approche est simple et peut être adaptée à la prise en compte d'une similarité quantitative entre des relations spatiales. Toutefois, les objets sont considérés comme des nuages de points et ainsi on perd toute information morphologique. Pour prendre en compte les propriétés des objets (forme, taille, etc.), Matsakis *et al.* [Matsakis et Wendling, 1999] introduisent une représentation des relations d'orientation entre objets dite « histogramme des forces ». Cette approche s'inspire de l'« histogramme des angles » [Miyagima et Ralescu, 1994], et représente la relation de direction entre un objet réfèrent R et argument A par une application de $[0, 2\pi[$ dans \mathbb{R}^+ . Pour chaque direction $\theta \in [0, 2\pi[$, cette application associe un poids à tous les arguments invoqués pour appuyer une proposition de direction entre A et R . Différents traitements sont nécessaires pour le calcul de cet histogramme : traitement des couples de points, des couples de segments et enfin traitement d'un ensemble de segments.

Suite à ces approches, nous proposons une modélisation des relations spatiales qui exploite à la fois les informations directionnelles et topologiques, en tenant compte des propriétés intrinsèques des objets. Pour la combinaison des relations d'orientation et de topologie, nous nous intéressons tout particulièrement au modèle introduit par Hernández [Hernández, 1991 ; 1992 ; 1994]. Dans ce modèle, la relation spatiale d'un objet argument A par rapport à un objet réfèrent R est décrite sous la forme suivante :

$$\langle A, RelTop, RelOri, R, SystRef \rangle \quad (2)$$

avec : $RelTop$ (respectivement $RelOri$) est la relation topologique (respectivement d'orientation) entre les deux objets et $SystRef$ est un système de référence pour les relations d'orientation.

Pour la description de la topologie et de l'orientation, l'auteur utilise plusieurs ensembles de relations. Ces ensembles correspondent à différents niveaux de granularité et les relations sont organisées d'une façon hiérarchique en couches homogènes. Pour la composante topologique de la relation (2), l'auteur utilise l'ensemble des huit relations topologiques entre deux objets

2D définies dans le modèle x -Intersection [Egenhofer et Herring, 1990] ou encore \mathcal{RCC}_8 [Randell et al, 1992] (voir annexe 1). Afin d'obtenir les niveaux de granularité souhaités, l'auteur regroupe ces relations entre elles selon leur structure de voisinage conceptuel. Pour ce qui concerne la composante d'orientation de la relation (2), l'auteur représente les objets par des points (*i.e* le centre de masse), et les relations forment elles aussi une structure de voisinage circulaire uniforme (annexe 2).

Dans ce qui suit, nous introduisons une formalisation des relations spatiales utilisant les relations de direction et de topologie, que nous appelons « Histogramme des Relations Spatiales » (**HRS**). L'information de direction est associée à une mesure d'orientation numérique dans l'espace de direction $[0, 2\pi[$. L'information topologique passe d'abord par une nouvelle formalisation des relations entre intervalles réels, dite « Relation Spatiale 1D ». Dans le cas 2D, nous orientons les relations spatiales 1D selon un axe d'observation, et par une méthode de fusion on détermine ce que nous appelons « Relations Spatiales 2D ». Pour prendre en compte les divers aspects d'une scène spatiale, nous introduisons des poids associés aux relations topologiques qualitatives. Le traitement des informations directionnelles et topologiques utilise le découpage proposée par Matsakis *et al.* [Matsakis et Wendling, 1999], sans toutefois perdre les informations de topologie qui ne figurent pas explicitement dans l'« histogramme des forces ». La combinaison des relations dans le HRS s'appuie sur celle de Hernández (Eq. 2), et les traitements de ces relations s'appuient sur ceux de l'histogramme des relations d'orientation [Malki et al, 2000]. Toutefois, la structure de voisinage définissant la combinaison des relations directionnelles et topologiques dans le modèle de Hernández (annexe 2) est transformée en une matrice exprimant les liens entre les orientations de l'objet argument par rapport à l'objet réfèrent, et l'ensemble des relations topologiques de base qui forme les relations spatiales 1D. Dans le modèle de Hernández, les informations d'orientation sont qualitatives et considèrent les objets comme des points. Le HRS utilise un ensemble de directions discrétisées, et ne considère aucune abstraction des objets spatiaux. Autrement dit, les propriétés spatiales, géométriques, topologiques, etc. des objets jouent un rôle important dans la formalisation donnée par le HRS. La formalisation d'une relation spatiale 2D par le HRS nécessite différents traitements qui reposent sur les relations spatiales 1D introduites dans le paragraphe suivant.

2. formalisation des relations spatiales 1D

Le modèle de représentation des relations spatiales présenté dans cet article s'appuie, comme d'autres formalismes, sur le raisonnement spatio-temporel entre intervalles. En effet, l'iso-

morphisme direct existant entre la structure physique du temps et la structure spatiale 1D, permet l'utilisation des relations d'Allen [Allen, 1983] \mathcal{A}_{int} (tableau 7, annexe 3) pour représenter les relations spatiales entre intervalles de la droite réelle.

Formellement, nous représentons la relation spatiale entre un couple d'intervalles réels par le diagramme suivant :

$$\begin{array}{ccc}
 \mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}) & \xrightarrow{RelSpa_{1D}} & \mathbb{R}^{13} \\
 \downarrow SigGeo & & \uparrow Poids \\
 \mathbb{R}_+^* \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}_+^* & \xrightarrow{ClaGeo} & \mathcal{A}_{int}
 \end{array} \quad (3)$$

avec :

- $\mathcal{O}(\mathbb{R})$ désigne l'ensemble des intervalles fermés bornés de la droite réelle,
- $SigGeo$ est une application qui associe à chaque couple d'intervalles un élément de $\mathbb{R}_+^* \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}_+^*$, appelé signature géométrique,
- $ClaGeo$ est une application qui associe à chaque signature géométrique une relation d'Allen suivant une classification géométrique,
- $Poids$ est une application qui associe à chaque relation d'Allen un poids déterminé en fonction de la classification géométrique associée à la signature d'un couple d'intervalles.

Dans ce qui suit, nous donnons une description détaillée des fonctions $SigGeo$, $ClaGeo$, et $Poids$.

2.1. signature géométrique d'un couple d'intervalles

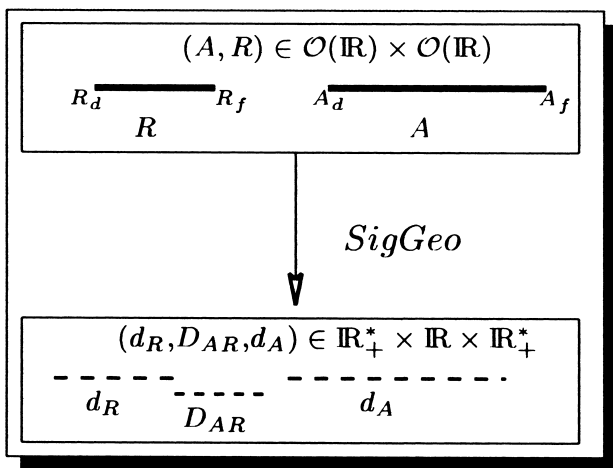


Figure 3. – Définition de la fonction $SigGeo$.

Considérons deux intervalles $(A, R) \in \mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R})$ tels que :

$$A = [A_d, A_f] \quad \text{et} \quad R = [R_d, R_f] \quad (4)$$

La fonction $SigGeo$ (Fig. 3) associe au couple d'intervalles (A, R) le triplet (d_R, D_{AR}, d_A) , appelé signature géométrique, et défini comme suit :

- $d_R = R_f - R_d \in \mathbb{R}_+^*$ (respectivement $d_A = A_f - A_d \in \mathbb{R}_+^*$) la longueur de R (respectivement de A),
- $D_{AR} = A_d - R_f \in \mathbb{R}$ la position relative de A par rapport à R .

2.2. signatures géométriques et relations d'Allen

La fonction $ClaGeo$ associe à chaque signature une relation d'Allen suivant une contrainte géométrique associée à cette signature. Formellement, cette fonction est définie par :

$$ClaGeo : \mathbb{R}_+^* \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}_+^* \longrightarrow \mathcal{A}_{int}$$

$$(x, y, z) \longrightarrow ClaGeo(x, y, z) =$$

$$\left\{ \begin{array}{l}
 b_i \quad \text{si } \{y > 0\} \\
 m_i \quad \text{si } \{y = 0\} \\
 o_i \quad \text{si } \{y < 0, x + y > 0, y + z > 0\} \\
 f \quad \text{si } \{y < 0, x + y > 0, y + z = 0\} \\
 d \quad \text{si } \{y < 0, x + y > 0, y + z < 0\} \\
 s_i \quad \text{si } \{y < 0, x + y = 0, y + z > 0\} \\
 e \quad \text{si } \{y < 0, x + y = 0, y + z = 0\} \\
 s \quad \text{si } \{y < 0, x + y = 0, y + z < 0\} \\
 d_i \quad \text{si } \{y < 0, x + y < 0, y + z > 0\} \\
 f_i \quad \text{si } \{y < 0, x + y < 0, y + z = 0\} \\
 o \quad \text{si } \{y < 0, x + y < 0, y + z < 0, x + y + z > 0\} \\
 m \quad \text{si } \{y < 0, x + y < 0, y + z < 0, x + y + z = 0\} \\
 b \quad \text{si } \{y < 0, x + y < 0, y + z < 0, x + y + z < 0\}
 \end{array} \right. \quad (6)$$

Chaque triplet (x, y, z) désigne une signature géométrique d'un couple d'intervalles (A, R) de la forme (d_R, D_{AR}, d_A) (Fig. 3). La relation d'Allen Rel dans la définition de la fonction $ClaGeo$ exprime la relation « $A Rel R$ » (tableau 7, annexe 3).

2.3. poids des relations d'Allen

L'introduction des poids associés aux relations d'Allen permet de ramener le traitement qualitatif des relations de l'ensemble \mathcal{A}_{int} , à un traitement quantitatif. Généralement, la définition

d'un poids pour les relations d'Allen dépend du domaine d'application de celles-ci. Dans [Besson et al., 2000], les auteurs définissent des poids pour chaque relation d'Allen associés à trois relations 2D (*Avant*, *Pendant*, *Après*). Comme les objets sont réduits à leurs RME, le poids d'une relation de direction¹ est la fusion des poids des relations d'Allen résultantes des projections sur les axes. Dans ce travail, nous utilisons la même approche pour la définition du poids d'une relation spatiale entre un couple d'intervalles. Toutefois, dans notre approche les relations entre deux objets 2D ne se réduisent pas à la combinaison des relations résultantes de leurs projections sur les axes du référentiel, mais plutôt sur toutes les droites parallèles dans une direction donnée. Pour cela, on considère le poids d'une relation d'Allen donné par la fonction *Poids* définie par :

$$Poids : A_{int} \longrightarrow \mathbb{R}^{13} \tag{7}$$

$$Rel \longrightarrow Poids(Rel) = \left(0, \dots, 0, P(Rel), 0, \dots, 0 \right) \tag{8}$$

où l'indice, le symbole et la valeur $P(Rel)$ de chaque relation d'Allen sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 1. – Poids associés aux relations d'Allen « $ARelR$ » exprimés en fonction de la signature géométrique $(x, y, z) = (d_R, D_{AR}, d_A)$ du couple d'intervalles (A, R) .

Indice	Symbole	Relation	$P(Rel)$
0	b_i	<i>after</i>	$\frac{y}{x + y + z}$
1	m_i	<i>met_by</i>	{0, 1}
2	o_i	<i>overlapped_by</i>	$ y /x + y /z$
3	f	<i>finishes</i>	z/x
4	d	<i>during</i>	z/x
5	s_i	<i>started_by</i>	x/z
6	e	<i>equals</i>	$x = z$
7	s	<i>starts</i>	z/x
8	d_i	<i>contains</i>	x/z
9	f_i	<i>finished_by</i>	x/z
10	o	<i>overlaps</i>	$\frac{(x+z)- y }{x} + \frac{(x+z)- y }{z}$
11	m	<i>meets</i>	{0, 1}
12	b	<i>before</i>	$\frac{ y }{(y - (x+z))}$

1. Dans cette étude, seules les relations de direction sont prises en compte.

Le tableau (1) donne le poids associé à chaque relation d'Allen. Prenons par exemple le cas de la relation b_i qui représente la relation atomique *after*. Plus la distance entre les deux intervalles est plus grande que leurs longueurs, plus le poids de la relation *after* est plus significatif. À la limite ce poids est égale à 1. Autrement dit, les deux intervalles sont considérés comme deux points suffisamment distants pour donner à la relation *after* le poids maximal. Quand la distance y est suffisamment petite, ou bien tend vers 0, le poids de la relation *after* devient nul, et par continuité la relation m_i prend la valeur 1. Pour cette relation et son inverse m , seul un poids binaire est possible. Ceci provient du caractère ponctuel de cette relation. Dans le cas de la relation o_i , le poids donné prend en compte la contribution de chaque intervalle dans cette relation. Lorsque y tend vers z alors o_i tend vers f . Nous avons tout simplement négligé la valeur 1 du poids de f pour conserver la normalisation. Remarquant que cette dernière relation est un cas particulier de la relation d , nous leur avons associé le même poids. Lorsque y tend vers x , alors la relation o_i tend vers la relation s_i qui dans ce cas prend le même poids que la relation d_i . Pour les autres relations, un raisonnement semblable s'applique à la définition de leurs poids.

Après avoir introduit les relations spatiales 1D, nous nous intéressons aux relations spatiales 2D dans la partie suivante. Comme nous l'avons déjà annoncé, nous définissons les relations spatiales 2D comme une généralisation des relations spatiales 1D en prenant en compte les aspects directionnels et topologiques.

3. formalisation des relations spatiales 2D

Considérons deux objets spatiaux 2D A et R . Nous supposons ces deux objets nets, dans le sens où nous possédons une connaissance totale sur leurs intérieurs et frontières. Notons l'espace de tels objets par $\mathcal{O}(\mathbb{R}^2)$. L'idée principale de la définition de la relation spatiale $RelSpa_{2D}$ entre le couple d'objets (A, R) à partir de la relation $RelSpa_{1D}$ (diagramme (3), page 9) est la combinaison des informations données par l'ensemble des intervalles des objets dans chaque direction de l'espace. La relation $RelSpa_{2D}(A, R)$ nécessite alors trois traitements :

- traitement d'un point et d'une direction,
- traitement d'un ensemble de points et d'une direction,
- traitement d'un ensemble de directions.

3.1. cas d'un point et d'une direction

Soient v un point de \mathbb{R}^2 et $\theta \in [0, 2\pi[$ une direction de l'espace. Du point de vue de l'observateur² $\Delta_\theta(v)$ (Fig. 4), la relation spatiale entre le couple d'objets (A, R) est donnée par la fonction $RelSpa_{2D}^{(v,\theta)}$ définie par :

$$RelSpa_{2D}^{(v,\theta)} : \mathcal{O}(\mathbb{R}^2) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}^2) \longrightarrow \mathcal{F}(\mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}), \mathbb{R}^{13})$$

où $\mathcal{F}(\mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}), \mathbb{R}^{13})$ désigne un espace de fonctions de $\mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R})$ dans \mathbb{R}^{13} , avec :

$$RelSpa_{2D}^{(v,\theta)}(A, R) = RelSpa_{1D}(\Delta_\theta(v) \cap A, \Delta_\theta(v) \cap R) \quad (10)$$

$$= Poids(ClaGeo(SigGeo(\Delta_\theta(v) \cap A, \Delta_\theta(v) \cap R)))$$

où $Poids$, $ClaGeo$ et $SigGeo$ sont données par le diagramme (3).

L'équation (10) traduit la relation spatiale 2D entre le couple d'objets (A, R) vue d'un point v et d'une direction θ de l'espace. Elle est donnée par la relation spatiale 1D entre l'intersection de l'observateur avec chaque objet. Si l'intersection de l'observateur avec chaque objet est une union d'intervalles (dit aussi intervalle non convexe ou généralisé [Ligozat, 1991]) telle que $I = A \cap \Delta_\theta(v) = \cup_i I_i$ ($\forall i, I_i \in \mathcal{O}(\mathbb{R})$) et $J = R \cap \Delta_\theta(v) = \cup_j J_j$ ($\forall j, J_j \in \mathcal{O}(\mathbb{R})$), alors la relation spatiale entre le couple d'objets (A, R) est donnée par :

$$RelSpa_{2D}^{(v,\theta)}(A, R) = \sum_i \sum_j RelSpa_{1D}(I_i, J_j) \quad (11)$$

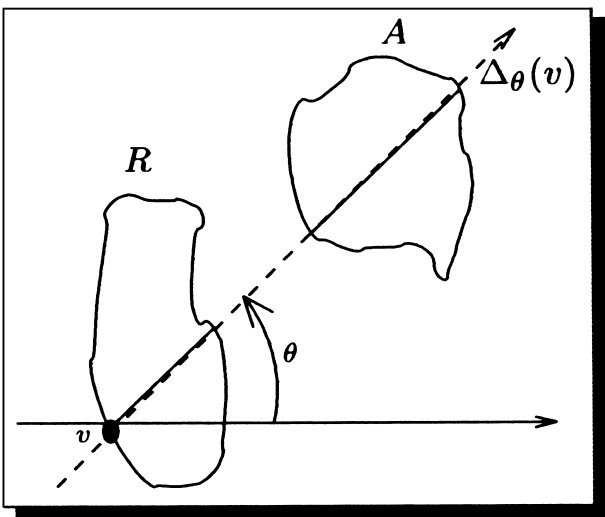


Figure 4. – Traitement d'un point et d'une direction.

2. $\Delta_\theta(v)$ est la droite passant par le point $v \in \mathbb{R}^2$ dans la direction $\theta \in [0, 2\pi[$.

La relation (11) est une somme de vecteurs dans \mathbb{R}^{13} . Pour simplifier le raisonnement, nous supposons que l'intersection de l'observateur avec chaque objet est formée d'un intervalle convexe.

3.2. cas d'un ensemble de points et d'une direction

Afin de caractériser complètement la relation spatiale $RelSpa_{2D}(A, R)$ dans la direction θ , nous considérons les l observateurs parallèles à cette direction (Fig. 5). L'entier l représente le nombre de sources d'observations considérées. Ces dernières sont obtenues à partir d'une discrétisation des objets spatiaux traitée dans le paragraphe (3.5). En définitif, nous considérons les informations fournies par l'ensemble :

$$(\theta, \Delta_\theta \cap A, \Delta_\theta \cap R) \in \{\theta\} \times \mathcal{O}(\mathbb{R})^l \times \mathcal{O}(\mathbb{R})^l \quad (12)$$

où Δ_θ est une généralisation de $\Delta_\theta(v)$ telle que :

$$\Delta_\theta \cap A = (\Delta_\theta(v_0) \cap A, \dots, \Delta_\theta(v_{l-1}) \cap A) \quad (13)$$

L'ensemble des points $\{(v_i)_{0 \leq i < l} \in R\}$ constitue les sources d'observations dans la direction θ (Fig. 5).

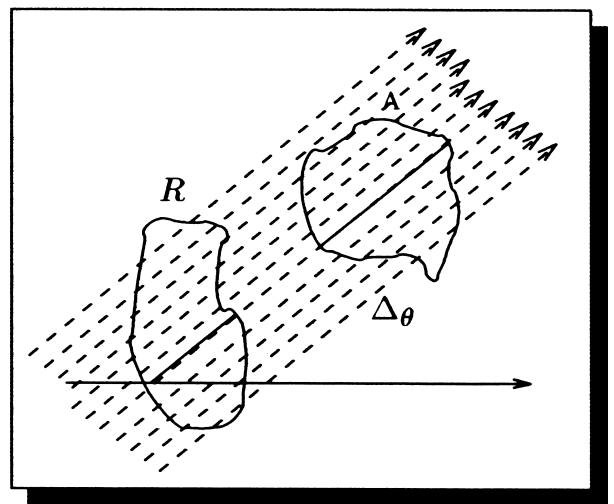


Figure 5. – Traitement d'un ensemble de points et d'une direction.

La relation spatiale entre le couple d'objets (A, R) dans toute la direction θ , notée $RelSpa_{2D}^\theta$, est maintenant décrite au plus par un ensemble de l relations spatiales 1D $RelSpa_{2D}^{(v_i,\theta)}(\Delta_\theta(v_i) \cap A, \Delta_\theta(v_i) \cap R) \quad 0 \leq i < l$, données par l'expression (10).

Formellement, la famille de fonctions $RelSpa_{2D}^\theta$ est définie comme suit :

$$\begin{aligned}
 RelSpa_{2D}^\theta : \mathcal{O}(\mathbb{R})^l \times \mathcal{O}(\mathbb{R})^l &\longrightarrow \mathcal{F}(\mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}), \mathbb{R}^{13})^l \quad (14) \\
 (\Delta_\theta \cap A, \Delta_\theta \cap R) &\longrightarrow RelSpa_{2D}^\theta(\Delta_\theta \cap A, \Delta_\theta \cap R) = \\
 & (RelSpa_{2D}^{(v_i, \theta)}(\Delta_\theta(v_i) \cap A, \Delta_\theta(v_i) \cap R))_{i=0}^{l-1} = \\
 & (RelSpa_{1D}^i)_{i=0}^{l-1}
 \end{aligned}$$

D'après la définition (14), la relation spatiale $RelSpa_{2D}^\theta$ est une matrice $l \times 13$ à valeurs réelles. En effet, chaque composante $RelSpa_{1D}^i$ de la relation (14) est un élément de \mathbb{R}^{13} . Cette matrice décrit des informations topologiques données dans la même direction, et exprimées dans la même base de relations atomiques. Par conséquent, nous pouvons fusionner l'ensemble des vecteurs $(RelSpa_{1D}^i)_{i=0}^{l-1}$ pour n'en former qu'un seul vecteur représentant une fonction dans l'espace $\mathcal{F}(\mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}), \mathbb{R}^{13})$. Formellement, si nous notons \bigvee cet opérateur de fusion, la fonction $RelSpa_{2D}^\theta$ sera définie comme suit :

$$\begin{aligned}
 RelSpa_{2D}^\theta : \mathcal{O}(\mathbb{R})^l \times \mathcal{O}(\mathbb{R})^l &\longrightarrow \mathcal{F}(\mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}), \mathbb{R}^{13}) \quad (15) \\
 (\Delta_\theta \cap A, \Delta_\theta \cap R) &\longrightarrow RelSpa_{2D}^\theta(\Delta_\theta \cap A, \Delta_\theta \cap R) = \\
 & \bigvee_{i=0}^{l-1} RelSpa_{1D}^i(\Delta_\theta(v_i) \cap A, \Delta_\theta(v_i) \cap R) = \\
 & \bigvee_{i=0}^{l-1} RelSpa_{1D}^i
 \end{aligned}$$

Posons :

$$\begin{aligned}
 RelSpa_{2D}^\theta(\Delta_\theta \cap A, \Delta_\theta \cap R) &= RelSpa_{2D}^\theta \text{ (tout simplement)} \\
 &= (RelSpa_{1D}^i)_{0 \leq i < l} = (p_i^j)_{0 \leq i < l, 0 \leq j < 13}
 \end{aligned}$$

Différentes méthodes de fusion de cet ensemble de relations existent, en voici quelques unes :

$$RelSpa_{2D}^\theta = \left(\min_{i=0}^{l-1} p_i^j \right)_{0 \leq j < 13} \quad (16)$$

$$RelSpa_{2D}^\theta = \left(\max_{i=0}^{l-1} p_i^j \right)_{0 \leq j < 13} \quad (17)$$

$$RelSpa_{2D}^\theta = \left(\sum_{i=0}^{l-1} p_i^j \right)_{0 \leq j < 13} \quad (18)$$

Le cas de l'opérateur min peut être problématique dans le cas de relations ayant à la fois des valeurs nulles et des valeurs non nulles. En effet, cet opérateur affecte une valeur nulle à une telle relation, ainsi la relation spatiale dans la direction θ , et donc toute la relation spatiale 2D, sera perturbée voire incorrecte. Par symétrie avec l'opérateur min, l'opérateur max peut être problématique

si une relation est presque partout nulle sauf sur un ensemble de points où elle possède de grandes valeurs. Dans ce cas, la plus grande valeur l'emportera et ainsi l'information topologique associée à cette valeur devient plus significative dans le résultat final.

Dans cette étude nous considérons la fusion donnée par la somme (18) et détaillée par le tableau (2). Cette fusion consiste en la somme des poids p_i^j , $0 \leq i < l$, de chaque relation de \mathcal{A}_{int} d'indice j , $0 \leq j < 13$, résultante de chaque relation spatiale $RelSpa_{1D}^i$.

Tableau 2. – Fusion des relations spatiales 1D dans une direction.

	Les relations atomiques d'Allen					
	b_i	m_i	\dots	o	m	b
$RelSpa_{1D}^0$	p_0^0	p_0^1	\dots	p_0^{10}	p_0^{11}	p_0^{12}
$RelSpa_{1D}^1$	p_1^0	p_1^1	\dots	p_1^{10}	p_1^{11}	p_1^{12}
\vdots						
$RelSpa_{1D}^{l-1}$	p_{l-1}^0	p_{l-1}^1	\dots	p_{l-1}^{10}	p_{l-1}^{11}	p_{l-1}^{12}
$RelSpa_{2D}^\theta$	$\sum_{i=0}^{l-1} p_i^0$	$\sum_{i=0}^{l-1} p_i^1$	\dots	$\sum_{i=0}^{l-1} p_i^{10}$	$\sum_{i=0}^{l-1} p_i^{11}$	$\sum_{i=0}^{l-1} p_i^{12}$

3.3. cas d'un ensemble de directions

La relation spatiale 2D entre le couple d'objets (A, R) est entièrement caractérisée par la donnée de la relation $RelSpa_{2D}^\theta$ pour chaque direction $\theta \in [0, 2\pi[$. Pour cela, nous considérons un ensemble de directions de l'espace (Fig. 6). Bien entendu, seules des directions discrètes de l'espace sont utilisées. Nous traitons cette discrétisation dans le paragraphe (3.4).

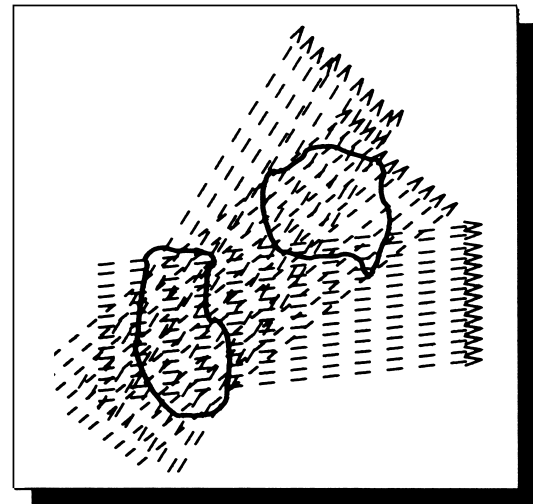


Figure 6. – Traitement de l'ensemble des directions.

Formellement, la relation spatiale $RelSpa_{2D}(A, R)$ s'écrit :

$$RelSpa_{2D} : \mathcal{O}(\mathbb{R}^2) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}^2) \longrightarrow \mathcal{F}([0, 2\pi[, \mathcal{F}(\mathcal{O}(\mathbb{R}) \times \mathcal{O}(\mathbb{R}), \mathbb{R}^{13})) \quad (19)$$

$$(A, R) \longrightarrow (\theta, RelSpa_{2D}^\theta)$$

Dans le cas des objets spatiaux $2D$, la relation spatiale $RelSpa_{2D}$ est une matrice à valeurs réelles. D'une façon plus générale, la relation spatiale ainsi définie est ND dans le cas d'objets spatiaux ND .

DÉFINITION 3.1. – La matrice représentant la fonction $RelSpa_{2D}$ est appelée : *Histogramme des Relations Spatiales (HRS)*.

Pour illustrer la définition de la relation spatiale donnée par (19), on considère l'espace des directions cardinales $DirCar_4$ composé de quatre directions symboliques :

$$DirCar_4 = \{Est, Nord, Ouest, Sud\} \quad (20)$$

Dans ce cas, la relation spatiale $RelSpa_{2D}$ est donnée par le tableau suivant :

Tableau 3. – Exemple d'une relation spatiale 2D liée au système de direction $DirCar_4$.

	b_i	m_i	...	m	b
<i>Est</i>	P_0^0	P_0^1	...	P_0^{11}	P_0^{12}
<i>Nord</i>	P_1^0	P_1^1	...	P_1^{11}	P_1^{12}
<i>Ouest</i>	P_2^0	P_2^1	...	P_2^{11}	P_2^{12}
<i>Sud</i>	P_3^0	P_3^1	...	P_3^{11}	P_3^{12}

Pour chaque i et j , on a $P_i^j = \sum_{k=0}^{l-1} p_{i,k}^j$ où les poids $p_{i,k}^j$ sont donnés par le tableau (2).

La formulation du HRS (19) dépend d'une part de la direction $\theta \in [0, 2\pi[$, et d'autre part des objets spatiaux que nous supposons $2D$ et nets. Comme nous l'avons annoncé, nous avons besoin de deux sortes de discrétisations. La première concerne l'espace des directions, autrement dit $[0, 2\pi[$, la deuxième concerne les objets spatiaux.

3.4. discrétisation de l'espace des directions

La discrétisation utilisée précédemment dépend d'une part du niveau de résolution des informations disponibles, et d'autre part du degré de représentation des relations spatiales. Nous introduisons la discrétisation de l'espace des directions comme suit :

DÉFINITION 3.2. – Soient $N \in \mathbb{N}_*^+$ le nombre de directions considérées, et $h = 2\pi/N \in \mathbb{R}_*^+$ le pas de direction. L'ensemble des

directions discrétisées, noté D_N , est la donnée de la suite $((\theta_i)_{0 \leq i < N})$ définie par :

$$\theta_i = \theta_0 + i * h. \quad (21)$$

où $\theta_0 \in [0, 2\pi[$ une direction initiale donnée.

Telle qu'elle est définie, la discrétisation de l'espace des directions ne dépend pas des données spatiales. L'ensemble des directions discrétisées constitue une généralisation des directions cardinales. Le choix de $N = 4$ et $\theta_0 = 0$ correspond à l'ensemble des directions symboliques $D_4 = DirCar_4 = \{Est, Nord, Ouest, Sud\}$.

3.5. discrétisation des objets

Cette discrétisation peut se faire d'une manière absolue à l'aide d'un pas de discrétisation quelconque, et donc indépendamment de la direction considérée. Deux cas de figures sont alors possibles :

- le pas de discrétisation dépasse un seuil pour lequel il peut y avoir un manque d'information,
- le pas de discrétisation est trop petit ce qui implique une redondance dans le calcul.

Afin d'éviter ces inconvénients, on utilise une discrétisation fonction de la direction considérée appelée *trame de direction*, notée TD (Fig. 7). Cette discrétisation utilise la dualité existante dans une relation d'orientation entre deux objets [Freeman, 1975] donnée par la proposition suivante :

PROPOSITION 1. – Si R_θ désigne une relation d'orientation dans la direction θ entre deux objets (A, R) , alors :

$$R_\theta(A, R) = R_{\theta+\pi}(R, A) \quad (22)$$

La définition de l'ensemble TD est donnée comme suit :

DÉFINITION 3.3. – Soient $\theta \in D_N$ une direction de l'espace et $S_R = \{v_i^R, i = 0, \dots, n_R - 1\}$ (respectivement $S_A = \{v_i^A, i = 0, \dots, m_A - 1\}$) l'ensemble des sommets de R (respectivement de A). La trame de direction suivant θ est donnée par :

$$TD_\theta = \{v_{\theta,k} \in fr(R) / 0 \leq k \leq 2(n_R + m_A)\} \quad (23)$$

où $fr(R)$ désigne la frontière de R , avec :

$$v_{\theta,k} = \begin{cases} v_i^R & \text{si } v_{\theta,k} \in S_R \end{cases} \quad (24.1)$$

$$v_{\theta,k} = \begin{cases} fr(R) \cap \Delta_\theta(v_i^R) & \text{si } v_{\theta,k} \in fr(R)/S_R \end{cases} \quad (24.2)$$

$$v_{\theta,k} = \begin{cases} fr(R) \cap \Delta_{\theta+\pi}(v_i^A) & \text{sinon} \end{cases} \quad (24.3)$$

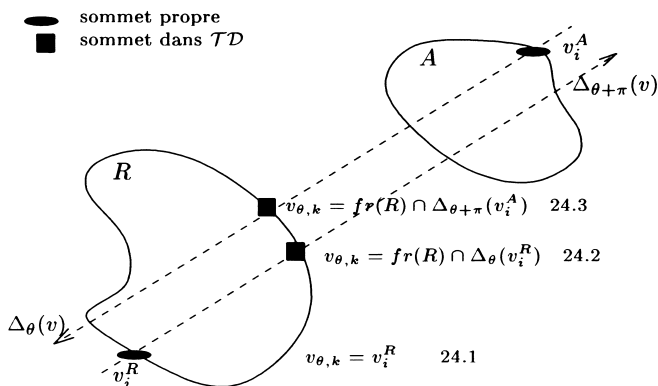


Figure 7. – Discretisation de l'objet référent R dans la direction θ . La figure montre les trois cas (24.1) .. (24.3) d'appartenance à la trame de direction donnée par l'équation (24).

Après avoir introduit les traitements et les discrétisations nécessaires pour le calcul de l'histogramme des relations spatiales, nous sommes alors en mesure de donner la structure générale de l'algorithme de calcul. Nous rappelons que les objets sont supposés 2D et donnés par un ensemble de sommets tels que nous les avons décrit dans la définition (3.3).

3.6. algorithme de calcul du HRS

La structure générale de l'algorithme de calcul de l'histogramme des relations spatiales peut être résumée par :

Données : A et R deux objets spatiaux
 N nombre de directions

Résultat : HRS matrice N lignes 13 colonnes

début

```

pour  $\theta \in D_N$  faire
  HRS[ $\theta$ ][.] = 0
  calcul de la trame de direction  $\mathcal{T}D_\theta$ 
  pour  $v \in \mathcal{T}D_\theta$  faire
     $I = A \cap \Delta_\theta(v)$  et  $J = R \cap \Delta_\theta(v)$  (définition page 6)
    Si  $I \neq \emptyset$  alors
      pour  $I_i \in I$  faire
        pour  $J_j \in J$  faire
          relation =  $ClGeo(d_{I_i}, D_{I_i, J_j}, d_{J_j})$ 
          poids =  $Poids(ClaGeo(d_{I_i}, D_{I_i, J_j}, d_{J_j}))$ 
          HRS[ $\theta$ ][relation] += poids ;
        fin
      fin
    fin
  fin
normalisation de HRS

```

fin

3.7. complexité de l'algorithme du HRS

Parce que la notion de complexité algorithmique peut avoir différentes définitions, nous précisons que dans ce travail nous considérons la complexité de l'algorithme du HRS comme étant le terme prépondérant dans la fonction donnant le nombre d'opérations élémentaires effectuées par l'algorithme en fonction du nombre des données à traiter. Nous nous intéressons uniquement au calcul du coût maximal de cet algorithme.

Soient R l'objet référent et A l'objet argument, et soient S_R (respectivement S_A) les sommets de R (respectivement de A) donnés après segmentation d'une image. On définit N comme étant le nombre de directions discrétisées considérées. La complexité de l'algorithme du HRS est donnée par :

$$k * N * \mathcal{O}((S_R + S_A)^2) \text{ où } k \text{ est une constante réelle (25)}$$

Lors de la discussion concernant la discrétisation des objets spatiaux, nous avons souligné le côté optimal de l'algorithme du HRS. Si on suppose que cette discrétisation est donnée d'une manière absolue indépendamment de la direction, alors le terme prépondérant dans la complexité de l'algorithme du HRS devient : $k' * N * \mathcal{O}(S_R^2)$. Bien que cette complexité soit inférieure à celle donnée par l'équation (25), rien ne garantit la pertinence des informations apportées par les observateurs dans une direction donnée. Une partie ou tout l'objet argument peut ne pas être observé, d'où un HRS inexact ; ou alors un grand nombre d'observateurs apportent la même observation, d'où une redondance dans le calcul. C'est pour palier à ces inconvénients que la discrétisation des objets spatiaux, dite *Trame de Direction*, a été introduite. Cette discrétisation est optimale dans le sens où pour une direction donnée, elle représente le plus petit ensemble de points de la frontière de l'objet référent (élimination des effets de la redondance), qui maximise l'information apportée par un observateur (pertinence du HRS). Le coût de cette discrétisation rend la complexité de l'algorithme du HRS importante.

4. application du HRS à la description d'une scène dynamique

4.1. formalisation

L'histogramme des relations spatiales défini par composition des relations directionnelles et topologiques, permet la description d'une scène spatiale en considérant soit l'aspect topologique, soit directionnel ou encore les deux simultanément. Dans

l'expérience ci-dessous, on considère une scène spatiale composée de deux objets qui peut être décrite symboliquement par :

$$l'objet A traverse l'objet R du Nord au Sud \quad (26)$$

L'aspect directionnel de la scène (26) se résume au changement continu de la position relative de A par rapport à R . Durant ce déplacement, les relations topologiques entre les deux objets changent également. Les approches qualitatives représentent les changements des relations topologiques par un graphe (annexe 1).

Pour simplifier la description de la scène 26, nous nous limitons à l'ensemble RCC_5 [Randell et al, 1992] qui ne considère pas la frontière des deux objets et nous appelons les relations résultantes *descripteurs topologiques* donnés par le tableau suivant :

Tableau 4. – Définition des descripteurs topologiques par l'ensemble RCC_5 en fonction des relations de RCC_8 , avec $DR = DiscRete$ et $PP = ProperPart$.

Descripteur	RCC_5	RCC_8
Disjonction	DR	$DC \vee EC$
Chevauchement	PO	PO
Egalité	EQ	EQ
Recouvrement	PP	$TPP \vee NTPP$
	PP^{-1}	$TPP^{-1} \vee NTPP^{-1}$

Dans le tableau 4, le descripteur *Recouvrement* est associé à deux relations puisque nous ne distinguons pas l'objet référent de l'argument.

Dans ce qui suit, nous considérons une définition simplifiée des descripteurs topologiques (Tab. 4) en fonction des relations d'Allen telle que :

$$Disjonction = \mathcal{P}(\{b_i, b, m_i, m\}) \quad (27)$$

$$Chevauchement = \mathcal{P}(\{\mathcal{P}(\{o, o_i\})/\{\emptyset\}, [\mathcal{P}(\{\mathcal{A}_{int}/\{o, o_i\})]\})$$

$$Egalité = \{e\}$$

$$Recouvrement = \mathcal{P}(\{\mathcal{P}(\{f_i, f, s_i, s\})/\{\emptyset\}, [\mathcal{P}(\{c, c_i\})]\})$$

où $\mathcal{P}(E)$ est l'ensemble des parties de E , et le terme entre crochets (c.-à-d. [...]) est optionnel.

4.2. mise en œuvre

Dans les figures (8.1) à (8.9), l'axe verticale représente le poids d'une relation d'Allen ramené dans $[0, 1]$. Il est donné par la fonction *poids* (définition 7 page 5).

De la figure (8.1) à la figure (8.3)

La relation spatiale est donnée par le descripteur topologique *Disjonction*. D'après (27), ce descripteur est associé à la relation atomique *after* \vee *before*. Dans le HRS (Fig. 8.2) associé à la figure (8.1), la relation *after* admet pour support l'intervalle $[\pi/2 - \alpha_1^a, \pi/2 + \alpha_2^a]$. Lorsque l'objet A se déplace vers R (Fig. 8.3), on constate un changement de la composante *after* dans le HRS (Fig. 8.4) qui a alors pour support l'intervalle $[\pi/2 - \alpha_1^b, \pi/2 + \alpha_2^b]$ tel que :

$$[\pi/2 - \alpha_1^b, \pi/2 + \alpha_2^b] \subset [\pi/2 - \alpha_1^a, \pi/2 + \alpha_2^a]$$

La figure (8.5)

L'objet A continue son mouvement vers l'objet R . Dans la figure (8.5) la relation spatiale est donnée par le descripteur topologique *Chevauchement*. Cette relation est principalement définie par les composantes $\{after, overlapped_by, during\}$ dans le HRS (Fig. 8.6). La première caractérise la relation des parties de A extérieures à R , la seconde définit la relation des parties communes aux deux objets, et enfin la dernière caractérise les parties de A incluses dans R . Lorsque le poids de *after* diminue et ceux de *overlapped_by* et *during* augmentent, le *Chevauchement* entre les deux objets devient certainement important.

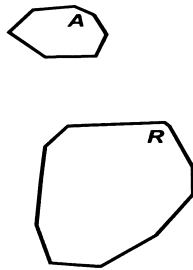
De la figure (8.5) à la figure (8.7)

L'objet A entre dans l'objet R . Nous avons appelé cette relation *Recouvrement*. On constate la disparition de la composante *after* du HRS (Fig. 8.8), et l'augmentation de la composante *during* du HRS (Fig. 8.6) au HRS (Fig. 8.8). Durant ce changement, on remarque également l'évolution de la composante *overlapped_by* présente dans le HRS (8.6) qui engendre la composante *starts* \vee *finishes* présente dans le HRS (Fig. 8.8).

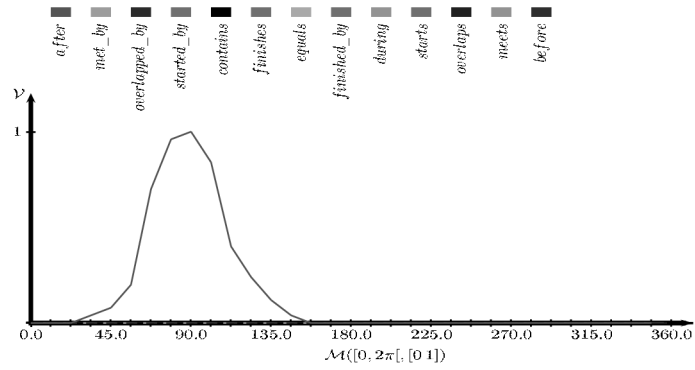
La figure (8.9)

Dans la dernière étape, l'objet A est à l'intérieur de R , et cela est caractérisé par la transformation de toutes les composantes dans le HRS (Fig. 8.8) pour n'en former qu'une seule relation atomique *during* dans le HRS (Fig. 8.10).

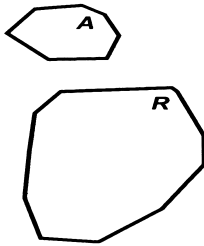
Les résultats de l'étude des changements dans une scène par l'histogramme des relations spatiales montrent que l'évolution des descripteurs topologiques suit bien le graphe de déformation des relations topologiques (annexe 1). Dans ces changements, la quantification donnée aux descripteurs par le biais des relations d'Allen permet de distinguer des situations qualitativement semblables (par exemple : (Fig. 8.1) et (Fig. 8.3)). Cette quantification permet également de prévoir le type de changement par l'évolution des valeurs des composantes d'un descripteur donné (par exemple : (Fig. 8.5) et (Fig. 8.7)).



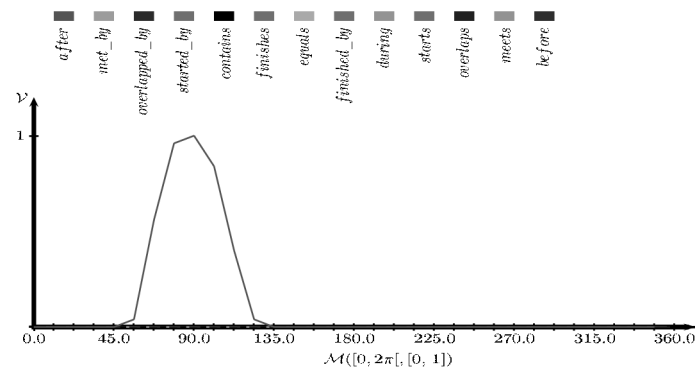
8.1



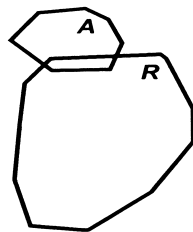
8.2



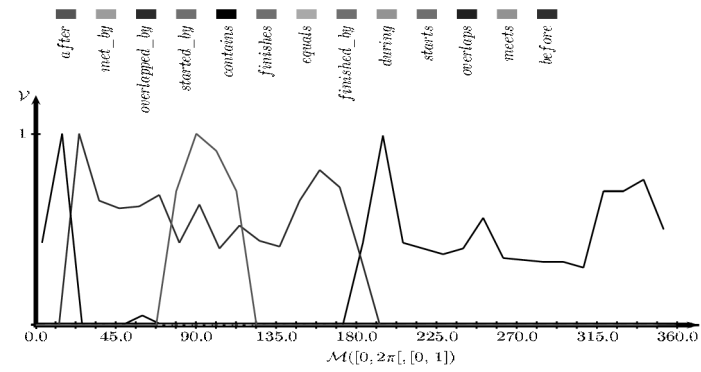
8.3



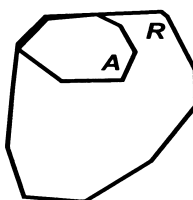
8.4



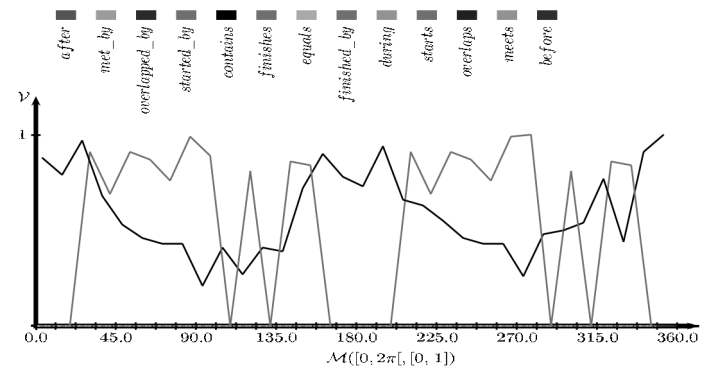
8.5



8.6



8.7



8.8

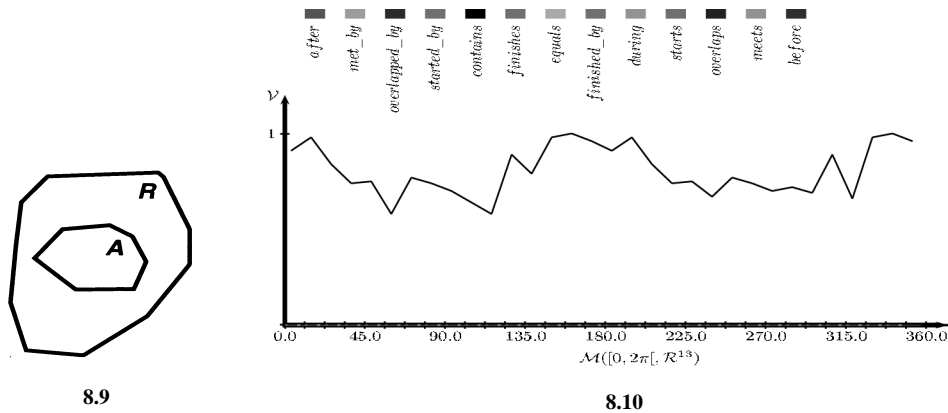


Figure 8. – Représentation des changements des relations dans une scène dynamique par l'histogramme des relations spatiales.

5. application du HRS à la recherche de configurations spatiales similaires

Dans ce qui suit, nous présentons l'application de l'histogramme des relations spatiales à la recherche d'images fondée sur les relations spatiales existantes entre les objets contenus dans ces images. Pour cela, nous avons généré une base expérimentale contenant 40 images. Chaque image contient le même couple d'objets avec une configuration spatiale différente. Le nombre d'images dans cette base ne joue pas de rôle important pour la validation du HRS. Dans cette application, nous considérons quatre niveaux de granularité pour les relations topologiques, et nous nous intéressons à l'efficacité du HRS en matière de distinction entre des relations spatiales catégorisées par ces niveaux. La comparaison entre ces différentes configurations nécessite l'introduction d'une mesure de similarité entre histogramme. C'est ce que nous introduisons dans le paragraphe suivant.

5.1. comparaison d'histogrammes

La définition d'une distance pour la comparaison de deux histogrammes dépend de la nature de la requête. L'histogramme des relations spatiales étant composé des informations d'orientation et de topologie, il peut traiter trois classes de requêtes :

- requêtes directionnelles (par exemple : trouver les images où A est au Nord de R),
- requêtes topologiques (par exemple : trouver les images où A chevauche R)
- requêtes hybrides (par exemple : trouver les images où A est au Nord et chevauche R).

Dans cette application, nous nous intéressons aux requêtes topologiques. Comme dans le cas de [Hernández, 92, 93, 94], nous considérons 4 niveaux de granularité pour les relations topologiques, que nous avons appelés *descripteurs topologiques* donnés par le tableau 4. Nous associons à chaque descripteur topologique un masque déduit de sa définition donnée par (27). Par exemple, dans le cas du descripteur *Chevauchement* on lui associe le masque suivant :

$$M_{Chevauchement} = \begin{pmatrix} \delta_{0,j} & \delta_{1,j} & \delta_{2,j} & \delta_{3,j} & \delta_{4,j} & \delta_{5,j} & \delta_{6,j} & \delta_{7,j} & \delta_{8,j} & \delta_{9,j} & \delta_{10,j} & \delta_{11,j} & \delta_{12,j} \end{pmatrix} \quad (29)$$

avec $\delta_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si } \exists Rel \in Chevauchement / Ind(Rel) = i = j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
 et $0 \leq i, j < 13$.

Autrement dit, 1 désigne la présence de la relation d'Allen dans la définition du descripteur et 0 son absence (les indices des relations d'Allen $Ind(Rel)$ sont donnés par le tableau (1)).

Comme dans [Huet et Hancock, 1996], nous avons évalué les performances de différentes mesures de distances pour la comparaison d'histogrammes. Nous sommes arrivés à la même conclusion que les auteurs à savoir que la distance de Bhattacharyya est mieux adaptée que les distances standards comme L_1 et L_2 utilisées dans l'indexation par histogrammes des bases de données d'images. Ainsi, si \mathcal{H}_Q (respectivement \mathcal{H}_I) désigne l'histogramme des relations spatiales de l'image requête Q (respectivement I), la distance entre l'image Q et I au sens de Bhattacharyya avec application du masque M associé au descripteur topologique est donnée par :

$$D(Q, I) = -\ln \sum_{j=0}^{12} M_{descripteur}[j] \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{\mathcal{H}_Q(\theta_i, R_j) \mathcal{H}_I(\theta_k, R_j)} \quad (30)$$

où N est le nombre de directions considérées.

5.2. mise en œuvre

Les exemples inclus dans cette application sont réalisés sur une base de données de 40 images contenant deux objets. Chaque image dans la base de donnée décrit une relation spatiale générée aléatoirement avec les mêmes objets de départ. Le tableau suivant donne le nombre d'images de chaque descripteur topologique :

Tableau 5. – Statistiques relatives à la base d'images expérimentale utilisée.

Descripteur	Nombre d'images
Disjonction	18
Chevauchement	11
Recouvrement	11
Egalité	0

Dans les différentes expériences suivantes, la requête est une image de la base qui exprime une relation spatiale entre deux objets. Cette relation spatiale est donnée en fonction de l'un des descripteurs topologiques afin de permettre le calcul de la distance au sens de cette relation spatiale entre l'image requête et l'ensemble des images de la base. Nous utilisons le tableau des statistiques (5) pour commenter le résultat de chaque recherche.

1- Recouvrement

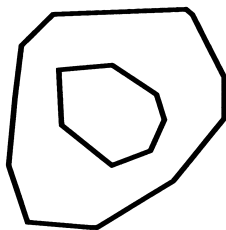


Figure 9. – Image requête associée au descripteur *Recouvrement*.

Dans cet exemple, l'image requête (Fig. 9) donne un exemple d'une relation spatiale entre deux objets qui peut être donnée par le descripteur topologique *Recouvrement*.

La figure (10) montre le résultat de la recherche des images de la base proches de l'image requête au sens du descripteur topologique *Recouvrement*. On constate que toutes les images décrivant une situation de recouvrement figurent bien dans le résultat (de l'image 0 à 7). Les autres images sont celles qui possèdent des composantes en commun avec celles du descripteur *Recouvrement*.

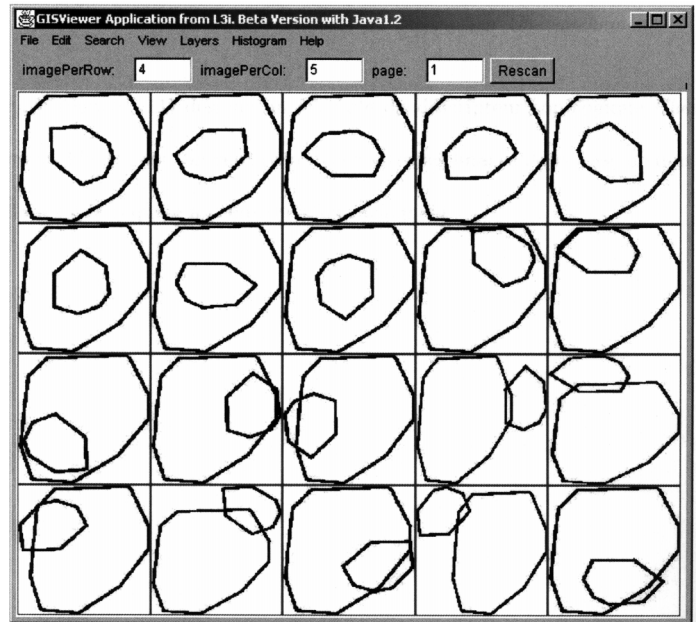


Figure 10. – Résultat de la recherche des images. L'ordre est donné de gauche à droite et de haut en bas.

2- Chevauchement

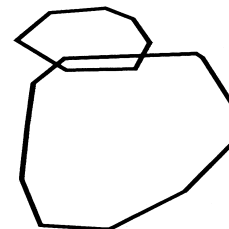


Figure 11. – Image requête associée au descripteur *Chevauchement*.

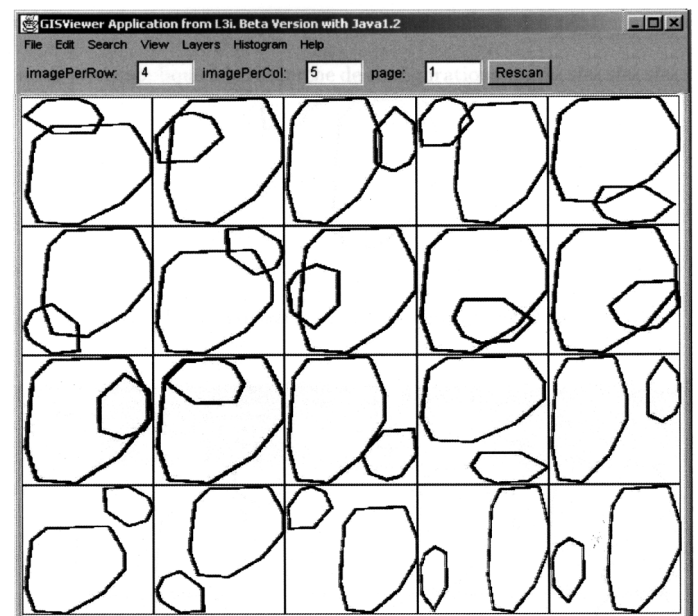


Figure 12. – Résultat de la recherche des images. L'ordre est donné de gauche à droite et de haut en bas.

L'image requête (11) désigne un exemple du descripteur topologique *Chevauchement*. Idéalement, on veut retrouver toutes les images de la base de données similaires à la requête au sens du *Chevauchement*.

Le résultat donné par la figure (12) montre qu'on trouve bien toutes les images similaires au sens du *Chevauchement* (images 0 à 6). Pour les image numéro 7 à 11, on a un chevauchement plus significatif mais un poids final faible à cause de la diminution des composantes type *after*. Le reste des images ne possèdent pas de chevauchement, mais possèdent la composante *after* en commun avec le descripteur *Chevauchement*.

3- Disjonction

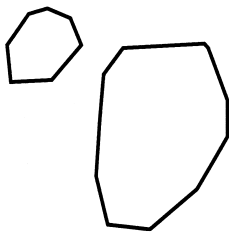


Figure 13. – Image requête associée au descripteur *Disjonction*.

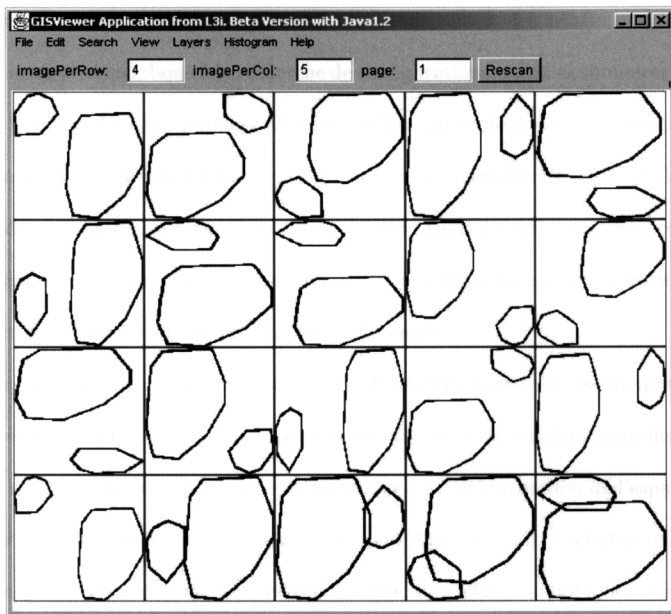


Figure 14. – Résultat de la recherche des images. L'ordre est donné de gauche à droite et de haut en bas.

Le résultat (Fig. 14) de recherche des images similaires à la requête (Fig. 13) peut être divisée en trois parties. Dans la première partie (les images 0 à 6), on retrouve les images ayant la même configuration que l'image requête avec des poids de disjonction comparables. Dans la seconde (les images 7 à 15), nous

avons des images qui présentent des disjonctions mais les deux objets sont de plus en plus distants. Finalement, nous retrouvons des images qui ne représentent pas de disjonction mais qui possèdent la composante « *after* » en commun avec le descripteur *Disjonction*.

6. conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une modélisation des relations spatiales que nous avons appliqué à la recherche de configurations spatiales similaires dans des bases de données d'images. Cette modélisation exploite les informations de topologie et de direction tout en préservant les propriétés intrinsèques des objets. Différentes configurations d'une même relation spatiale sont prises en compte suivant un système d'affectation de poids. Ce système nous permet de distinguer entre des relations similaires de scènes différentes.

Une contribution centrale de ce travail est l'association de relations qualitatives 1D et les relations d'orientation pour la formalisation de relations spatiales 2D. Les relations d'orientation sont exprimées par une décomposition de l'espace de direction, et les relations topologiques 1D pondérées par leurs contributions à la description d'une relation de direction donnée. Nos efforts de mise en œuvre de l'approche que nous proposons sont centrés sur l'étude de stratégies de formulation d'information spatiale dans un environnement à petite échelle, problème pour lequel nous en sommes arrivés à travailler sur des schémas simplifiés mais génériques et utilisables dans différents systèmes d'information.

La validation des relations spatiales introduites par l'étude expérimentale s'est limitée aux objets convexes. La généralisation au cas d'objets quelconques est sans conséquences sur la forme finale de l'histogramme des relations spatiales, mais nécessite certainement l'étude d'autres descripteurs. Nous envisageons cette extension dans la suite de nos travaux.

Une part importante de travail restant à réaliser se situe probablement dans la prise en compte d'objets flous. Dans ce contexte, les travaux actuels [Bloch, 1999 ; Matsakis et al, 2001] s'intéressent généralement à la modélisation floue de relations spatiales d'orientation comme « à droite de », « à gauche de », « au dessus », « en dessous » etc. Des relations topologiques comme « inclus dans », « entouré de », etc. font l'objet de recherches préliminaires. Dans notre cas, le formalisme introduit peut être adapté en définissant des relations spatiales floues 1D [Dubois et Prade, 1989], où l'on intègre les aspects directionnels et topologiques. Les différents traitements de l'histogramme des relations spatiales doivent être adaptés car nous n'aurons pas une représentation semblable à celle donnée dans le cas d'objets nets, conséquence de la disparition des relations de fin et de début entre intervalles temporels flous.

Enfin, les modes de passage des requêtes spatiales aux descripteurs topologiques en fonction des relations atomiques d'Allen méritent plus de développements, notamment dans le cas de figures complexes comme celles impliquant l'inclusion de deux objets ayant des trous.

RÉFÉRENCES

[Allen, 1983] J.F. Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communications of the ACM*, 11(26):832–843, 1983.

[Besson et al., 2000] L. Besson, D. Benslimane, M.N. Terrasse, and K. Yetongnon. Relations de directions floues basées sur les rectangles englobants. *RFIA2000, Paris*, 3:193–202, 2000.

[Bloch, 1999] I. Bloch. Fuzzy relative position between objects in image processing: a morphological approach. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(7):657–664, 1999.

[Chang et al., 1987] S.-K. Chang, Q.-Y. Shi, and C.-W. Yan. Iconic indexing by 2-d strings. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 9(3):413–428, 1987.

[Del Bimbo et Vicario, 1998] A. Del Bimbo and E. Vicario. Using weighted spatial relationships in retrieval by visual contents. *Proceedings of Image and Video content based retrieval*, pages 75–78, 1998.

[Dubois et Prade, 1989] D. Dubois and H. Prade. Processing fuzzy temporal knowledge. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(4):729–744, 1989.

[Egenhofer et Al-Taha, 1992] M. Egenhofer and K. Al-Taha. *Reasoning about Gradual Changes of Topological Relationships*, volume 639, pages 169–219. Springer-Verlag, 1992.

[Egenhofer et Herring, 1990] M.J. Egenhofer and J. Herring. A mathematical framework for the definition of topological relationships. In *4th International Symposium On Spatial Data Handling SDH'90*, pages 803–813, Zurich, Switzerland, 1990.

[Frank, 1992] A.U. Frank. Qualitative spatial reasoning about distances and directions in geographic space. In *Journal of Visual Languages and Computing*, volume 3, pages 343–371, 1992.

[Freeman, 1975] J. Freeman. The modelling of spatial relations. *Computer Graphics and Image Processing*, 4:156–171, 1975.

[Freksa et Zimmermann, 1992] C. Freksa and K. Zimmermann. On the utilization of spatial structures for cognitively plausible and efficient reasoning. *IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics*, pages 261–266, 1992.

[Gudivada et Raghavan, 1993] V. Gudivada and V. Raghavan. Design and evaluation of algorithms for image retrieval by spatial similarity. *ACM Transactions on Information Systems*, 13(1):115–144, 1993.

[Hernández, 1991] D. Hernández. Relative representation of spatial knowledge: the 2-d case. *D. M. Merk and A. Frank (Hrsg.), Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, S:373–385, 1991.

[Hernández, 1992] D. Hernández. Diagrammatical aspects of qualitative representations of space. *Proc. of the 1992 AAAI Spring Symposium on Reasoning with Diagrammatic Representations*, pages 222–225, 1992.

[Hernández, 1994] D. Hernández. *Qualitative Representation of Spatial Knowledge*. Number 804. Springer Verlag, 1994.

[Huet et Hancock, 1996] B. Huet and E. Hancock. Cartographic indexing into a database of remotely sensed images. *WACV, Cartographic indexing into a database of remotely sensed images*, pages 8–14, 1996.

[Lee et Hsu, 1992] S. Lee and F. Hsu. Spatial reasoning and similarity retrieval of images using 2d c-string knowledge representation. *Pattern Z. Recognition*, 25(3):305–318, 1992.

[Ligozat, 1991] G. Ligozat. On generalized interval calculi. In *AAAI 91. 9th National Conference on Artificial Intelligence*, pages 234–240, Anaheim, USA, 1991.

[Malki et al., 2000] J. Malki, E-H. Zahzah, L. Mascarilla, and P. Boursier. The orientation histogram: A representation for directional relations between spatial objects. 2000. 9th International Symposium on Spatial Data Handling SDH2000. Beijing, P.R.China.

[Matsakis et Wendling, 1999] P. Matsakis and L. Wendling. A new way to represent the relative position between areal objects. *IEEE Tarnsaction On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(7):634–642, 1999.

[Matsakis et al., 2001] P. Matsakis, J. Keller, L. Wendling, J. Marjamaa, and O. Sjahputera. Linguistic description of relative positions in images. *TSMC Part B (IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics)*, 31, 2001.

[Miyagima et Ralescu, 1994] K. Miyagima and A. Ralescu. Spatial organization in 2d segmented images: representation and recognition of primitive spatial relations. In *Fuzzy Sets and Systems*, volume 65, pages 225–236, 1994.

[Nabil et al., 1995] M. Nabil, J. Shepperd, and A. Ngu. projection interval relationships: A symbolic representation of spatial relationships. *Advances in Spatial Databases: Forth International Symposium, SSD'95*, 951:292–309, 1995.

[Randell et al., 1992] D.A. Randell, Z. Cui, and A.G. Cohn. A spatial logic based on regions and connection. *Proceedings of the third international conference on knowledge representation and reasoning*, pages 165–176, 1992.

annexe 1

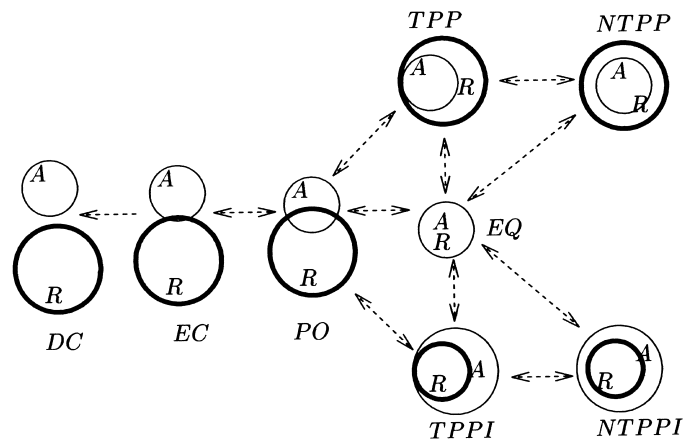


Figure 15. – Les huit relations topologiques entre deux objets 2D nets et homogènes dites RCC_8 exprimées comme suit :

Symbole	Relation topologique
$DC(A,R)$	A DiscConnected from R
$EC(A,R)$	A Externally Connected from R
$PO(A,R)$	A Partially Overlapping R
$TPP(A,R)$	A Tangential Proper-Part of R
$TPPI(A,R)$	R has Tangential Proper-Part A
$NTPP(A,R)$	A Non Tangential Proper-Part of R
$NTPPI(A,R)$	R has Non Tangential Proper-Part A
$EQ(A,R)$	A Equals R

Cette figure, dite réseau de continuité, indique aussi les états de transition entre les relations RCC_8 . Freksa [Freksa and Zimmermann, 1992] appelle ce réseau par « structure de voisinage conceptuelle », et d'autres auteurs [Egenhofer and Al-Taha, 1992] l'utilise sous le nom de « graphe de changement des relations topologiques ».

annexe 2

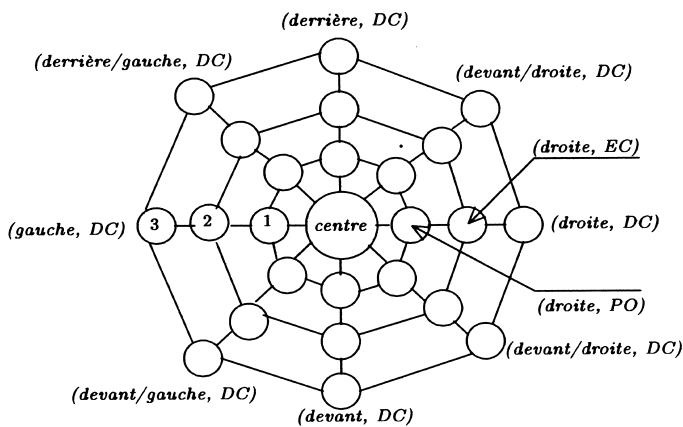


Figure 16. – Structure de combinaison des relations topologiques et directionnelles selon Hernández.

La figure (16) représente la structure de voisinage conceptuel utilisée par Hernández pour la combinaison des relations topologiques et directionnelles. Chaque nœud de la structure représente un couple de relations formé par une composante directionnelle et une composante topologique. Les relations d'orien-

tation admettent huit niveaux de granularité et les relations topologiques sont structurées en quatre niveaux donnés par le tableau suivant :

Tableau 6. – Niveaux de granularité associés aux relations topologiques 2D.

Niveaux	Relations topologiques
centre	EQ + TPP + NTPP ou EQ + TPPI + NTPPI
niveau 1	PO
niveau 2	EC
niveau 3	DC

annexe 3

Tableau 7. – Les 13 relations d'Allen entre intervalles avec des exemples.

Relation	Symbole	Exemple Graphique
<i>A after R</i>	b_i	
<i>A before R</i>	b	
<i>A met_by R</i>	m_i	
<i>A meets R</i>	m	
<i>A overlaped_by R</i>	o_i	
<i>A overlaps R</i>	o	
<i>A contains R</i>	d_i	
<i>A during R</i>	d	
<i>A started_by R</i>	s_i	
<i>A starts R</i>	s	
<i>A finished_by R</i>	f_i	
<i>A finishes R</i>	f	
<i>A equal R</i>	e	

LES AUTEURS

Jamal MALKI



Jamal Malki a obtenu son Doctorat en Informatique à l'Université de La Rochelle en 2001. Au sein du L3I (Laboratoire d'Informatique, Image et Interaction), ses recherches portent sur les modélisations des relations spatiales (qualitatives, quantitatives, floues, etc) pour l'indexation et la recherche d'images par le contenu, ainsi que la combinaison de différentes approches dans le cadre des Systèmes d'Informations Géographiques.

Laurent MASCARILLA



Laurent Mascarilla a obtenu un doctorat en informatique à l'Université Toulouse III en 1996. Il est maître de conférences à l'Université de La Rochelle depuis 1997 date à laquelle il a intégré le L3I (Laboratoire d'Informatique, Image et Interaction). Il travaille sur la reconnaissance de formes appliquée au traitement d'images par des approches issues de la logique floue. Actuellement, il s'intéresse plus particulièrement à la classification avec rejet et à la segmentation temporelle.

El-hadi ZAHZAH



El-hadi Zahzah a obtenu son doctorat d'Informatique à l'université Paul Sabatier Toulouse III en 1992, il est Maître de Conférences à l'Université de La Rochelle au (L3I) Laboratoire d'Informatique, Image et Interaction depuis 1993. Ses travaux de recherches actuellement concernent l'analyse et l'interprétation d'images ainsi que la reconnaissance des formes. Les approches utilisées sont basées sur l'étude des relations spatiales intégrant les aspects multi-échelles.