Collages spatiaux d'espaces multidimensionnels pour la représentation de processus de navigation

Christophe Claramunt (1) - Michel Mainguenaud (2)

(1) Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Département de Génie Rural
Systèmes d'Information à Référence Spatiale
CH1015 Lausanne, Suisse
Email: Christophe.Claramunt@dgr.epfl.ch
Url: http://dgrwww.epfl.ch/SIRS/index.html

(2) France Telecom - Institut National des Télécommunications
9 rue Charles Fourrier
F91011 Evry, France
Email: Michel.Mainguenaud@int-evry.fr
Url: http://www-inf.int-evry.fr/BasesDeDonnees/Cigales/cigales.html

Résumé: Cet article présente un modèle spatial de définition de processus de navigation. La représentation développée analyse le modèle cognitif d'un déplacement avec l'environnement visuel nécessaire à sa compréhension. La construction proposée justifie et utilise le concept de vue spatiale comme un support logique et dynamique de représentation de ces processus. Le modèle permet la cohabitation de plusieurs niveaux d'abstraction d'un même processus de navigation. Un langage et des opérateurs définissent des outils d'interaction.

Abstract: This paper presents a spatial model suitable for the representation of navigation knowledge. The model analyses a navigation process from a cognitive point of view, with the visual environment necessary to its comprehension. The decomposition is based on the spatial view concept, defined as a logical and dynamic representation of spatial data. The model allows the cohabitation of several abstraction levels. A language and operators define and precise the model.

Mots clés: collage spatial, processus de navigation, carte cognitive, vue spatiale.

Keywords: spatial collage, navigation task, cognitive map, spatial view.

1.Introduction

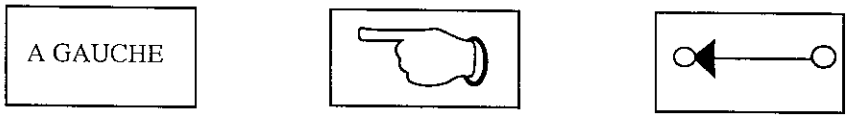
La plupart des modèles spatiaux actuels décrivent l'espace sous une forme continue et cartographique [Bur 86, Peu 88 et 94]. D'autres perceptions de l'espace, narratives ou navigationnelles sont néanmoins utilisées. C'est le cas des processus de navigation qui correspondent à la description mentale d'un déplacement dans l'espace. Cette perception est qualifiée de carte cognitive [Kui 78]. Sa représentation est plus proche de l'esprit humain que celle d'une carte statique. Les cartes cognitives, largement étudiées tant en psychologie qu'en linguistique [Mar 91], héritent des caractéristiques de diversité et de richesse de l'esprit humain mais en possèdent aussi les imperfections. L'espace représenté par une carte cognitive possède quatre dimensions (trois pour l'espace et une pour le temps). Sa traduction spatiale est dynamique (cohabitation de différentes perceptions de l'espace) et discontinue (connaissance partielle), et en conséquence moins facilement identifiable et caractérisable par les modèles spatiaux courants. La topologie perçue est relativement bien conservée et essentiellement linéaire, les notions de distance sont par contre approximatives. Ces

Revue Internationale de Géomatique
Vol 6 n°4 Hermes.

propriétés traduisent la relativité du pouvoir d'expression de la mémoire dans le cas de la perception d'un déplacement. La perception d'un processus de navigation provient en effet d'un enregistrement mental de nos activités sensorielles. Cet enregistrement permet la constitution d'une mémoire cognitive du déplacement dont la qualité sera variable selon les utilisateurs et diminuée par le facteur temps.
L'objectif de cette étude est la modélisation de la carte cognitive représentant un processus de navigation (soit un modèle de modèle). Une formalisation de la représentation cognitive d'un déplacement permet de mieux conserver la mémoire de ces processus et démultiplie leurs applications potentielles. L'étude est orientée vers la description de processus à caractère généraux et informationnels. L'identification des éléments de décision dans la réalisation d'un processus de navigation [Gol 95], ou la recherche d'algorithmes de calcul ne seront pas abordés [Ken 80]. Cette proposition définit un modèle et les opérations qui permettent de décomposer un processus de navigation et de le présenter sous une forme de cartographie dynamique. Le modèle identifie les éléments caractéristiques qui permettent la description et la présentation de ces processus. La démarche utilise le concept de vue spatiale défini comme un outil flexible et dynamique de représentation de données spatiales [Cla 94].
La section 2 présente les principes d'un processus de navigation; la section 3 décrit l'apport de la vue spatiale; la section 4 propose le modèle du processus de navigation; les principes de manipulation du modèle sont présentés dans la section 5; une application illustre le modèle dans la section 6 et une conclusion est formulée dans la section 7.

2. Principes d'un processus de navigation

Un processus de navigation est issu d'un modèle mental dépendant de la perception d'un utilisateur [Tim 92, Tho 93]. Il est le résultat d'une expérience s'il est connu ou à expérimenter s'il s'agit d'une solution proposée. Un processus de navigation est défini par la connaissance procédurale d'un parcours (Procedural Knowledge selon [Tho 93]), et par un environnement composé d'une description géographique (Survey Knowledge selon [Tho 93]) et d'éléments perçus lors de ce parcours (Perceptual Space selon [Che 89]). La connaissance procédurale décrit les caractéristiques du parcours du processus de navigation, la description géographique permet de le situer spatialement. Les éléments perçus lors d'un processus de navigation donnent des points de position visuels voire symboliques importants (ex: photo ou symbole associé à un point du parcours). Chaque forme utilisée dans l'environnement d'un processus de navigation a un rôle particulier. Les descriptions géographiques et la connaissance procédurale du parcours ont une bonne structuration spatiale mais une signification moins forte, les images et les symboles ont une signification forte pour une localisation relative. C'est la combinaison de ces différents modèles d'expression qui donne une bonne cohérence à la représentation d'un processus de navigation [Lyn 60]. Le langage employé pour décrire un processus de navigation peut être textuel, gestuel ou graphique (figure 1). La description textuelle d'un processus de navigation est une forme explicite de documentation de son parcours, elle augmente le pouvoir d'expression du modèle (ex: de l'aéroport prendre l'autoroute jusqu'à l'EPFL).



Textuel Gestuel Graphique

Figure 1. Langages

La représentation d'un processus de navigation se fonde sur un modèle cognitif hiérarchique et incrémental [Maa 93]. Le caractère hiérarchique permet l'enchaînement incrémental de plusieurs niveaux d'abstraction complémentaires, du stratégique au spécifique selon [Kui 78], du basique au secondaire selon [Maa 93], d'un niveau de planification à des niveaux de décision et d'action selon [Tim 92]. Les différents niveaux d'abstraction utiles à la description procédurale et géographique d'un processus de navigation forment un ensemble multidimensionnel [Sto 93]. La mise en relation de ces différents niveaux d'abstraction est fondamentale pour assurer la continuité du processus cognitif. L'association mentale de ces espaces multidimensionnels s'exprime par la métaphore de

collage de carte [Tve 93]. Un collage de carte est défini comme la mise en association de différents niveaux d'abstraction, il représente une application de la notion des hypercartes [Lau 92] à des espaces multidimensionnels. La notion de connexion étend le concept à la mise en relation sémantique d'entités membres de différent espaces [Ren 95]. Le collage de carte appliqué au processus de navigation impose l'identification d'une forme de cohabitation entre les différents modèles de représentation utilisés; coordination que peu de recherches abordent [Pau 89]. Il s'agit en effet d'associer des modèles de représentation de l'espace conçus selon des concepts différents : (1) représentation hiérarchique et incrémentale d'un processus de navigation et (2) espaces géographiques hétérogènes associés (plusieurs niveaux d'abstraction et différentes structures spatiales).

3. Apport de la vue spatiale

La description des différents composants du modèle d'un processus de navigation s'appuiera sur la notion de vue spatiale, conçue comme une forme logique dynamique et flexible de représentation de données spatiales [Cla 94]. Elle est formulée comme une extension du concept classique de vue et permet d'exprimer un schéma externe dérivé du niveau logique tout en intégrant une relative dynamique dans sa définition (par les opérateurs) [Cla 95] (figure 2). L'expression d'un schéma externe donne la flexibilité nécessaire à la définition des différents espaces décrivant un processus de navigation. Le caractère dynamique permet de définir les informations utiles dans chaque espace représenté.
Une vue spatiale est définie par un ensemble partiellement ordonné d'atomes. Un atome de vue spatiale est décrit par un nom (Name), une ou plusieurs requêtes spatiales (Spatial_Query) portant sur des collections (Collection) et des opérateurs de visualisation (Visualization_Op). Il présente un ensemble de données spatiales cohérent sur le plan de l'abstraction tout en permettant une relative dynamique par l'application d'opérateurs. Une requête spatiale est définie à partir de collections spatiales et non spatiales (une collection représente un ensemble d'entités), et des opérateurs spatiaux et non spatiaux appliqués sur ces collections. Les collections spatiales décrivent des entités géoréférencées, des éléments perçus ou symboliques.
La structure d'ordre des atomes de vue spatiale permet de gérer les rôles de chacun des atomes constituant la vue spatiale (attribut Order). Cet ordre permet de distinguer les différents atomes de vue spatiale définissant le processus de navigation, soit la description procédurale (attribut Essential, ex: la trace d'un processus de navigation), les espaces géographiques (attribut Important, ex: le réseau support d'un processus de navigation) et les éléments perçus ou textuels (attribut Useful, ex: des éléments de contexte géographique d'un processus de navigation). Cette classification définit la sémantique de la vue spatiale, résout une partie des conflits visuels lors de l'affichage d'une vue spatiale et donne des critères sémantiques pour l'application d'opérations de manipulation de vues spatiales. La description des différents éléments décrivant le processus de navigation par un concept commun, la vue spatiale, donne un caractère homogène au modèle.

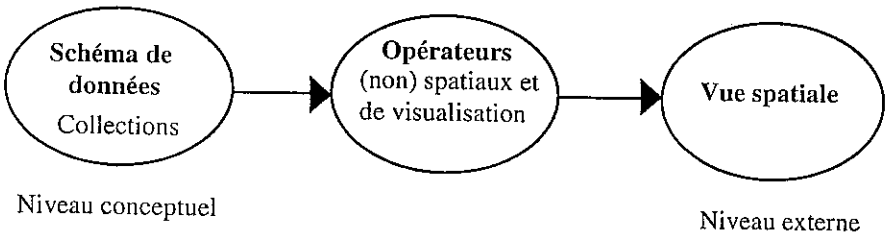


Figure 2. Schéma de principe de la vue spatiale

Le modèle proposé utilise la notation des objets complexes [Adi 87]. Cette notation permet l'extension et la personnalisation des types de données classiques, elle est adaptée à la définition de données sémantiquement complexes. Les constructeurs utilisés sont l'agrégation, l'ensemble et la liste (notés respectivement [ ], { } et ( )).

La définition des atomes de vue spatiale (SVA) et des vues spatiales (SV) donne :

```
SVA_type =      [   Name:            string,
                    Collection:      {string},
                    Spatial_Query:   (string),
                    Visualization_Op:   {string}   ]

Order_type =    [       Essential:      {SVA_type},
                        Important:      {SVA_type},
                        Useful:         {SVA_type}   ]

Elt_Manipulation_Scale_type = [     Min_Limit:      float,
                                    Scale_Capture:  float,
                                    Max_Limit:      float   ]

Manipulation_Scale_type =   {Elt_Manipulation_Scale_type }

SV_type = [     Name:                   string,
                Order:                  Order_type,
                Manipulation_Scale:     Manipulation_Scale_type        ]
```

L'échelle de manipulation de la vue spatiale (Manipulation_Scale) donne l'échelle à laquelle un utilisateur se situe pour la manipulation des atomes [Cla 94]. Positionner un utilisateur dans l'espace indique les primitives spatiales sont utilisées par une opération spatiale [Woo 95]. Cette échelle agit comme un filtre en permettant au système de choisir, pour chaque atome géoréférencé représenté dans la vue spatiale, la valeur de représentation spatiale dont l'échelle de définition est compatible avec celle de manipulation (ex: afficher un réseau routier n'a pas la même signification à un niveau d'abstraction de planification ou d'avant-projet). L'échelle de manipulation d'une vue spatiale est attribuée si et seulement si au moins l'un des atomes de cette vue spatiale est géoréférencé.
L'application de la vue spatiale à un contexte de description de parcours demande l'introduction de définitions de base de la théorie des graphes :

Définition 1: Un graphe est un couple (N, E) où N est un ensemble de noeuds et E un sous-ensemble du produit cartésien N x N. Un noeud est défini par un type (Node_type).

$N = \{n_1, ..., n_p\}$
$E = \{(n_i , n_j) / \ n_i \in N, n_j \in N \}$
Node_type = string

Définition 2: Un réseau est un graphe défini par un nom (Name) et des ensembles de noeuds et d'arcs identifiés. Il modélise un système de communication.

Network_type = [Name: string, Nodes: {Node_type}, Edges: {Arc_type}]
Arc_type = [Name: string, n_i : Node_type, n_j : Node_type]

L'exemple suivant illustre la fonction des atomes de vue spatiale en représentant un parcours entre une origine (EPFL_Entrance) et une destination (EPFL_Arrival) sur un réseau géré par la collection Network_graph. La représentation d'un parcours est construite à partir d'un atome de vue spatiale définissant son tracé (Track), un atome de vue spatiale représentant le réseau support de ce parcours (Network) et un atome de vue spatiale situant le parcours par un contexte bâti (Buildings).

```
SVA: [   Name:          'Track'
         Collection:    {'Network_graph'}
         Spatial_Query:
              (    'Select     Path ('EPFL_Entrance','EPFL_Arrival')
                   From        Network_graph'  )
         Visualization_Op:    {'Bold'}          ]

SVA: [   Name:          'Network'
         Collection:    {'Network_graph'}
         Spatial_Query:
              (    'Select     Spatial_Rep
                   From        Network_graph'  )
         Visualization_Op:    { 'Default' }     ]

SVA: [   Name:          'Buildings'
         Collection:    {'Buildings' }
         Spatial_Query:
              (    ' Select    Spatial_Rep
                   From        Buildings' )
         Visualization_Op:    {'Solid'}         ]
```

La vue spatiale exemple (EPFL_campus) est construite à partir de ces atomes de vue spatiale (figure 3). Elle précise les rôles respectifs de chacun des atomes de vue spatiale (attribut Order). L'échelle de manipulation de cette vue spatiale est un intervalle centré sur l'échelle du 1/10 000.

```
SV:      [   Name:          'EPFL_campus',
             Order:         [   Essential:        {'Track'},
                                Important:        {'Network'},
                                Useful:           {'Buildings'}    ] ,
             Manipulation_Scale:   { [   Min_Limit:       1/25 000,
                                         Scale_Capture:   1/10 000,
                                         Max_Limit:       1/5 000   ]   }   ]
```

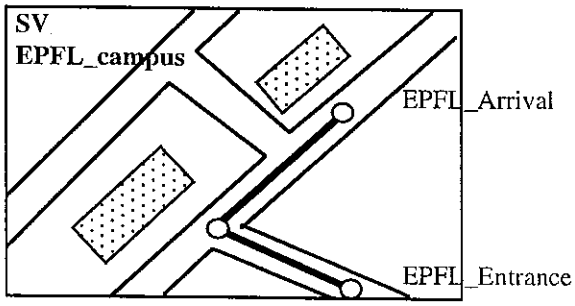


Figure 3. Exemple de vue spatiale

4. Modèle du processus de navigation

Le modèle du processus de navigation est construit à partir d'un ensemble d'espaces représentés à différents niveaux d'abstraction et des liaisons sémantiques entre ces espaces: les collages. La sémantique des collages est précisée par la définition 3, celle du graphe du processus de navigation par la définition 4.

Définition 3: Un collage décrit un changement d'espace dans la description d'un processus de navigation (ex: passage d'une représentation régionale à une représentation locale). Ces espaces sont représentés par des vues spatiales distinctes. Un collage est identifié par un nom (Name), il traduit une relation sémantique orientée entre deux vues spatiales identifiées par leur nom (SV_from, SV_to) (ex: une vue spatiale représentant un réseau routier à une échelle régionale et une deuxième vue spatiale représentant un réseau routier à une échelle locale). L'orientation traduit le sens du parcours.

Définition 4: Un graphe de processus de navigation est une application du concept de réseau. Il est défini par un type (Processus_Graphe_type). Ce type précise le nom (Name), l'ensemble des noeuds (Nodes) et l'ensemble des arcs (Edges) du graphe de processus de navigation. Les noeuds modélisent les vues spatiales, les arcs modélisent les collages. Ce graphe représente le support logique de réalisation des processus de navigation.

```
Collage_type = [ Name:     string ,
                 SV_from:  string ,
                 SV_to:    string ]

Processus_Graphe_type = [ Name:     string ,
                          Nodes:    { Node_type } ,
                          Edges:    { Collage_type }    ]
```

Le graphe du processus de navigation est obtenu en utilisant les vues spatiales comme noeuds et les collages comme arcs (figure 4).

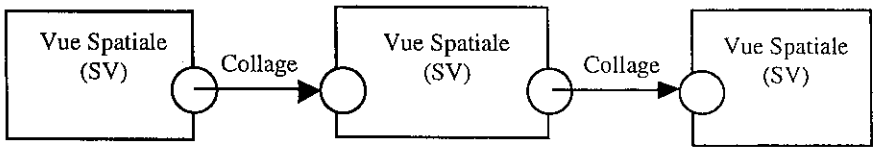


Figure 4. Graphe du processus de navigation

Le caractère hiérarchique d'un processus de navigation amène à définir l'élément de description d'un parcours dans une même vue spatiale (soit à un même niveau d'abstraction).

Définition 5: Une section représente le parcours (sans cycle) entre une origine et une destination évalué sur un réseau dans une même vue spatiale. Une section est définie par un type (Section_type) et comme un réseau.

Section_type = Network_type

Le collage sémantique associant deux sections peut être matérialisé par la connexion d'instances spatiales issues de ces deux sections.

Définition 6: Une connexion est la matérialisation spatiale du collage de deux vues spatiales. Les instances d'une connexion sont identifiées à partir de l'application d'une fonction de graphe (Origin et End) qui donne, pour chacune des deux sections, les noeuds permettant la connexion (soit la fin de la section n et l'origine de la section n+1). A un même collage correspond une et une seule connexion. Une connexion est définie par un nom (Name), par les noms des réseaux définissant les sections

(Section_from_Name et Section_to_Name) et par les noeuds permettant la connexion (Node_origine et Node_End) et identifiés respectivement par les fonctions (Origin) et (End).

Origin: Section_type --> Node_type
End: Section_type --> Node_type

Origin est défini par le n_i tel que $\Gamma^-(n_i) = \emptyset$

End est défini par le n_i tel que $\Gamma^+(n_i) = \emptyset$

```
Connection_type = [  Name:                 string ,
                     Section_from_Name:    string ,
                     Section_to_Name:      string ,
                     Node_Origin:          Node_ type ,
                     Node_End:             Node_type   ]
```

L'exemple suivant illustre les concepts de collage et de connexion (figure 5). Un graphe de processus de navigation est défini entre deux vues spatiales (Highway et EPFL_Campus) à partir d'un collage (EPFL_Arrival) de ces deux vues spatiales et d'une connexion (C2) entre les sections (Highway_to_EPFL et Track) de ces deux vues spatiales (respectivement Highway et EPFL_Campus). La vue spatiale Highway représente deux atomes de vue spatiale: une section (Highway_to_EPFL) et un lac qui donne un élément de description géographique (Lake). L'échelle de manipulation de la vue spatiale (Highway) est un intervalle centré sur le 1/50 000.

```
SV:                  [  Name:          'Highway',
                        Order:         [  Essential:        {'Highway_to_EPFL'} ,
                                          Important:        { } ,
                                          Useful:           {'Lake'}            ]  ,
                        Manipulation_Scale:  { [  Min_Limit:       1/75 000 ,
                                                  Scale_Capture:   1/50 000 ,
                                                  Max_Limit:       1/25 000  ]     }  ]

Collage_type: [  Name:      'EPFL_Arrival' ,
                 SV_from:   'Highway',
                 SV_to:     'EPFL_Campus'  ]

Connection_type = [  Name:                 'C2' ,
                     Section_from_Name:    'Highway_to_EPFL',
                     Section_to_Name:      'Track' ,
                     Node_Origin:          'ni' ,
                     Node_End:             'nj'                    ]
```

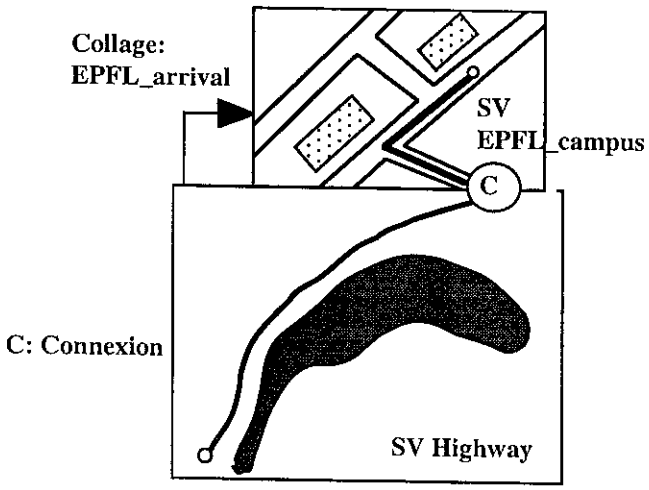


Figure 5. Collage et connexion

Lors du collage de deux vues spatiales, une connexion n'est pas requise si le processus de navigation que l'on souhaite représenter est défini à un niveau d'abstraction général. Le collage assure la concordance sémantique des sections, la connexion la matérialisation spatiale de cette concordance. La définition suivante qualifie les types de connexion.

Définition 7: Une connexion convergente (respectivement divergente) est une connexion dont les instances (Origin et End) représentant les noeuds sont spatialement confondues (respectivement non confondues) aux tolérances géométriques près. Les connexions convergentes assurent la continuité spatiale (respectivement la discontinuité spatiale) du processus de navigation.

Les connexions divergentes apportent notamment une relative souplesse lors de la réalisation de connexions entre des sections représentées à des niveaux d'abstraction de première approximation (sans obligation de parfaite continuité spatiale). Les connexions divergentes permettent une forme de raisonnement par défaut (selon [Tim 92]), c'est à dire assumer qu'il existe une solution de connexion et que les détails seront identifiés par l'utilisateur lors de la réalisation du processus de navigation. Une connexion peut associer deux instances de collections spatiales définies par des représentations spatiales de types différents mais correspondant à une même entité spatiale du monde réel (ex: une section autoroutière avec une représentation spatiale de type surface dans une première vue spatiale et une section autoroutière avec une représentation spatiale de type ligne dans une deuxième vue spatiale). Une connexion peut associer deux entités spatiales situées sur des zones non périphériques de la vue spatiale (continuité spatiale mais non visuelle entre les sections). La caractérisation d'une connexion peut bénéficier de l'apport d'éléments perçus comme l'association d'images photographiques ou de symboles la décrivant. Ces éléments d'informations peuvent constituer des repères visuels pour une meilleure compréhension de la description d'un processus de navigation.
Le parcours du processus de navigation est désigné par la notion de route. La route est définie à partir des constructeurs de collage et de vue spatiale précédemment énoncés.

Définition 8: Une route traduit la vision ordonnée d'un graphe de processus de navigation. Elle décrit la représentation mentale du parcours d'un processus de navigation à travers des espaces multidimensionnels représentés par des vues spatiales et liés par des collages. Une route est définie par un nom (Name) et par son parcours (Navigation_type). Ce parcours est représenté par une vue spatiale suivie d'une liste de paires collage - vue spatiale.

```
Navigation_type =   [   SV_Name:        Node_type ,
                        Sequence: (     [   Collage_Name:   string ,
                                            SV_Name:        Node_type ]  )  ]

Route_type =    [   Name:       string,
                    Trace:      Navigation_type  ]
```

La construction de la route est une fonction (Trace) du graphe du processus de navigation :

```
Trace:      Processus_Graphe_type --> Route_type
```

5. Manipulation du processus de navigation

Cette section présente les principes de manipulation du modèle de processus de navigation. La sous-section 5.1 indique les principes du langage de définition, la sous-section 5.2. définit les opérateurs externes et la sous-section 5.3 les opérateurs internes de changement de niveau d'abstraction du processus de navigation.

5.1. Langage de définition

Les composants du modèle du processus de navigation sont précisés à partir d'un langage classique de définition permettant les opérations de création et de destruction. La définition des vues spatiales et des collages permettent la constitution du graphe du processus de navigation (Processus_Graphe_type). La création d'une vue spatiale est une démarche exploratoire où l'utilisateur procède par itération avant d'identifier l'échelle de manipulation correspondant à son niveau d'abstraction et un ordre cohérent sur les atomes de vue spatiale.
La route est construite en fonction des objectifs de l'utilisateur et à partir de la définition d'un ordre sur le graphe du processus de navigation (Route_type). Ce parcours sera défini par les sections précisant son tracé dans chaque vue spatiale et par les connexions entre ces sections si les différents niveaux d'abstraction correspondant le permettent. L'ensemble des opérations de création prennent la forme d'un opérateur du type create <structure du composant>. Inversement les opérations de destruction prennent une forme delete <nom du composant>.

5.2. Langage de manipulation - niveau externe

Le langage de manipulation du processus de navigation permet d'identifier, de visualiser et d'interroger ses différents composants. La construction de ces opérateurs relèvent de mécanismes classiques, nous en présentons des exemples pour chaque type de fonction.

5.2.1. Opérateurs d'identification

Ils permettent l'extraction d'une vue spatiale (SV_Extract) à partir de son nom, et les extractions de la vue spatiale d'origine (SV_Origin) et de la dernière vue spatiale (SV_End) d'un graphe de processus de navigation (Processus_Graphe_type). Un opérateur permet d'identifier la vue spatiale suivant immédiatement une vue spatiale dans un graphe de processus de navigation (SV_Browsing). Dans le même sens, un opérateur d'identifie un collage (Collage_Extract) membre d'un graphe de processus de navigation (Processus_Graphe_type) à partir de son nom.

SV_Extract:	Processus_Graphe_type x string	-->	SV_type
SV_Origin:	Processus_Graphe_type	-->	SV_type
SV_End:	Processus_Graphe_type	-->	SV_type

SV_Origin définit la vue spatiale modélisée par le noeud ni dans le graphe tel que $\Gamma^{-}(n_i) = \emptyset$
SV_End définit la vue spatiale modélisée par le noeud ni dans le graphe tel que $\Gamma^{+}(n_i) = \emptyset$

SV_Browsing:	Processus_Graphe_type x SV_type	-->	SV_type
Collage_Extract:	Processus_Graphe_type x string	-->	Collage_type

5.2.2. Opérateurs de visualisation

Ils réalisent la visualisation d'un collage (Collage_Display), d'une vue spatiale (SV_Display) et d'une route (Route_Display). Les éléments affichés sont définis par des types (respectivement Collage_Display_type, SV_Display_type et Route_Display_type).

Collage_Display:	Collage_type	-->	Collage_Display_type
SV_Display:	SV_type	-->	SV_Display_type
Route_Display:	Route_type	-->	Route_Display_type

5.2.3. Opérateurs de sélection

Ils sont construits à partir de requêtes (modélisées sous une forme de chaîne de caractères) portant sur les structures des routes. Ces opérateurs permettent de sélectionner une route par son nom (Route_Select_by_Name) et de sélectionner une route ayant une vue spatiale pour membre (Route_Select_by_SV_Name).

Route_Select_by_Name:	string	-->	Route_type
Route_Select_by_SV_Name:	string	-->	Route_type

5.3. Langage de manipulation - niveau interne

Une route peut être exprimée en fonction de plusieurs niveaux d'abstractions. A chaque niveau d'abstraction correspond une séquence spécifique de vues spatiales et de collages. Une vue spatiale peut être décomposée en plusieurs vues spatiales reliées par des collages, cette opération se réalise à partir d'un opérateur de développement (Develop). Inversement, une séquence de vues spatiales reliées par des collages peut être regroupée en une vue spatiale, cette opération se réalise à partir d'un opérateur de regroupement (Undevelop). Ces opérateurs permettent les changements de niveau d'abstraction dans la représentation d'une route [Mai95].

5.3.1. Opérateur Develop

La signature de l'opérateur Develop est la suivante :

P_Graphe_type x P_Graphe_type x Node_type --> P_Graphe_type

Le premier Processus_Graphe_type (P_Graphe_type) est le graphe modélisant la route initiale. Le deuxième Processus_Graphe_type précise une partie de la route initiale. Node_type est le noeud du graphe à développer (la vue spatiale dont le niveau de détail va augmenter). Ce noeud est obtenu par exemple en utilisant le nom de la vue spatiale obtenue par la fonction SV_Extract sur un pointé graphique défini sur un Route_Display. Le résultat est un Processus_Graphe_type (un graphe modélisant une route avec un niveau de détail plus précis que la route initiale).
Les spécifications de cet opérateur s'appuient sur les propriétés des graphes modélisés par les Processus_Graphe_type. En effet ces graphes modélisent des routes (sans cycles). Ils ont donc une origine, une extrémité. Trois cas de figures peuvent alors se présenter dans le cadre d'un développement : (a) le noeud développé est le noeud origine du graphe; (b) le noeud développé est le noeud extrémité du graphe; (c) le noeud développé n'est ni l'origine, ni l'extrémité du graphe (les noeuds modélisent les vues spatiales, les arcs les collages). Les spécifications de l'opérateur Develop peuvent donc se ramener à une étude sur les graphes.

$G_1 (N_1, E_1) \times G_2 (N_2,E_2) \times N \rightarrow G_3 (N_3, E_3)$
Soient S_1 et S_2 les sections modélisées par les graphes G_1 et G_2.

Les spécifications du point (a) sont les suivantes pour le développement du noeud n_d (figure 6) :

eout est définie comme: $e_{out} \in E_1 / \exists\, n_{out} \in N_1 / e_{out} : (n_d,n_{out})$

$N_3 = N_1 - \{n_d\} \cup N_2$

$E_3 = E_1 - \{e_{out}\} \cup E_2 \cup \{ (End (S_2), n_{out}) \}$

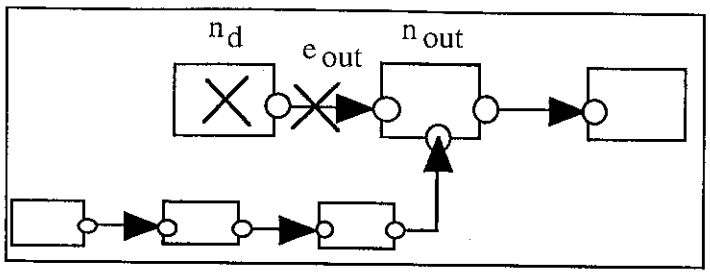


Figure 6. Développement en tête de graphe

Les spécifications du point (b) sont les suivantes pour le développement du noeud n_d (figure 7) :

ein est définie comme $e_{in} \in E_1 / \exists\, n_{in} \in N_1 / e_{in} : (n_{in}, n_d)$

$N_3 = N_1 - \{n_d\} \cup N_2$

$E_3 = E_1 - \{e_{in}\} \cup E_2 \cup \{ (n_{in}, \text{Origin}(S_2))\}$

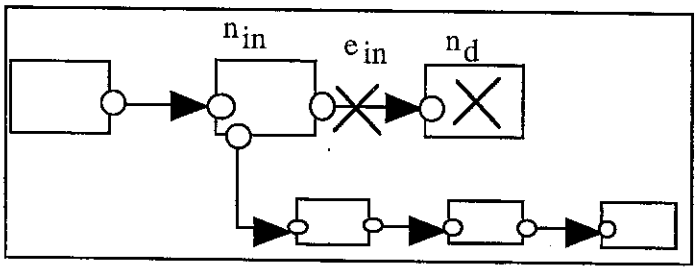


Figure 7. Développement en queue de graphe

Les spécifications du point (c) sont les suivantes pour le développement du noeud n_d (figure 8) :

$e_{in} = e_{in} \in E_1 / \exists\, n_{in} \in N_1 / e_{in} : (n_{in}, n_d)$

$e_{out} = e_{out} \in E_1 / \exists\, n_{out} \in N_1 / e_{out} : (n_d, n_{out})$

$N_3 = N_1 - \{n_d\} \cup N_2$

$E_3 = E_1 - \{e_{in}, e_{out}\} \cup E_2 \cup \{ (n_{in}, \text{Origin}(S_2)), (\text{End}(S_2), n_{out})\}$

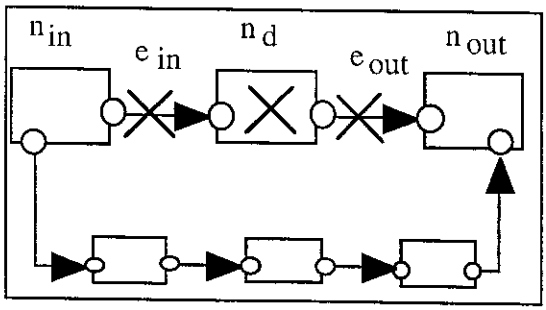


Figure 8. Développement en cours de graphe

5.3.2. Opérateur Undevelop

La signature de l'opérateur Undevelop est la suivante :

P_Graphe_type x P_Graphe_type x Node_type -> P_Graphe_type

Le premier Processus_Graphe_type est le graphe modélisant la route initiale. Le deuxième Processus_Graphe_type est le graphe modélisant les retraits d'informations (i.e., une sous-route de la route initiale - un graphe connexe issu de l'application d'un opérateur Develop). Node_type est le noeud du graphe qui représente l'abstraction de la sous-route supprimée du graphe initial (i.e., la vue spatiale représentant la sous-route). Le résultat est un Processus_Graphe_type (un graphe modélisant une route avec un niveau de détail moins important que la route initiale).
Les spécifications de cet opérateur s'appuient également sur les propriétés des graphes modélisés par les Processus_Graphe_type. A l'image de l'opérateur Develop, ces graphes modélisent des routes (sans cycles). Ils ont donc une origine, une extrémité. Trois cas de figures peuvent alors se présenter dans le cadre d'un regroupement : (a) le noeud regroupant se positionne en noeud origine du graphe; (b) le noeud regroupant se positionne en noeud extrémité du graphe; (c) le noeud regroupant n'est positionné ni en origine, ni en extrémité du graphe.
Les spécifications de l'opérateur Undevelop peuvent donc également se ramener à une étude sur les graphes :

$G_1 (N_1, E_1) \times G_2 (N_2, E_2) \times N \rightarrow G_3 (N_3, E_3)$
Soient S_1 et S_2 les sections modélisées par les graphes G_1 et G_2.

Les spécifications du point (a) sont les suivantes pour le regroupement du noeud n_u (figure 9) :

e_{out} est définie comme: $e_{out} \in E_1 / \exists\, n_{out} \in N_1 / e_{out} : (\mathrm{End}(S_2), n_{out})$

$N_3 = N_1 \cup \{n_u\} - N_2$

$E_3 = E_1 - \{e_{out}\} - E_2 \cup \{ (n_u, n_{out}) \}$

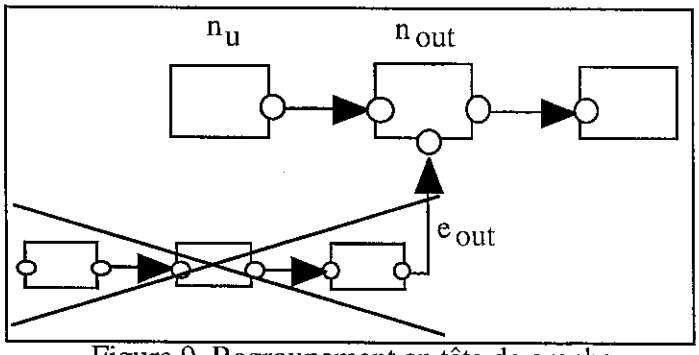


Figure 9. Regroupement en tête de graphe

Les spécifications du point (b) sont les suivantes pour le regroupement du noeud n_u (figure 10) :

e_{in} est définie comme $e_{in} \in E_1 / \exists\, n_{in} \in N1 / e_{in} : (n_{in}, \mathrm{Origin}(S_2))$

$N_3 = N_1 \cup \{n_u\} - N_2$

$E_3 = E_1 - \{e_{in}\} - E_2 \cup \{ (n_{in}, n_u)\}$

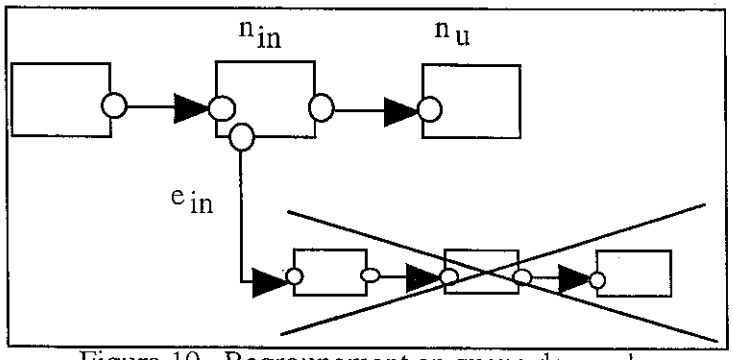


Figure 10. Regroupement en queue de graphe

Les spécifications du point (c) sont les suivantes pour le développement du noeud n_u (figure 11) :

$e_{in} = e_{in} \in E_1 / \exists\, n_{in} \in N_1 / e_{in} : (n_{in}, \text{Origin}(S_2))$

$e_{out} = e_{out} \in E_1 / \exists\, n_{out} \in N_1 / e_{out} : (\text{End}(S_2), n_{out})$

$N_3 = N_1 \cup \{n_u\} - N_2$

$E_3 = E_1 - \{e_{in}, e_{out}\} - E_2 \cup \{ (n_{in}, n_u), (n_u, n_{out})\}$

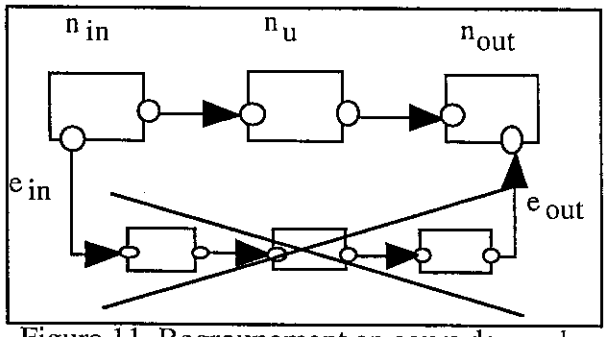


Figure 11. Regroupement en cours de graphe

Une vue spatiale qui est l'objet d'un opérateur de développement est qualifiée de vue spatiale maître (Master_SV). La figure suivante illustre l'application de l'opérateur de développement (Develop) appliqué sur une vue spatiale EPFL (figure 12). Nous introduisons une nouvelle vue spatiale Office qui donne une représentation symbolique du lieu d'arrivée de cet exemple de route.
Le concept de graphe assure la continuité de la route lors de l'application de ces opérateurs. Cette définition "à étage" permet les changements d'abstraction dans la représentation de la route et l'utilisation de vues spatiales correspondantes à chacun de ces niveaux d'abstraction. Le modèle permet de représenter des absences de connaissance dans la description de la route (ex: un utilisateur sait qu'une route sort d'un aéroport mais est incapable de décrire son parcours sur le site de cet aéroport).
L'échelle d'une route sera l'union des échelles de manipulation vues spatiales qui la composent. Compte-tenu de l'hétérogénéité des espaces présentés le plus souvent dans un processus de navigation, cette notion d'échelle donnera une vision d'ensemble des niveaux d'abstraction présents.
La représentation ordonnée de la route permet l'application d'un opérateur textuel (Textual) qui en donne une expression textuelle à partir du nom des vues spatiales correspondantes. La forme textuelle est construite à partir d'une forme 'From <Nom de la vue initiale>' suivie d'une séquence de 'Path to <Nom de la vue suivante>' sur les vues spatiales définies dans la partie Sequence du type Navigation_type. La signature de l'opérateur textuel est donnée par l'expression suivante :

```
Textual:        Route_type      -->   string
```

6. Application

Soit l'exemple d'un processus de navigation démarrant du site de l'aéroport, et parcourant un réseau autoroutier jusqu'au site de l'EPFL (Genève_Airport_to_EPFL). A un niveau général, un premier exemple de route (Genève_Airport_to_EPFL) est défini.

```
Route:    [   Name:       'Genève_Airport_to_EPFL',
              Trace:      [ SV_Name:       'Airport_site',
              Sequence:   (    [    Collage_Name: 'Airport_exit' ,
                                    SV_Name:      'Highway'    ] ,
                               [    Collage_Name: 'EPFL_Arrival' ,
                                    SV_Name:      'EPFL'          ] ) ]      ]
```

Les vues spatiales Airport_site et EPFL présentent des symboles significatifs à ce niveau d'abstraction. L'application de l'opérateur Textual documente la visualisation présentée par la forme textuelle 'From Airport_site Path to Highway Path to EPFL'. La figure 13 présente la visualisation de cette route.

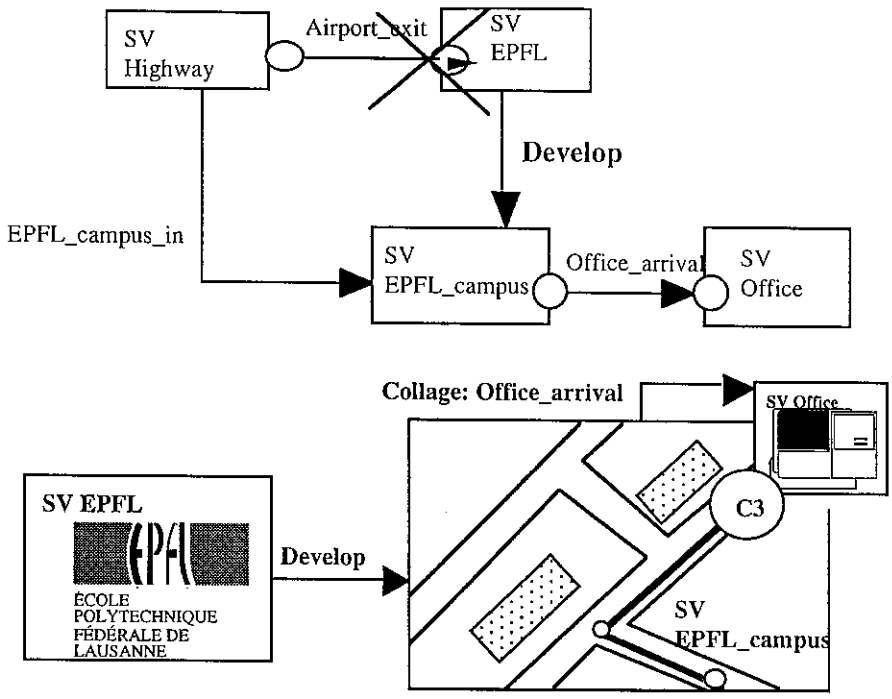


Figure 12. Application de l'opérateur de développement

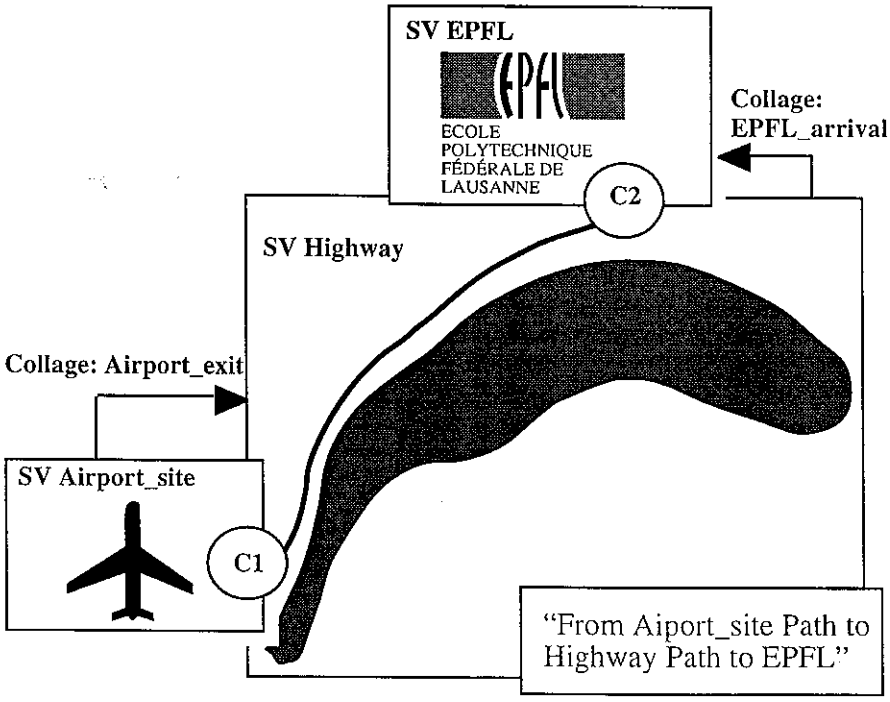


Figure 13. Exemple de route à un niveau d'abstraction général

Un deuxième exemple de route donne une définition de processus de navigation à un niveau d'abstraction plus détaillé. L'objectif de cette seconde route est une présentation plus détaillée des vues spatiales qui composent ce processus de navigation. La vue spatiale à forme symbolique de l'exemple précédent (EPFL) est décomposée par l'application de l'opérateur de développement.

```
Route_type =    [ Name:    'Genève_Airport_to_EPFL',
                  Trace:   [     SV_Name:    'Airport_site',
                                 Sequence:   (  [  Collage_Name: 'Airport_exit' ,
                                                   SV_Name:     'Highway'   ] ,
                                                [  Collage_Name:     'EPFL_campus_in' ,
                                                   SV_Name:     'EPFL_campus' ] ,
                                                [  Collage_Name:     'Office_Arrival' ,
                                                   SV_Name:     'Office'   ] )          ]
```

La vue spatiale EPFL joue le rôle d'une vue spatiale maître (Master_SV). La vue spatiale Office donne un signal visuel sur le lieu de destination. La description textuelle utilisée est en conséquence plus complète que celle de l'exemple précédent. La figure 14 illustre ce deuxième exemple de représentation de la route.

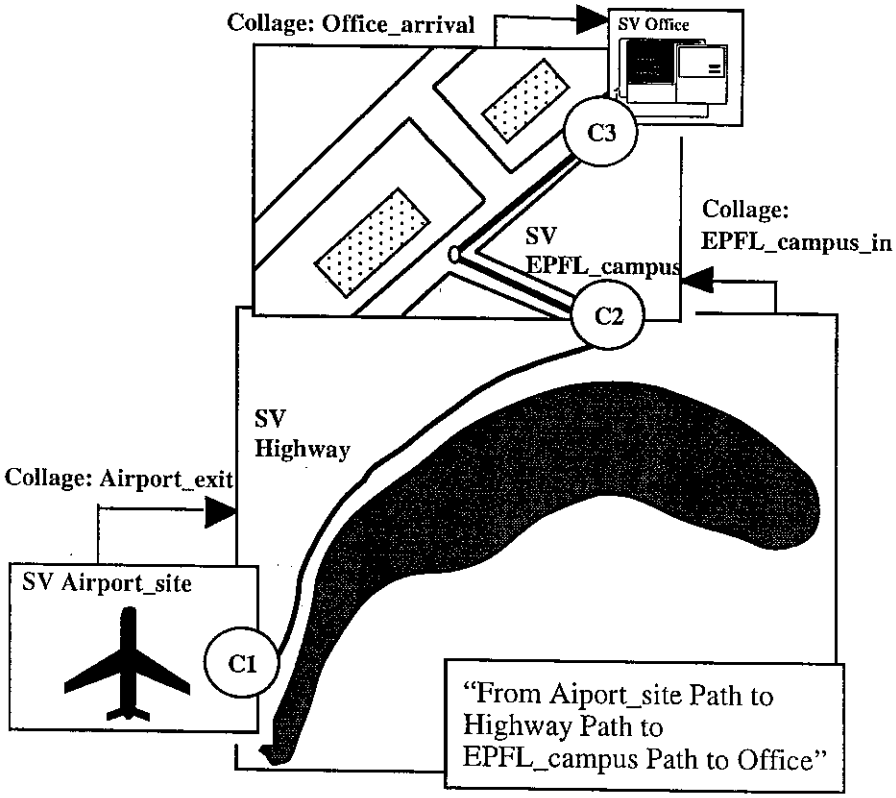


Figure 14. Exemple de route à un niveau d'abstraction de détail

Ces schémas de construction de routes sont extensibles avec le temps, ils peuvent s'enrichir de nouvelles informations issues d'expérience ou d'apprentissage des utilisateurs.
La séquence d'une route permet le déclenchement d'événements de type condition-action (condition = collage, action = initialisation du déplacement sur une vue spatiale) nécessaires pour mettre en oeuvre un processus de navigation [Kui 78]. Un collage donne une condition de passage pour la poursuite de la navigation à travers une section. Les actions à entreprendre (ex: right, left, until, next, selon [Maa 93]) pour le parcours de la route et les opérateurs de positionnement associés [Kui 78] peuvent exploiter ce modèle. Cette perspective est applicable pour les opérations de guidage en temps réel.

7. Conclusion

La représentation coordonnée d'une route avec des espaces multidimensionnels associés répond à un besoin des utilisateurs de démarches de navigation. Elle doit permettre de conserver la mémoire de ces déplacements et d'en faciliter leur assimilation, de les réutiliser et d'assurer leur mise à jour.
Le modèle proposé permet de situer une action de déplacement dans son contexte géographique à des niveaux d'abstraction complémentaires qui acceptent des connaissances partielles. La vue spatiale donne un cadre de représentation d'un processus de navigation à caractère informationnel. Elle associe la visualisation d'une route avec les espaces multidimensionnels qui permettent de la situer, avec des points de repères visuels significatifs et avec un langage textuel de description. La continuité de la représentation de la route est assurée par le concept de graphe appliqué aux collages et aux vues spatiales. Ces collages sont matérialisés spatialement par des connexions. La trace d'une route dans chaque espace représenté par une vue spatiale est décrite par la notion de section. Des opérateurs de développement et de regroupement permettent les changements de niveau d'abstraction dans la représentation d'une route.
Cette proposition est en mesure de s'appliquer à des contextes de présentation de schémas de guidage routier pour visiteurs, à l'étude préalable de parcours touristiques ou professionnels. Les navigations aériennes ou nautiques sont d'autres cas d'applications potentiellement adaptés.

8. Bibliographie

[Adi 87] Adiba, M. E., Modeling complex objects for multimedia databases. Entity-Relationship Approach : Ten Years of Experience in Information Modeling, Spaccapietra, S. eds., Dijon, France, 17-19 novembre 1987, pp. 89-117.
[Bur 86] Burrough, P. A., Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford: Clarendon Press, Royaume-Uni, 1986.
[Che 89] Chen, S., A spherical model for navigation and spatial reasoning. Mapping and Spatial Modelling for Navigation, Pau, L. F. ed., Springer-Verlag, Fano, Danemark, 21-25 août 1989, pp. 59-72.
[Cla 94] Claramunt, C. et Mainguenaud, M., Identification of a definition formalism for a spatial view. Advanced Geographic Data Modeling, Molenaar, M. et de Hoop, S. eds., Delft, Pays-Bas, 12-14 septembre, 1994, pp. 191-203.
[Cla 95] Claramunt, C. et Mainguenaud, M., Dynamic and flexible vision of a spatial database. Proceedings of the DEXA'95 Workshop on Database and Expert Systems Applications, Revell, N. et Min Tjoa, A. eds., Londres, Royaume-Uni, 4-5 septembre 1995, pp. 483-492.
[Gol 95] Golledge, R. G., Path selection and route preference in human navigation: A progress report. Spatial Information theory: A Theoretical Basis for GIS, Frank, A. U. et Kuhn, W. eds., Springer-Verlag, Semmering, Autriche, 21-23 septembre 1995, pp. 207-222.
[Ken 80] Kennington, J. L. et Helgason, R. V. Algorithms for Network Programming, Wiley, J. ed., New-York, 1980.
[Kui 78] Kuiper, B., Modeling spatial knowledge. Cognitive Science, Vol. 2, 1978, pp. 129-153.
[Lau 92] Laurini, R. et Thompson, D. Fundamentals of Spatial Information Systems, Academic Press, London, 1992.
[Lyn 60] Lynch, K., The Image of the City, MIT Press, Massachusetts, 1960, 194 p.
[Maa 93] Maaß, W., A Cognitive model for the process of multimodal, incremental route descriptions. Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space, Frank, A. U., Campari, I. et Formentini, U. eds, Springer-Verlag, Ile d'Elbe, Italie, 19-22 septembre 1993, pp. 1-13.
[Mai 95] Mainguenaud, M., The modelling of the geographic information system network component. International Journal of GIS, Vol. 9 n. 6, Taylor and Francis, 1995, pp. 575-594.
[Mar 91] Mark, D. M. et Frank, A. U., Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space. Kluwer Academic Publishers, NATO ASI series, 1991.
[Pau 89] Pau, L. F., Survey, Mapping and Spatial Modelling for Navigation, Pau, L. F. ed., Springer-Verlag, Fano, Danemark, 21-25 août 1989, pp. 1-9.
[Peu 88] Peuquet, D. J., Representations of geographic space: Toward a conceptual synthesis. Annals of the Ass. of American Geographers, 78 (3), 1988, pp. 375-394.

[Peu 94] Peuquet, D. J., It's About Time: A Conceptual framework for the representation of temporal dynamics GIS. Annals of the Association of the American Geographers, 84 (3), 1994, pp. 441-461.
[Ren 95] Rennison, E. et Strausfeld, L., The Millennium project. Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS, Frank, A. U. et Kuhn, W. eds., Springer-Verlag, Semmering, Autriche, 21-23 septembre 1995, pp. 69-91.
[Sto 93] Stonebraker, M., Chen, J., Nathan, N., Paxson, C. et Wu, J., Tioga: Providing data management support for scientific visualization applications. Proceedings of the Very Large DataBase Conference, Dublin, Irlande, 1993.
[Tim 92] Timpf, S., Volta, G. S., Pollock, D. W. et Egenhofer, M. J., A conceptual model of wayfinding using multiple levels of abstraction. Theories and Methods of Spatio-temporal Reasoning in Geographic Space, Frank, A. U., Campari, I. et Formentini, U. eds, Springer-Verlag, Pise, Italie, Septembre 1992, pp. 348-362.
[Tev 93] Tversky, B., Cognitive maps, cognitive collages, and spatial mental models. Theories and Methods of Spatio-temporal Reasoning in Geographic Space, Frank, A. U., Campari, I. et Formentini, U. eds., Springer-Verlag, Ile d'Elbe, Italie, 19-22 septembre 1993, pp. 14-24.
[Tho 93] Thorndyke, P. W. et Hayes-Roth, B., Differences in Spatial Knowledge Acquired from Maps and Navigation, Office of Naval Research, Santa Monica, USA, 1993, 57p.
[Woo 95] Woodruff, A. et al., Zooming and tunneling in Tioga: Supporting navigation in multidimensional space. Proceedings of Visual Database System Conference, Spaccapietra, S. et Jain, R. eds., Chapman et Hall, Lausanne, Suisse, 27-29 mars 1995, pp. 323-332.