

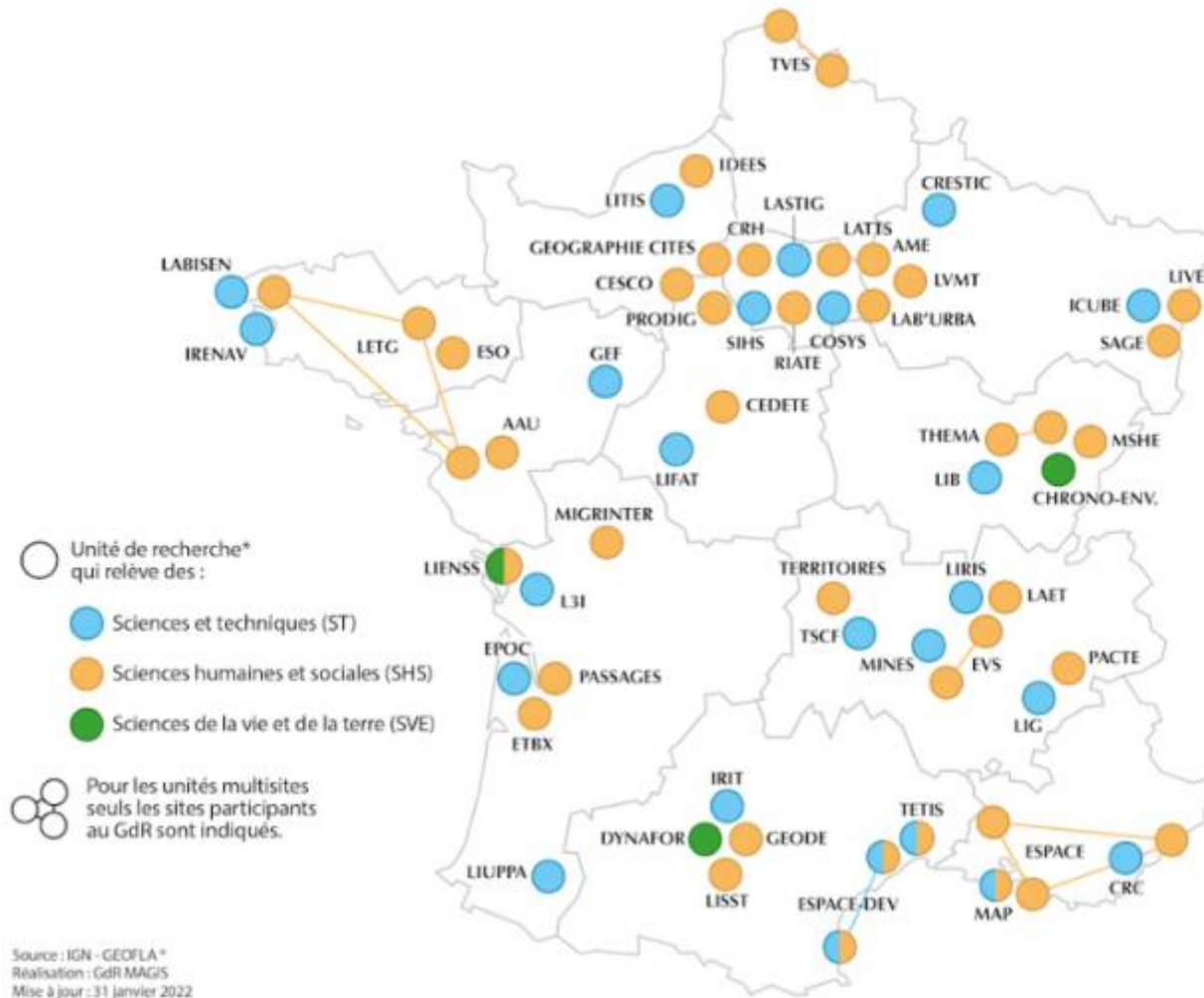
Données géographiques et incertitude

François Pinet, INRAE

Laboratoire Technologies et Systèmes
d'information pour les agrosystèmes

francois.pinet@inrae.fr

Le GdR CNRS MAGIS 2022 - 2026





GDR

Groupeement
de recherche

MAGIS

Méthodes et Applications
pour la Géomatique et l'Information Spatiale

Les axes de recherche du GDR MAGIS

[Au-Delà de la 3D](#)

Information géographique volontaire et
crowdsourcing

Observatoires scientifiques Milieux-Sociétés

[Ontologies pour l'interdisciplinarité](#)

Incertitude épistémique

[Mobilités et impacts socio-environnementaux](#)

Humanités Numériques Spatialisées

[Graphes de Connaissances Géohistoriques](#)

[\(Carto\)graphies et \(Géo\)visualisations de données](#)

Observation de la Terre Multi-Capteurs pour le Suivi
des Milieux

Espaces côtiers et marins

Géomatique, Ville, Climat et Pollution

Usages du calcul hautes performances en
Géomatique

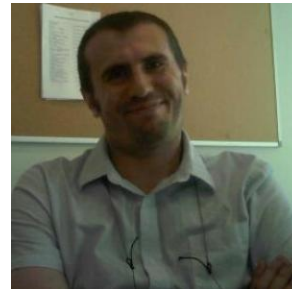
L'axe Incertitude du GDR MAGIS

Animateurs :

Mireille Batton-Hubert, Ecole des Mines St Etienne, LIMOS

Eric Desjardin, Univ. De Reims, CReSTIC

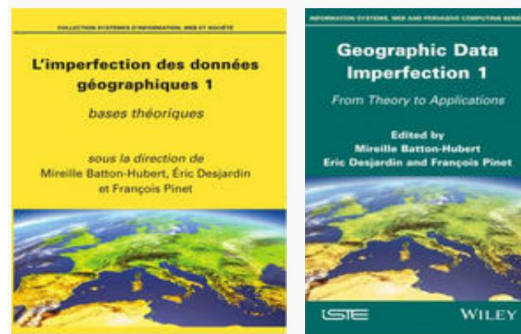
François Pinet, INRAE Clermont, TSCF



Description :

- **Travail de réflexion et de prospective sur l'incertitude épistémique en géomatique :**
 - Liée au manque de connaissances
 - Incertitudes dans les sources d'information
- **Démarrage en 2012 :** création du projet d'action au sein de la session du GDR qui a commencé en 2013.
- **Ateliers/réunions à :** Saint-Etienne, Paris, Lyon, Montpellier, Clermont-Ferrand, Grenoble, Québec, Avignon.
- **Ateliers/réunions sur le sujets :** définitions des concepts, des représentations, des traitements ; projet d'ouvrages

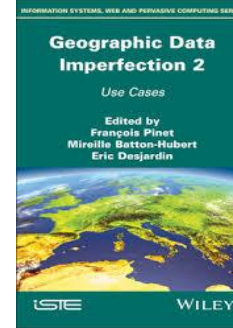
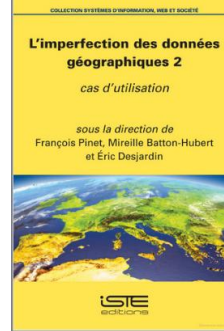
- **Projet ouvrage** : A constitué un moyen pour réaliser une animation
- **Rédaction de 2 livres, en 17 chapitres
et une quarantaine d'auteurs ; 20 labos**
(+ les idées des non-auteurs)
- **2013-2016** : Réalisation du plan pour 2 ouvrages
- **2017-2019** : Rédaction tome I
- **2020-2023** : Rédaction tome II



Tome 1 « La théorie »

2019

- **Concepts et terminologies** (UMR EspaceDev Montpellier, Labo d'info de Tours)
- **Origines de l'imperfection** (École Supérieure d'ingénieurs Géomètres et Topographes - Mans, Univ. Montpellier 3, LASTIG - IGN, École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse)
- **Intégrité et confiance dans les données** (Ecole Navale de Brest, Mines ParisTech – Sophia Antipolis)
- **Formalismes et représentation des objets** (Ecole des Mines de St Etienne, TSCF - INRAE)
- **Représentation des modèles de données** (TSCF – INRAE, Labo d'info de Tours)
- **Relations topologiques et raisonnement** (Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg)
- **Raisonnement en logique modale** (Univ. de Bourgogne)
- **Révision itérative de l'imperfection** (UMR ESPACE – Nice, Avignon)
-
- **Aide à la décision** (LAMSADE Paris)



Tome 2

« Cas d'usage »

2024

- **Pulvérisation/Epandage en agriculture** (Ecole des Mines de St Etienne, TSCF – INRAE, UMR TETIS)
- **Evolution du registre parcellaire** (Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, Icube Strasbourg)
- **Anonymisation des données agricoles** (École Supérieure d'ingénieurs Géomètres et Topographes - Mans)
- **Risques naturels** (Univ. Montpellier 3)
- **Localisation de victime en montagne** (LASTIG – IGN, Labo d'info de Grenoble)
- **Foncier** (UMR Espace)
- **Représentation de l'espace urbain pour les personnes en situation d'handicap visuel** (Labo d'info de Clermont-Ferrand)

Atelier « IDOMOG : représentation et gestion de l'Incertitude des Données et des Modèles en Géomatique ». 5 Juin 2023, Québec

- Présentation d'un état de l'art sur le sujet et rappel des actions de l'atelier
- Réflexion Franco-Canadienne sur de nouveaux sujets d'intérêt pour l'action.
Quelques idées qui sont ressorties :
 - Données spatiales fake sur le Web, désinformation
 - Perception de la représentation cartographique de l'incertitude par les décideurs
 - Différences entre comment les francophones et les anglophones US s'intéressent au sujet :
 - FR : Souvent intéressés par les concepts généraux (ex. différence entre les types d'incertitudes, etc.)
 - US : Souvent intéressés par les outils (mesures, traitements, etc.)

Journées en 2024 de présentation des résultats de l'axe, IGN - Saint-Mandé

- Journées de restitution de l'action 2012-2024

Atelier à SAGEO 2025, Avignon

Définition de la feuille de route pour 2026 :

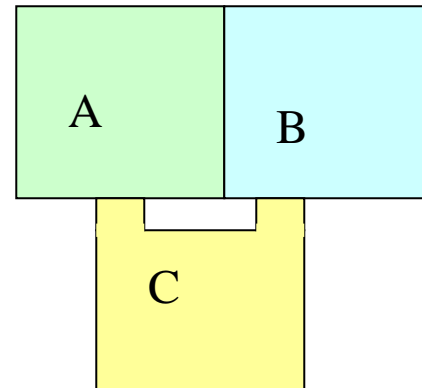
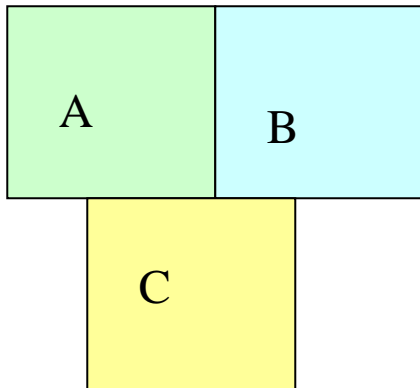
- Projet de vidéo de présentation de la problématique
- Projet de mise à disposition de code ou de données
- Réflexion IA et géomatique à aborder

A suivre en 2026

Quelques modèles de représentation de l'incertain en géomatique

Modèles d'objets et relations topologiques

- Les relations topologiques sont utiles pour l'analyse et le contrôle des données, ainsi leur requête
- Les SGBD intègrent certaines d'entre elles
- La formalisation des relations topologiques est un sujet de recherche ancien
- Question : comment formaliser les relations topologiques afin de mieux distinguer les différentes configurations spatiales



Représentation des objets et leurs relations topologiques

Relations topologiques : Calculus-Based Method

(Clementini et al., SSD'93. 1993; Clementini et al., Information Systems, 1995)

- *touch*:



$$\langle A, touch, B \rangle \Leftrightarrow (A^\circ \cap B^\circ = \emptyset) \wedge (A \cap B \neq \emptyset)$$

- *in*:



$$\langle A, in, B \rangle \Leftrightarrow (A \cap B = A) \wedge (A^\circ \cap B^\circ \neq \emptyset)$$

- *overlap*:

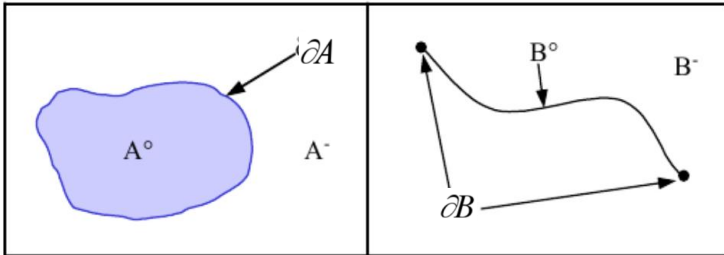


$$\langle A, overlap, B \rangle \Leftrightarrow (dim(A^\circ) = dim(B^\circ) = dim(A^\circ \cap B^\circ)) \wedge (A \cap B \neq A) \wedge (A \cap B \neq B)$$

- *disjoint*:



$$\langle A, disjoint, B \rangle \Leftrightarrow A \cap B = \emptyset$$



Représentation des objets et leurs relations topologiques

$$M = \partial A \begin{matrix} B^\circ & \partial B & B^- \\ \begin{matrix} A^\circ \\ \partial A \\ A^- \end{matrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ \neq \emptyset & A^\circ \cap \partial B \neq \emptyset & A^\circ \cap B^- \neq \emptyset \\ \partial A \cap B^\circ \neq \emptyset & \partial A \cap \partial B \neq \emptyset & \partial A \cap B^- \neq \emptyset \\ A^- \cap B^\circ \neq \emptyset & A^- \cap \partial B \neq \emptyset & A^- \cap B^- \neq \emptyset \end{bmatrix}$$

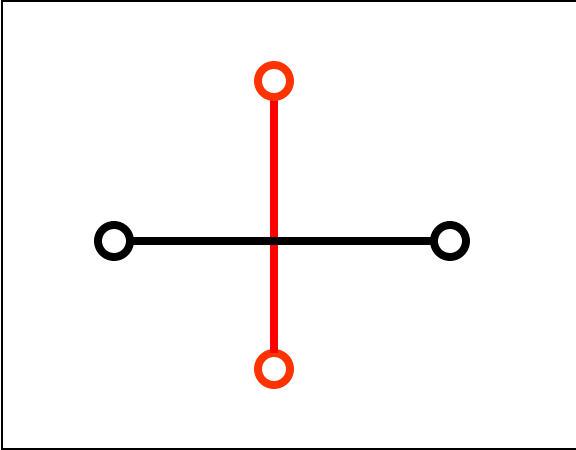
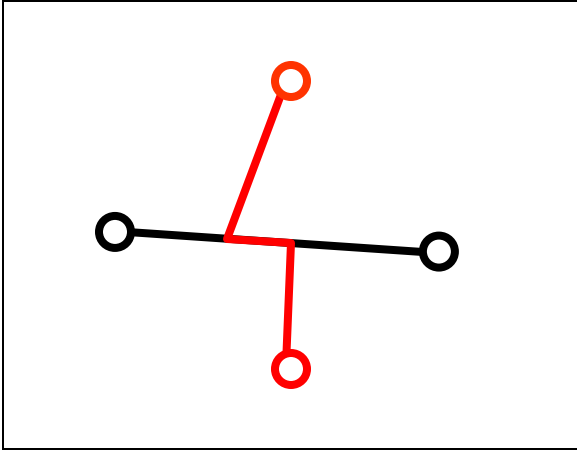
1 matrice = 1 relation topologique

$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ <p>⟨A, disjoint, B⟩</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ <p>⟨A, contains, B⟩</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ <p>⟨A, inside, B⟩</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ <p>⟨A, equal, B⟩</p>
$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ <p>⟨A, meet, B⟩</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ <p>⟨A, covers, B⟩</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ <p>⟨A, coveredBy, B⟩</p>	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ <p>⟨A, overlap, B⟩</p>

(Egenhofer et al.,
1990, tech. Report)

Représentation des objets et leurs relations topologiques

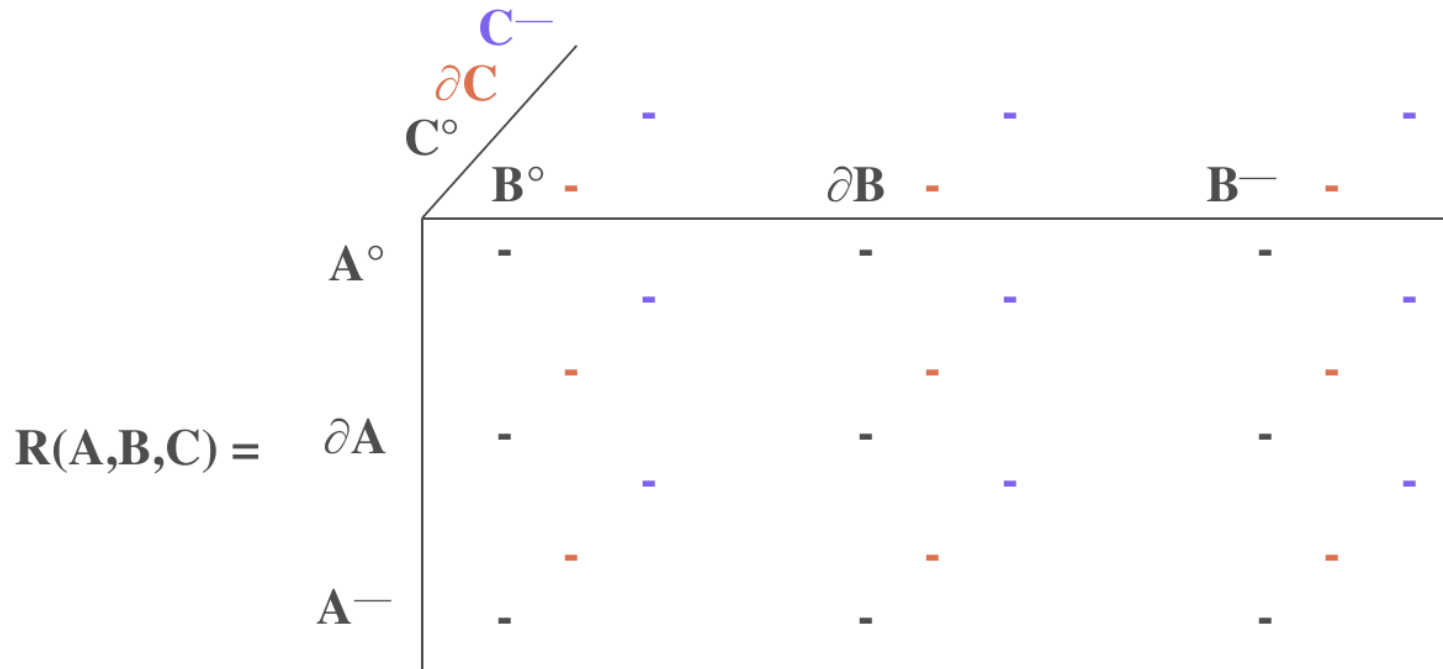
Dimensionally Extended-9IM étend 9IM. On indique la dimension de l'intersection dans les matrices.

		
9IM	$\left[A^\circ \cap B^\circ \neq \emptyset \right] = 1$	$\left[A^\circ \cap B^\circ \neq \emptyset \right] = 1$
DE-9IM	$\left[\dim(I(a) \cap I(b)) \right] = 0D$	$\left[\dim(I(a) \cap I(b)) \right] = 1D$

(<http://postgis.org>)

Représentation des objets et leurs relations topologiques

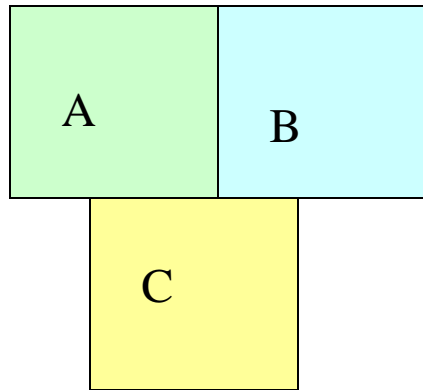
relation ternaire = relation entre 3 objets



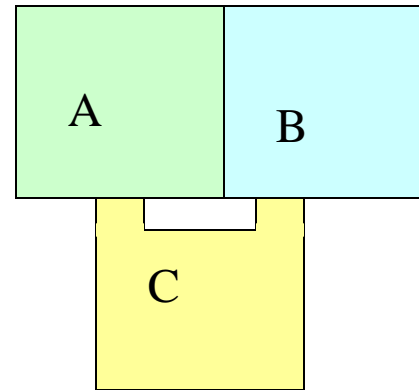
(Favetta, Thèse, 2003)

Représentation des objets et leurs relations topologiques

Si on ne considère que des relations binaires :



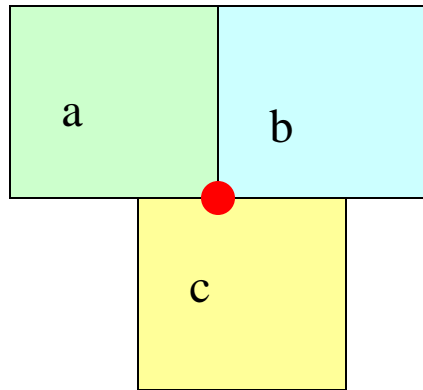
$$\begin{aligned} \left[\partial A \cap \partial B \neq \emptyset \right] &= 1 \\ \left[\partial A \cap \partial C \neq \emptyset \right] &= 1 \\ \left[\partial B \cap \partial C \neq \emptyset \right] &= 1 \\ \left[\partial A \cap \partial B \cap \partial C \neq \emptyset \right] &= 1 \end{aligned}$$



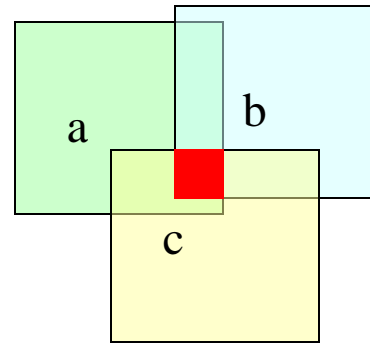
$$\begin{aligned} \left[\partial A \cap \partial B \neq \emptyset \right] &= 1 \\ \left[\partial A \cap \partial C \neq \emptyset \right] &= 1 \\ \left[\partial B \cap \partial C \neq \emptyset \right] &= 1 \\ \left[\partial A \cap \partial B \cap \partial C \neq \emptyset \right] &= 0 \end{aligned}$$

Représentation des objets et leurs relations topologiques

Relations ternaires avec DE-9IM :



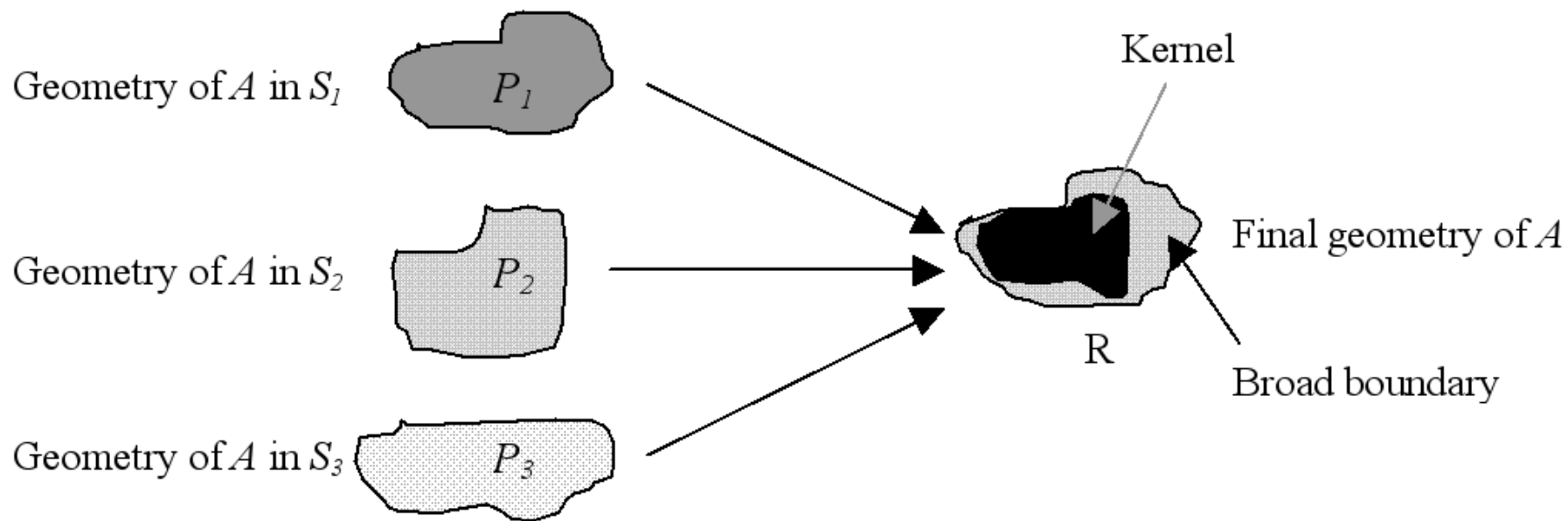
$$\left[\begin{array}{l} \dim(B(a) \cap (B(b) \\ \cap (B(c))) \end{array} \right] = 0D$$



$$\left[\begin{array}{l} \dim(I(a) \cap (I(b) \cap \\ (I(c))) \end{array} \right] = 2D$$

Objets incertains

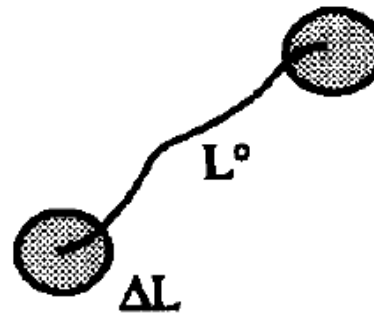
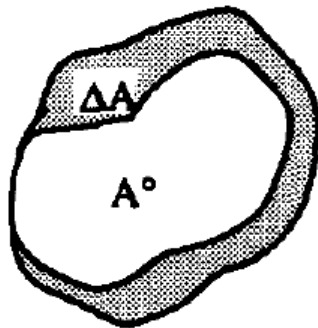
(Bejaoui, Thèse, 2009)



Objets incertains

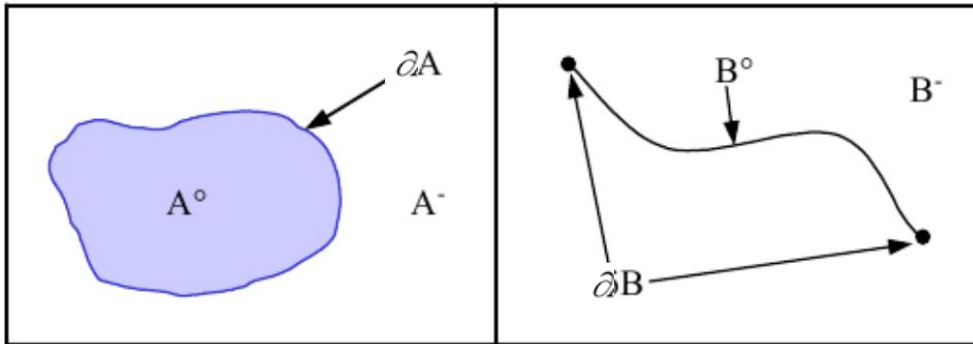
(Clementini et al.,
IJAR, 1997)

Objets incertains: les frontières larges



Objets incertains

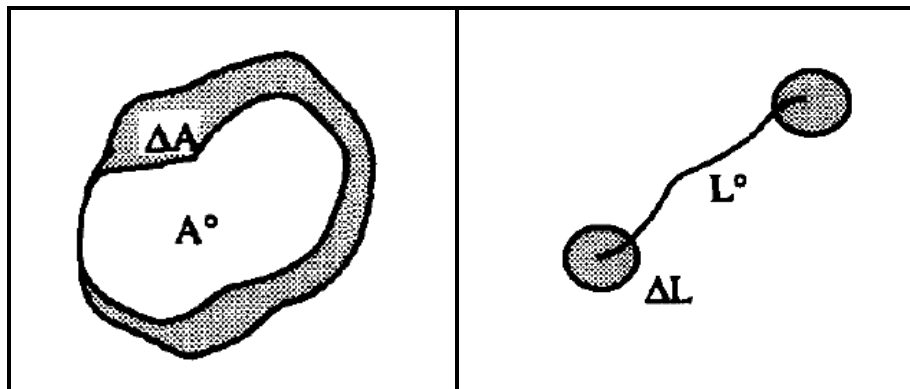
9IM avec les frontières certaines :



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

(Clementini et al., IJAR, 1997)

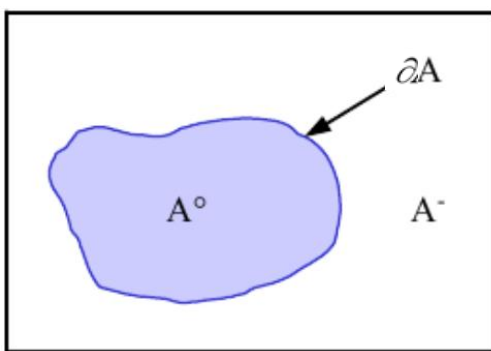
9IM avec les frontières larges :



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

Objets incertains

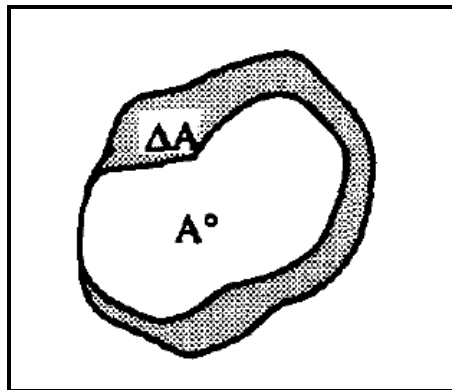
9IM avec les frontières certaines :



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

8 relations entre 2 régions simples certaines

9IM avec les frontières larges :



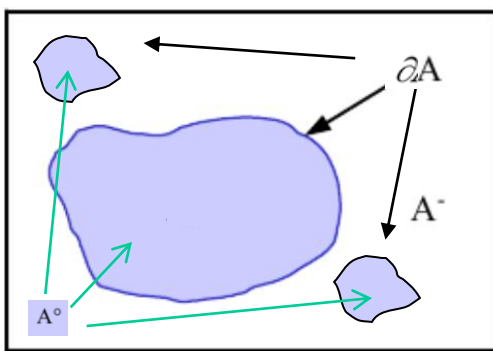
$$M = \begin{pmatrix} A^{\circ} \cap B^{\circ} & A^{\circ} \cap \Delta B & A^{\circ} \cap B^{-} \\ \Delta A \cap B^{\circ} & \Delta A \cap \Delta B & \Delta A \cap B^{-} \\ A^{-} \cap B^{\circ} & A^{-} \cap \Delta B & A^{-} \cap B^{-} \end{pmatrix}$$

(Clementini & Di Felice, 2001)

44 relations entre 2 régions simples incertaines

Objets incertains

9IM avec les frontières certaines :

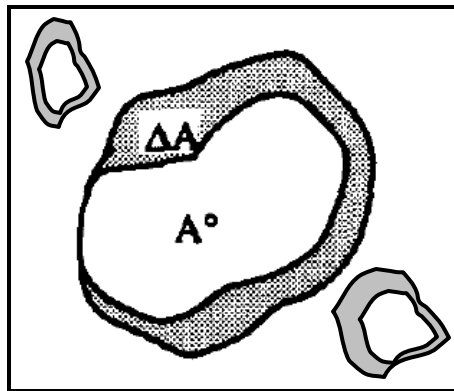


(Duboisset, Thèse,
2007)

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

16 relations entre 2 régions
composites certaines

9IM avec les frontières larges :



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

56 relations entre 2 régions
composites incertaines

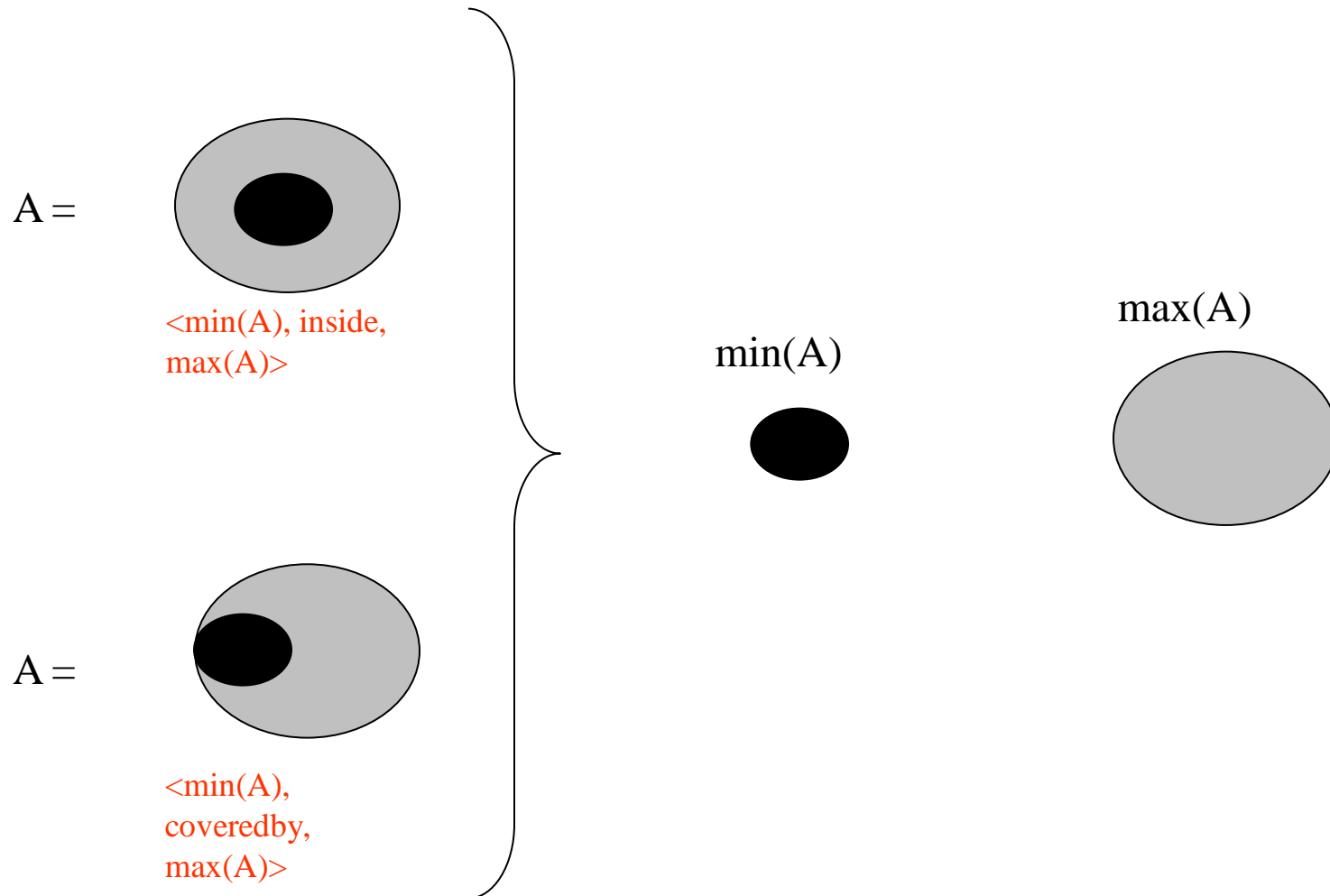
Objets incertains

Regroupement des matrices

- *coversWithBoundary* (cases 7, 8, 12, 13): $\begin{pmatrix} 0 & \delta & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & \delta & 1 \end{pmatrix}$;
- *boundaryOverlap* (cases 14, 15, 16, 17): $\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & \delta \\ 0 & \delta & 1 \end{pmatrix}$;
- *stronglyOverlap* (cases 23, 24, 25, 26): $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & \delta \\ 0 & \delta & 1 \end{pmatrix}$;
- *equal* (case 41) and *nearlyEqual* (cases 42, 43, 44): $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \delta \\ 0 & \delta & 1 \end{pmatrix}$;
- *coveredBy* (case 27) and *nearlyCoveredBy* (cases 19, 20, 28): $\begin{pmatrix} 1 & \delta & 0 \\ 1 & 1 & \delta \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$;
- *nearlyFill* (cases 29, 30, 31, 32): $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & \delta \\ 0 & \delta & 1 \end{pmatrix}$;
- *inside* (case 39);
- *covers* (case 33) and *nearlyCovers* (cases 21, 22, 34): $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \delta & 1 & 1 \\ 0 & \delta & 1 \end{pmatrix}$;
- *nearlyFilledBy* (cases 35, 36, 37, 38): $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & \delta \\ 0 & \delta & 1 \end{pmatrix}$;
- *contains* (case 40).

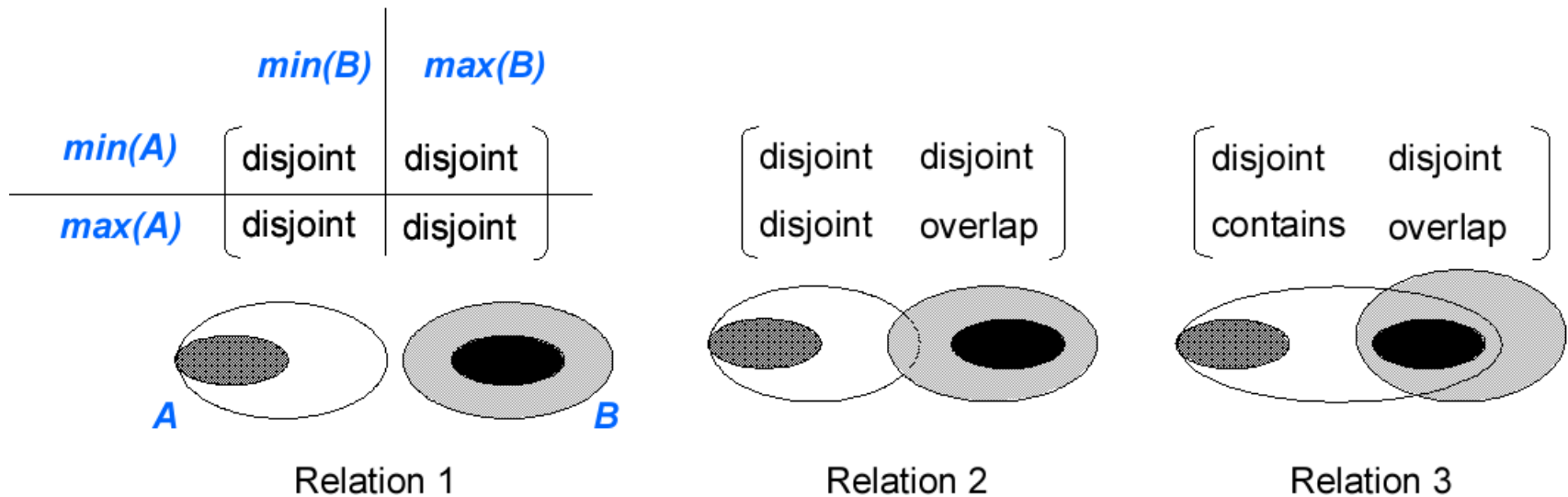
(Bejaoui et al., IJGIS, 2009,
Geoinformatica 2010, ER 2008;
Thèse 2009)

Nouvelle approche plus facilement implémentable dans un SGBD



Représentation des objets et leurs relations topologiques

Nouvelle approche plus facilement implémentable dans un SGBD



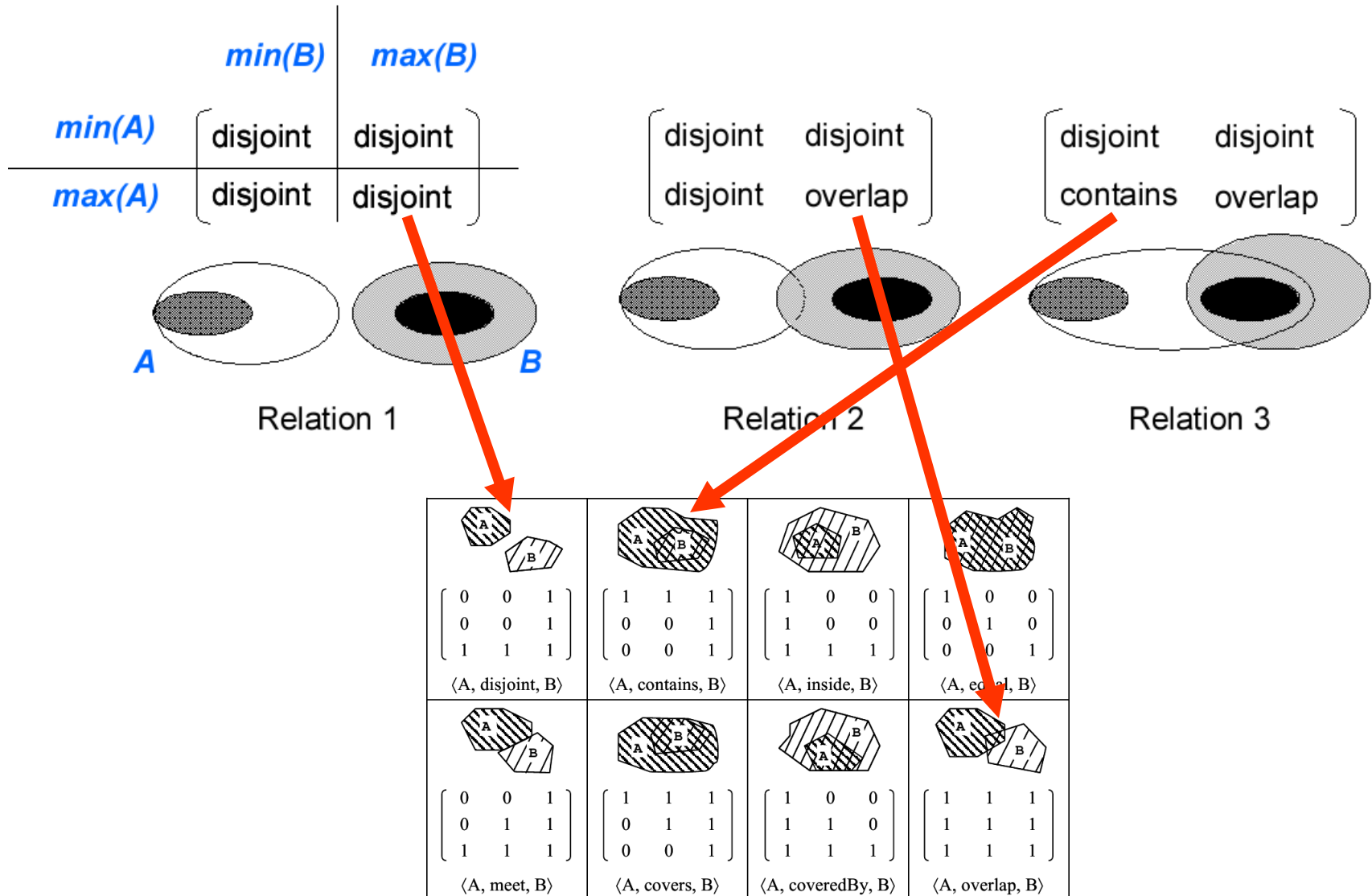
Plus facilement implémentable car :

- $min(A)$, $max(B)$, $min(B)$, $max(B)$ sont des régions simples
- la matrice n'indique que des relations entre régions simples

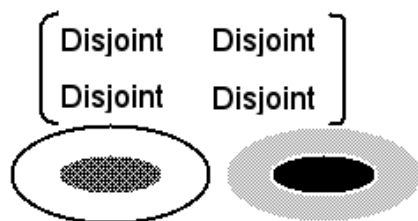
ET

Représentation des objets et leurs relations topologiques

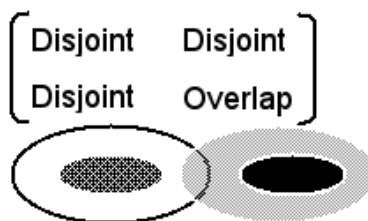
Nouvelle approche plus facilement implémentable dans un SGBD



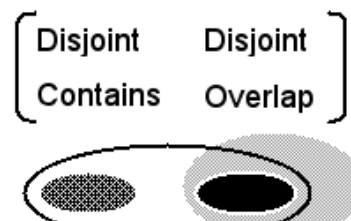
Représentation des objets et leurs relations topologiques



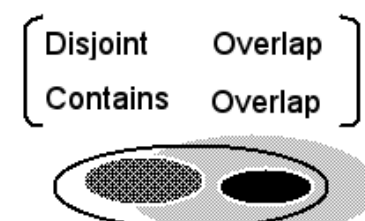
Completely disjoint



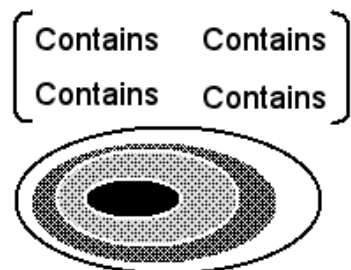
Strongly disjoint



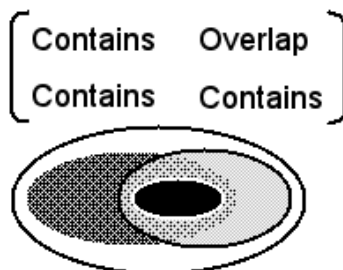
Fairly disjoint



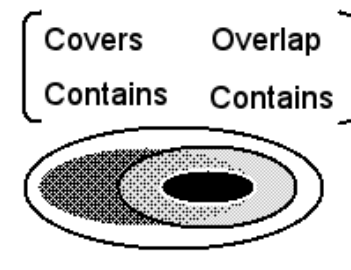
Weakly disjoint



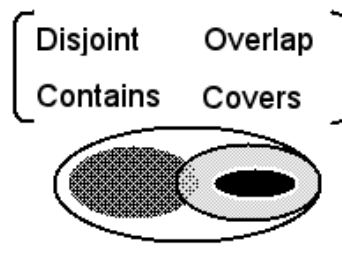
Completely contains



Strongly contains



Fairly contains



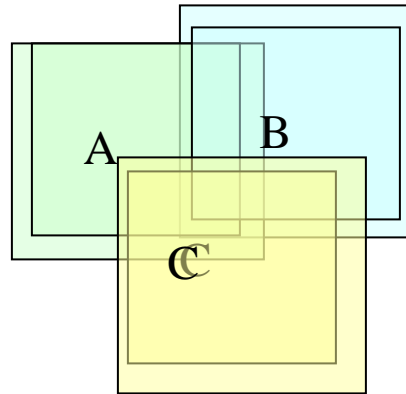
Weakly contains

Regroupement des relations

Objets incertains

Et l'incertitude dans les cas plus compliqués ?

DE-9IM, relations ternaires, etc.



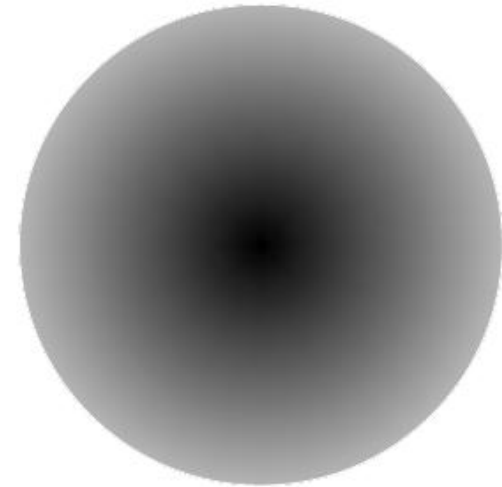
Objets incertains

(Dilo, Thèse, 2006)

(Schneider, STDB 2004)



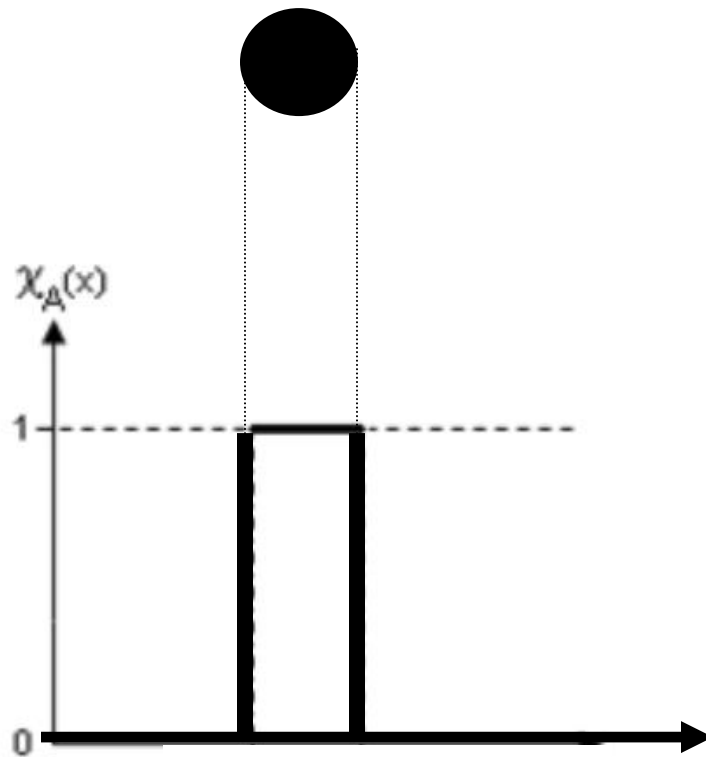
Une ligne incertaine



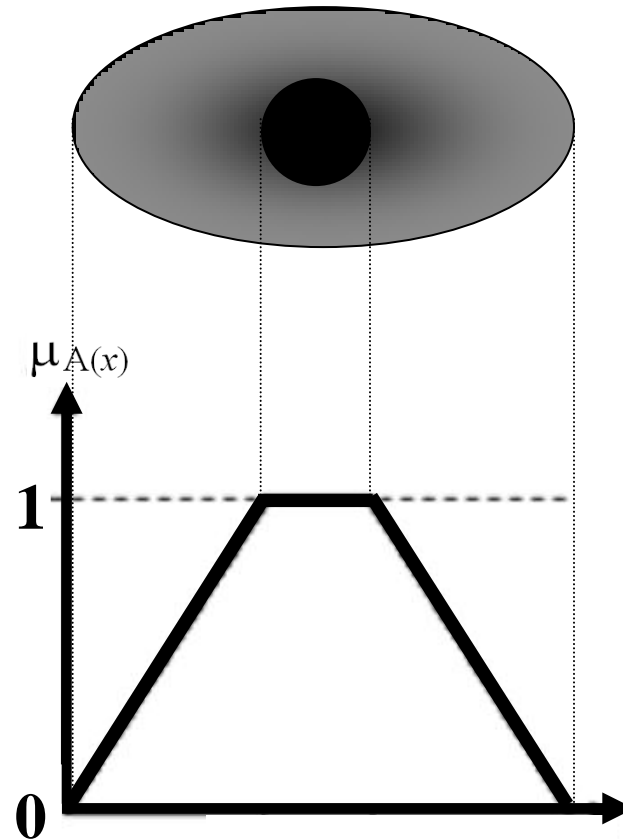
Une région incertaine

Objets incertains

Objets incertains: l'approche floue



Ensemble classique



Ensemble flou

(Dilo, Thèse, 2006)

(Schneider, STDB 2004)

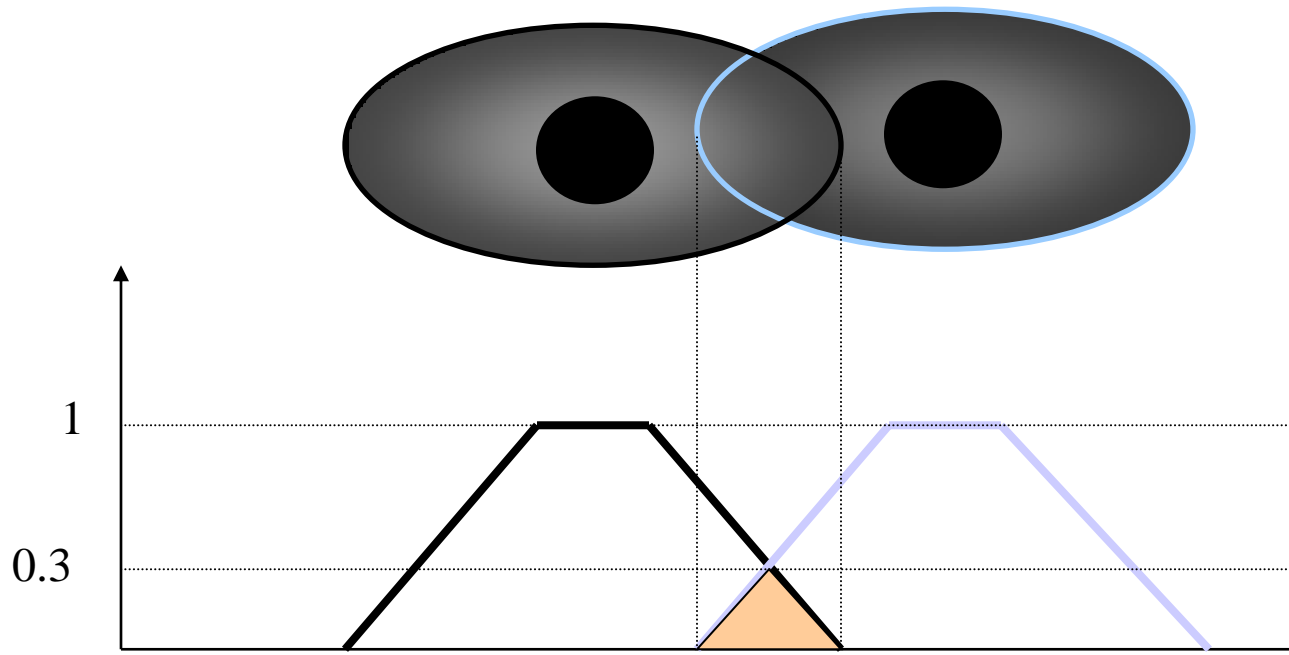
(Bejaoui, Thèse, 2009)

(Carette Valérie, 2008)

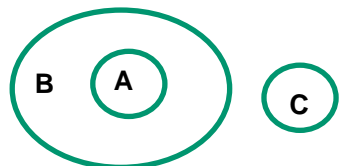
Objets incertains

Relation topologique sur les objets spatiaux flous

$$Disjoint(\mu, \nu) = 1 - \sup_{p \in \mathbb{R}^2} \{(\mu \sqcap \nu)(p)\}$$



$$Disjoint(\mu, \nu) = 1 - 0.3 = 0.7$$



Le polygone A est dans le polygone B. Le polygone B est disjoint du polygone C. Quel est la relation topologique entre A et C ?



Donnons une réponse claire et rigoureuse.

Données :

- Le polygone **A** est **dans** le polygone **B** → donc $A \subset B$ (A est entièrement contenu dans B).
- Le polygone **B** est **disjoint** du polygone **C** → donc $B \cap C = \emptyset$ (ils n'ont aucun point en commun).

Déduction :

Puisque A est inclus dans B, et que B est **disjoint** de C, alors **A**, étant entièrement à l'intérieur de B, **ne peut pas avoir de point en commun avec C**.

Conclusion :

La relation topologique entre **A** et **C** est également **disjointe**.

Formulation :

A est disjoint de C, c'est-à-dire :

$$A \cap C = \emptyset.$$

Souhaites-tu une illustration ou une représentation mathématique plus formelle (par exemple avec les matrices 9-intersections) ?

Relations topologiques et ChatGPT

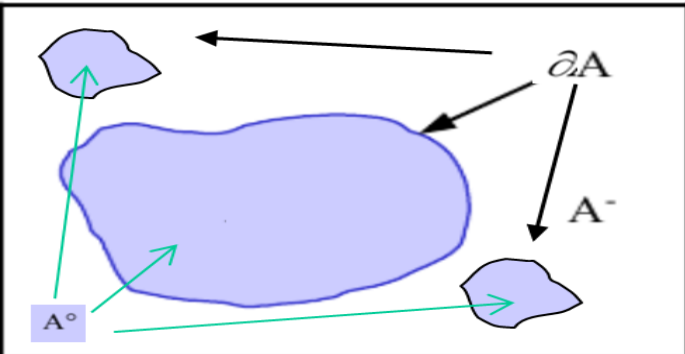
Dans une matrice 9-IM, est-ce que les intersections suivantes sont valides, si O et P sont deux polygones sans trou. $\text{Int}(O) \cap \text{Int}(P) \neq \emptyset$; $\text{Int}(O) \cap \text{Bd}(P) = \emptyset$; $\text{Int}(O) \cap \text{Ext}(P) \neq \emptyset$; $\text{Bd}(O) \cap \text{Int}(P) = \emptyset$; $\text{Bd}(O) \cap \text{Bd}(P) \neq \emptyset$; $\text{Bd}(O) \cap \text{Ext}(P) \neq \emptyset$; $\text{Ext}(O) \cap \text{Int}(P) \neq \emptyset$; $\text{Ext}(O) \cap \text{Bd}(P) \neq \emptyset$; $\text{Ext}(O) \cap \text{Ext}(P) \neq \emptyset$

Conclusion

Non, la configuration des intersections que tu proposes **n'est pas topologiquement valide** pour deux **polygones sans trou**.

Elle enfreint la cohérence spatiale des polygones dans le modèle 9-IM :

Si les **intérieurs se chevauchent**, il est pratiquement **impossible** que leurs frontières **n'intersectent pas** l'intérieur de l'autre (sauf dans des cas très particuliers qui ne s'appliquent pas ici, car les objets sont supposés être **fermés et sans trou**).



U et T sont deux ensembles de polygones sans trou. Est-il possible d'utiliser les matrices 9-IM pour représenter les relations topologiques entre ces deux ensembles ?

Très bonne question — et elle touche à une **limite importante** du modèle des **9-intersections (9-IM)**.

? Problème posé :

Tu demandes si on peut utiliser les matrices **9-IM**, conçues pour deux **objets géométriques simples**, pour exprimer des relations **entre deux ensembles de polygones sans trou** (donc :

- U = ensemble de polygones $\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$
- T = ensemble de polygones $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$.

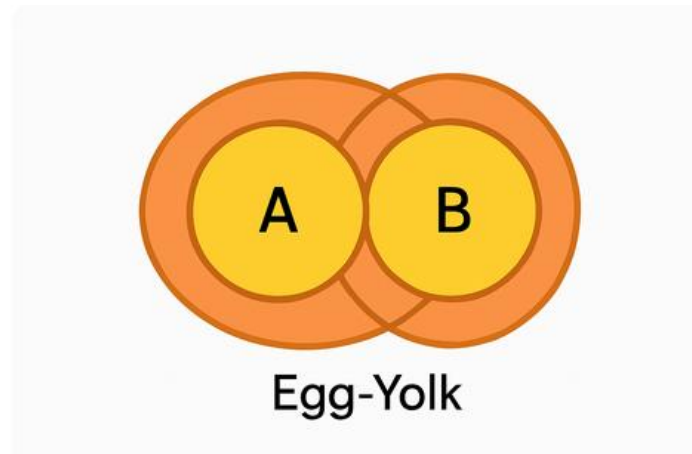
🧩 Réponse courte :

Non, les matrices 9-IM **ne s'appliquent pas directement à des ensembles d'objets multiples**. Elles sont conçues pour **deux entités géométriques simples à la fois** (lignes, points, polygones...).



Peut-on adapter les matrices 9-IM aux objets à frontières larges ?

- Propose différents modèles (dont le modèle à frontières larges)
- Dessine une matrice d'un exemple qu'il propose



Mais dessine n'importe quoi quand on lui demande de dessiner une matrice que l'on choisit !

est-il possible d'adapter le modèle 9IM, à 3 polygones, c'est-à-dire qu'une matrice représentera une relation topologique entre 3 polygones ?

♦ 2. Ce qu'on peut faire :

✓ a) Décomposer en relations binaires

- Appliquer 9-IM à **chaque paire** :
 - $9\text{-IM}(A, B)$
 - $9\text{-IM}(A, C)$
 - $9\text{-IM}(B, C)$
- Tu obtiens **trois matrices**, qui ensemble décrivent la configuration topologique globale.

✚ **Limite** : tu ne captures **pas les interactions conjointes** (comme "A chevauche l'intersection de B et C").

✓ b) Étendre vers un modèle n-aire

- Quelques travaux de recherche proposent de généraliser 9-IM en "**hypercube d'intersections**" ou en "**tensorisation**" :
 - On évalue les **intersections multiples** :
 $\text{Int}(A) \cap \text{Int}(B) \cap \text{Bd}(C)$, etc.
 - Cela mène à une structure **27-IM** pour 3 objets ($3 \times 3 \times 3$).