

Chapitre 8

La représentation d'itinéraires

Chacun sait en effet que la ligne droite ne peut être le plus court chemin d'un point à un autre. Sauf, évidemment, si les deux points sont bien en face l'un de l'autre.
Pierre Desproges, *Manuel de savoir vivre*.

8.1 Mouvement et itinéraires

Nous abordons ici un “objet” qui fait intervenir toutes les notions que nous avons vues auparavant, tout en posant certains problèmes spécifiques. Du point de vue le plus général, un itinéraire est un trajet d'un point à un autre. Dans le monde physique, comme l'a bien vu Pierre Desproges, cela correspond rarement à une ligne droite, car l'environnement dans lequel se déplacent celle ou ceux qui effectuent un itinéraire¹ est peuplé d'obstacles qui contraignent le déplacement. Ce n'est pas non plus dans le cas général un mouvement simple descriptible par une seule expression verbale, même si on peut considérer une expression comme *J'ai été du frigo à la TV* comme celle d'un itinéraire minimal. Généralement la *description* d'un itinéraire en langage naturel nécessite plusieurs phrases réunies dans un discours possédant une certaine structure. La *prescription* d'un itinéraire, c'est-à-dire les instructions nécessaires à la réalisation d'un itinéraire par un agent rassemble également un ensemble de phrases décrivant des étapes du trajet. Un itinéraire est donc plus qu'un mouvement, c'est une suite de mouvements, mettant en jeu des objets d'un environnement connu ou reconnaissable au cours de l'itinéraire (par la perception par exemple). Les problèmes liés aux itinéraires sont alors de plusieurs ordres ; d'une part la *planification* d'itinéraires est une tâche importante dans la programmation d'un robot évoluant dans un environnement comprenant de nombreux obstacles (Kuipers et Levitt, 1988) ; d'autre part, la *représentation*, la *compréhension* et la *génération* d'itinéraires est un problème dans certaines applications d'aide à la navigation humaine dans des environnements comprenant beaucoup de trajets possibles (comme une ville). Les itinéraires représentent une structure importante pour comprendre la façon dont l'humain organise ses connaissances spatiales, et à ce titre c'est également un sujet d'étude qui a des répercussions sur les modèles cognitifs de l'espace (Golledge, 1995; Tversky, 1993; Maaß, 1994), en traitement du langage naturel (Gryl, 1996; Fraczak *et al.*, 1998), et en gestion de bases de données géographiques (Berendt et Jansen-Osmann, 1997) notamment, et qui occupe donc une place importante dans les questions liées au raisonnement spatial qualitatif. De plus son

1. C'est généralement un agent, artificiel ou non.

lien évident avec le mouvement en fait un terrain d'expérimentation approprié pour la théorie du mouvement que nous avons développée jusqu'ici². Il faut noter que de nombreux aspects des descriptions d'itinéraires ne peuvent se réduire à de la topologie et que les notions d'orientations et de distance sont également primordiales. Nous allons cependant voir quels sont les types de connaissances que l'on peut ajouter à notre modèle spatio-temporel pour représenter une partie importante de l'information liée à des itinéraires³.

8.2 Approches comparées

8.2.1 Représentations issues de la planification d'itinéraires

Les itinéraires en robotique correspondent essentiellement à des trajets dans des environnements connus de façon imparfaite par le robot, et les problèmes sont essentiellement des problèmes de planification de trajectoire en liaison avec la perception de l'environnement par des capteurs ; la représentation est alors à juste titre purement géométrique et euclidienne et n'a donc pas grand chose à voir avec nos préoccupations. Cependant, certains travaux de Kuipers (Kuipers et Levitt, 1988) ont traité de la représentation d'itinéraires de robots dans des environnements de grande taille (*large-scale space*), où la représentation commence à afficher des prétentions à se rapprocher de l'intuition humaine. Le modèle TOUR se préoccupe d'apprentissage automatique d'itinéraires, et ceux-ci sont stockés comme une séquence de vues et d'actions. Les vues correspondent à des prise d'informations par les capteurs du robot, les actions correspondent aux réactions suivant ces prises d'informations. Les vues sont en fait associés à des localisations intermédiaires du robot – les “places” –, par la relation $at(vue, place)$, de sorte que l'objectif final d'un itinéraire est un lieu, et que le résultat d'une action est également une vue, associée à un lieu. Par ailleurs un chemin (*path*) est un ensemble à une dimension, sur lesquels se trouvent les places (exprimé par $on(place, path)$, ou $path = path(vue)$ pour une vue située sur un chemin nommé *path*). Des orientations basiques sont associées aux chemins pour indiquer le sens de parcours sur le chemin, et d'autres pour indiquer de quel côté du chemin se trouve une place (left ou right). Les actions sont du type Turn (Right/Left), Travel,..., et les contraintes qui les régissent sont exprimées de façon logique. Par exemple :

$$\begin{aligned} < V_1, Travel, V_2 > \equiv \\ & place(V_1) \neq place(V_2) \wedge \exists! path(path = path(V_1) = path(V_2)) \\ & \wedge on(place(V_1), path(V_1)) \wedge on(place(V_2), path(V_2)) \\ & \wedge direction(path(V_1)) = direction(path(V_2)) \end{aligned}$$

Autrement dit, Kuipers représente ses itinéraires comme des graphes dont les lieux/places sont les noeuds et les paths les arcs, l'orientation sur un arc étant donné par les vues (qui sont plus ou moins des “lieux orientés”). Les orientations gauche et droite donnent en plus une contrainte d'ordre en plus sur les arcs partant d'un même noeud si ceux-ci ont plus de deux arcs non orientés qui en partent (dans le modèle de base en fait on ne peut avoir d'embranchement avec plus de quatre chemins). Tour peut être enrichi pour tenir compte de rotations quelconques aux embranchements et peut intégrer des notions de distances, mais il reste essentiellement conçu pour des réseaux déjà formés, comme des réseaux routiers. Un autre modèles des mêmes auteurs, QUALNAV, étend un peu le précédent aux environnements

2. Le travail présenté dans ce chapitre reprend de façon beaucoup plus large un travail commencé dans (Muller, 1996).

3. Une théorie complète de l'orientation et de la distance dans un contexte général dépasse largement le cadre de notre travail.

quelconques dans lesquels le robot peut isoler des repères (mais comment ?), et le réseau correspondant est constitué de tous les chemins possibles entre ces repères, plutôt que par des chemins préexistants.

Vus comme cela, les itinéraires dans l'espace ont donc une structure de graphes, et les noeuds et les arcs sont donnés a priori ou à l'aide des capteurs qui effectuent un choix (mal défini). Aucun autre type d'information n'est requis ou utilisé que ce soit pour la planification ou la description éventuelle du trajet suivi. On peut considérer que l'on a là la structure de base communément admise par les auteurs qui abordent le problème des itinéraires. Dans une optique de planification ou de recherche de chemins, une façon d'enrichir la structure précédente est de hiérarchiser le réseau des chemins possibles, comme le fait (Liu, 1995). En divisant le réseau routier d'une grande ville en routes principales et routes secondaires, Liu modifie l'algorithme classique de Dijkstra pour tenir compte du fait que les conducteurs de véhicules préfèrent suivre les voies principales le plus longtemps possible avant d'emprunter des routes secondaires. On voit que les itinéraires obéissent à des contraintes de nature cognitive (la facilité ou la rapidité d'un trajet) qui ne se réduisent pas au parcours d'une structure de graphe pur.

8.2.2 Modèles cognitifs

Les itinéraires forment un matériau de choix pour l'étude des structures mentales de l'espace et en tant que tel ils ont été l'objet de travaux, essentiellement en psychologie cognitive, visant à établir leur nature, vis à vis de la perception et du langage notamment. Les aspects qui nous intéressent plus particulièrement et qui ont des répercussions dans les modèles computationnels qui ont été proposés depuis Kuipers, seront brièvement présentés ici. Avant de les présenter nous retiendrons de (Lynch, 1960) les types d'objets spatiaux qui semblent avoir une importance pour les itinéraires, et qui ne se réduisent pas à la distinction noeuds/arcs d'un graphe :

- des *paths* (chemins): rues, avenues, etc.
- des *landmarks* (repères) qui servent de points de références: monuments, bâtiments, etc.
- des *nodes* (noeuds) – correspondant à des points de bifurcation (comme un carrefour).
- des *edges* (limites, à ne pas confondre avec des arcs de graphe, qui se disent aussi edges en anglais) – qui forment des obstacles ou des délimitations, comme les rivières, les frontières, etc.
- et enfin des *districts*, qui sont des régions qui servent (pour des itinéraires dans des villes, l'objet d'étude de Lynch) à sectoriser les descriptions: quartier résidentiel, centre ville, etc.

Carte cognitive et perspective

Les travaux de Taylor & Tversky (Taylor et Tversky, 1992; Tversky, 1996) ont mis en évidence différents moyens pour les humains de mémoriser et de structurer des informations de nature spatiale. Leur principale expérience dans cette optique a été de demander à des sujets de décrire un environnement qu'on leur a présenté sous forme de carte (d'une ville ou d'un centre de conférences avec de nombreuses salles). Cette description devait permettre à un autre sujet de reconstruire la carte des environnements de départ. Les auteurs ont constaté l'existence de plusieurs stratégies dans ce but, celle du *survey* dans lequel les sujets placent les repères de l'environnement les uns par rapport aux autres de façon indépendante de tout observateur, et le *tour* dans lequel le sujet décrit cet environnement en

faisant un itinéraire imaginaire passant par tous les lieux à décrire. Une troisième stratégie consiste à mélanger les deux premières, un *survey* grossier puis un *tour* pour ajouter les détails. Cela montre le côté naturel des itinéraires dans la structuration d'informations spatiales (pour la mémorisation notamment), et l'importance du mouvement (ici fictif) pour conceptualiser un environnement et se l'approprier visuellement. Il faut noter aussi que lors des stratégies combinées *survey* + *tour*, les repères les plus gros étaient pris comme point de départ des itinéraires. Nous retiendrons une fois de plus de ces études une tendance humaine à hiérarchiser les types d'informations, et à opérer une sélection des objets sur lesquels s'appuient les descriptions, avec potentiellement des niveaux de raffinement.

Repères et actions

Les travaux cités ci-dessus s'attachaient essentiellement à la représentation de haut niveau d'un vaste ensemble de données spatiales pour étudier la façon de la conserver en mémoire et de la transmettre. Nous allons maintenant regarder des travaux qui s'attachent plus en détail aux moyens linguistiques mis en œuvre pour la description d'itinéraires.

Dans (Denis, 1997), une description d'itinéraires est une suite d'actions et de repères servant à localiser les actions (ce qui évoque le modèle TOUR, où les lieux seraient remplacés par une description par rapport à un repère). Les repères sont des objets particuliers, conceptualisés comme des volumes (bâtiment) ou des surfaces (places, carrefour) mais pas des lignes comme une rue ou un élément quelconque d'une voie de communication. Les repères doivent être bien visibles, et distincts. Une action est soit

- un changement d'orientation (*tourner*).
- l'expression d'une progression, courte (*arriver au carrefour*) ou longue (*suivre la Seine*).

Les travaux de Gryl (1996) sont reliés à ce modèle conceptuel. Elle a rassemblé un corpus d'itinéraires soit dans Paris, soit sur le campus de Nanterre⁴, et en a analysé les éléments lexicaux pour classifier les expressions utilisées. Quantitativement, elle relève que les descriptions sont constituées à 20% de verbes de changement d'orientation, à 40% d'expressions de progression et à 40% de localisations intermédiaires servant à repérer les lieux utilisés dans les descriptions les uns par rapport aux autres. Les repères constituent des points de décision pour effectuer des actions de changement d'orientation avant de faire une progression. Nous reviendrons sur le modèle computationnel qu'elle en tire par la suite, mais on peut déjà noter, à partir de ces études psycho-linguistiques, l'importance de la relation entre d'une part des segments parcourus, et de l'autre des repères servant à relier les segments entre eux. Les repères ne sont pas en effet la plupart du temps des buts intermédiaires mais des signaux pour identifier les étapes parcourues (cette vision retourne un peu la vision de graphe où le choix des lieux visités détermine les chemins parcourus plutôt que l'inverse).

Contraintes sur la construction d'un itinéraire

Un certain nombre de contraintes régissent la description d'itinéraires en plus de ce que nous avons présenté ci-dessus. On peut trouver une expérimentation sur l'importance relative de certains facteurs dans (Golledge, 1995), qui compare des descriptions d'itinéraires faites par différents sujets sur une

4. Nous avons mentionné ce corpus au chapitre 2.

même carte. Tout d'abord de nombreux sujets choisissent un itinéraire avec le moins possible de virages, quitte à allonger un peu la distance parcourue ; cela semble montrer une forme d'économie de la description. Ensuite, beaucoup préfèrent un trajet ou les progressions (au sens de Denis) les plus longues sont effectuées en premier, quand il existe un choix d'itinéraires de longueurs égales. Cela semble montrer une hiérarchisation de l'itinéraire, où les sujets préfèrent se rapprocher d'abord du but avant de raffiner le trajet. En dehors de ces critères, les itinéraires choisis sont généralement les plus courts, les critères secondaires (comme l'esthétique du trajet suivi en fonction du paysage) ne nous concernant pas ici.

Ce travail montre certaines contraintes portant sur le choix de segments de trajets effectifs quand il y a plusieurs possibilités. Il faut noter que certains travaux portent quant à eux sur le choix des repères qui peuvent guider un sujet; notamment (Golding *et al.*, 1996) étudie les types de descriptions employés suivant la connaissance dont font preuve des interlocuteurs à propos de l'environnement dans lequel l'un guide l'autre. Le degré de connaissance a en effet une influence sur le choix des repères et de la façon de les décrire, et l'étape initiale d'un dialogue sert généralement à déterminer les connaissances communes qui vont permettre d'élaborer une prescription d'itinéraire. Cette approche prend donc en compte les connaissances supposées de celui qui reçoit la description, alors que beaucoup de modèles se concentrent surtout sur l'élaboration d'un itinéraire en faisant abstraction des interlocuteurs et de leurs connaissances⁵. Il faut voir là peut-être le résultat d'un certain flou sur la définition d'un itinéraire, entre d'une part le trajet effectué dans l'espace (et les problèmes qui se posent sont ceux de l'élaboration d'un trajet respectant certaines conditions), et d'autre part sa description linguistique ou sa représentation interne dans le cas du robot de TOUR (et les problèmes portent sur le choix des descriptions: quels objets, comment les décrire, quels relations entre eux, etc).

8.2.3 Modèles computationnels

On peut constater d'après les études précédentes que les itinéraires décrits par les humains ne correspondent pas seulement à un parcours dans un graphe préexistant mais nécessitent de prendre en compte des aspects liés à la communication en langage naturel (sémantique du langage et règles pragmatiques de communication), ou à la perception de l'espace avec les capacités limitées des humains. Quelques auteurs ont proposé des modèles informatiques de représentation ou de production d'itinéraires qui prennent en compte ces aspects pour fournir des modèles plus réalistes que ceux de Kuipers. Ces travaux ne reprennent en général que quelques-unes des caractéristiques que nous avons vues de la réalité psychologique et langagière des itinéraires. Nous distinguons plusieurs familles, les unes regroupées sous l'appellation de "structures linéaires", les autres sous le nom de "structures hiérarchiques".

Structuration linéaire

Nous allons d'abord voir un travail représentatif d'une certaine forme de structuration des itinéraires, que nous appellerons "linéaire". Suivant en cela le modèle de Denis, Gryl propose le modèle suivant dans un but de mise en œuvre informatique : un itinéraire est une séquence de "descriptions locales" (DL) et de chemins. Son but est la recherche d'un itinéraire entre deux points d'un environnement donné, et le choix de sa description linguistique. Cette tâche se décompose en trois phases :

1. Détermination du parcours "physique" dans l'environnement qui est constitué d'un ensemble de lieux traversables (voies de communication, ou voies piétonnes dans une ville). Pour cela,

5. On peut aussi mentionner (Allen, 1997) sur les problèmes liés aux dialogues sur des itinéraires.

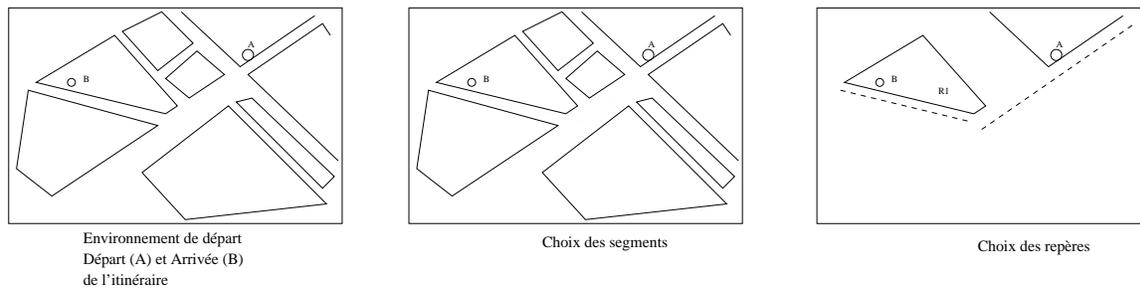


FIG. 8.1 - Construction linéaire d'après un exemple de Gryl.

en accord avec les résultats des études psychologiques que nous avons mentionnées, elle tient compte des contraintes suivantes: distance minimale, nombre minimum de tournants et maximisation des chemins suivant les plus grands axes (tout cela dépend évidemment du mode de déplacement, piéton ou avec un véhicule). Gryl mentionne aussi la “facilité d’énonciation” qui doit avoir une influence sur la verbalisation finale, mais ce que cette notion peut recouvrir reste indéfini. A la fin de cette étape, elle obtient un parcours plausible pour un humain, qui pourrait être décrit uniquement à l’aide des segments parcourus (le Boulevard St-Michel, puis les Berges, etc), mais Gryl pense que la description doit nécessairement comporter des repères supplémentaires, se fondant sur l’étude statistique des occurrences d’expressions dans le corpus, sans que cela infirme réellement la validité cognitive d’une description uniquement à base de segments.

2. La deuxième étape consiste donc à sélectionner des repères sur le parcours déterminé à l’étape 1. Il lui faut trouver des descriptions locales aux points de décisions éventuels, c’est-à-dire aux endroits du parcours où il y a un tournant ou une ambiguïté possible dans la direction à prendre.
3. La troisième étape est la génération des descriptions de l’itinéraire, le choix se faisant en mettant en correspondance certains traits des objets sélectionnés avec des expressions verbales qui admettent ces traits.

Par rapport à la distinction que nous avons décrite entre *structure* de l’itinéraire et *description* de l’itinéraire, il faut distinguer dans ce travail les aspects suivants : pour ce qui est de la structure, Gryl suppose un environnement plan donné numériquement, où aux objets sont également associés certaines propriétés (le fait d’être un lieu, un bâtiment, une rue, etc). Le choix des chemins possibles considère en fait cet environnement comme un graphe de voies de communications (malgré des affirmations contraires), dans lesquels les carrefours sont des noeuds quand on considère des déplacement de véhicules, et des sous-graphes si on considère un déplacement piéton. On se rapproche là du modèle de TOUR. Les repères servant essentiellement à décrire les noeuds de ce graphe, la structure globale de l’itinéraire est assez proche de celle de TOUR avec un enrichissement au niveau des descriptions permises. Pour ce qui est de la description de l’itinéraire, celle-ci se fait alors que le choix des segments et des repères est déjà déterminé et elle consiste juste à trouver une relation appropriée entre les divers éléments. Le rôle de la pragmatique de la communication est ainsi réduit au choix des formes de surface de la description alors que l’on pourrait penser en suivant Tversky ou Denis que c’est le choix des repères qui est un élément décisif dans la description. On pourrait qualifier cette construction d’itinéraire de “linéaire” dans la mesure où le choix des segments détermine ensuite de manière unique les points qui seront l’objet

d'une description linguistique, et qu'ils sont répartis de manière homogène le long du parcours. Nous allons voir que cela s'oppose à un autre type d'approche, plus hiérarchique.

Nous avons présenté l'approche de Gryl comme représentative d'une forme de structuration des itinéraires, dans laquelle on peut compter aussi les travaux de Fraczak (Fraczak *et al.*, 1998) et Moulin & Kettani (Moulin et Kettani, 1998), ceux-ci apportant en plus une modélisation formelle des concepts (notamment spatiaux) qui fait défaut à Gryl. Leur modèle admet cependant certaines limitations, par exemple les chemins ne se coupent qu'à angle droit. Malgré le titre de l'article, il faut également associer à cette tendance les travaux de (Maaß, 1994), qui établit un itinéraire comme une suite de segments auxquels on peut associer des repères, la construction étant appelée hiérarchique car elle part de la considération du trajet global pour arriver à l'ensemble des segments du parcours. Maaß mentionne la possibilité d'avoir des descriptions de granularité différente du trajet de l'itinéraire mais cela n'apparaît pas formellement.

Structuration hiérarchique

Les représentations que nous allons présenter brièvement apportent toutes d'une façon ou d'une autre un type de structure un peu différent des précédents, à savoir une forme de hiérarchisation des liens entre les éléments d'un itinéraire (que ce soit des portions de chemins ou des repères) au lieu d'avoir une structure "plate", linéaire.

On en trouve un premier exemple, peu détaillé dans (Berendt et Jansen-Osmann, 1997) où une description d'itinéraire est un choix de repères dans une représentation où les lieux traversés sont divisés : un itinéraire peut passer d'un campus à un parc à un certain niveau de granularité, chacun étant éventuellement subdivisible en une autre séquence faisant partie de l'itinéraire considéré. Cette hiérarchie est en fait utilisée pour calculer une forme de distance cognitive, qui dépend au moins autant du nombre de repères situés entre deux repères sélectionnés pour la représentation (graphique) finale que de la distance réelle, suivant en cela une étude expérimentale psychologique. Le choix des repères sélectionnés n'est pas le but de l'article et il n'y a donc pas d'indication de la façon d'utiliser plus généralement cette structure.

Un autre exemple de structure hiérarchique est issu des travaux de Timpf (Timpf *et al.*, 1992; Timpf, 1992). Son étude est restreinte aux réseaux autoroutiers américains, dans lesquels elle distingue trois niveaux de granularité: le niveau le plus haut correspond au graphe des autoroutes dont les noeuds sont constitués par les échangeurs entre autoroutes, le deuxième niveau correspond au niveau d'une autoroute, dont les éléments sont chaque sens de circulation, les échangeurs, et les entrées et sorties sur cette autoroute ; le troisième niveau correspond à un tronçon d'autoroute sur lequel on peut distinguer les voies de circulation, la bande d'arrêt d'urgence et les rampes d'accès. Un itinéraire est alors constitué de descriptions de différents niveaux "agrégés" pour se raccorder aux points où la granularité change. L'objectif est de fournir une représentation utilisable par un logiciel d'aide à la conduite pour planifier l'itinéraire (1er niveau), guider lors des sorties (2e niveau) et même (on est en Amérique) aider à piloter automatiquement sur les tronçons d'autoroutes. S'il est dommage que l'auteur n'ait pas envisagé un modèle plus générique d'environnement pour les itinéraires, ce travail présente cependant une approche computationnelle assez poussée dans la mise en œuvre et qui montre bien comment utiliser une structure hiérarchisée de l'espace pour obtenir des descriptions réalistes pour un opérateur humain.

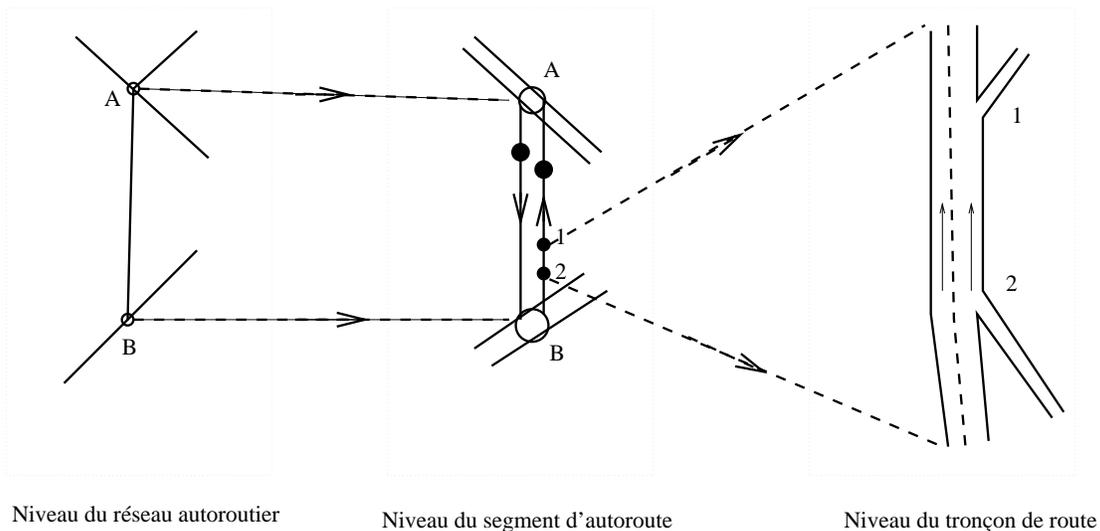


FIG. 8.2 - Représentation avec niveaux de granularité, d'après un exemple de Timpf.

Le travail présenté dans (Claramunt et Miguenaud, 1996) représente d'une certaine façon un modèle équivalent mais utilisé de façon plus générale à toutes sortes d'itinéraires, en considérant la possibilité d'imbriquer des réseaux dans d'autres réseaux (on peut passer du réseau autoroutier au réseau routier puis au réseau constitué par une ville ou (dans leur exemple) une université et avec autant de niveaux que l'on souhaite. Ces structures semblent être les plus proches de celles manipulées par des humains, considérant en détail certains points particuliers du trajet où des informations plus précises sont peut-être nécessaires (départ, arrivée, etc). En sélectionnant les endroits où la granularité change et en collant les débuts/fins de chaque niveau, on arrive à reconstituer une structure cohérente, représentable informatiquement. Par ailleurs chaque niveau est une partie de graphe classique.

On trouve à la figure 8.2 un exemple d'itinéraire avec plusieurs niveaux de granularité. Il s'inspire d'un exemple de Timpf, mais correspond aussi bien à l'approche de (Claramunt et Miguenaud, 1996). La figure 8.3 présente un schéma de la représentation d'un itinéraire A-B extrait d'un ensemble de chemins possibles. La figure de gauche est le cas de base, l'itinéraire est le chemin dans un graphe (une suite d'arcs reliant des noeuds) ; la figure centrale présente une structure dans un graphe avec des niveaux de grain explicite : plusieurs représentations d'un même itinéraire sont possibles en choisissant un niveau de grain ; la figure de droite correspond aux derniers cas que l'on a vus, où chaque segment peut être décrit avec un niveau de grain différent.

8.3 Représentation dans un cadre qualitatif

Nous nous proposons maintenant d'étudier comment on peut utiliser la théorie spatio-temporelle développée dans les chapitres précédents pour représenter des itinéraires et incorporer l'étude sémantique du chapitre 6 à un tel modèle.

Il nous semble en effet qu'une limitation importante des modèles existants est l'absence d'une sémantique explicite des concepts utilisés liés au mouvement à l'espace et au temps. Ce que peut apporter une approche par le raisonnement spatial qualitatif de sens commun est justement une caractérisation plus

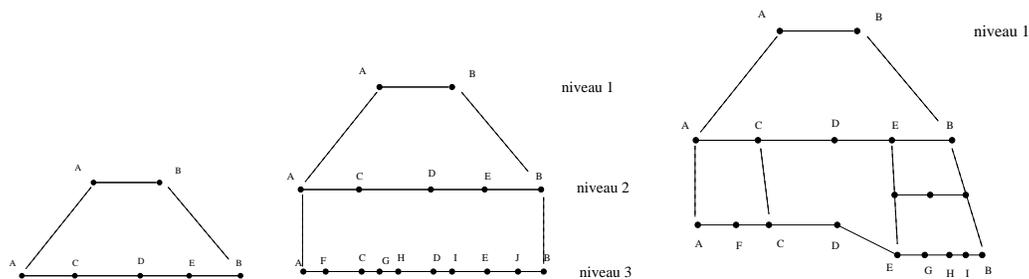


FIG. 8.3 - Différentes structures d'itinéraires.

générique des propriétés mises en jeu dans la production d'itinéraires. De plus, la représentation de la sémantique d'expression du langage naturel utilisée pour des descriptions d'itinéraires permet une adéquation cognitive plus forte des structures mises au jour, et ce d'autant plus qu'elles reprennent des études, linguistiques ou psychologiques, qui montrent la pertinence des concepts qualitatifs de l'espace et du mouvement pour la représentation de leur expression en langage naturel.

De ce point de vue nous pensons dépasser au moins l'absence de représentation des propriétés inférentielles associées aux structures d'itinéraires déjà mentionnées qui ne peuvent donc en donner qu'une caractérisation imprécise.

Nous allons donc exprimer en logique du premier ordre les contraintes structurelles qui portent sur les différents objets qui interviennent dans le domaine des itinéraires. Cela permet d'une part d'explicitier notre modèle et d'autre part de le rattacher aux représentations sémantiques que nous avons proposées ainsi qu'aux types de raisonnements que nous avons étudiés auparavant.

8.3.1 Distinctions ontologiques

Nous allons présenter brièvement les différents types d'entités que nous considérons dans nos structures d'itinéraires. On a vu que Lynch faisait des distinctions entre des types d'entités qui jouaient des rôles différents pour la structuration d'un itinéraire. Nous reprenons en partie ces distinctions comme raffinement d'une typologie plus large, qui distingue entre éventualités et objets physiques. Les éventualités sont principalement introduites par des syntagmes verbaux, les objets physiques par une certaine classe de syntagmes nominaux. Parmi ceux-ci (Aurnague *et al.*, 1997) distinguent les lieux géographiques, les objets, les substances, les portions d'espace. Nous aurons besoin ici de raffiner les lieux géographiques en voies de communication (ponts, portions de routes, carrefours, etc...), régions (lieux géographiques qui ne rentrent pas dans les catégories précédentes : villes, pays, etc) et frontières (de régions). Pour les objets, il faut différencier ceux qui peuvent servir de repère (objets fixes) et ceux qui se déplacent sur les voies de communications (mobiles). Nous ne sommes pas concernés ici par les substances ou les portions d'espace. Il faut garder à l'esprit que nous nous autorisons ceci parce que nous nous plaçons dans le contexte restreint d'expression ne concernant que la description d'itinéraire au sens défini au début de ce chapitre. On note le type lieu par *loc*, le type objet par *obj* et *vc* désigne le type "voie de communication".

A 8.1 $eventualite(x) \oplus loc(x) \oplus obj(x)$

$$\mathbf{A\ 8.2} \quad loc(x) \rightarrow (vc(x) \oplus frontiere(x) \oplus region(x))$$

$$\mathbf{A\ 8.3} \quad obj(x) \rightarrow (obj_fixe(x) \oplus mobile(x))$$

Cette dernière contrainte est très particulière au contexte des itinéraires ou généralement la distinction est assez claire (les mobiles sont des agents ou des véhicules, les repères tout ce qui ne rentre pas dans les catégories précédentes) ; il faut garder à l'esprit que dans un cadre général elle n'a de sens que si on a pu définir un cadre de référence qui permet d'isoler ce qui est fixe et ce qui ne l'est pas nécessairement.

8.3.2 Grain le moins fin: réseaux, graphes

Un réseau routier est au niveau le plus global un ensemble de carrefours et de segments de routes formant une structure de graphe. Nous présentons ici les contraintes qui caractérisent la structure de l'ensemble des voies de communication au niveau de granularité le moins fin qui est généralement celui associé aux itinéraires. Par carrefour nous entendons en fait n'importe quel embranchement de portions de route. Un segment est alors une partie de réseau maximale connectant deux carrefours. Tous ces types d'objets appartiennent au type "voies de communication" (vc). On notera un réseau routier par RN.

$$\mathbf{D\ 8.1} \quad RN(x) \triangleq \exists y_1, \dots, y_n \exists z_1, \dots, z_m \left(x = \sum_i y_i + \sum_i z_i \wedge \left(\bigwedge_i jonction(y_i) \bigwedge_i segment(z_i) \right) \right)$$

Les réseaux sont connexes :

$$\mathbf{A\ 8.4} \quad RN(x) \rightarrow CON(x)$$

Deux carrefours différents sont disjoints:

$$\mathbf{A\ 8.5} \quad \forall y_1, y_2 [(jonction(y_1) \wedge jonction(y_2)) \rightarrow (DC_{y_1 y_2} \vee y_1 = y_2)]$$

Deux segments différents sont disjoints:

$$\mathbf{A\ 8.6} \quad \forall s_1, s_2 [(segment(s_1) \wedge segment(s_2)) \rightarrow (DC_{s_1 s_2} \vee s_1 = s_2)]$$

Les segments et les carrefours ne se recouvrent pas:

$$\mathbf{A\ 8.7} \quad (segment(x) \wedge jonction(y)) \rightarrow \neg O_{sp}xy$$

Tout carrefour est relié à au moins deux segments :

$$\mathbf{A\ 8.8} \quad (jonction(y) \wedge RN(x)) \rightarrow \exists s_1, s_2 (s_1 \neq s_2 \wedge segment(s_1) \wedge segment(s_2) \wedge C_{s_1 y} \wedge C_{s_2 y})$$

Les segments et carrefours sont des voies de communication :

$$\mathbf{A\ 8.9} \quad (segment(x) \vee jonction(x)) \rightarrow vc(x)$$

Une fois posée cette structure de base, nous pouvons maintenant nous concentrer sur les formes de descriptions plus fines, au niveau des parties du graphe de voies de communications que sont les segments de route.

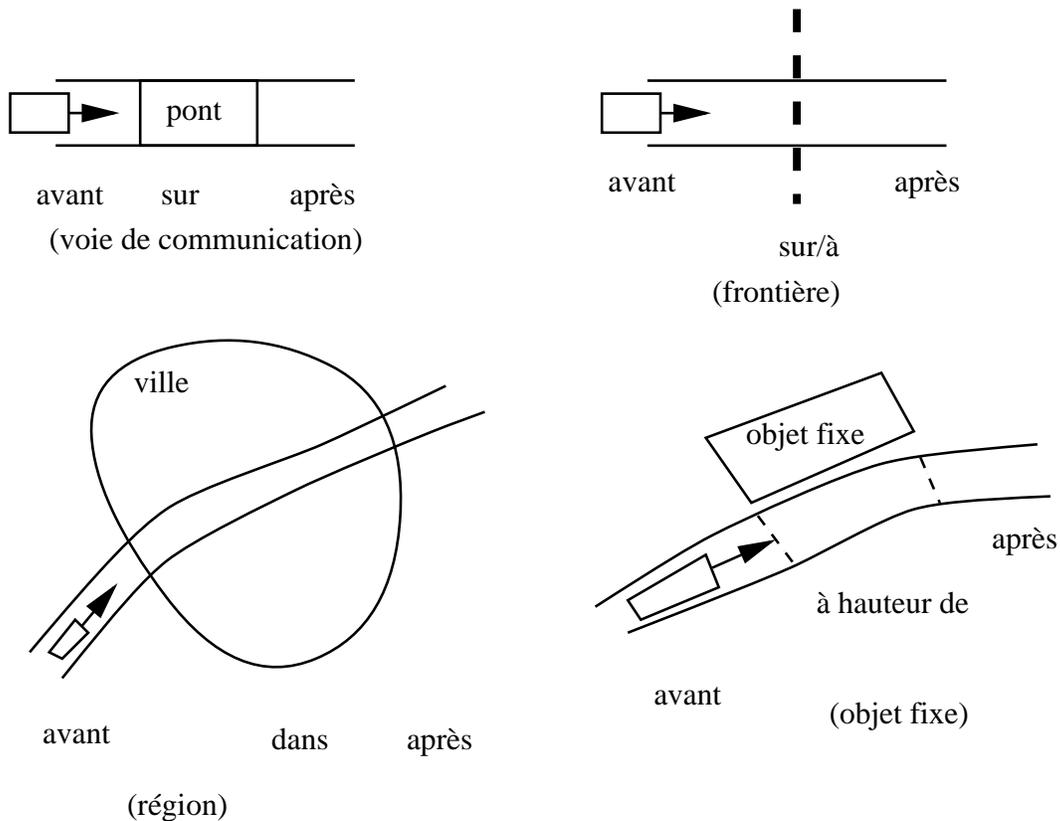


FIG. 8.4 - Les trois zones déterminées par un repère

8.3.3 Segments, tronçons et repères

Données linguistiques

Nous allons voir sur quelques exemples comment les descriptions linguistiques nous renseignent sur la structuration qu'il faut apporter aux itinéraires pour les modéliser dans une perspective cognitive. La première chose sur laquelle tous les auteurs s'accordent est l'importance de repère qui servent à localiser une description sur un itinéraire. Par exemple :

- (20) Le véhicule est juste avant le Pont St-Michel du côté rive gauche.
- (21) Le camion a passé la frontière à 7h.
- (22) La voiture a traversé Toulouse en 10mn.
- (23) Le bus est arrivé au Stadium en passant devant la piscine.

Dans l'exemple (20), le repère est une partie du trajet suivi et détermine une zone de transition entre la partie de route sur laquelle le véhicule peut être dit *avant le pont* et celle où il peut être dit *après le pont*. Le repère indique ici une partie du réseau de voies de communication et signale donc l'endroit de la progression sur celui-ci. On peut penser que le véhicule sera alors à un moment *sur le pont*.

Mais le plus souvent les repères que l'on dit être situés "sur" un certain chemin peuvent n'être en fait que des balises le long du chemin, comme dans l'exemple (23). Le trajet suivi par les véhicules éventuellement considéré comporte alors une partie sur laquelle ils peuvent être considérés *avant le repère*, une partie sur laquelle ils sont *après* et une partie de transition (qui correspond en gros à la projection orthogonale du repère sur le chemin) pour laquelle ils sont *devant, au niveau du, à hauteur du* repère, à partir du moment où ils sont sur le tronçon, même partiellement. Dans le cas de l'exemple (22), le repère est une région qui englobe la partie de route concernée par ce trajet.

Nous appelons "tronçon lexical" une partie de la route qui peut être définie de cette façon (par une référence linguistique à un objet existant). Ainsi, *le pont, le tronçon en face de la piscine* sont des tronçons lexicaux. Nous dirons qu'un repère crée un tronçon lexical qui est une partie de la route faisant partie du chemin par rapport auquel le repère est considéré. La figure 8.4 illustre les cas possibles. Nous supposons qu'un repère détermine systématiquement un tronçon lexical par rapport à un chemin donné, y compris dans les cas analogues à l'exemple (21) où le repère est constitué par une frontière, dont l'extension est souvent négligeable par rapport aux véhicules que l'on considère. Dans ce cas, on considère que le véhicule est *sur la frontière, à la frontière ou au niveau de la frontière* quand il chevauchera celle-ci, le tronçon lexical correspondant étant l'intersection de la voie de communication et de la limite.

Segments Un réseau de voies de communication peut se diviser en plusieurs segments reliés par des carrefours, et peut ainsi être représenté par un graphe. De façon plus détaillée, chaque segment entre carrefours peut être découpé en tronçons plus petits qui peuvent représenter la position d'un véhicule ou d'un repère. On peut aussi parler des tronçons de voies de communication sur un segment sans qu'ils correspondent à des tronçons lexicaux au sens introduit ci-dessus. Par exemple :

(24) J'ai parcouru l'A20 entre Orléans et Chateauroux.

Dans ce cas les tronçons correspondent aux parties du réseau entre les tronçons déterminés par des repères par projection.

Plusieurs tronçons peuvent se chevaucher dans le cas de plusieurs repères proches. Dans le cas de deux repères qui déterminent deux tronçons lexicaux se chevauchant, l'intersection peut encore être considéré comme un tronçon lexical, cf figure 8.5, où le tronçon T2 est le tronçon *en face* des repères A et B.

(25) La voiture se trouve devant le grand magasin et en face de la Poste.

On va considérer également la possibilité de repérer un mobile par rapport aux différences de tronçons se chevauchant comme précédemment :

(26) La voiture se trouve devant la maison mais pas en face du garage.

Ce qui correspond aux segments T1 et T3 sur la figure 8.5. Cette structuration des itinéraires déterminée par les repères est absente des modèles d'itinéraires que nous connaissons où les repères sont toujours associés à des points sur le trajet.

Modélisation

Segments et tronçons Les éléments de voies de communication seront considérés comme les éléments d'un cadre de référence, et comme tels seront "fixes" topologiquement les uns par rapport aux

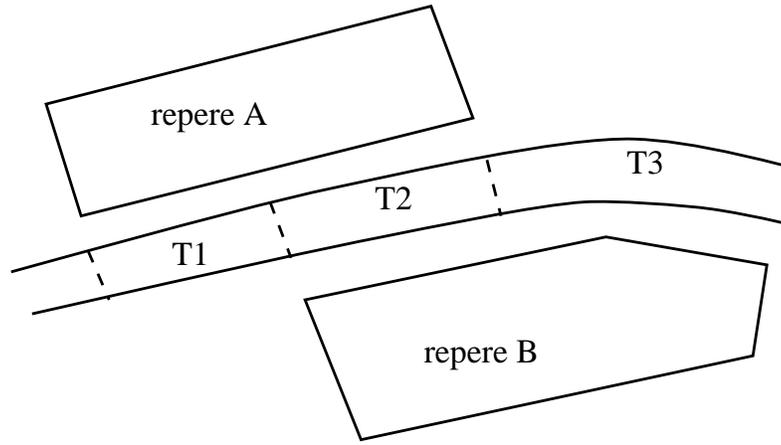


FIG. 8.5 - Chevauchement de tronçons lexicaux.

autres (au sens vu chapitres 5 et 7), c'est-à-dire que toute relation topologique reliant deux entités est spatiale (c'est la même pour toutes tranches des entités).

On désignera par RS ("road stretches") les tronçons de route, qui peuvent être lexicaux (LRS) ou non (NLRS) :

$$\mathbf{D\ 8.2} \quad \text{RS}(x) \triangleq (\text{LRS}(x) \vee \text{NLRS}(x))$$

Chaque tronçon de route fait partie d'un segment :

$$\mathbf{A\ 8.10} \quad \text{RS}(x) \rightarrow \exists y (\text{segment}(y) \wedge \text{Pxy})$$

Par l'axiome 8.6, ce segment est unique.

On considère que les tronçons sont connexes et fermés "spatialement" :

$$\mathbf{A\ 8.11} \quad \text{RS}(x) \rightarrow \forall x' (\text{TS}x'x \rightarrow (\text{CON}(x') \wedge cx = x))$$

Les tronçons se chevauchant définissent de nouveaux tronçons :

$$\mathbf{A\ 8.12} \quad (\text{LRS}(x) \wedge \text{LRS}(y) \wedge \text{PO}_{sp}xy) \rightarrow (\text{LRS}(c(x-y)) \wedge \text{LRS}(c(y-x)) \wedge \text{LRS}(c(x \cdot y)))$$

Entre des tronçons lexicaux d'un même segment, il existe un tronçon non lexical qui fait le lien :

$$\mathbf{A\ 8.13} \quad (\text{LRS}(x) \wedge \text{LRS}(y) \wedge \neg \text{C}_{sp}xy \wedge \text{segment}(z) \wedge \text{Pxz} \wedge \text{Pyz}) \rightarrow \\ \exists u (\text{RS}(u) \wedge \text{Puy} \wedge \text{ECux} \wedge \text{ECuy})$$

Entre les carrefours du réseau de voies de communication et les tronçons lexicaux apparaissant sur les segments reliés à ces carrefours, il y a un tronçon non lexical qui fait le lien :

$$\mathbf{A\ 8.14} \quad (\text{LRS}(x) \wedge \text{segment}(y) \wedge \text{Pxy} \wedge \text{jonction}(z) \wedge \text{Czy}) \rightarrow \\ \exists u (\text{NLRS}(u) \wedge \text{Puy} \wedge \text{ECuz} \wedge \text{ECux})$$

Ainsi on a effectivement qu'un segment est un ensemble de LRS reliés entre eux et reliés aux carrefours bornant les segments par des NLRS, ou bien le segment est lui-même un NLRS.

Repères et tronçons Nous introduisons ici une relation d'association d'un repère à un tronçon de route comme relation primitive⁶.

Un repère peut être associé à un tronçon lexical, mais aussi au segment le contenant (à un niveau de granularité supérieur) comme dans :

(27) J'ai pris la route qui passe devant la centrale nucléaire.

A 8.15 $associate(x, y) \rightarrow (segment(y) \vee LRS(y))$

En fait cela correspond à ce qu'il existe un tronçon faisant partie du segment, associé au repère :

A 8.16 $(associate(x, y) \wedge segment(y)) \rightarrow \exists t (LRS(t) \wedge Pty \wedge associate(x, t))$

A 8.17 $(LRS(t) \wedge segment(y) \wedge Pty \wedge associate(x, t)) \rightarrow associate(x, y)$

Ordre sur un segment On a vu dans l'exemple (20) que l'on pouvait décrire une position d'un mobile sur un segment à l'aide de la préposition *avant*. Cette préposition exprime de façon la plus générale, une précedence par rapport à un ordre, qui dans le cas d'un itinéraire se trouve restreint à l'ordre sur un segment de route (pour une étude plus précise de la préposition cf. (Vandeloise, 1986) et dans le cadre des itinéraires (Muller, 1996)). On va donc caractériser cet ordre sur un segment, qui correspond à l'ordre de parcours des tronçons du segment par un éventuel mobile. Il faut noter qu'il y a deux ordres de parcours possibles sur un segments, et qu'il faut donc pouvoir les distinguer. On relativisera donc l'ordre par rapport à l'un des carrefours extrémités du segment, par exemple celui vers lequel on se dirige en suivant l'ordre en question. On définit pour cela la relation suivante qui se lit "le tronçon x joint le tronçon y au carrefour z " :

D 8.3 $joint(x, y, z) \triangleq RS(x) \wedge RS(y) \wedge jonction(z) \wedge \exists t (segment(t) \wedge Pxt \wedge Pyt \wedge Czt) \wedge ECxy \wedge ECxz$

Ce tronçon existe bien par l'axiome d'existence 8.14. Pour imposer la linéarité de chaque segment par rapport aux tronçons qui le composent on peut ajouter la contrainte suivante que ce tronçon est également unique :

A 8.18 $(joint(x, y, z) \wedge joint(t, y, z)) \rightarrow x = t$

Ce qui nous donne par exemple la propriété suivante comme conséquence, qui exprime qu'un tronçon reliant y et z contient tout tronçon v reliant z à une partie u de x :

Th 8.1 $(joint(x, y, z) \wedge Pux \wedge joint(v, u, z)) \rightarrow Pvx$

Ceci permettra de montrer que l'on peut définir un ordre linéaire sur chaque segment. On peut alors en effet définir une relation d'ordre sur un segment. La relation $ordre(x, y, z, t)$ se lit comme suit : "le tronçon x est avant le tronçon y en allant vers le carrefour t sur le segment z ". On la définit en disant qu'il existe un tronçon u reliant x et t sur z tel que y fait partie de u , et x et y ne se recouvrent pas ; on peut aussi ajouter que tout tronçon est "avant" le carrefour qui sert à définir l'ordre correspondant :

D 8.4 $ordre(x, y, z, t) \triangleq RS(x) \wedge segment(z) \wedge jonction(t) \wedge Pxz \wedge Pyz \wedge \neg Oxy \wedge Czt \wedge ([\exists u (joint(u, x, t) \wedge Pyu \wedge RS(y))] \vee y = t)$

6. En fait, avec un modèle géométrique assez fin on pourrait définir le tronçon associé comme la projection du repère sur un segment.

On peut définir une relation d'ordre inverse, notée *ordre_inv* :

$$\mathbf{D\ 8.5} \quad \text{ordre_inv}(x, y, z, t) \triangleq \text{ordre}(y, x, z, t)$$

On vérifie facilement qu'*ordre* est une relation d'ordre pour *z* et *t* fixé :

$$\mathbf{Th\ 8.2} \quad \text{ordre}(x, y, z, t) \rightarrow \neg \text{ordre}(y, x, z, t)$$

$$\mathbf{Th\ 8.3} \quad \text{ordre}(x, y, z, t) \wedge \text{ordre}(y, u, z, t) \rightarrow \text{ordre}(x, u, z, t)$$

Et on a sur chaque segment un ordre linéaire pour un carrefour fixé :

$$\mathbf{Th\ 8.4} \quad (\text{RS}(x) \wedge \text{RS}(y) \wedge \text{segment}(v) \wedge \text{P}(x + y)v \wedge \text{jonction}(t) \wedge \text{Ctv}) \rightarrow (\text{Oxy} \vee \text{ordre}(x, y, v, t) \vee \text{ordre}(y, x, v, t))$$

En particulier :

$$\mathbf{Th\ 8.5} \quad (\text{RS}(x) \wedge \text{RS}(y) \wedge \text{Pxy} \wedge \text{ordre}(y, u, z, t)) \rightarrow \text{ordre}(x, u, z, t)$$

$$\mathbf{Th\ 8.6} \quad (\text{RS}(x) \wedge \text{RS}(y) \wedge \text{Pxy} \wedge \text{ordre}(u, y, z, t)) \rightarrow \text{ordre}(u, x, z, t)$$

On a donc à ce stade exprimé les contraintes structurelles entre les divers types d'entités qui prennent part à une structure d'itinéraire et qui nous paraissent centrales.

8.3.4 Structures d'itinéraire

Nous avons tous les éléments pour indiquer maintenant ce que nous voulons représenter par la notion de structure d'un itinéraire. Nous avons mentionné que la notion d'itinéraire correspond souvent à des choses différentes suivant les auteurs, soit que cela soit le trajet physique (éventuellement) parcouru par un mobile (et on peut se poser la question de sa structuration), soit que ce soit la description partielle dans un langage (symbolique ou naturel) d'un trajet potentiel de ce type. On peut rappeler les différentes perspectives :

1. soit on cherche un itinéraire entre deux repères, et l'itinéraire est ici l'ensemble des voies de communication menant de l'un à l'autre, respectant certaines contraintes (distance, facilité d'accès, etc...) (l'exemple typique est (Liu, 1995) ou la première étape de (Gryl, 1996)).
2. soit on analyse une description d'itinéraire pour la représenter symboliquement et on peut éventuellement déduire le chemin physique parcouru de l'ensemble des repères mis en jeu. Dans ce cas, il faut une sémantique précise des expressions verbales mises en jeu qui permet de représenter de façon adéquate les structures décrites.
3. soit on dispose d'un parcours complet (après une étape du premier type, comme (Gryl, 1996)), et on cherche à décrire en langage naturel ce parcours pour le communiquer à un opérateur humain. Si l'on prend tous les repères associables aux segments parcourus ou à parcourir, se pose le problème du choix des objets qui vont intervenir dans la description.

Nous rappelons que nous ne considérons pas la problématique du 1. On a vu que même si on peut avoir une hiérarchie de niveaux de granularité des descriptions, un itinéraire combine souvent des niveaux de grain différents pour certains endroits du parcours. Il faut donc une représentation explicite des intentions qui guident l'élaboration d'une description pour pouvoir effectuer le choix des repères. On a donc ici uniquement représenté les éléments qui sont disponibles par rapport à ce choix, sans décider a priori de ce que sont les intentions qui guident la description (contrairement par exemple à Gryl qui se place dans le cadre d'une description qui doit servir à guider une autre personne dans le cadre de référence). Nous nous plaçons donc entre les points 2) et 3) : nous proposons une représentation des informations relatives aux itinéraires dans quelques classes d'expressions, et une façon de structurer un itinéraire dans l'optique de sa description, les intentions descriptives manipulant alors directement la structure considérée.

Pour ce qui est de ce dernier point, dans la mesure où on peut considérer comme acquis qu'une description d'itinéraire est un ensemble de descriptions de mouvements et de descriptions locales entre repères intervenant dans les mouvements, nous adoptons la structure globale ci-dessous pour un itinéraire "physique" : une hiérarchie de voies de communication, constituée de carrefours et de segments entre les points de départ et d'arrivée, qui est raffinable sur chaque segment en utilisant les tronçons lexicaux introduits par les repères disponibles et les tronçons non lexicaux qui relient les précédents. Une grosse différence est cependant que nous considérons la description de l'itinéraire guidée par des intentions descriptives qui ne déterminent pas d'abord le niveau de grain et ensuite les repères pertinents, mais plutôt qui opèrent une sélection de repères pertinents qui peuvent être choisis *avant* de déterminer le parcours qui sera suivi. Ces repères pertinents pouvant être aussi des parties de voies de communication (des éléments du chemin parcouru), il faut une structure qui donne accès au même niveau aux éléments (segments et carrefours) du réseau et aux repères associés à ces éléments. A partir d'un choix de repères et de segments, le parcours complet est constitué de tous les tronçons (lexicaux ou non) induits par les repères choisis. En analyse, on obtient donc une suite de localisations sur des tronçons qui peuvent être manipulées par le modèle géométrique comme base pour des inférences ; si le problème est la génération, c'est la description par rapport aux tronçons lexicaux induits par les repères qui est importante. La figure 8.6 montre le type de structure globale dont on a besoin pour la description d'un itinéraire entre deux points A et B. La figure 8.7 montre l'information symbolique associée à un segment une fois que les repères pertinents sont choisis. Nous ne prétendons pas résoudre ici le problème du choix des repères et décider du rôle des intentions descriptives dans ce choix (ces intentions étant liées à des tâches particulières), mais seulement proposer un modèle qui permette de gérer ces aspects sans imposer des choix a priori de ces intentions descriptives et donc rester modulaire vis à vis des intentions⁷. De plus nous avons mis l'accent sur les liens qui existent entre des représentations à des granularités différentes, depuis le niveau global semblable à un graphe, jusqu'aux niveaux plus précis par rapport à la situation spatiale (liens entre chemins, repères, carrefours, etc...) qui permettent de mettre en jeu certaines propriétés du modèle de raisonnement spatial qualitatif que nous proposons⁸.

Nous allons maintenant voir comment on peut représenter le sens de certaines expressions du langage

7. Nous ne proposons donc pas d'algorithmes de génération d'itinéraires par exemple, car cela implique d'avoir une théorie des intentions descriptives possibles ou bien de faire des hypothèses restrictives implicites.

8. Un des aspects de la granularité des représentations qui n'est pas traité ici est celui du changement éventuel de catégorie d'une entité, qui peut faire considérer par exemple une région (comme une ville) comme un carrefour pour un itinéraire à l'échelle d'un grand voyage par exemple.

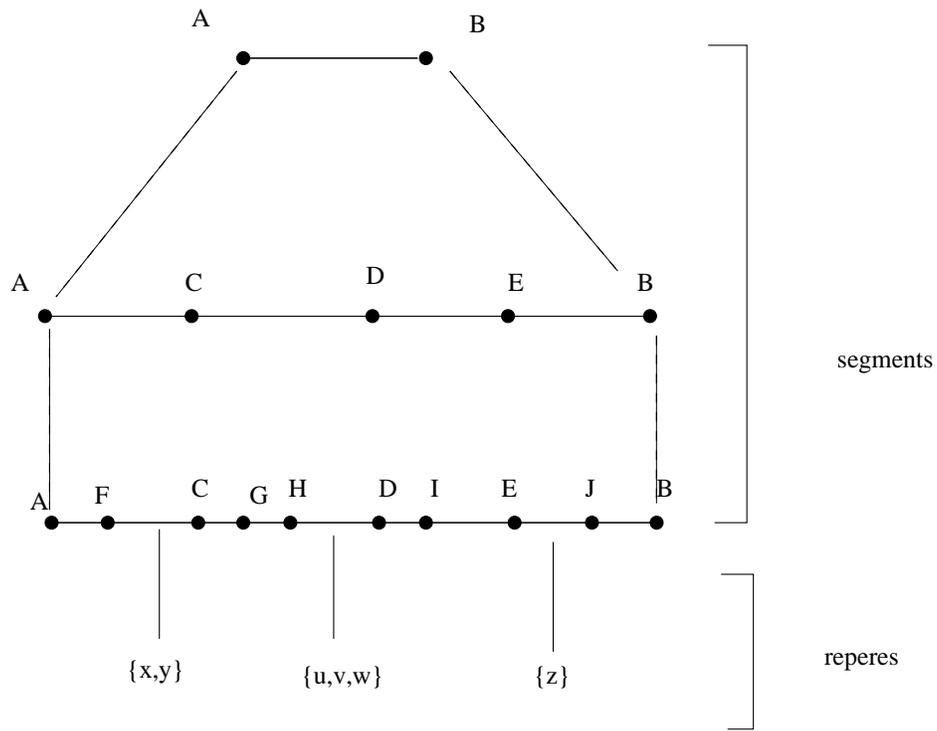


FIG. 8.6 - La structure d'itinéraire adoptée.

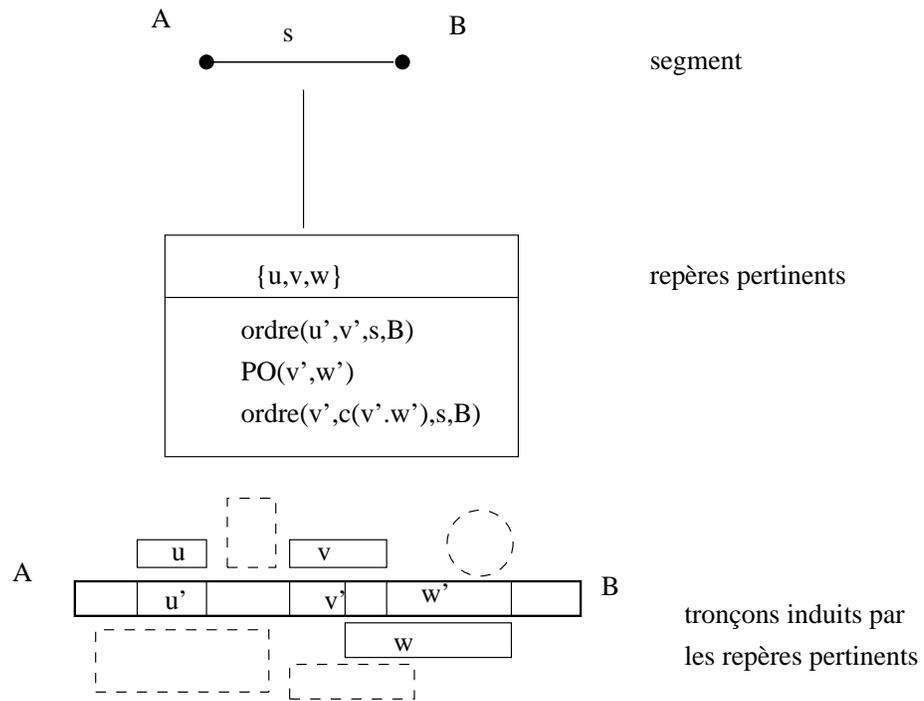


FIG. 8.7 - Information attachée à un segment.

qui sont couramment utilisées dans le contexte des itinéraires, et qui peuvent servir à décrire la plupart des situations qui nous intéressent.

8.4 Représentation de certains éléments lexicaux

Dans le cadre de référence que l'on a délimité pour les itinéraires, on peut préciser les informations spatio-temporelles véhiculées par certains éléments du lexique, et qui permettent de décrire les structures que nous avons étudiées. Ce sont essentiellement des prépositions (dites "spatiales") et des verbes de déplacement. On a déjà mentionné au chapitre 2 certaines grandes distinctions entre les types de localisations portant sur un objet par rapport à un autre. Pour Jackendoff par exemple, les prépositions spatiales décrivent des situations typiquement représentées par quatre expressions *inside* pour une localisation interne (avec *dans*), *against* pour un contact (*sur*, *contre*), *close* pour les relations de proximité (ce qui peut inclure *devant*, *à gauche*, etc.), et *far* pour les descriptions les moins proches (*loin de*). Nous avons déjà vu au fur et à mesure de l'exposé quelques expressions indispensables aux descriptions de relations entre un mobile et des repères ou voies de communication : *sur*, *dans*, *avant*, *après*, *devant*, *à hauteur de*, et elles regroupent trois des quatre types de localisation avancés par Jackendoff. Si on ajoute *vers* pour caractériser une direction de mouvement sur un segment, on peut considérer que l'on a, avec les classes de verbes de déplacement vues au chapitre 6, la base de descriptions de mouvements sur des voies de communication éventuellement par rapport à certains repères extérieurs.

8.4.1 Prépositions

Nous précisons ici la sémantique de certaines prépositions utiles pour la description d'itinéraires. Certaines de ces prépositions ont été étudiées en profondeur par d'autres auteurs, et nous reprenons leur analyse à notre compte, en ajoutant quelques propriétés plus spécifiques au contexte des itinéraires. Certains auteurs font une distinction entre prépositions "statiques" (comme *dans*, *sur*, *devant*) qui semblent caractériser plutôt une localisation et prépositions "dynamiques" (comme *vers*) qui semblent caractériser un mouvement. Nous préférons considérer que toutes expriment des contraintes spatio-temporelles pendant une éventualité, et qu'aucune ne présuppose le mouvement ou l'absence de mouvement (ce qui est étayé par l'étude des complexes formés par un verbe de mouvement et une préposition dans (Sablayrolles, 1995)). Ainsi par exemple, la préposition *sur*, étudiée en détail dans (Aurnague, 1991), peut caractériser un mouvement sur une voie de communication. On peut considérer dans le cas d'itinéraires qu'elle se caractérise par un contact avec cette voie, par un alignement avec sa direction, et une position au-dessus par rapport à la gravité. Nous n'avons pas les moyens dans notre langage d'exprimer ces contraintes d'orientation mais nous verrons au fur et à mesure ce que cela peut entraîner comme propriétés vis à vis d'autres expressions. Pour l'instant, on prend :

A 8.19 $sur(x, y, e) \rightarrow mobile(x) \wedge vc(y) \wedge eventualite(e) \wedge EC_{sp}(x/e)(y/e)$

Nous représentons aussi, de façon un peu sous-spécifiée, la sémantique de la préposition *vers* dans un contexte d'itinéraire comme suit :

A 8.20 $vers(x, z, t, e) \rightarrow (segment(z) \wedge sur(x, z, e) \wedge$
 $\exists e_1, e_2, t_1, t_2 [e_1 < e_2 \wedge (e_1 + e_2) \subseteq_t e \wedge sur(x, t_1, e_1) \wedge sur(x, t_2, e_2)] \wedge$
 $\forall e_1, e_2, t_1, t_2 [(e_1 < e_2 \wedge (e_1 + e_2) \subseteq_t e \wedge sur(x, t_1, e_1) \wedge sur(x, t_2, e_2)) \rightarrow avant(t_1, t_2, z, t)]]$

Cela exprime l'orientation sur un segment vers l'un ou l'autre des carrefours qui le bornent et la progression sur le chemin. On peut définir la relation symétrique exprimant que le mobile s'éloigne du carrefour :

$$\begin{aligned} \mathbf{A\ 8.21} \quad & \text{away}(x, z, t, e) \rightarrow (\text{segment}(z) \wedge \text{sur}(x, z, e) \wedge \\ & \exists e_1, e_2, t_1, t_2 [e_1 < e_2 \wedge (e_1 + e_2) \subseteq_t e \wedge \text{sur}(x, t_1, e_1) \wedge \text{sur}(x, t_2, e_2)] \wedge \\ & \forall e_1, e_2, t_1, t_2 [(e_1 < e_2 \wedge (e_1 + e_2) \subseteq_t e \wedge \text{sur}(x, t_1, e_1) \wedge \text{sur}(x, t_2, e_2)) \rightarrow \text{avant}(t_2, t_1, z, t)]) \end{aligned}$$

La relation “ordre” à quatre arguments vue plus haut permet aussi de définir :

$$\mathbf{D\ 8.6} \quad \text{avant}(x, y, z) \triangleq \exists t, u, e_1, v (\text{jonction}(t) \wedge \text{RS}(u) \wedge \text{RS}(v) \wedge \text{sur}(x, u, e_1) \wedge \text{vers}(x, z, t, e_1) \wedge \text{associate}(y, v, z) \wedge \text{ordre}(u, v, z, t))$$

qui exprime que x (en mouvement) est avant un repère y sur z , conformément à ce que nous avons observé plus haut. Ce n'est pas le seul sens de la préposition, qui peut mettre en relation deux mobiles ou deux repères statiques, cas que nous ne considérons pas ici. Et on peut aussi définir *après* comme :

$$\mathbf{D\ 8.7} \quad \text{apres}(x, y, z) \triangleq \exists t, u, e_1, v (\text{jonction}(t) \wedge \text{RS}(u) \wedge \text{RS}(v) \wedge \text{sur}(x, u, e_1) \wedge \text{vers}(x, z, t, e_1) \wedge \text{associate}(y, v, z) \wedge \text{ordre_inv}(u, v, z, t))$$

La préposition *dans*, étudiée dans (Vieu, 1991) est caractérisée dans le cas des itinéraires par :

$$\mathbf{D\ 8.8} \quad \text{dans}(x, y, e) \triangleq \text{region}(y) \wedge \exists t (\text{sur}(x, t, e) \wedge \text{vc}(t) \wedge \text{P}_{spty})$$

Pour compléter les cas possibles de description de la localisation d'un mobile par rapport à un repère avec une préposition, on introduit aussi les prépositions ou locutions prépositionnelles à *hauteur de*, *devant*, *derrière*.

La locution à *hauteur de* correspond à un mobile présent sur le tronçon lexical associé à un repère :

$$\mathbf{D\ 8.9} \quad \text{a_hauteur}(x, y, z, e) \triangleq \exists t (\text{LRS}(t) \wedge \text{associate}(y, t, z) \wedge \text{sur}(x, t, e))$$

On peut aussi décrire cette situation en disant que le mobile est/passe *devant* le repère (une description orientée par le mouvement sur un segment), sauf si celui-ci a une orientation intrinsèque qui détermine un *devant* dans l'absolu ; on introduit alors un “devant” à quatre arguments, spécifique au contexte des itinéraires :

$$\mathbf{D\ 8.10} \quad \text{devant}(x, y, z, e) \triangleq (\neg \text{orient_int}(y) \rightarrow \text{a_hauteur}(x, y, z, e)) \wedge (\text{orient_int}(y) \rightarrow \text{devant}(x, y, e))$$

Ici $\text{devant}(x, y, e)$ code le sens intrinsèque, cf. (Aurnague, 1995). Aurnague introduit des directions comme objets primitifs, mais le lien avec des objets étendus n'est pas complètement explicité, et nous préférons ne pas introduire de directions à ce stade. C'est le point principal qui serait à approfondir pour un modèle plus complet des expressions décrivant un itinéraire.

On a cependant une représentation de certaines propriétés de ces expressions et des liens qu'elles entretiennent dans un cadre relatif à des itinéraires. Et en considérant comme primitifs les liens entre repères et tronçons et tronçons entre eux, on manipule juste l'information relative à l'orientation qui est nécessaire pour les itinéraires.

8.4.2 Verbes de déplacement

On a proposé une représentation des propriétés spatio-temporelles topologiques des éventualités décrites par certains verbes de mouvement au chapitre 6. On ajoutera les contraintes suivantes, propres aux descriptions utilisées pour des itinéraires, à cette caractérisation des expressions du déplacement. Tout d'abord, la base topologique de chaque déplacement consiste en une localisation sur un tronçon associé au site (qui sert de repère), pendant la PSP :

$$\mathbf{A\ 8.22} \text{ déplacement}(e) \rightarrow \exists t \exists y (\text{RS}(t) \wedge \text{associe}(t, \text{site}(e)) \wedge \text{sur}(\text{cible}(e), t, \text{PSP}(e)))$$

On a aussi des contraintes propres à chaque classe de verbe sur la façon dont on peut associer un tronçon au site, et bien sûr suivant le type du site comme on l'a vu plus haut. Par exemple, pour les internes, si le site est du type "voie de communication", le tronçon associé est le site lui-même.

$$\mathbf{A\ 8.23} (\text{déplacement}(e) \wedge \text{interne}(e) \wedge \text{associe}(t, \text{site}(e)) \wedge \text{vc}(\text{site}(e))) \rightarrow t = \text{site}(e)$$

Ce qui n'est pas vrai pour les médians par exemple (on peut *dépasser un pont* en passant dessous par exemple). Pour le reste les classes de verbes du chapitre 6 fournissent des descriptions de comportement vis-à-vis d'un repère : les initiaux et les finaux internes rapportent le déplacement par rapport à une région qui contient une partie du réseau, les médians internes circonscrivent le déplacement à une partie du réseau. les médians transitionnels comme *traverser* correspondent au passage sur une région ou un repère/tronçon lexical.

On peut de plus préciser un peu les informations relatives à l'orientation du déplacement pour caractériser plus utilement la sémantique des médians externes (qui sinon ne sont pas très informatifs). Des descriptions comme *passer le péage*, où *approcher le carrefour*, classées comme médians externes dans l'absolu, correspondent à des situations spatio-temporelles différentes vis-à-vis des tronçons concernés par les repères introduits par le site. Dans le premier cas lors du mouvement le mobile sera passé sur le tronçon associé au repère, dans le second, le mobile n'y est pas passé mais se dirige vers lui. Dans la mesure où l'on peut exprimer ces informations dans le cadre des itinéraires, on les ajoutera pour compléter la représentation lexicale. On peut ajouter un déplacement symétrique de *approcher*, même si il ne fait pas partie de la classe des verbes étudiés, avec l'expression *s'éloigner de*.

$$\mathbf{A\ 8.24} \text{ approcher}(x, y, e) \rightarrow \exists z (\text{segment}(s) \wedge \text{sur}(x, z, e) \wedge \text{vers}(x, y, z, e))$$

$$\mathbf{A\ 8.25} \text{ s'éloigner de}(x, y, e) \rightarrow \exists z, u (\text{segment}(s) \wedge \text{sur}(x, z, e) \wedge \text{jonction}(u) \wedge \text{away}(x, z, u, e))$$

$$\mathbf{A\ 8.26} \text{ passer}(x, y, e) \rightarrow \exists e' \subseteq_e \exists z (\text{associe}(y, z) \wedge \text{traverser}(x, z, e'))$$

8.5 Description d'itinéraires et raisonnement qualitatif

Les définitions et contraintes exprimées dans ce chapitre permettent de manipuler l'information spatio-temporelle mise en jeu dans les itinéraires dans plusieurs types d'application. On a d'une part donné une sémantique (partielle) de quelques éléments du lexique qui permet de représenter formellement les informations contenues dans une description d'itinéraire et de raisonner dans un cadre formel précis sur

ces informations. Pour ce qui est du problème de la génération de la description d'itinéraire, on a proposé une façon de structurer l'information pertinente pour permettre un choix des descriptions en fonction de la représentation d'intentions (que l'on n'a pas précisées, mais dont on verra quelques exemples dans le contexte particulier du chapitre suivant); la sémantique des marqueurs linguistiques est également indispensable pour pouvoir choisir les descriptions adéquates des situations pour lesquelles on aura précisé les intentions du "locuteur", ce qui permettra de choisir les objets servant de repère, ou les segments nécessaires. On a vu dans cette perspective tous les cas de relation mobile/tronçon qui peuvent être intéressants et donc on peut décrire les situations d'un mobile par rapport à n'importe quel type de repère associé à un segment. Il faudrait étudier plus systématiquement comment utiliser les modes de raisonnement vus au chapitre 7 pour les combiner avec le type d'information symbolique introduit par les expressions décrivant des itinéraires, bien que cela dépende fortement des contextes manipulés.

8.6 Conclusion

Nous avons présenté ici une étude qui se focalise sur la représentation de l'information spatio-temporelle mise en jeu dans le contexte particulier de la description d'itinéraires de mobiles dans un environnement qui constitue un cadre de référence "fixe", au sens où les relations entre ses parties n'évoluent pas au cours du temps. L'utilisation d'une théorie spatio-temporelle précise permet à notre sens de rendre compte explicitement de la structure des itinéraires et de leur description en langage naturel, d'une façon plus générique que les approches existantes qui se focalisaient sur des descriptions à un niveau de granularité plus élevé.

Certains aspects de la représentation sont très sous-spécifiés, dans la mesure où on devrait les enrichir par des informations liées à l'orientation relative ou intrinsèque des objets, voire de leurs distances relatives. Nous n'avons ici fait qu'exprimer les liens entre informations topologique spatio-temporelle et les propriétés fonctionnelles des entités qui interviennent dans ce contexte particulier, ainsi que des relations fonctionnelles entre entités. Nous allons appliquer au chapitre suivant ces considérations à l'expression d'itinéraires dans un cadre pratique précis où par souci de complétude on ajoutera certaines notions liées à l'orientation. Cependant, n'ayant pas à notre disposition de théorie formelle de l'orientation (et il est clair que la recherche d'une telle théorie dépasse largement le cadre de ce travail), il ne faut y voir qu'une particularité du cadre pratique informatique que nous avons choisi pour tester ce que nous avons présenté dans les chapitres précédents. Seules les contraintes présentées peuvent donc être considérée comme génériques et indépendantes de toute mise en œuvre informatique.

