Modélisation floue de relations spatiales - Application à la reconnaissance de structures dans les images

Isabelle Bloch
Isabelle.Bloch@enst.fr

http://www.tsi.enst.fr/~bloch

ENST - CNRS UMR 5141 LTCI

Motivation : reconnaissance à partir de modèles et raisonnement spatial

- Représentation de l'imprécision
- Relations spatiales : information structurelle importante
  - relations topologiques (relations ensemblistes, adjacence)
  - distances
  - direction relative
  - relations plus complexes : entre, le long de...
- Deux types de relations :
  - définition précise dans le cas où les objets sont précis (adjacence, distance)
  - notion intrinsèquement vague (relation directionnelle, relations complexes telles que "entre" ou "le long de")
- Fusion d'informations hétérogènes

Motivation : reconnaissance à partir de modèles et raisonnement spatial

- Représentation de l'imprécision
- Relations spatiales : information structurelle importante
  - relations topologiques (relations ensemblistes, adjacence)
  - distances
  - direction relative
  - relations plus complexes : entre, le long de...
- Deux types de relations :
  - définition précise dans le cas où les objets sont précis (adjacence, distance)
  - notion intrinsèquement vague (relation directionnelle, relations complexes telles que "entre" ou "le long de")
- Fusion d'informations hétérogènes

$\Rightarrow$ Théorie des ensembles flous, morphologie mathématique

Imprécision et flou

- Objets (absence de contours nets, segmentation grossière...)
- Relations (ex : *à gauche de, assez proche de*)
- Type de connaissance disponible (ex : *le noyau caudé est proche du ventricule latéral*)
- Question posée (ex : *aller vers cet objet en restant à une certaine distance de sécurité*)

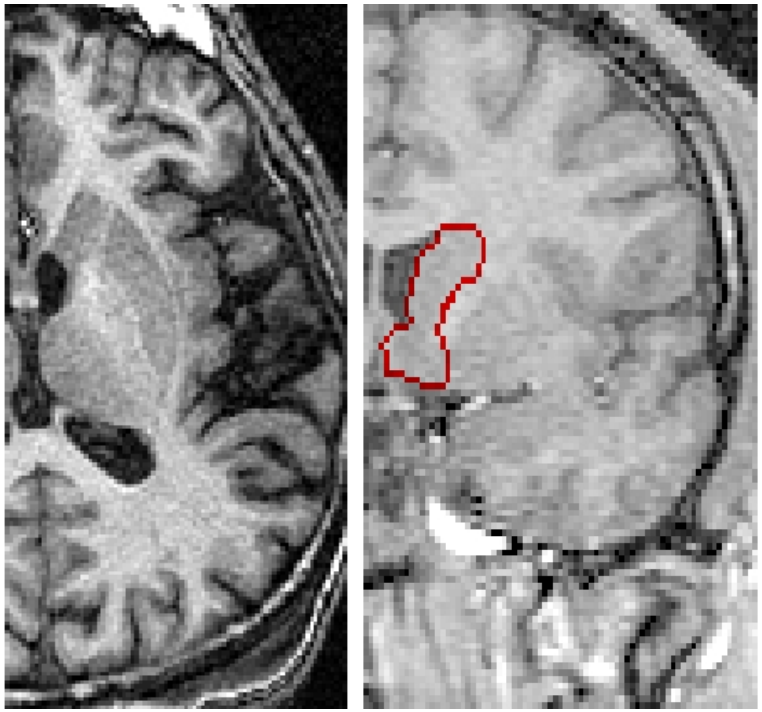
Raisonnement spatial sous imprécision

Représentation de connaissances et raisonnement sur des entités spatiales et sur des relations spatiales

- Largement développé en IA
  - relations topologiques surtout
  - logiques formelles (ex : méréotopologie)
  - inférence
- Moins développé en interprétation d'images
  - besoin de représentation de connaissances imprécises
  - cadre (semi-)quantitatif ($\Rightarrow$ évaluation numérique)
  - exemples : reconnaissance structurelle dans les images sous imprécision

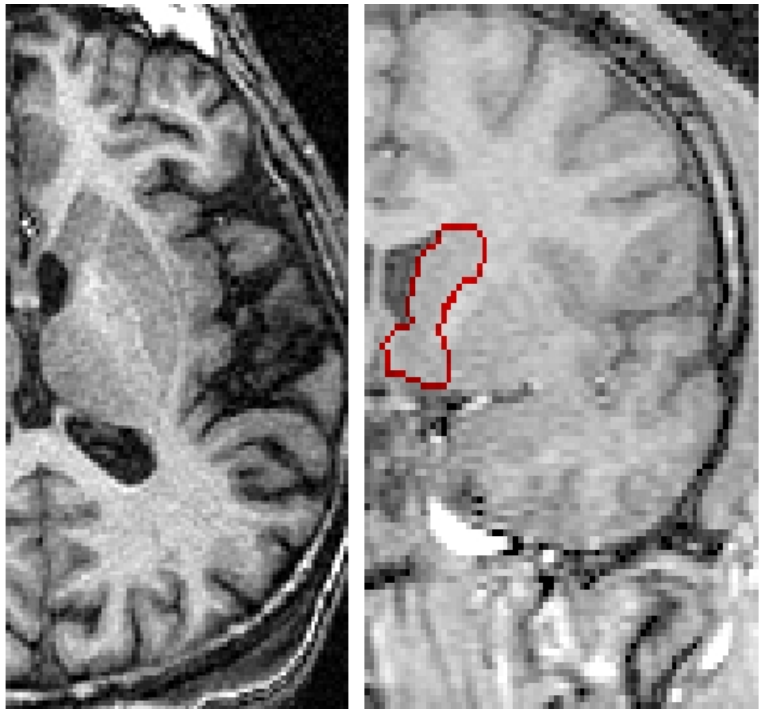
Segmentation et reconnaissance de structures cérébrales

- De nombreuses applications : planification chirurgicale, aide au diagnostic, suivi du patient et des pathologies, morphométrie, support aux études fonctionnelles, modèles individuels...
- Difficulté de l'analyse automatique des images IRM
- Connaissances structurelles



Segmentation et reconnaissance de structures cérébrales

- De nombreuses applications : planification chirurgicale, aide au diagnostic, suivi du patient et des pathologies, morphométrie, support aux études fonctionnelles, modèles individuels...
- Difficulté de l'analyse automatique des images IRM
- Connaissances structurelles



Contributions :

- modélisation mathématique de relations spatiales
- combinaison de relations spatiales et de modèles déformables 3D

Représentation des connaissances anatomiques

- Relations spatiales
- Descriptions linguistiques
  - direction : *le thalamus est en dehors du troisième ventricule et en-dessous du ventricule latéral*
  - distance : *les ventricules latéraux sont loin de la surface du cerveau*
  - adjacence : *le thalamus est adjacent au troisième ventricule*
  - symétrie : *les structures homologues des deux hémisphères (par exemple les deux thalami) sont approximativement symétriques par rapport au plan inter-hémisphérique*
- Représentations floues (modélisation mathématique à partir d'outils de morphologie mathématique floue)
- Graphe hiérarchique synthétique attribué
- Ontologie

Connaissances anatomiques : exemple

[morphologie]

morphologie fonctionnel atlas animations vidéo reconstruction 3D liens

- embryologie
  - histologie
    - crâne
      - méninges
- moelle épinière
  - tronc cérébral
- nerfs crâniens
  - cervelet
    - cortex cérébral
- noyaux gris
  - substance blanche
- v3
  - v4
    - ventricules latéraux

auteur : D Hasboun
illustrations : H Fournié

Noyau caudé

Le noyau caudé est un noyaux gris central, en forme de **fer à cheval** ouvert en avant.
Il s'enroule **autour du thalamus**, repose sur sa face supérieure, puis descend en arrière du thalamus.

Il se continue en avant dans le lobe temporal. Il présente d'avant en arrière :

–une **tête** volumineuse située en dehors de la corne frontale du ventricule latéral

–un **corps** dont le volume diminue d'avant en arrière. Il repose sur le thalamus puis descend en arrière du pulvinar.

–la **queue** du noyau cadé chemine dans le lobe temporal, au–dessus de la corne temporale du ventricule latéral, dans la région sous lenticulaire.

Le noyau caudé constitue le **néostriatum** avec le putamen.

CHU ps Pitié - Salpêtrière

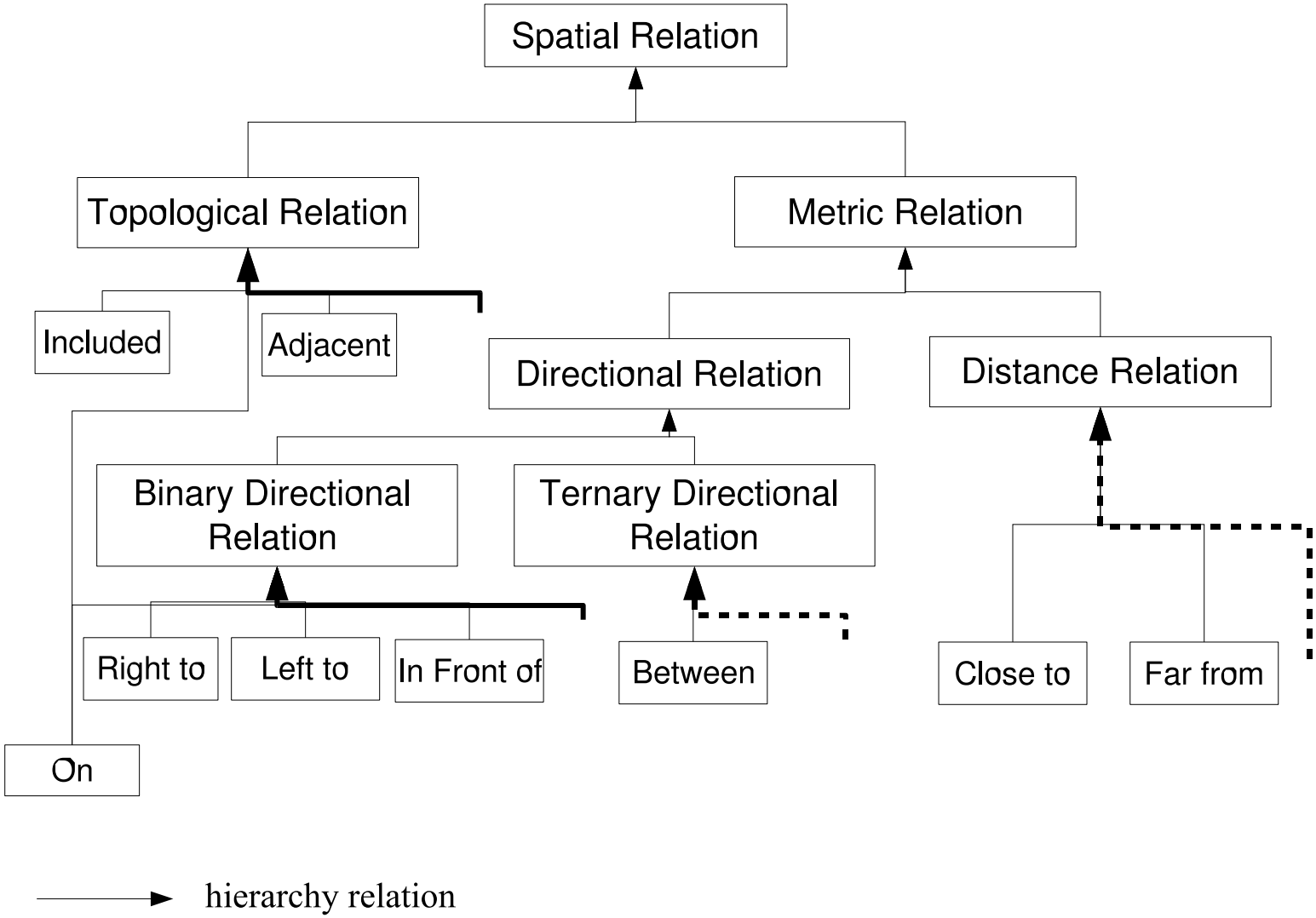
accueil - morphologie - fonctionnel - animations - vidéo - atlas - 3D - liens - préface - bibliographie - aide

© Neur@nat - 1998 - 2003 * Les illustrations et articles sont la propriété de leurs auteurs respectifs *

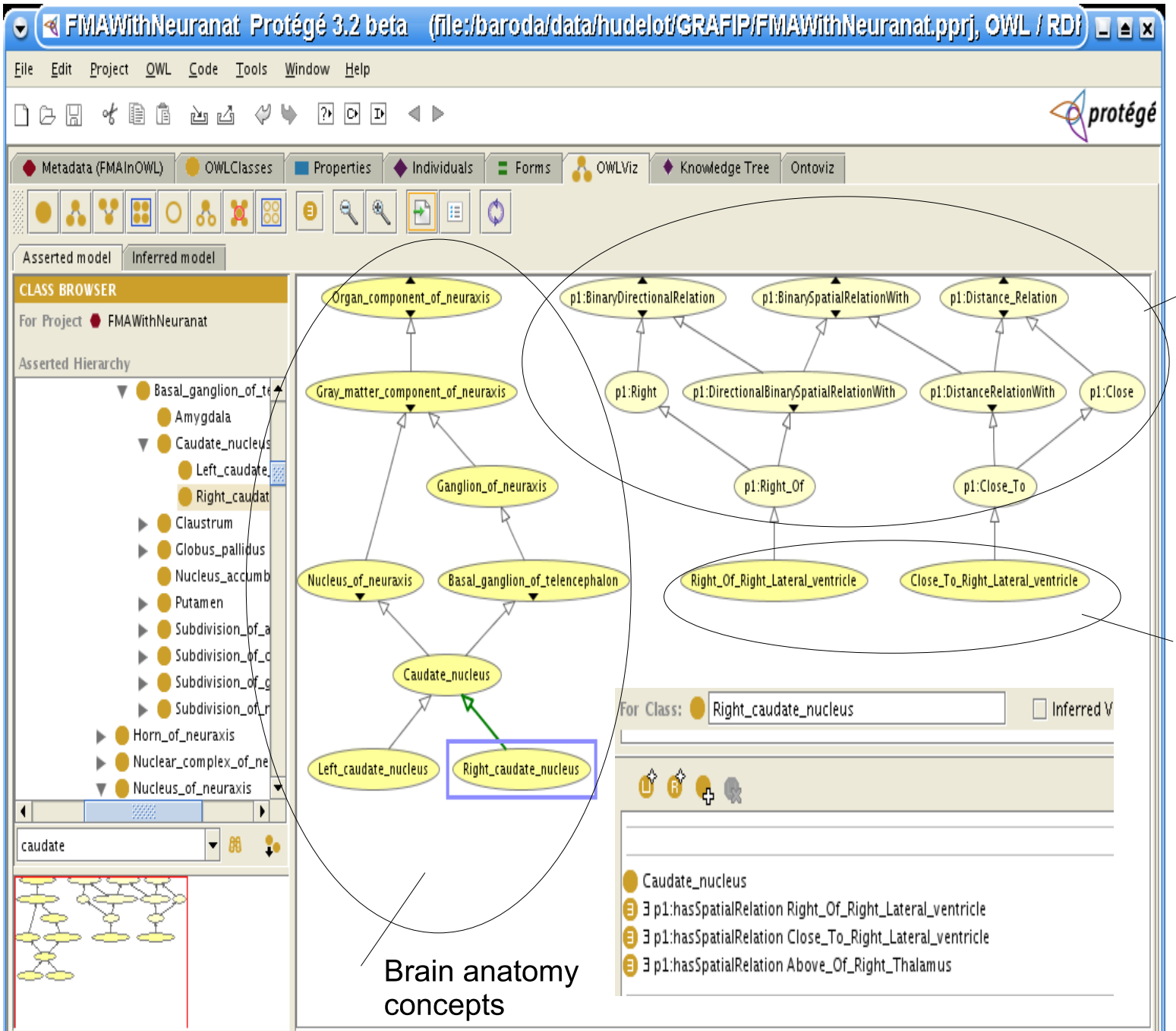
UNIVERSITE PIERRE & MARIE CURIE Excellence à Paris

http://www.chups.jussieu.fr/ext/neuranat (Dominique Hasboun, CHU La Pitié-Salpétrière)

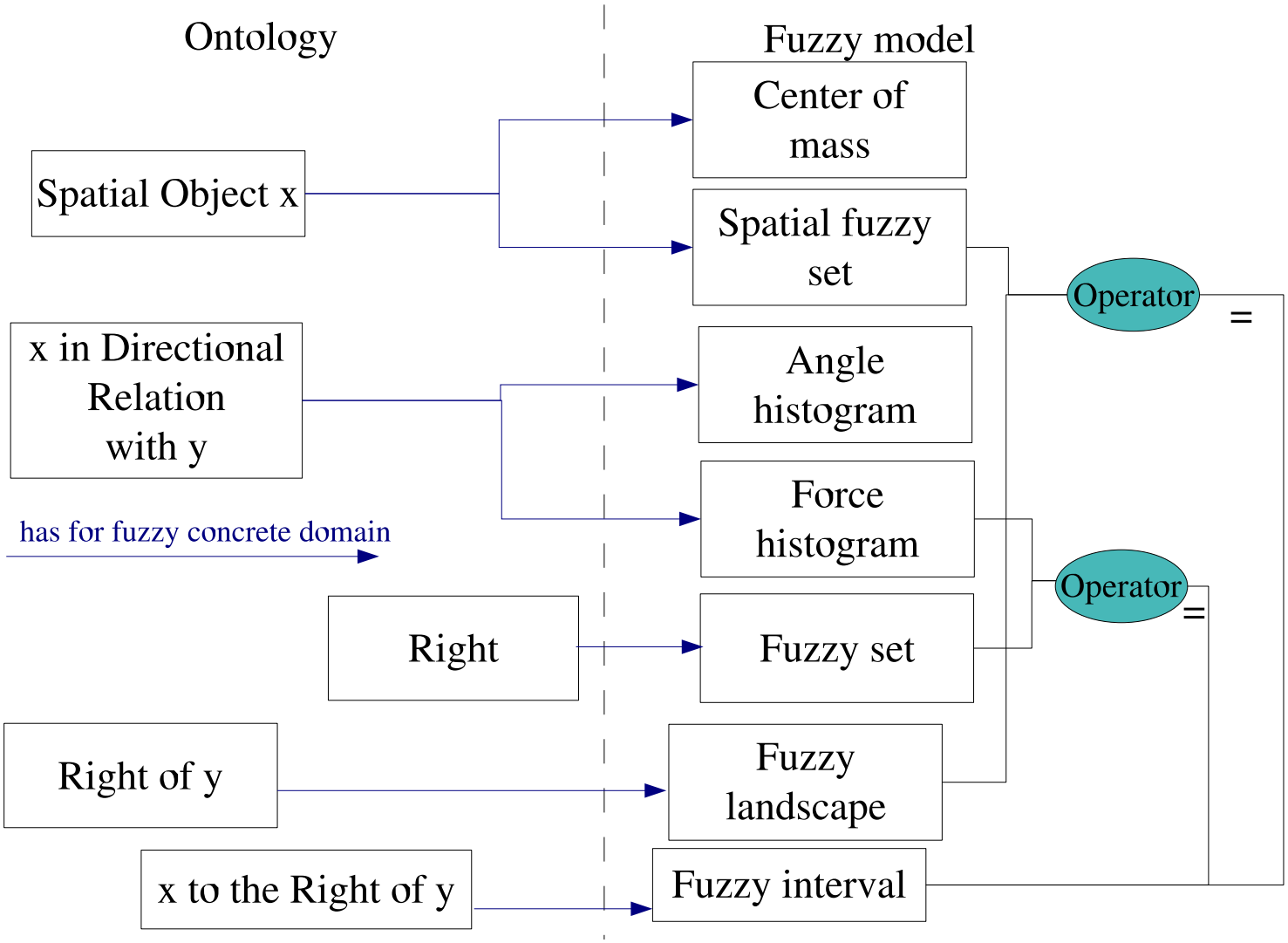
Ontologie de relations spatiales et FMA



Ontologie de relations spatiales et FMA

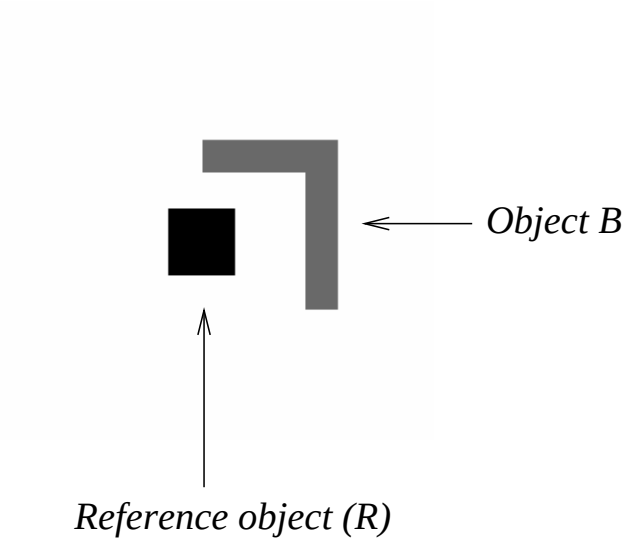


Ontologie enrichie par des modèles flous

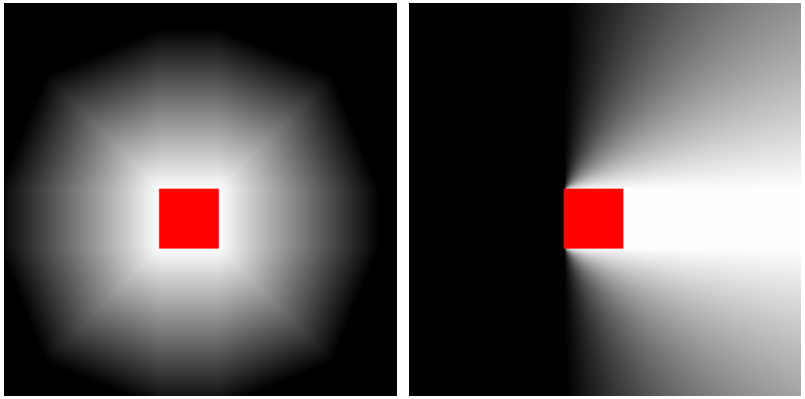


Deux questions essentielles en reconnaissance structurelle dans les images

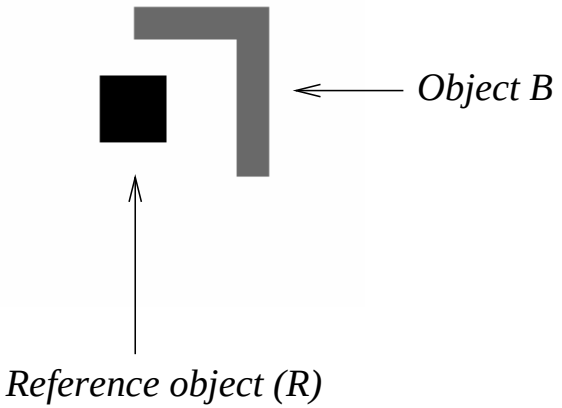
- Etant donnés deux objets (éventuellement flous), évaluer le degré avec lequel une relation est satisfaite

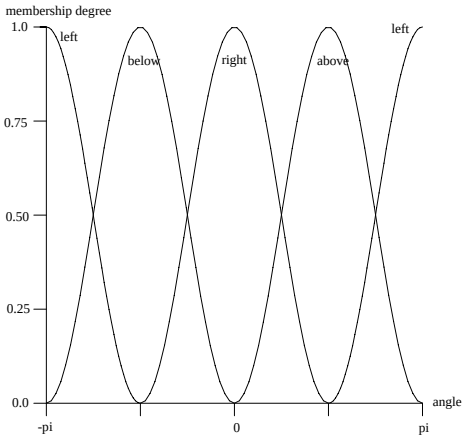


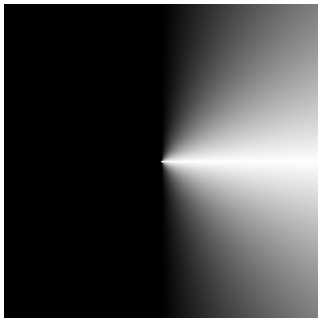
- Etant donné un objet de référence, définir la région de l'espace dans laquelle une relation à cette référence est satisfaite (avec un certain degré)

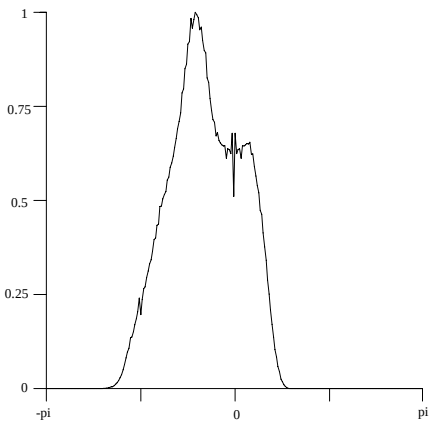


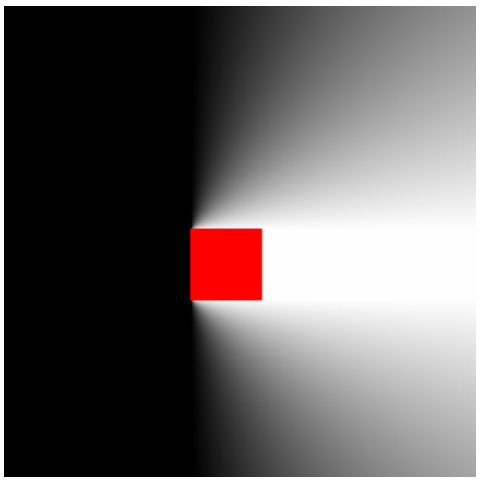
Représentations floues de relations spatiales : exemples





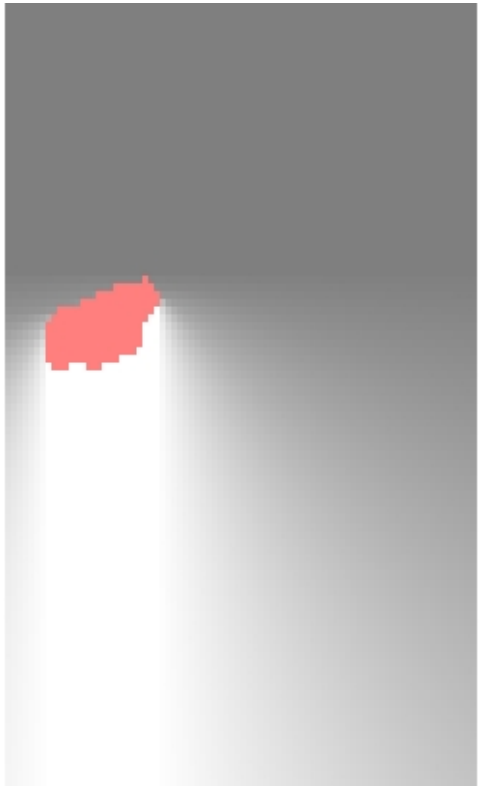






Exemples de représentations spatiales pour le cerveau

près du ventricule latéral



en-dessous du ventricule latéral

Formalisme mathématique : morphologie mathématique et ensembles flous

- Cadre algébrique
- Equivalents flous de notions ensemblistes et d'opérateurs algébriques
- Bonnes propriétés

- Dilatation (degré d'intersection) :

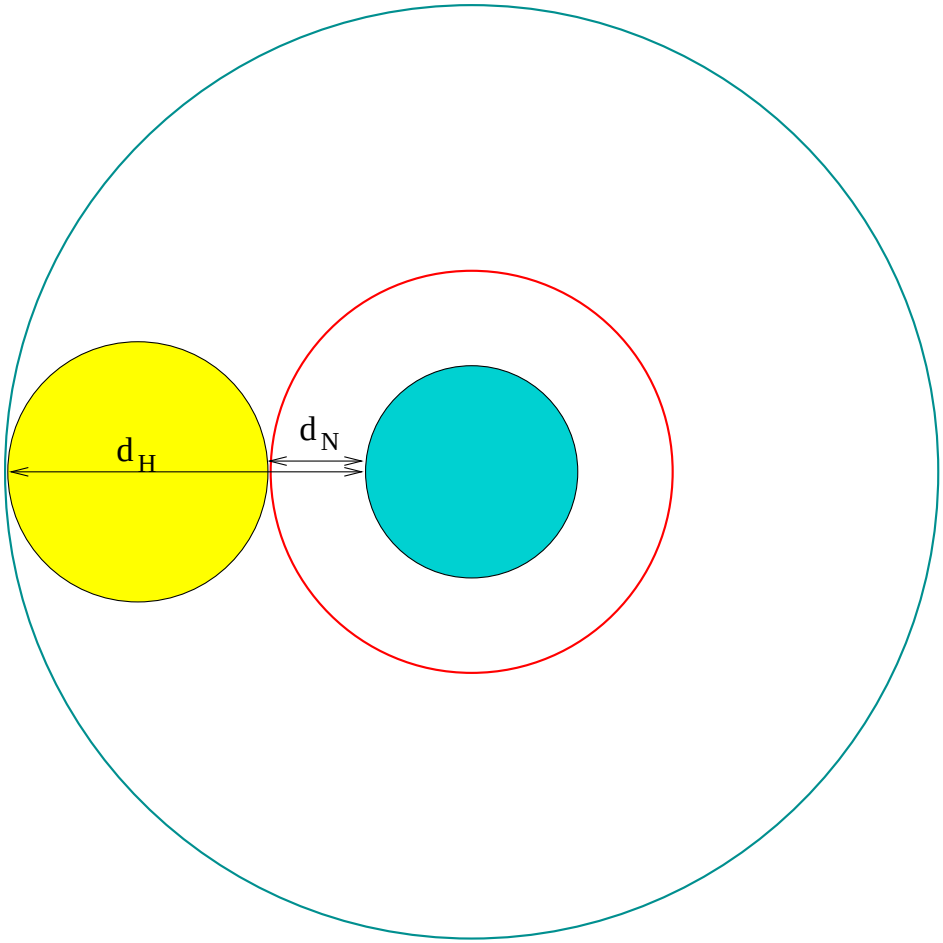
$$D_\nu(\mu)(x) = \sup\{\top[\nu(y-x), \mu(y)],\ y \in \mathcal{S}\}$$

- Erosion (degré d'inclusion) :

$$E_\nu(\mu)(x) = \inf\{\bot[c(\nu(y-x)), \mu(y)],\ y \in \mathcal{S}\}$$

Exemples : distances

Expression de distances (minimum, Hausdorff...) en termes morphologiques (i.e. algébriques) $\Rightarrow$ traduction aisée vers le cas flou



Distribution de distance minimum (point le plus proche)

$$d_N(X,Y) = \inf\{n \in \mathbb{N}, X \cap D^n(Y) \neq \emptyset\} = \inf\{n \in \mathbb{N}, Y \cap D^n(X) \neq \emptyset\}$$

Degré avec lequel la distance entre μ et μ' est inférieure à n (distribution de distance) :

$$\Delta_N(\mu,\mu')(n) = \sup_{x \in \mathcal{S}} \top[\mu(x), D^n_\nu(\mu')(x)]$$

Distance de Hausdorff : équations similaires

Densité de distance minimum (point le plus proche)

$$d_N(X,Y) = n \Leftrightarrow D^n(X) \cap Y \neq \emptyset \text{ et } D^{n-1}(X) \cap Y = \emptyset$$

$$d_N(X,Y) = 0 \Leftrightarrow X \cap Y \neq \emptyset$$

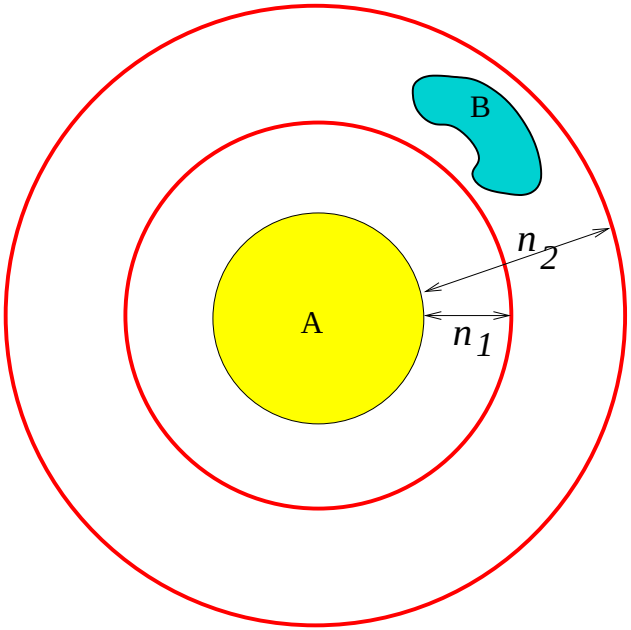
Degré avec lequel la distance entre μ et μ' est égale à n (densité de distance) :

$$\delta_N(\mu,\mu')(n) = \top[\sup_{x\in\mathcal{S}} \top[\mu'(x), D^n_\nu(\mu)(x)], c[\sup_{x\in\mathcal{S}} \top[\mu'(x), D^{n-1}_\nu(\mu)(x)]]]$$

$$\delta_N(\mu,\mu')(0) = \sup_{x\in\mathcal{S}} \top[\mu(x), \mu'(x)]$$

Distance de Hausdorff : équations similaires

Représentation spatiale de connaissances sur la distance



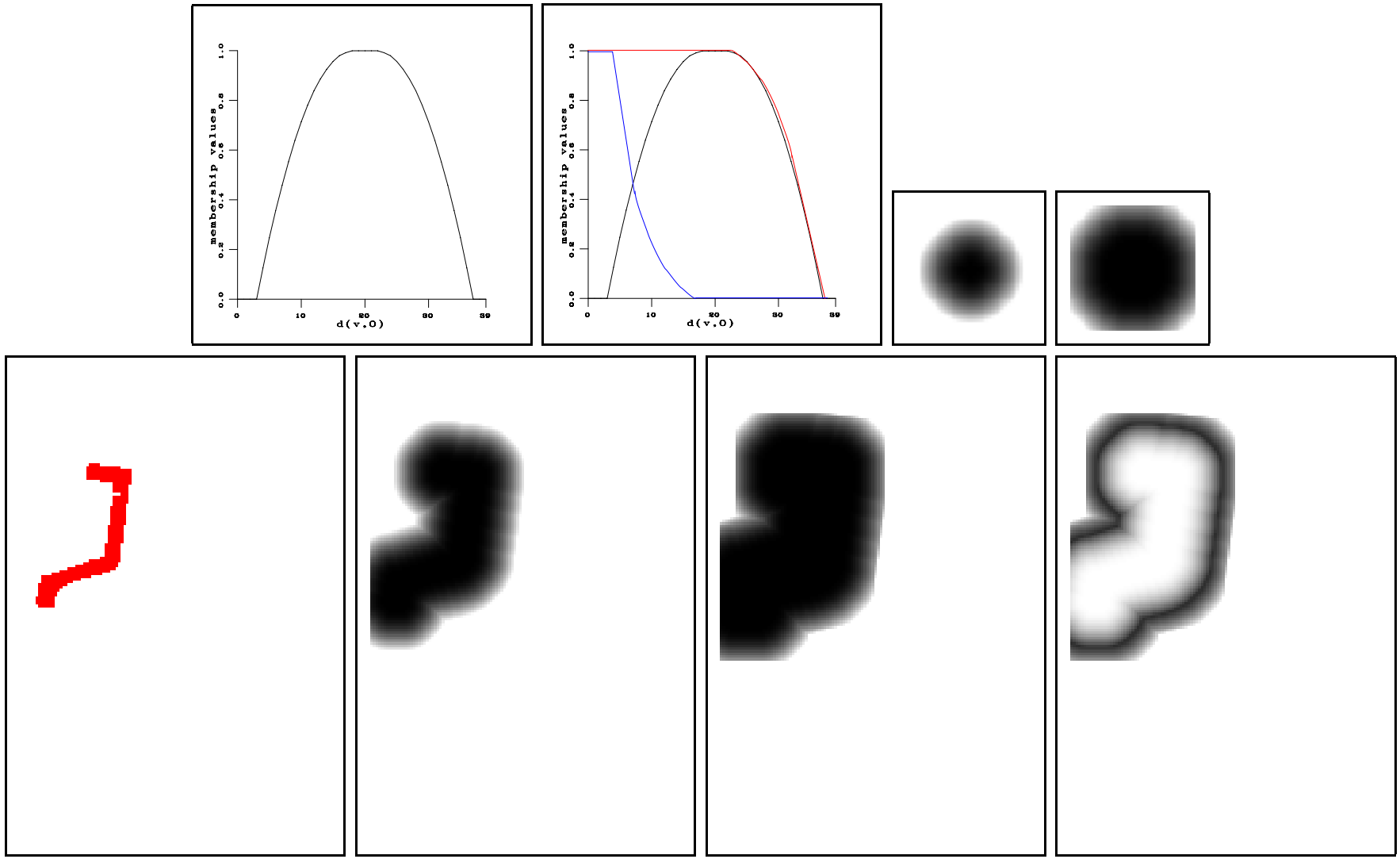
- Cas binaire : B doit à une distance comprise entre n_1 et n_2 de $A \Rightarrow$ région d'intérêt pour B : $D^{n_2}(A) \setminus D^{n_1-1}(A)$
- Cas flou : distance approximative donnée par un intervalle flou $\Rightarrow$ deux éléments structurants :

$\nu_1(x) = 1 - \mu_n(d_E(x,0))$ si $d_E(x,0) \leq n_1$, 0 sinon

$\nu_2(x) = 1$ si $d_E(x,0) \leq n_2$, $\mu_n(d_E(x,0))$ sinon

Région d'intérêt floue :
$\mu_{distance} = \top[D_{\nu_2}(\mu), 1 - D_{\nu_1}(\mu)]$

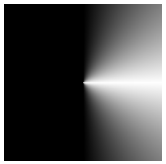
Représentation spatiale de connaissances sur la distance



Position relative directionnelle

- Région floue autour de R définie comme un ensemble flou tel que la valeur en chaque point corresponde au degré de satisfaction de la relation spatiale : dilatation par un élément structurant flou

$$\mu_\alpha(R) = D_\nu(\mu_R)$$

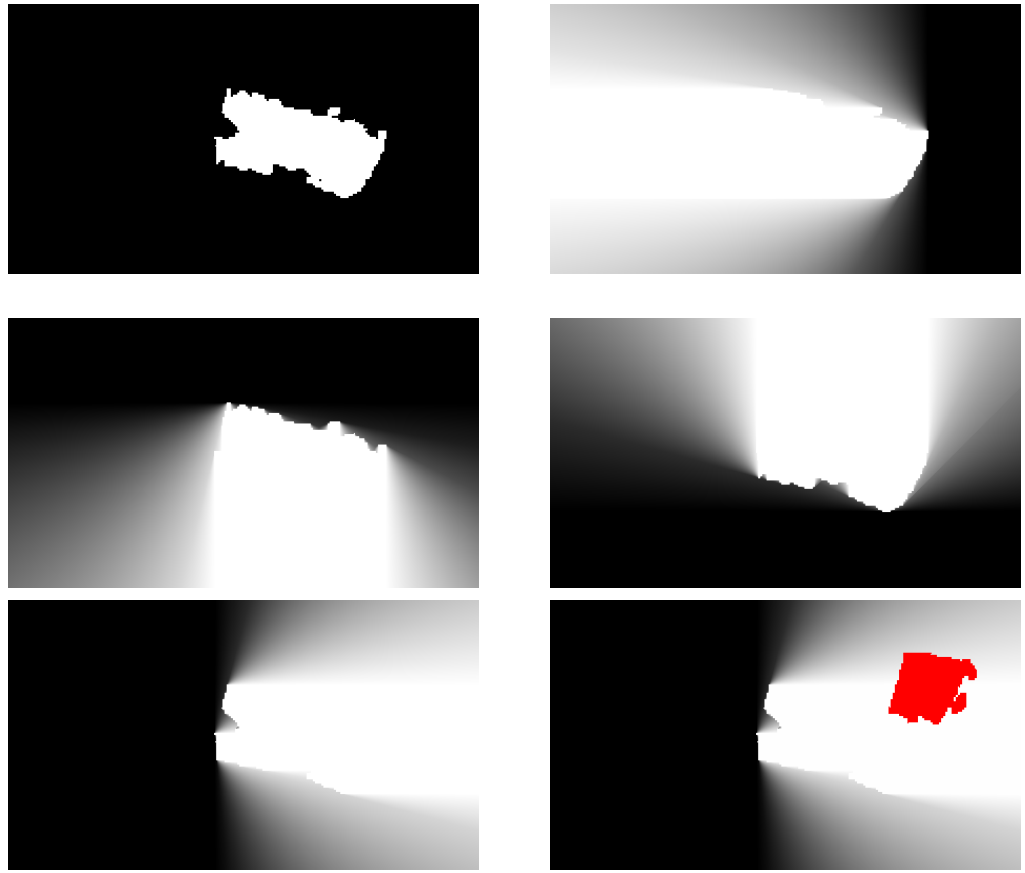


"à droite de"

- Evaluation de la relation de A à R par "pattern matching" flou (ou une valeur moyenne) :

$$\Pi_\alpha^R(A) = \sup_{x \in \mathcal{S}} t[\mu_\alpha(R)(x), \mu_A(x)] \quad N_\alpha^R(A) = \inf_{x \in \mathcal{S}} T[\mu_\alpha(R)(x), 1 - \mu_A(x)]$$

Position relative directionnelle : exemple

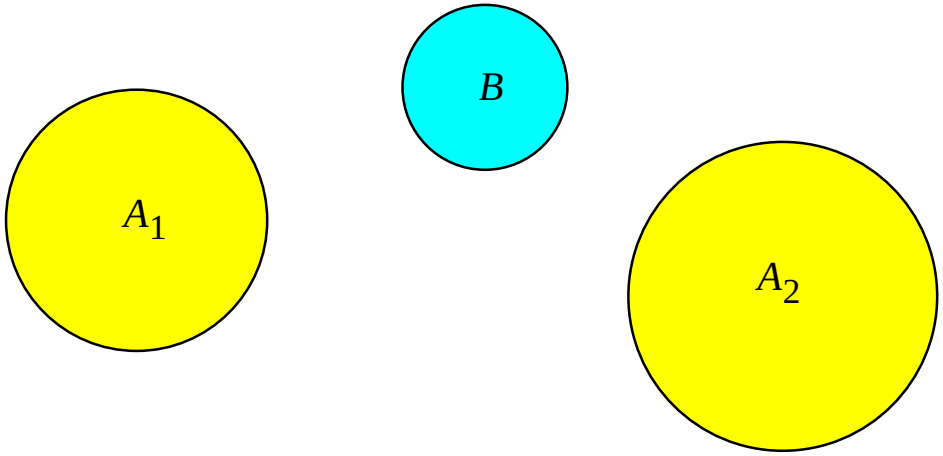


Un exemple de relation complexe : la relation "entre"

- Plusieurs acceptions
- Dépend du context et de la forme des objets (problème des concavités...)
- Intrinsèquement floue

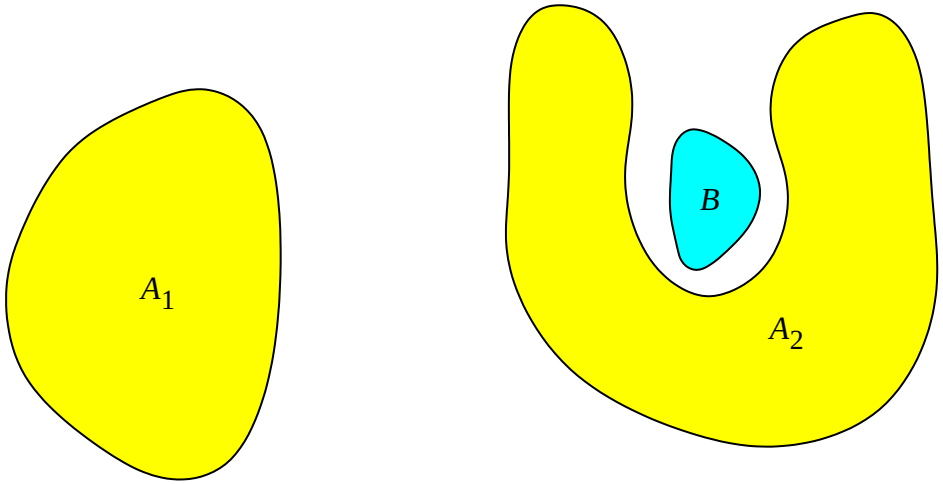
Un exemple de relation complexe : la relation "entre"

- Plusieurs acceptions
- Dépend du context et de la forme des objets (problème des concavités...)
- Intrinsèquement floue



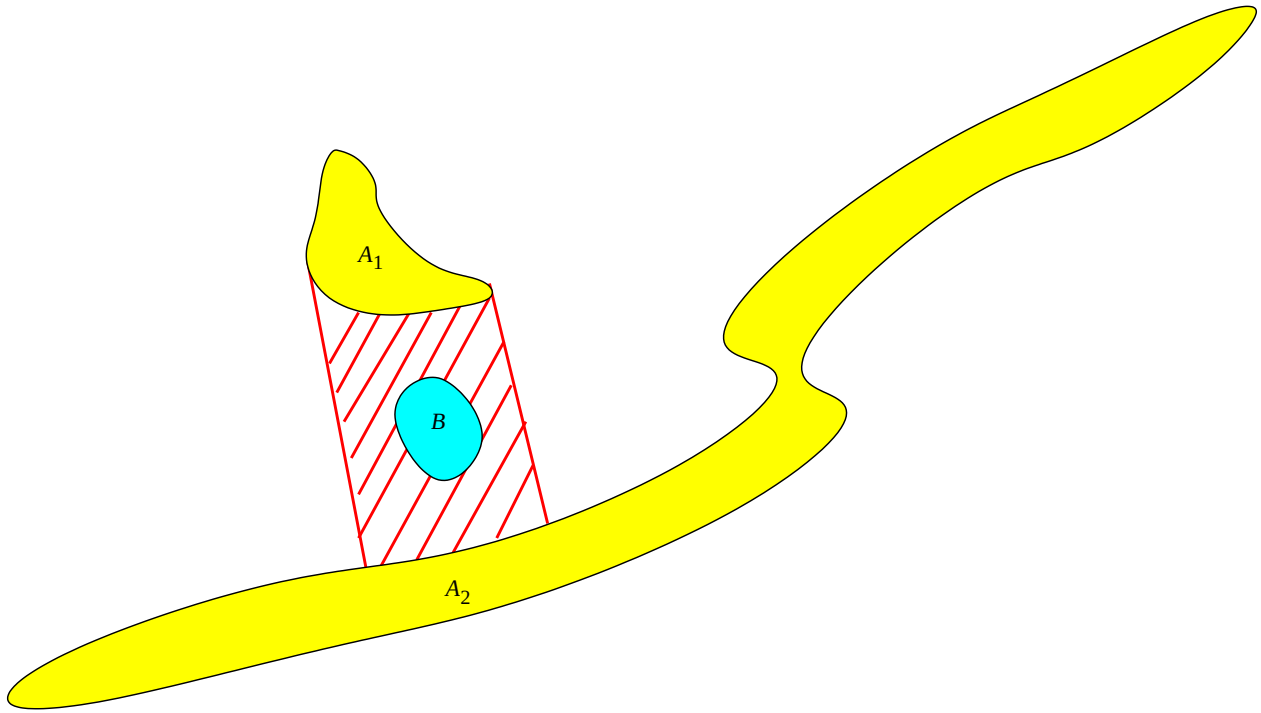
Un exemple de relation complexe : la relation "entre"

- Plusieurs acceptions
- Dépend du context et de la forme des objets (problème des concavités...)
- Intrinsèquement floue



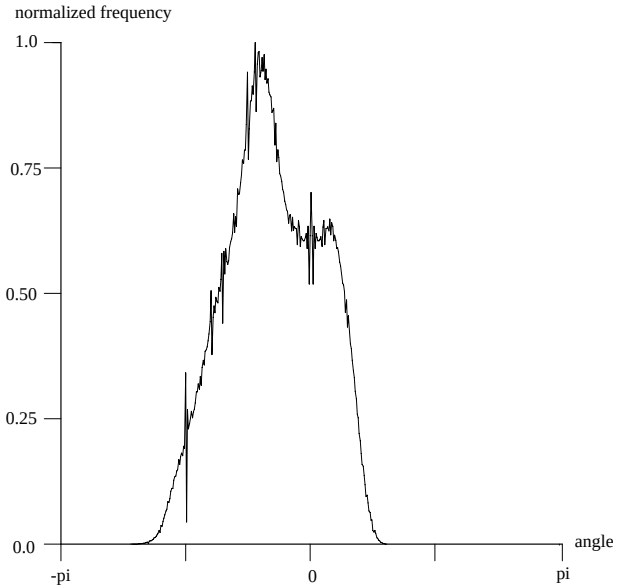
Un exemple de relation complexe : la relation "entre"

- Plusieurs acceptions
- Dépend du context et de la forme des objets (problème des concavités...)
- Intrinsèquement floue



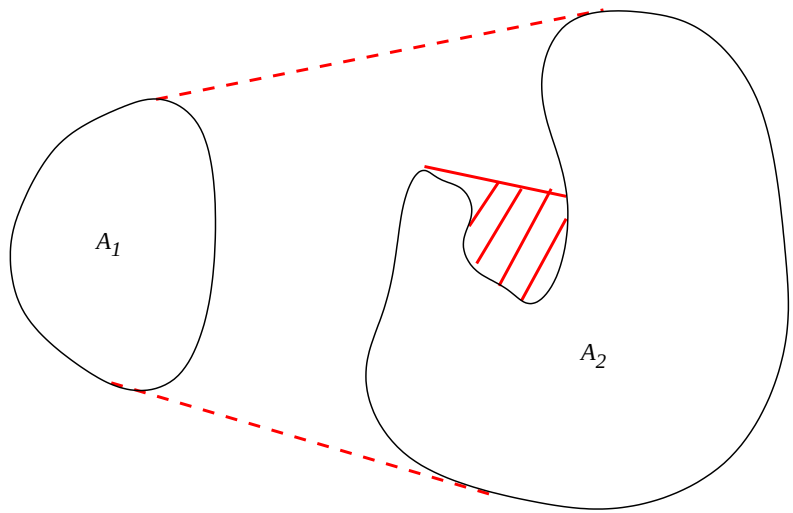
Approches proposées

Dilatation floue à partir de l'histogramme d'angles



Approches proposées

Visibilité et segments admissibles



$]x_1, x_2[$ ($x_1 \in A_1$ et $x_2 \in A_2$) admissible : inclus dans $A_1^C \cap A_2^C$

Région entre A_1 et A_2 = réunion des segments admissibles

Approches proposées

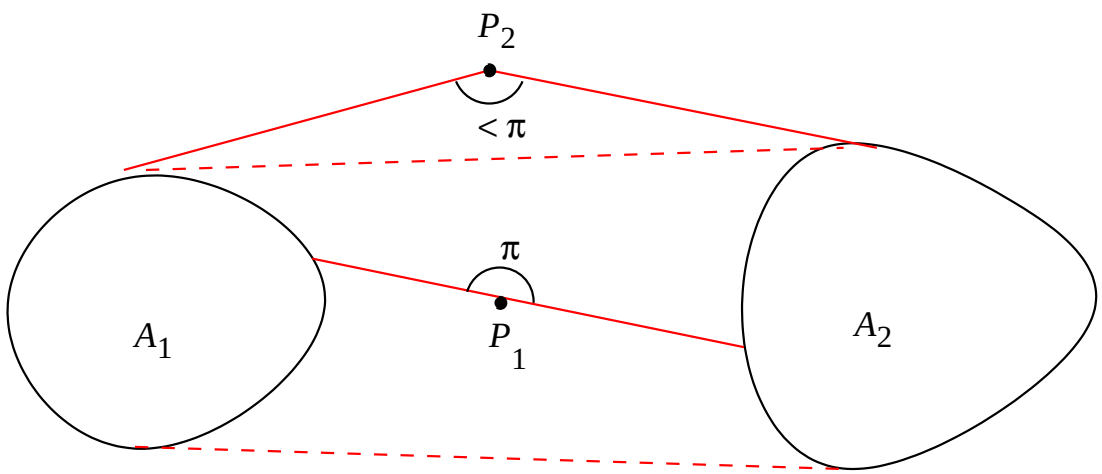
Visibilité floue et segments semi-admissibles

$]a_1, P]$ avec $a_1 \in A_1$ (respectivement $[P, a_2[$ avec $a_2 \in A_2$) semi-admissible : inclus dans $A_1^C \cap A_2^C$

$\theta_{min}(P) = \min\{|\pi - \theta|, \theta = \angle([a_1, P], [P, a_2]), a_1 \in A_1, a_2 \in A_2,]a_1, P]$ et $[P, a_2[$ semi-admissible$\}$

$$\beta_{FVisib}(P) = f(\theta_{min}(P))$$

avec $f : [0, \pi] \rightarrow [0, 1]$, $f(0) = 1$, décroissante, égale à 0 à partir du plus grand écart acceptable à π

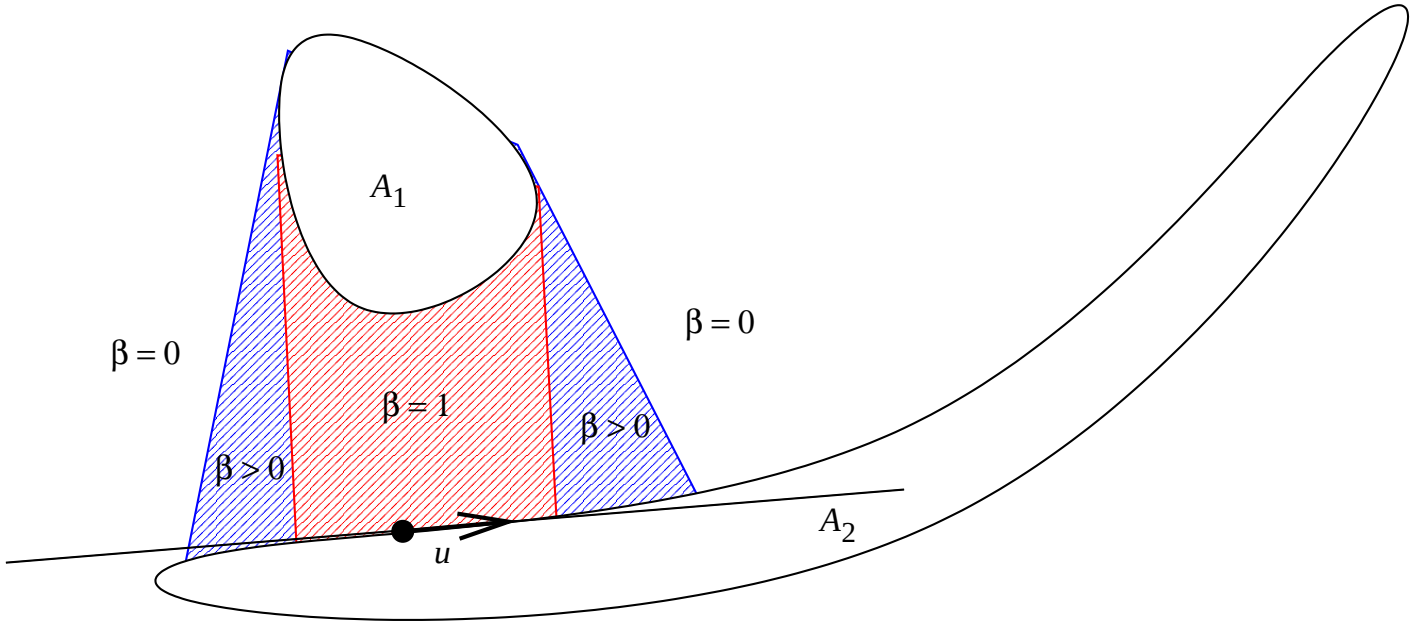


Approches proposées

Objets d'extensions spatiales différentes : vision myope

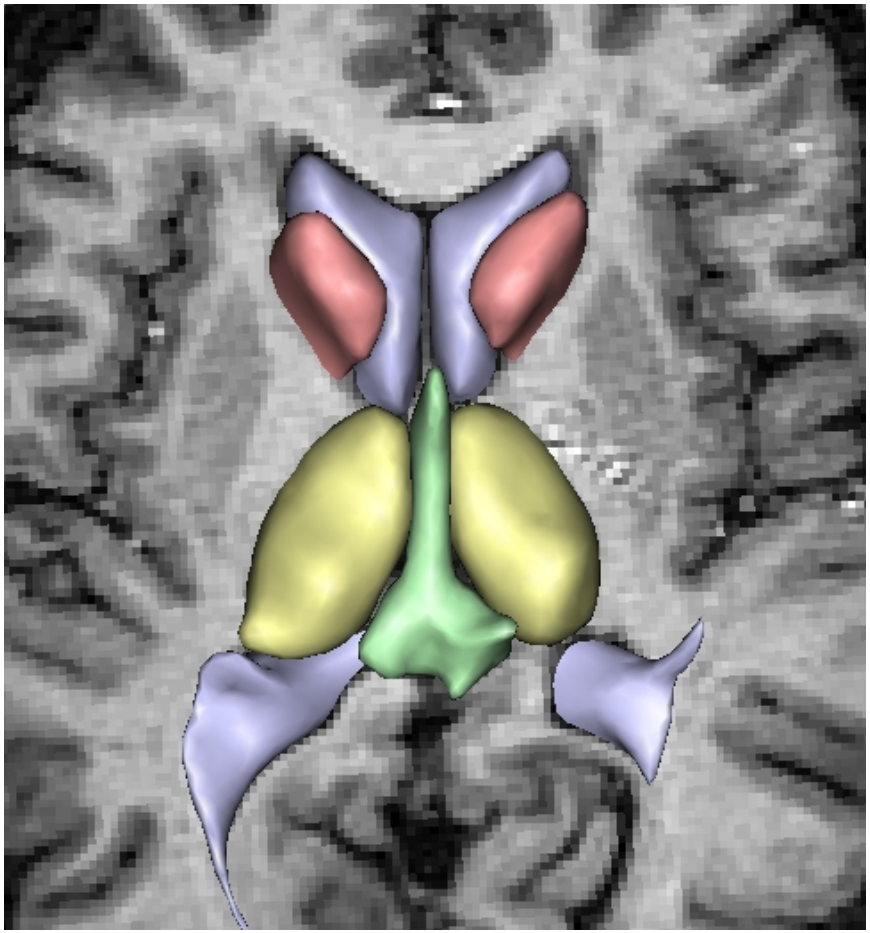
Exemple : *la fontaine est entre la maison et la route*

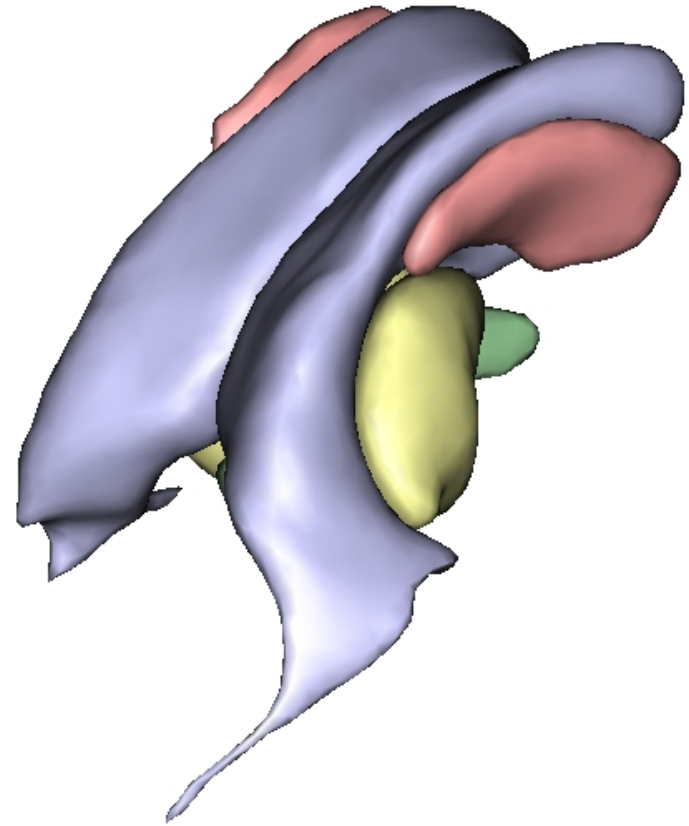
Contextualisation par projection : dilatation directionnelle floue



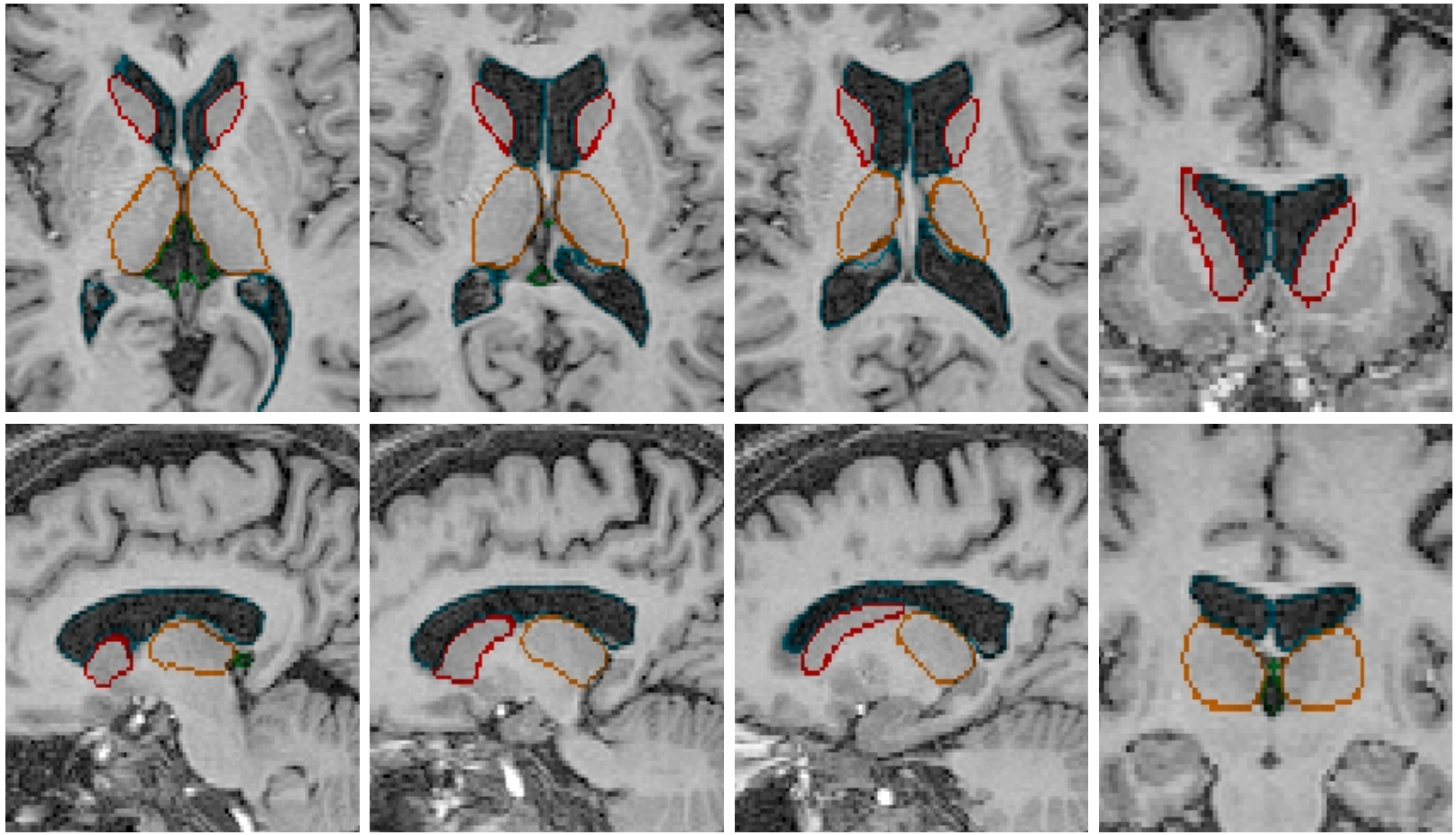
Segmentation contrainte par des relations spatiales

Modèles déformables + relations spatiales

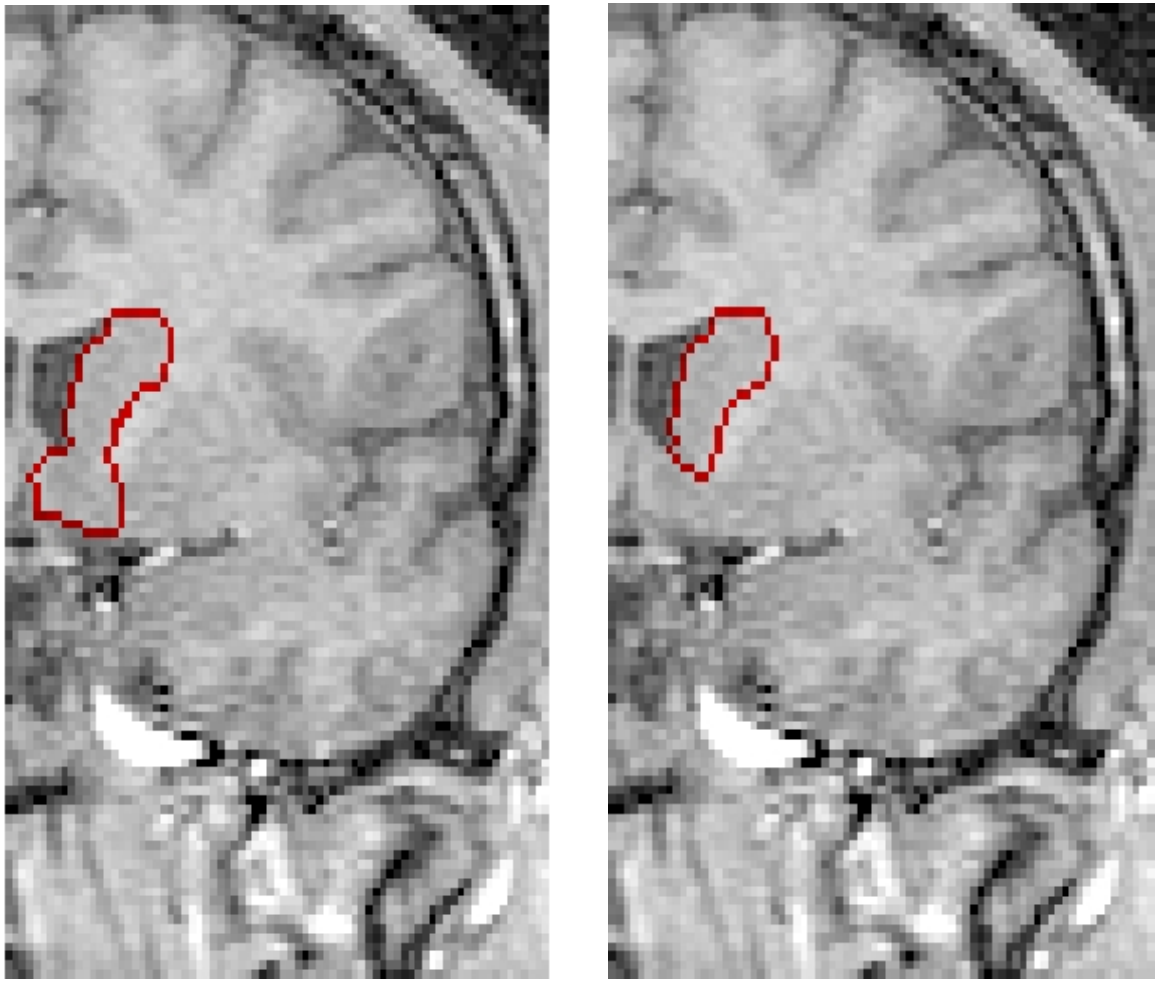




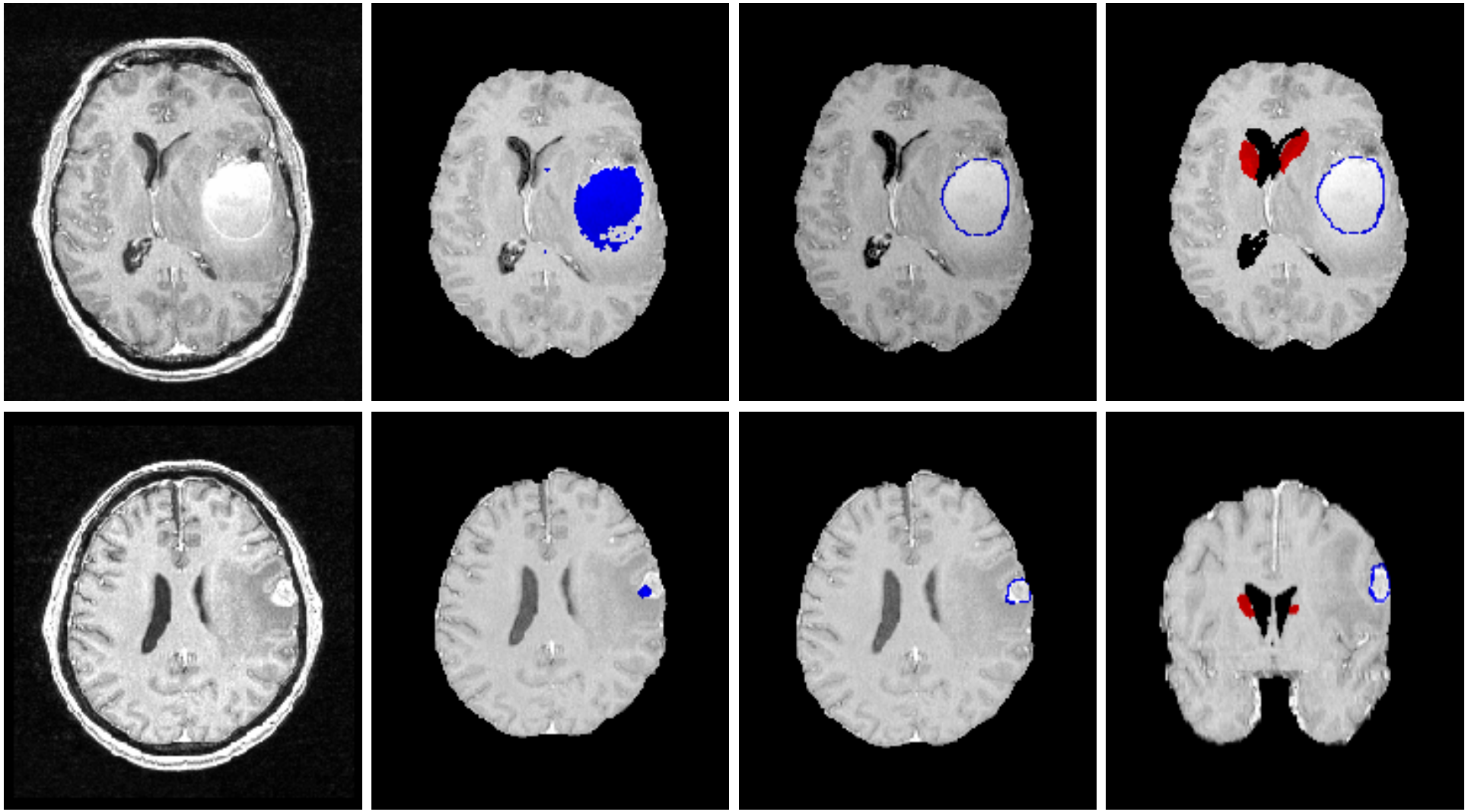
Résultats (quelques coupes)



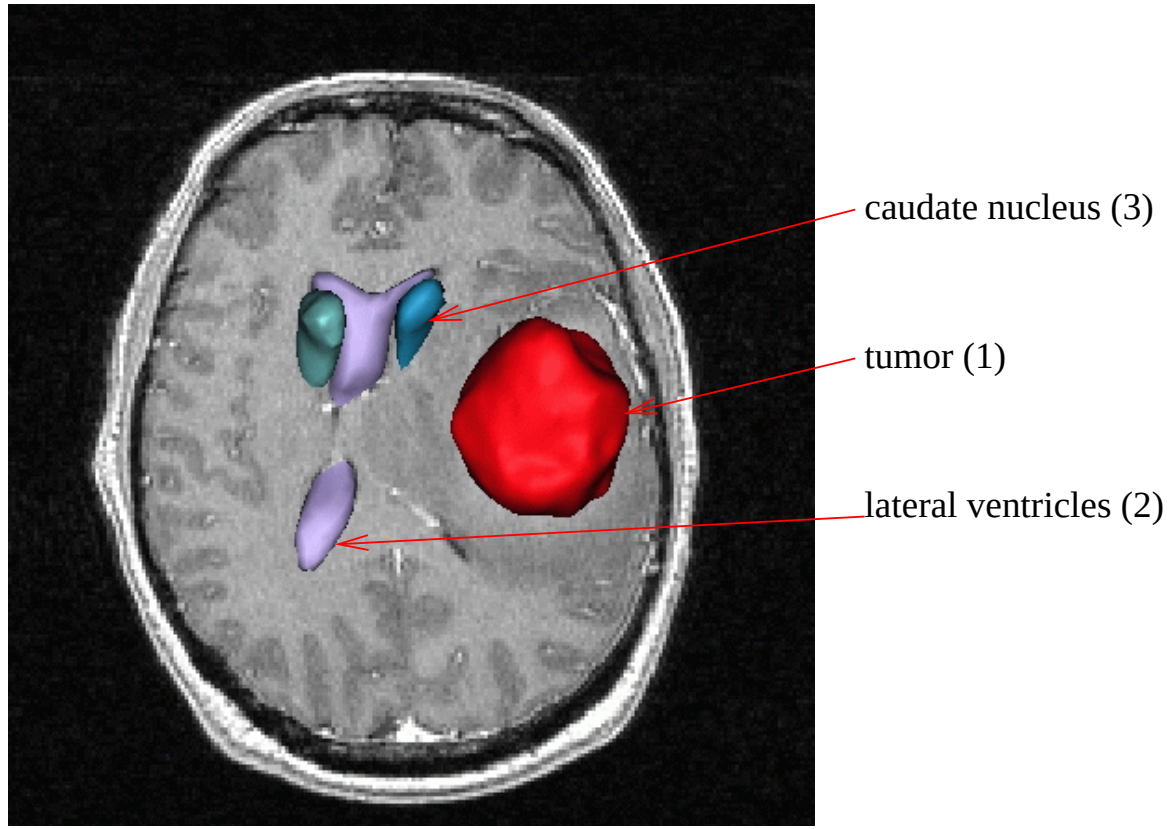
Résultats : importance des relations spatiales



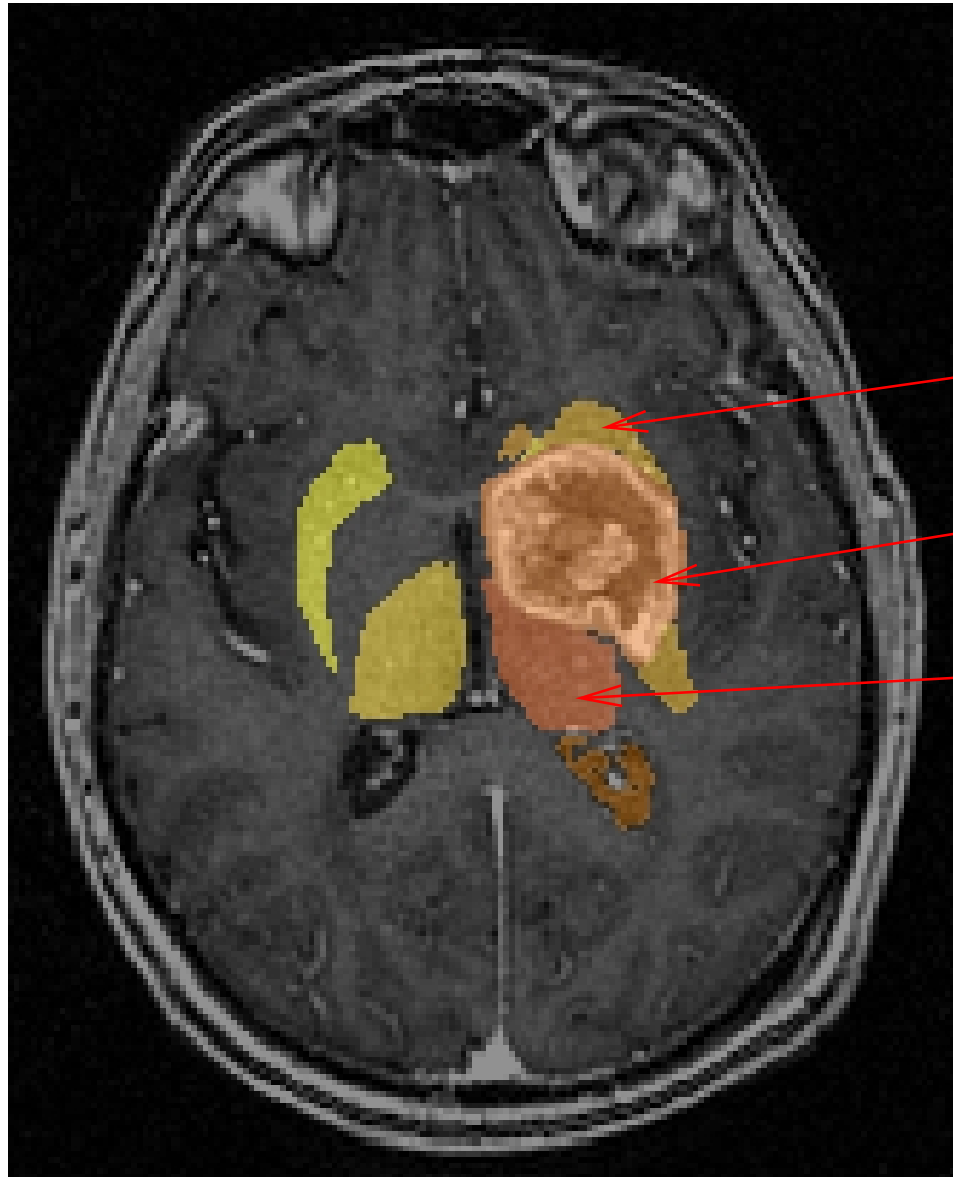
Extension aux cas pathologiques



Extension aux cas pathologiques

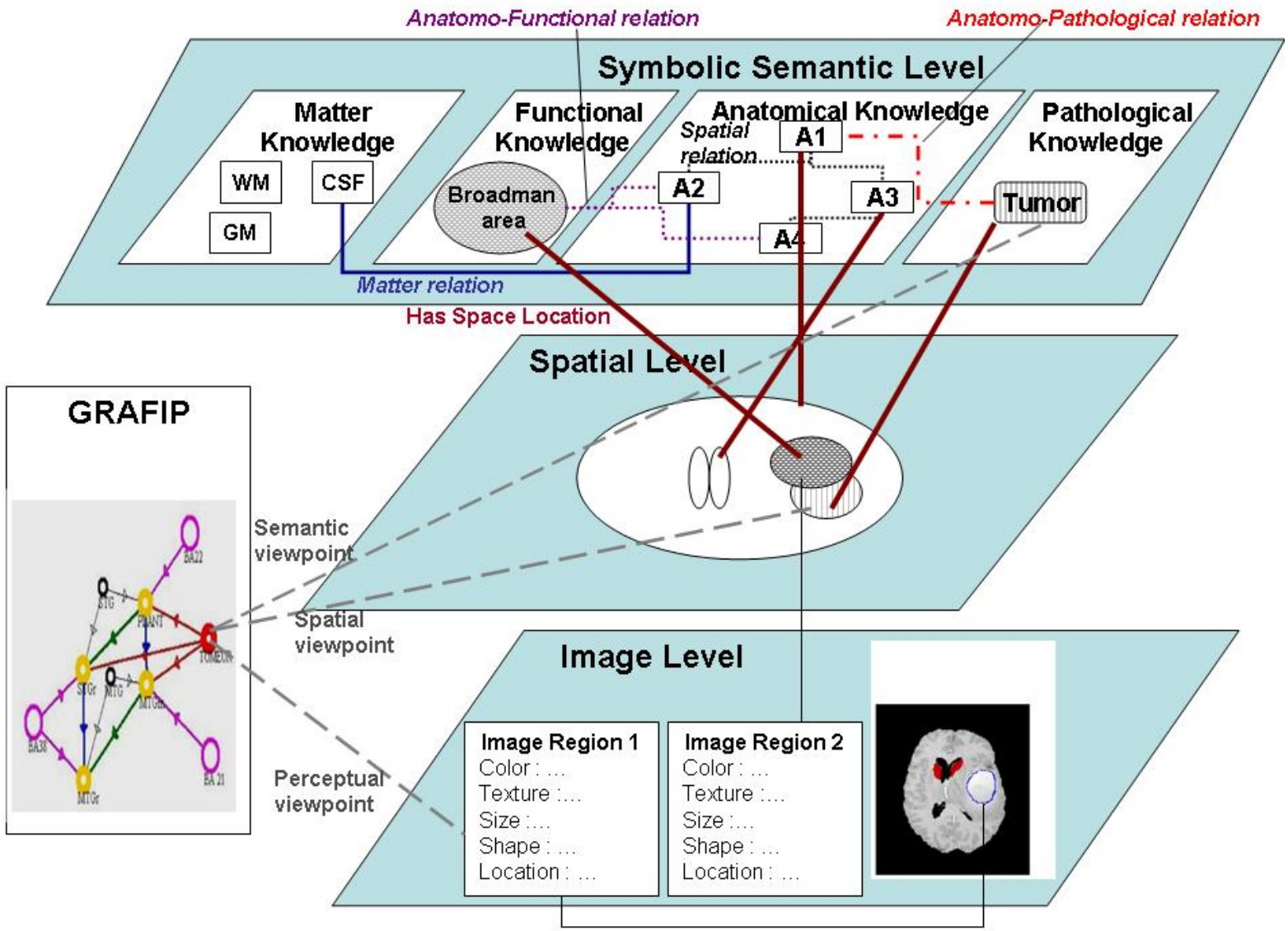


Extension aux cas pathologiques



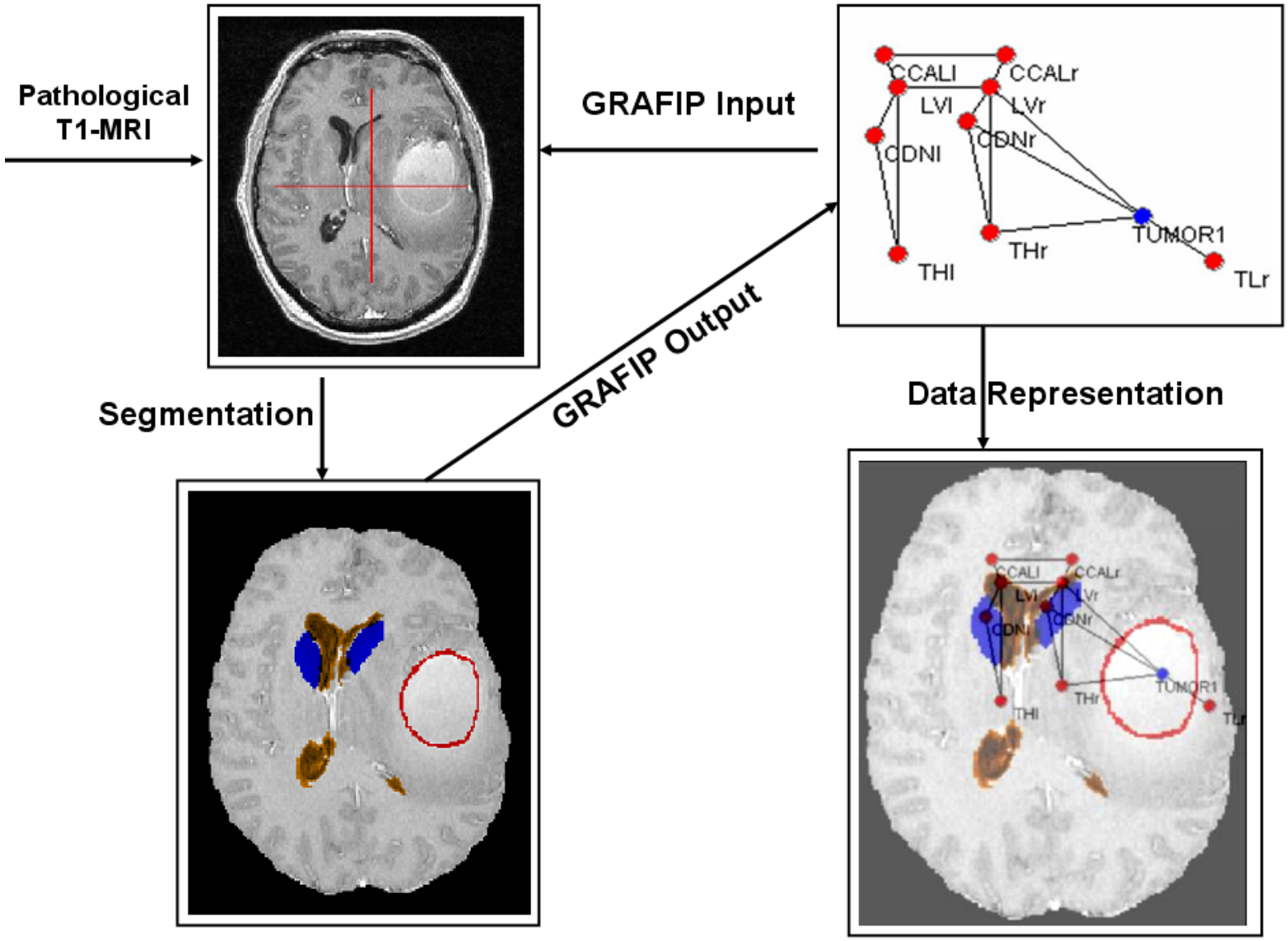
GRAFIP

Graphe de Représentation Anatomique et Fonctionnelle Individuelle incluant les Pathologies

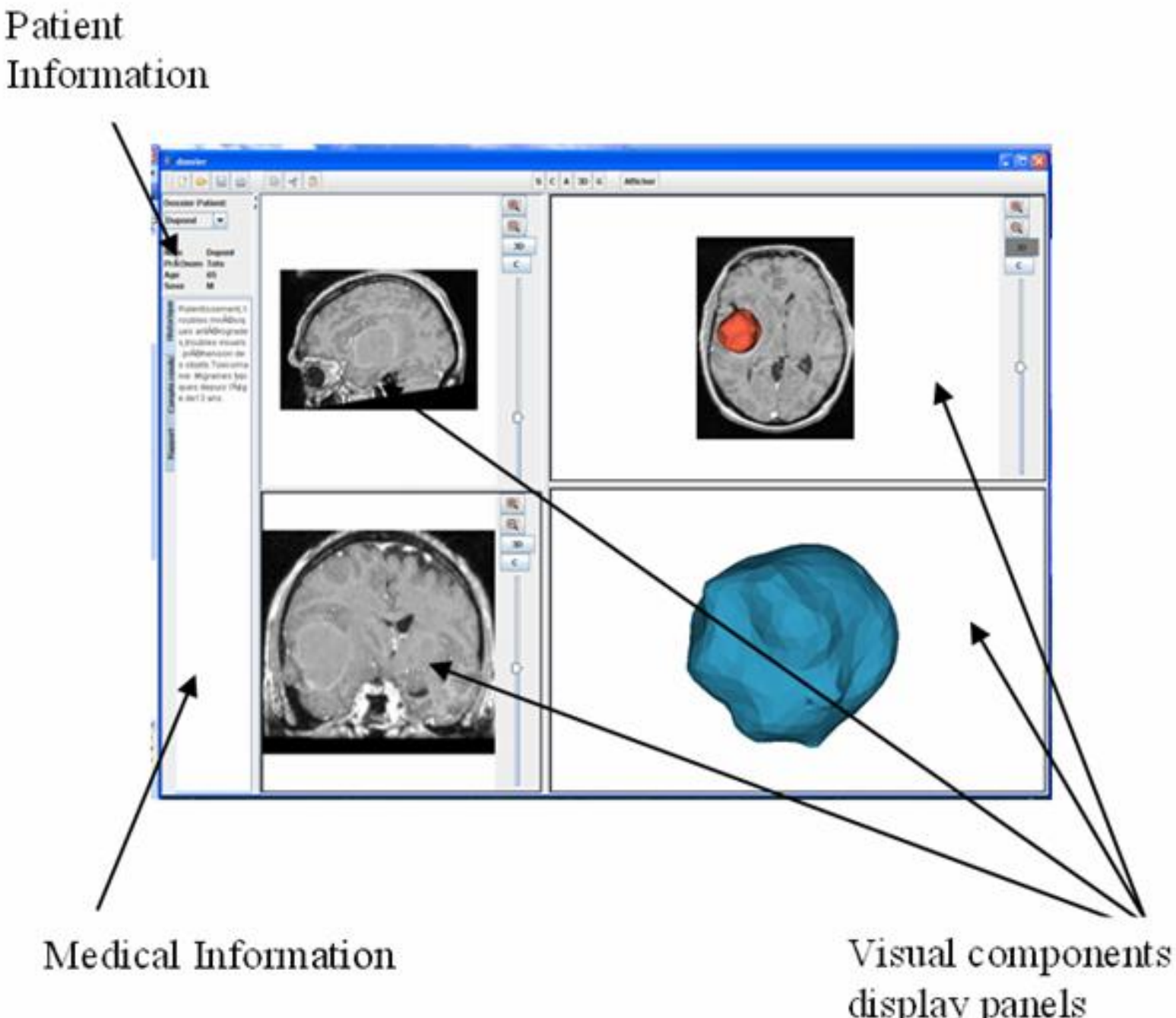


GRAFIP

Graphe de Représentation Anatomique et Fonctionnelle Individuelle incluant les Pathologies



Dossier Patient



Suivi longitudinal

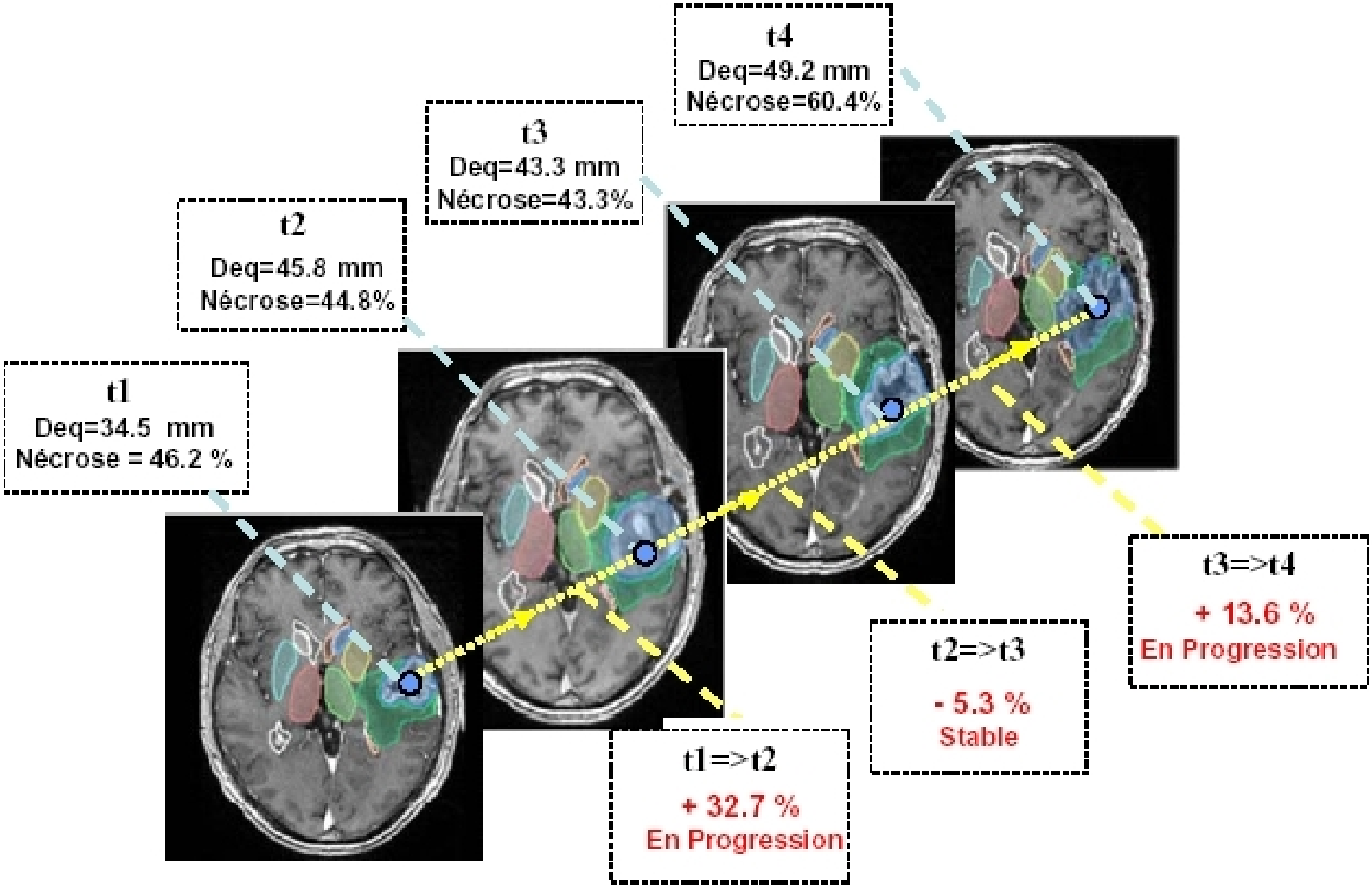
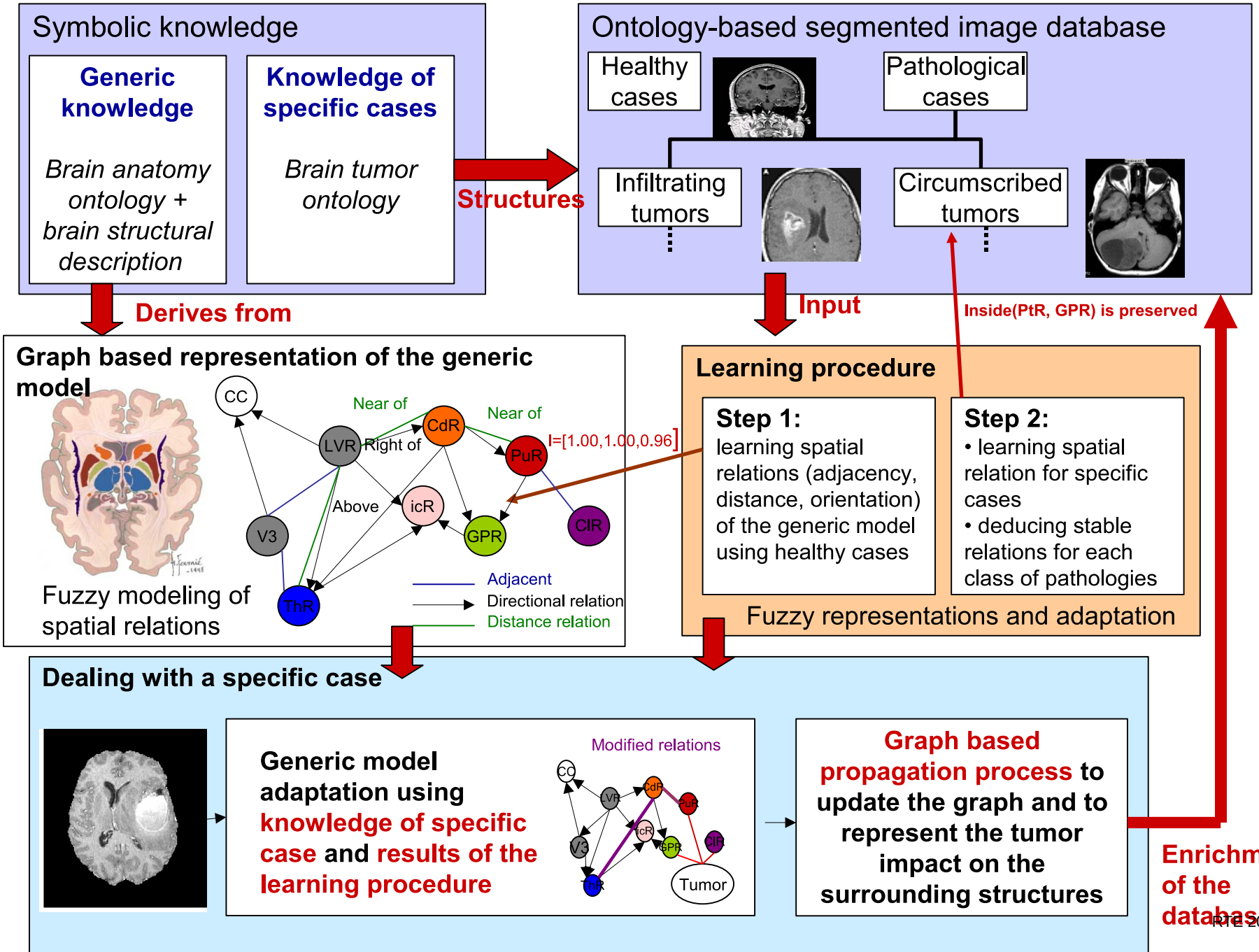


Schéma général



Remerciements

Participants : Elsa Angelini, Jamal Atif, Bénédicte Batrancourt, Olivier Colliot, Geoffroy Fouquier, Céline Hudelot, Hassan Khotanlou, Olivier Nempont, Nathalie Richard.

Collaborations :

- CHU : Pitié-Salpétrière, Sainte-Anne, Necker...
- Laboratoires : LENA (CNRS), LIMSI (CNRS), ENST Bretagne, IFR 49, universités de Sao Paulo, Bogota, Columbia...
- Financement : Région Ile-de-France, ParisTech, INCA, ANR, APETREIMC...