

Un modèle pivot pour la représentation de l'espace basé sur les diagrammes de Voronoi : application aux descriptions d'itinéraires en langage naturel

Edwards^{1,2}, G., G. Ligozat³, A. Gryl³, L. Fraczak³, B. Moulin^{2,4} et C.M. Gold^{1,2}

¹Chaire industrielle en géomatique appliquée à la foresterie

²Centre de recherche en géomatique, Pavillon Casault

⁴Département d'informatique, Pavillon Pouliot
Université Laval, Sainte-Foy, Québec

³Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur
B.P. 133, 91403 ORSAY Cedex, France

Resumé : Les différentes représentations (numériques, symboliques, langagières, graphiques) de l'espace ne sont pas en général équivalentes. Ce point est clairement illustré par exemple dans les travaux sur la génération de croquis à partir de descriptions (en langue naturelle) d'itinéraire : de très nombreuses expressions linguistiques ne déterminent que partiellement une situation spatiale. Cet article explore le rôle joué par une représentation pivot basée sur les diagrammes de Voronoi. Nous étudions l'utilisation de ce modèle dans le contexte du passage de descriptions verbales à des croquis. Nous montrons comment, en combinant une analyse linguistique d'une description d'itinéraire et l'utilisation du modèle de Voronoi de l'espace, on peut construire une représentation pivot qui intègre les aspects linguistiques et spatiaux. De plus, nous examinons la mise en application du niveau pivot dans le cadre du problème plus large de la génération de descriptions langagières à partir de bases de données géographiques, dans une perspective cognitive. Le développement de ces représentations pivots dépend de l'existence d'un dictionnaire qui rend explicite l'équivalence entre les aspects linguistiques et les aspects spatiaux à l'aide du modèle de Voronoi de l'espace. La base d'un tel dictionnaire a déjà été constituée pour les prépositions spatiales de l'anglais. Des extensions à d'autres éléments linguistiques sont à l'étude et semblent réalisables.

1) Introduction

Ce travail est une contribution à la recherche de formalismes ou outils conceptuels pivots pour la représentation de données spatiales. Notre travail dans le domaine des bases de données géographiques, et sur la représentation qualitative de connaissances spatiales, nous a convaincu de la nécessité de disposer de tels outils pour pouvoir représenter de façon systématique et non ad hoc les liens entre les différentes formes de représentation de données spatiales : indications numériques ou symboliques, descriptions langagières, schématisation sous forme de croquis ou d'icônes.

Une des raisons fondamentales qui fait que la représentation de ce lien ne va pas de soi est le fait que les différentes représentations (numériques, symboliques, langagières, graphiques) dont nous disposons ne sont pas en général équivalentes. Ce point est clairement illustré par exemple dans les travaux que nous avons entrepris sur la génération de croquis à partir de descriptions (en langue naturelle) d'itinéraire : de très nombreuses expressions linguistiques ne déterminent que partiellement une situation spatiale (un exemple typique tiré du corpus sur lequel nous avons travaillé est l'expression : **longer le terrain de tennis**, qui ne précise pas si le terrain en question est situé sur la gauche ou sur la droite de l'observateur; or il est difficile sinon impossible de ne pas choisir l'un ou l'autre si on veut représenter graphiquement la situation).

L'idée centrale de ce travail est que le formalisme des diagrammes de Voronoi se prête bien à ce rôle de représentation pivot. Nous mettrons à profit l'acquis de notre travail sur l'utilisation du modèle de Voronoi en géomatique, sur le passage entre représentations graphiques et représentations langagières, ainsi que nos travaux sur l'utilisation du modèle de Voronoi pour la représentation de la sémantique des prépositions spatiales, pour montrer que ce concept de représentation pivot permet de résoudre un certain nombre des problèmes que pose la représentation multimodale de données spatiales. Enfin, nous tenons à signaler que notre contribution ne se situe pas seulement sur le plan théorique: en effet, des outils concrets de manipulation de modèles de Voronoi ont été développés par l'une de nos équipes, ce qui permet d'ores et déjà d'envisager une expérimentation effective des idées avancées dans ce travail. C'est en particulier cet aspect qui nous occupe à l'heure actuelle.

2) Un exemple de relation entre deux modes de représentation : de la description au croquis

Une description verbale d'itinéraire peut fréquemment être associée à un croquis de la situation qui facilite la compréhension et aide à la mémorisation. Afin d'étudier les processus utilisés dans les deux modes d'expression (langue d'une part, et schéma ou croquis d'autre part), nous avons entrepris l'élaboration d'un système permettant le passage automatique du mode langagier au mode graphique [FRACZ94, FRACZ95].

Ce travail se base sur les résultats du recueil de corpus effectué par A. Gryl [GRYL92], corpus qui porte sur des descriptions de trajets en contexte semi-urbain (campus universitaire). Le corpus comprend les résultats d'une enquête effectuée auprès de 60 sujets auxquels est demandé de décrire trois trajets constituant un parcours fermé (de la gare au bâtiment A, du bâtiment A à la bibliothèque, de la bibliothèque au bâtiment A). C'est à partir de l'analyse des descriptions contenues dans ce corpus [FRACZ94] qu'a été mise au point l'architecture décrite ci-dessous.

Un des problèmes centraux que pose le passage du langage au croquis est la non équivalence des deux modes d'expression. En effet, certaines informations ne sont pas représentées de façon explicite dans la description langagière, alors que le mode graphique impose leur représentation. Inversement, certaines informations verbalisées ne peuvent pas être figurées graphiquement. Le déséquilibre consiste donc tantôt en l'incomplétude de la représentation langagière par rapport à la représentation graphique, tantôt en l'incomplétude de la représentation graphique par rapport à la représentation langagière. Voici quelques exemples de ces deux situations:

- incomplétude langagière (informations non verbalisées) :

Tu passes devant le café. (à droite ou à gauche ?)
A l'église, prendre le chemin piétonnier. (où se trouve-t-il par rapport à l'église ?)

- incomplétude graphique (informations non figurées):

Vous ne pouvez pas vous tromper.
C'est simple.

Le système que nous avons développé réalise le passage du texte au croquis en trois étapes successives, qui sont :

- analyse linguistique ;
- élaboration des représentations intermédiaires (représentation sémantique, représentation conceptuelle) ;
- génération du croquis.

Dans un premier temps, la description d'itinéraire est découpée en unités appelées séquences qui sont reliées entre elles par des *connecteurs*. Par exemple, dans le fragment de description :

il faut entrer dans la gare et là prendre la passerelle

on a les deux séquences *il faut entrer dans la gare* et *prendre la passerelle* reliées entre elles par le connecteur et là..

Les séquences sont catégorisées en deux types : séquences de *prescription d'action* et séquences *d'indication de repère*. Chaque séquence est elle-même analysée en utilisant une grammaire des descriptions d'itinéraire, donnant lieu à une représentation sémantique. Ainsi, dans l'exemple considéré, on aura une prescription d'action (sortir, avancer) suivie d'une seconde prescription d'action (emprunter chemin).

A l'étape suivante, le résultat est confronté à un prototype d'itinéraire de type frame, donnant lieu à une représentation conceptuelle. Cette dernière enfin sert de base à la génération du croquis qui utilise un langage symbolique graphique (représentation des divers types de repères, de la progression, des changements de direction). Le schéma de traitement est représenté dans la figure 1.

Ce travail amène à poser la question de sa généralisation et de son utilisation dans un contexte plus large. Parmi les questions qu'il suggère, nous retenons les suivantes :

- Etant **donnés** un fragment de description d'itinéraire et une représentation conceptuelle, peut-on définir la compatibilité de ces deux descriptions, ou le fait que l'une satisfasse les contraintes données par l'autre ?
- Etant **données** une base de données géographiques concernant le lieu où doit se dérouler le déplacement, et une description linguistique, ou une description conceptuelle, ou une description sous forme de croquis, peut-on là encore définir la compatibilité de la description avec les **données** ? Si c'est le cas, peut-on utiliser les **données** pour enrichir ou corriger la description ? Ou pour en préciser certains aspects ?
- En outre, on peut poser le problème de la constitution de bases de données géographiques à partir de descriptions langagières, de croquis, ou de formes mixtes, ainsi que celui de l'interrogation de ces bases (en utilisant le langage naturel, des systèmes symboliques, icôniques, par exemple).

D'autre part, le système que nous venons de décrire présente deux limitations importantes :

- **Arbitraire de certains choix**. Lorsque la description verbale présente une ambiguïté (le terrain de tennis est-il à gauche ou à droite ?), un choix arbitraire est effectué. Bien que l'on puisse argumenter (voir à ce sujet les conclusions de l'article de Riesbeck [RIESB80]) que de tels choix peuvent ne pas porter à conséquence pour l'utilisateur, il est certain que cet aspect n'est pas totalement satisfaisant. On aimerait disposer d'une représentation dans laquelle on n'est pas forcé de faire de tels choix.

- **Absence de véritable sémantique spatiale**. Les éléments employés pour la représentation ne sont contraints que par les caractéristiques propres au niveau langagier d'une part, et au niveau graphique de l'autre. Le problème de la mise en correspondance de ces éléments avec les données

effectives du monde externe (ou d'une base de données géographique le représentant) n'est pas abordé.

C'est en premier lieu au second problème que la représentation que nous proposons ici permettra d'apporter une solution, en fournissant un moyen effectif d'ancrer les éléments linguistiques et graphiques dans une interprétation. Ce faisant, une solution (partielle) est apportée au premier problème : le niveau pivot permet en effet de rester dans certains cas en deçà d'un choix arbitraire, laissant ensuite les diverses possibilités ouvertes pour l'ancrage dans la réalité. Par exemple, dans le cas du terrain de tennis, l'utilisation du modèle de Voronoi au niveau pivot permet de représenter le lieu associé à l'expression « le long du terrain de tennis » plutôt que le terrain lui-même (qui peut alors se trouver à droite ou à gauche selon le cas).

3) Nécessité de représentations pivots

La figure 2 montre les trois types de représentation de données spatiales qui nous intéressent - les bases de données, les textes en langage naturel et les croquis ou visualisations des données spatiales. Chacune de ces représentations relève d'un domaine d'analyse, en l'occurrence l'informatique pour les bases de données, l'infographie et le traitement d'image pour les croquis, et le linguistique pour les textes. Nous avons dans cette figure représenté un certain nombre de tâches qui représentent les buts pratiques visés par la recherche. Ces tâches constituent des processus qui mettent simultanément en jeu plusieurs de ces représentations. Ainsi, par exemple, on voudrait pouvoir interroger des bases de données à l'aide de langages variés. Aujourd'hui, les langages utilisés. Pour accéder à une base de données sont essentiellement des langages formels, mais la possibilité d'utilisation du langage naturel (français, anglais, etc.) présente un grand intérêt. Dans un autre domaine, celui des systèmes de guidage, on aimerait être capable de générer de façon automatique, à partir d'une base de données, des instructions permettant à un individu d'aller d'un point de départ à une destination. En outre, on désirerait également générer automatiquement un croquis ou une esquisse du trajet à suivre représentant seulement les éléments nécessaires. Enfin, disposant seulement d'une description textuelle, on voudrait être capable de générer un croquis ou visualisation représentant la disposition des éléments sur le territoire, tout en ayant la possibilité de vérifier la validité de ce croquis par rapport à la base de données « complète » du territoire.

A l'heure actuelle, chacun de ces tâches constitue un domaine de recherche à lui seul, car les défis sont de taille. Mener à bien ce programme implique que l'on sache :

- mettre en correspondance les relations spatiales telles qu'elles sont exprimées par des prépositions et d'autres structures linguistiques avec des configurations cartographiques. Toute une série de recherches se penche à l'heure actuelle sur ces problèmes, de divers points de vue (FREK93, LIG093, FREK91, FRANK92, GAPP94, OLIV94) ;

- analyser les expressions linguistiques en termes de descriptions statiques, de descriptions impliquant un mouvement, etc. (HERSK86, TALMY83) ;

- repérer les marqueurs linguistiques qui signalent des conditions spatiales ayant un lien avec le spatial (FRACZ94) ;

- gérer les aspects temporels du langage (ALLEN84 LIG091) ;

- paramétrer les traitements en fonction de chaque langue naturelle (DORR93) ;

- comprendre les processus d'abstraction cognitive qui permettent de choisir certains repères dans une scène afin de fournir une description verbale (GRYL92, KUIP78).

Un des objectifs centraux de notre démarche consiste à trouver une représentation pivot, qui servira de pont entre l'expression du spatial en linguistique, la représentation du spatial dans les bases de données (e.g. incluant les notions de topologie) et la visualisation du spatial. La majeure partie des approches étudiées à l'heure actuelle permet d'établir des liens entre deux des trois types de représentation, mais peu permettent une maîtrise des trois représentations simultanément. Ainsi, par exemple, la plupart des bases de données spatiales permet une bonne gestion des relations

spatiales seulement en présence d'intersection entre les objets. L'extension à la représentation de relations de proximité doit emprunter d'autres méthodes (les ensembles **flous** par exemple), tandis que les formes des objets sont caractérisées par un autre mécanisme. Ainsi un lien est possible entre les relations de proximité exprimées en langage naturel et les objets dans la base de données, mais une représentation visuelle de ces relations, sous forme de croquis par exemple, devra faire appel encore à d'autres techniques.

4) Le modèle de Voronoi

Des travaux récents suggèrent que le modèle de Voronoi de l'espace répond mieux aux caractéristiques voulues. Afin de comprendre les raisons pour lesquelles le modèle de Voronoi peut être utile dans ce contexte, nous allons décrire brièvement ce modèle.

Le modèle de Voronoi de l'espace [OKABE92] est basé sur le traitement de l'espace entier. Chaque objet élémentaire d'une carte (un point ou un segment de droite, par exemple) est contenu dans une zone (appelé aussi une région de **Voronoi**) qui est la portion d'espace plus proche de l'objet donné que de tout autre objet de l'espace (figure 3). Les régions de Voronoi peuvent être déterminées pour des objets de forme arbitraire. Elles sont communément générées autour de points ou de segments de droite, mais des travaux récents ont étendu les techniques pour traiter les courbes et les faces de polyèdres en trois dimensions [AUREN91]. L'ensemble des régions de Voronoi pour une collection d'objets dans l'espace constitue le diagramme de Voronoi de ces objets dans cet espace. Dans un espace en deux dimensions, il est aussi appelé la mosaïque de Dirichlet et les régions de Voronoi sont également appelées polygones de Thiessen. Si l'existence d'une frontière de Voronoi entre les régions de Voronoi de deux objets donnés peut être établie, alors ces objets sont appelés voisins ou adjacents. Lorsque les relations d'adjacence sont représentées par un segment de droite reliant les objets, l'ensemble de tous ces segments forme une triangulation appelée triangulation de Delaunay, qui est le **dual** du diagramme de Voronoi. Nous parlerons de modèle de Voronoi de l'espace pour désigner l'ensemble formé des objets (points et segments) dans un espace (à deux dimensions pour le moment), de leurs régions de Voronoi associées et du dual qui contient l'information sur les adjacences.

Le modèle de Voronoi diffère de façon fondamentale de ceux employés communément pour gérer des bases de données spatiales, c'est-à-dire les modèles matriciels et vectoriels. Ces deux autres modèles sont basés sur l'usage de coordonnées (bien qu'ils emploient différentes métriques). Le modèle de Voronoi n'est pas un modèle pleinement métrique d'espace dans le sens où les coordonnées ne sont pas requises pour déterminer les relations d'adjacence (bien qu'elles soient employées dans la mise en oeuvre du modèle sur ordinateur). Seule la distance relative entre les objets intervient. Le modèle de Voronoi de l'espace fournit une façon non ambiguë de définir des voisins sur la base de la proximité relative, et de construire des réseaux topologiques qui englobent les relations spatiales entre objets. Le modèle de Voronoi de l'espace est aussi fondamentalement dynamique [GOLD94] étant donné qu'aucun objet ne peut se déplacer sans que plusieurs autres objets (ses voisins) ne le sachent. Le mouvement d'un objet peut être défini en terme de changements topologiques (changements de relations d'adjacence entre des objets) ainsi que par le biais de changements relatifs dans la superficie de sa région de Voronoi, et ne requiert pas d'être exprimée en terme de changement de coordonnées. Le modèle de Voronoi est hiérarchique au sens où chaque région peut être liée à plusieurs niveaux de détail, chaque niveau étant imbriqué dans le niveau précédent [GOLD92; EDWA93]. Les objets et l'espace sont intimement liés. La nature locale de l'espace de Voronoi nous permet d'enlever efficacement tout morceau d'une carte et de le remplacer par une version simplifiée (c'est-à-dire généralisée) de l'objet à un niveau moins détaillé.

Un « serveur Voronoi » a été développé par Gold et Yang [YANG94]. Il s'agit d'une librairie de fonctions employées afin de créer et de manipuler des diagrammes de Voronoi

composés de segments de ligne et de points et de faire le lien entre ces diagrammes et une base de données. Un noyau écrit en Visual Basic a été également mis au point afin de rendre ces fonctions accessibles à l'aide du serveur Voronoi. Certaines de ces fonctions permettent la construction du diagramme de Voronoi d'un ensemble arbitraire de segments de lignes et de points (SetFrame, AddPoint, MovePoint, AddLine, JoinPoints, DeleteObject, etc.). D'autres fonctions permettent de construire des requêtes (NearestObject, Neighbours, Trace, Clip, BufferZone, PolygonShade, etc.). De plus, la structure de données utilisée est fondamentalement dynamique, permettant ainsi la modélisation d'événements dans le temps aussi bien que dans l'espace. Différents projets d'application sont en développement, dont la plupart sont liés aux applications cartographiques typiques dans les SIG.

Dans un travail précédent, Edwards et Moulin [EDWA95] ont démontré comment le modèle de Voronoi pourrait servir de modèle mental simulé sur ordinateur pour représenter les différentes relations spatiales telles qu'on les trouve dans les prépositions; en anglais. Cet article portait, entre autres, sur l'existence d'une correspondance unique entre chaque préposition spatiale et une configuration de la topologie des liens d'adjacence, exprimée dans le modèle de Voronoi. A titre d'exemple, la figure 4 montre la configuration topologique qui correspond au concept « entre », et la figure 5 celle correspondant au concept « dans ». En fait, grâce au fait qu'il donne un sens aux différentes relations de proximité sans exiger le contact entre les objets (seul le contact entre leurs zones de Voronoi est exigé), le modèle de Voronoi permet de représenter directement l'ensemble des expressions de relation spatiale du langage naturel. De plus, la notion de contact, dans le modèle de Voronoi, a un statut privilégié vis-à-vis des autres relations, car elle correspond à un état particulier de relations d'adjacence entre les objets. En troisième lieu, les relations de chevauchement standard (entre segments, entre surfaces) font aussi partie du modèle de Voronoi. Enfin, on a constaté qu'il est possible de déterminer une gradation dans les relations topologiques de proximité représentées par le modèle de Voronoi, ce qui permet un traitement simple et robuste des ambiguïtés et des éléments flous dans la catégorisation des différentes relations. Ainsi le modèle de Voronoi permet la représentation de toute la gamme de relations spatiales qu'on trouve exprimées en langue naturelle.

Nous avons déjà noté que les descriptions de formes doivent exploiter d'autres mécanismes que ceux employés pour la représentation des relations spatiales dans les bases de données. Sans entrer dans trop de détail (ce qui dépasse la porte de cet article), il est pertinent de constater qu'un mécanisme interne au modèle de Voronoi permet de manipuler le concept de forme. Ce mécanisme est celui du squelette géométrique (figure 6) d'un objet (aussi connu sous le nom de transformé d'axe médian). Le squelette géométrique est constitué par les frontières des zones de Voronoi internes d'un objet (il faut aussi ajouter le concept de rayon ou de distance minimale entre la frontière et ses objets générateurs pour reconstituer le squelette selon sa définition formelle - [OGNI94]). Ainsi, le squelette n'est qu'une autre façon de parler de relations d'adjacence entre les régions de Voronoi. Les propriétés du squelette ont été étudiées depuis de nombreuses années, entre autres dans les travaux de Blum [BLUM78]. Il est possible de catégoriser des formes, de les simplifier [OGNI93], de les reconstituer à partir d'une information incomplète (BLUM78), de distinguer entre figure et fond [OGNI93] et bien d'autres opérations. Par ailleurs, bien que le lien entre ces propriétés visuelles et les expressions linguistiques correspondantes n'ait pas été beaucoup exploré jusqu'à maintenant, des travaux préliminaires confortent l'existence de tels liens. En outre, les propriétés du squelette (catégorisation, généralisation, reconstitution, et séparation entre figure et fond) sont précisément celles que l'on retrouve dans l'expression linguistique des formes [LAND93].

Ainsi, le modèle de Voronoi fournit une structure de base de données spatiales qui gère à la fois, et de façon naturelle, les relations de contact (intersection, chevauchement, contact tangentiel, etc.) et les relations de proximité (proche, loin, entre, à côté de, etc.). De plus, le modèle permet une caractérisation directe de la forme des objets par l'entremise de leur squelette géométrique. Le modèle de Voronoi contient donc une représentation des objets dans l'espace qui permet à la fois

une analyse des éléments graphiques ou visuels, une analyse linguistique et des manipulations d'une base de données spatiale et temporelle (figure 2). Ce modèle peut ainsi fournir une représentation intermédiaire pour le développement de liens entre ces trois domaines. Dans la prochaine section, nous allons revenir plus en détail sur ce point, dans le cadre du problème de génération automatique d'un croquis à partir d'une description linguistique. Nous présenterons ensuite dans la section suivante quelques aspects de l'utilisation du modèle pour l'abstraction et la sélection de repères à partir d'une base de données afin de générer un texte descriptif.

5) Construction de représentations pivots basées sur le diagramme de Voronoi

Nous limitons dorénavant la portée de notre travail aux problèmes entourant la construction et l'interprétation de descriptions d'itinéraire. Dans ce domaine, le problème central comporte deux volets. Il faut d'une part comprendre les processus cognitifs et linguistiques impliqués dans la construction et l'interprétation des descriptions d'itinéraire afin d'en isoler les composantes spatiales, et d'autre part extraire les aspects spatiaux sous une forme compatible avec un langage graphique ou visuel, permettant ainsi leur représentation graphique.

Ainsi, nous présumons que, dans le cas du problème de génération de croquis, une analyse linguistique a permis une première identification des contextes spatiaux qui devront être interprétés par la suite. Les travaux de Fraczak et Ligozat décrits dans la deuxième section de cet article mènent actuellement à un tel résultat [FRACZ95]. Ainsi, comme nous l'avons signalé plus haut, les descriptions d'itinéraire peuvent être décomposées en une série de séquences et de connecteurs entre les séquences. Par exemple, considérons la description citée par Fraczak [FRACZ95] :

Il faut sortir de la **gare**¹, prendre la **passerelle**², descendre la **passerelle**³, et l'on arrive donc à l'entrée de **l'université**.⁴ Et donc il faut longer tous les **bâtiments**.⁵ En fait il faut aller toujours tout **droit**⁶ et on entre par le bâtiment B qui se trouve sur la gauche 7. Il y a une **caféteria**⁸. On va sur la **droite**⁹ et on arrive au bâtiment **A**¹⁰.

Ce texte est composé d'une série de dix séquences, séparées par des connecteurs implicites ou explicites (dans le texte, les séquences sont indexées par un nombre). De plus, chaque séquence de type prescription d'action met en jeu l'utilisation d'un certain nombre de repères. Par exemple, la première séquence correspond à un parcours entre l'intérieur et l'extérieur de la gare (qui est un type particulier de repère). La deuxième séquence se réfère à un parcours entre l'extérieur de la gare et l'intérieur d'une passerelle. Ainsi chaque séquence implique un contexte spatial relativement circonscrit.

L'analyse linguistique de cette description permet de dégager de la première séquence, par exemple, qu'il s'agit, au niveau de la représentation sémantique, d'une prescription d'action de la classe « avancer » et du type « sortir » par rapport à un objet nommé « gare ». Il s'agit ensuite de compléter l'information disponible sur les repères à l'aide d'un traitement additionnel portant sur les aspects linguistiques du texte, en liaison avec la base de données, afin de construire la représentation conceptuelle (figure 7). Dans l'approche esquissée à la section 2, la production d'un croquis n'est que la formalisation graphique de l'information qui se trouve dans la représentation conceptuelle. Nous proposons ici d'enrichir cette formalisation à l'aide d'une mise en commun des aspects spatiaux et linguistiques dans une représentation pivot. Deux processus sont possibles : le premier suppose l'utilisation d'une base de données du territoire ; l'autre, plus limité, ne l'exige pas.

Nous allons présenter d'abord l'approche en présence d'une base de données. La figure 7 présente la solution proposée. Le schéma de traitement linguistique de la description d'itinéraire

(DI) est repris en haut à droite (cf. figure 1). Il s'agit de mettre en évidence les relations et autres informations spatiales tirées de la description linguistique. En haut à gauche, on insère la base de données (ou une partie de celle-ci) dans la structure de Voronoi. Ceci correspond à la mise en évidence de relations et autres informations spatiales présentes dans la base de données. Ensuite, à l'aide des éléments qui se trouvent dans la représentation sémantique, et en particulier de la segmentation de celle-ci en séquences distinctes, on sélectionne la partie de la base de données Voronoi directement pertinente pour la séquence linguistique concernée. Ainsi, pour donner un exemple concret, dans le cas de la description d'itinéraire donnée ci-dessus, la figure 8 correspondra à la base de données originale, et la figure 9 à la base de données Voronoi. Le passage de la base de données originale à la base de données Voronoi peut être déjà fait en ne sélectionnant que la région concernée par la description d'itinéraire.

L'étape suivante consiste à extraire les éléments pertinents se trouvant dans la description d'itinéraire de la base de données Voronoi et à les mettre en rapport avec la représentation conceptuelle correspondant à une séquence linguistique tirée de la description d'itinéraire. Ainsi, pour le premier segment de l'extrait cité ci-dessus, on obtient la configuration de Voronoi montrée dans la figure 10. La figure 10a représente l'objet pertinent (la gare) et ses zones de Voronoi. La figure 10b montre la situation qui correspond à l'intérieur de la gare (état de départ pour l'action « sortir ») et la figure 10c la situation qui correspond à l'extérieur de la gare (état d'arrivée pour l'action « sortir »). Dans les deux cas, un élément « marqueur » doit être introduit dans la scène afin de représenter l'observateur dans la situation. La figure 10d indique un parcours possible entre les deux états, assurant que le chemin indiqué est possible. Il faut signaler que ce qui importe dans ces figures n'est pas la position exacte du marqueur vis-à-vis des zones de Voronoi mais plutôt la topologie des relations d'adjacence entre le marqueur et les éléments pertinents (c'est-à-dire ici l'intérieur de la gare). Ainsi, étant donnée la situation montrée à la figure 10a, il est possible de rechercher et de trouver les situations 10b et 10c, à condition d'avoir transformé la configuration correspondant à la séquence linguistique en topologie de Voronoi. Cela se fera par le biais d'un dictionnaire, dans lequel se trouve, pour chaque élément linguistique, une ou plusieurs topologies de Voronoi caractéristiques. La base de ce dictionnaire, du moins pour les prépositions spatiales, a déjà été établie [EDWA95].

Le processus que nous venons d'esquisser a pour résultat une représentation (qu'on appellera *représentation pivot*) qui constitue une image à double facette de la DI, puisqu'elle comporte une composante spatiale (topologie de Voronoi) et une composante linguistique, les relations entre les deux aspects étant explicite. Une fois cette étape franchie, il sera possible de déterminer les erreurs qui peuvent se trouver dans la description d'itinéraire existante, d'enrichir cette dernière avec d'autres informations pertinentes, de comparer différentes descriptions d'itinéraire, de produire un croquis complet de la situation et/ou un croquis qui ne présente que les informations trouvées dans la DI (c'est-à-dire, en rendant explicite les ambiguïtés).

Une deuxième démarche possible est décrite dans la figure 11. Cette démarche est applicable dans la situation où une base de données, qui permettrait d'ancrer les descriptions d'itinéraire, n'est pas disponible. Dans ce cas, on ne dispose que de plusieurs descriptions d'un même territoire. Le processus est semblable, quoique plus limité, dans ses conclusions. Les différentes descriptions d'itinéraires doivent être analysées selon la démarche linguistique décrite ci-dessus. Ensuite, en combinaison avec le dictionnaire, il faudra construire deux représentations pivots donnant la topologie spatiale, qui seront déduites de chacune des DI. Ensuite, il faudra combiner ces deux représentations en une seule, à condition d'avoir identifié les repères en commun. Ici, la représentation conceptuelle de chaque DI sera plus indéterminée, et la construction de la représentation pivot est plus problématique que dans le premier cas. Néanmoins, une fois une représentation pivot réalisée, les étapes suivantes sont très semblables à celles décrites dans le premier cas.

Ainsi, nous avons vu comment une analyse linguistique d'une description d'itinéraire, combinée avec l'usage du modèle Voronoi de l'espace, nous permet de construire une représentation pivot qui marie les aspects linguistiques et spatiaux. Nous avons montré comment cette représentation peut servir de base à la comparaison entre différentes descriptions d'itinéraire et à la transformation de celles-ci en formes graphiques. Le processus dépend de l'existence d'un dictionnaire qui rend explicite l'équivalence entre les aspects linguistiques et les aspects spatiaux à l'aide du modèle Voronoi de l'espace. La base d'un tel dictionnaire a déjà été constituée pour les prépositions spatiales de l'anglais. Des extensions à d'autres éléments linguistiques sont à l'étude et semblent réalisables.

Il est néanmoins intéressant d'examiner dans quelle mesure l'utilisation d'une représentation pivot de cette nature peut être utile dans un contexte plus général. Nous allons examiner dans la section suivante le problème de la *génération* de descriptions d'itinéraire afin d'explorer cette question.

6) Génération de descriptions d'itinéraire : un exemple de l'utilité plus générale de la représentation pivot

Les systèmes de génération automatique de descriptions d'itinéraire ont été habituellement développés dans le contexte d'environnements artificiellement réguliers, tels que les réseaux routiers, etc. Le problème plus général de la construction d'une description d'itinéraire en langage naturel pour des environnements hétérogènes est beaucoup plus complexe. Ce type de DI exige un raisonnement sur divers types d'entités et sur différents types de relations (entre plusieurs repères, entre un repère et le « piéton virtuel »). Ce raisonnement est le plus souvent de nature qualitative. De plus, il faut abstraire d'un grand nombre d'entités dans l'environnement des repères pertinents pour la DI. Ce processus d'abstraction est foncièrement cognitif.

A partir de l'étude de deux corpus de descriptions d'itinéraire (une pour les trajets sur un campus universitaire, et l'autre pour un trajet en milieu urbain), Gryl et Ligozat [GRYL95] ont mis en évidence une série de trois étapes dans ce processus cognitif :

La première, appelée « Où aller ? », consiste en la construction d'une représentation de la description d'itinéraire en fonction d'une stratégie de parcours. Cette étape se **divise** en deux phases, l'une servant à fournir une orientation globale, et l'autre comprenant la création d'un parcours entre le point de départ et le point d'arrivée, selon divers critères.

La deuxième, appelée « Par quel moyen ? », consiste en un raffinement de la représentation existante selon une stratégie de choix plus détaillée. Durant cette étape, on enrichit la description globale en introduisant des repères qui sont utilisables par des êtres humains. De plus, on segmente le parcours en deux types d'éléments : des *descriptions* locales et des chemins. Les descriptions locales sont attachées à des étapes de l'itinéraire où une décision est à prendre (changement de d'orientation, continuation de parcours en présence d'ambiguïté, décision vis-a-vis d'un aspect de l'environnement) ; les chemins relient entre elles les descriptions locales.

La troisième étape, appelée « Comment le dire ? », consiste à traduire la représentation précédente en langue naturelle. Cette traduction utilise de nombreuses informations provenant de la base de données, incluant des éléments tels que la forme des repères, leur nom, leur taille, leur couleur et leur orientation intrinsèque.

Le modèle de Voronoi est utilisable à chaque étape de ce processus. D'une part, si la base de données originale, à partir de laquelle l'orientation globale et le parcours initial sont décidés, est

une base de données de type Voronoi, les relations d'adjacence entre les différents éléments grossiers de la région sont explicités, facilitant les choix initiaux. En deuxième lieu, le choix du contenu des descriptions locales peut aussi être alimenté par les relations spatiales présentes dans la représentation de Voronoi. Le résultat des deux premières étapes sera un parcours complet exprimé par une topologie, segmenté en une série de parcours de continuation et interrompus par des descriptions locales. **A** l'aide du dictionnaire décrit à la section précédente, la traduction de celles-ci en descriptions linguistiques se fera par un processus réciproque, mais semblable à celui utilisé pour l'analyse des descriptions d'itinéraire. Ainsi, une représentation pivot de la DI sera construite et exploitée pour la production de la DI finale. De plus, la segmentation cognitive du parcours sera sous-divisée encore afin de créer un texte ayant la structure mise en évidence par Fraczak (FRACZ95, c'est-à-dire, un ensemble de séquences et de connecteurs, dont les séquences seront composées soit de prescriptions d'action (correspondant à des parties des parcours de continuation) soit de descriptions de repères (correspondant à des parties des descriptions locales). Le processus complet est représenté dans la figure 12.

Ainsi, dans cette démarche, et à l'encontre de celle décrite dans la section précédente, les éléments spatiaux viennent avant les éléments linguistiques. En définitif, la représentation pivot est utile indépendamment de l'ordre dans lequel les éléments sont introduits dans le processus. Ainsi le niveau pivot constitue un outil assez général dans le contexte de mise en commun d'aspects linguistiques et graphiques de l'espace. Il devrait être pertinent dans d'autres tâches de nature semblable.

7) Conclusion

De nombreuses applications de type multimodal (ici, principalement le mode verbal et le mode graphique) posent le problème de la relation entre différents modes de représentation de données spatiales. Notre travail sur des applications telles que la description d'itinéraires, la génération de croquis à partir de descriptions langagières, etc. nous a permis de mettre en évidence la nécessité de développer des outils permettant de représenter sous un même format la sémantique des éléments utilisés dans les différents modes. Ce n'est qu'en étant capable de le faire que l'on peut aborder autrement que de **façon** ad hoc et propre à chaque cas d'espèce des tâches telles que la mise en commun de connaissances provenant de plusieurs modes, la détermination de la compatibilité d'une représentation avec des données réelles, ou la comparaison entre elles de plusieurs représentations relevant de modes différents.

Nous proposons dans ce travail un niveau pivot utilisant les propriétés du modèle de Voronoi, et qui est le niveau auquel s'effectue l'ancrage des représentations des divers modes, c'est-à-dire leur mise en correspondance avec des données du monde externe. L'existence de représentations des divers modes **à** ce niveau pivot nous permet de travailler sur des représentations (qui peuvent être sous-déterminées) de formats comparables.

Nous avons illustré l'utilisation de ce langage pivot sur l'exemple particulier du passage de descriptions verbales à des croquis. Nous avons également évoqué la **façon** dont l'utilisation du niveau pivot se révèle utile dans le problème plus large de la génération de descriptions textuelles à partir de bases de données géographiques, dans une perspective cognitive (une contrainte centrale étant que les descriptions obtenues présentent les caractéristiques d'intelligibilité et de mémorisabilité des descriptions recueillies auprès d'humains).

Il reste que le niveau pivot demande à être spécifié de **façon** plus détaillée en suivant les lignes générales qui sont évoquées ici. Par ailleurs, le processus de passage d'un mode donné à ce niveau pivot (c'est-à-dire la mise en oeuvre de l'ancrage) pour chacun des modes envisagés demandera une étude plus approfondie. Nous avons esquissé ce processus pour les modes linguistique et graphique mis en jeu dans les deux domaines évoqués plus haut. Il reste à

développer de façon systématique ce type d'étude. C'est sur ce point que portent nos travaux actuels.

8) Remerciements

Les auteurs Edwards et Gold aimeraient remercier l'Association des industries forestières du Québec (AIFQ) et le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie (CRSNG) pour leur appui financier par le biais de l'établissement de la Chaire industrielle en géomatique appliquée à la foresterie.

References

- [ALLEN84] Allen, J. 1984. Towards a General Theory of Action and Time. *Artificial Intelligence*, Volume 23, pp. 123- 154.
- [AUREN91] Aurenhammer, F. 1991. Voronoi Diagrams - A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure, *ACM Computing Surveys*, Volume 23,345-405.
- [BLUM78] Blum, H., et R.N. Nagel. 1978. Shape description using weighted symmetric axis features. *Pattern Recognition*, Volume 10, pp. 167- 180.
- [DORR93] Dorr, B., et C. Voss. 1993. Machine Translation of Spatial Expressions: Defining the Relation between an Interlingua and a Knowledge Representation System. *Proceedings of the AAAI*, Washington, D.C., pp. 374-379.
- [EDWA93] Edwards, G. 1993. The Voronoi model and cultural space: applications to the social sciences and humanities. Dans Frank et Campari (eds.), *Spatial Information Theory - A Theoretical Basis for GIS, Lecture Notes in Computer Science*, Volume 716, Berlin: Springer Verlag, 202-214.
- [EDWA95] Edwards, G., et B. Moulin. 1995. Towards the Simulation of Spatial Mental Images Using the Voronoi Model. *Proceedings of the IJCAI '95 Workshop on the Representation and Processing of Spatial Expressions*, IJCAI 95, Montreal, pp. 63-74.
- [FRACZ94] Fraczak, L. 1994. De la description au croquis. *Mémoire de DEA*, Université Paris 11, France.
- [FRACZ95] Fraczak, L. 1995. Generating "mental maps" from route descriptions. *Proceedings of the IJCAI '95 Workshop on the Representation and Processing of Spatial Expressions*, IJCAI '95, Montreal, pp. 75-82.
- [FRANK92] Frank, A.U. 1992. Qualitative Spatial Reasoning about Distances and Directions in Geographic Space. *Journal of Visual Languages and Computing*, Volume 3, pp. 343-371.
- [FREK93] Freksa, C., et R. Röhrig. 1993. Dimensions of Qualitative Spatial Reasoning. Dans Piera Carreté et Singh (eds.), *Proceedings of the III IMACS International Workshop on Qualitative Reasoning and Decision Technologies - QUARDET'93*, Barcelona, pp. 483-492.
- [FREK92] Freksa, C. 1992. Using orientation information for qualitative reasoning. Dans Frank, Campari et Formentini (eds.), *Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space, Lecture Notes in Computer Science*, Volume 639, Berlin: Springer Verlag, pp. 162-178.
- [FREK91] Freksa, C. 1991. Qualitative Spatial Reasoning. Dans Mark and Frank (eds.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 361-372.
- [GAPP94] Gapp, K.-P. 1994. A computational model of the basic meanings of graded composite spatial relations in 3d space. *Proceedings of the Workshop*

- in Advanced Geometric Data Modelling Netherlands Geodetic Commission, Vol. xx.*
- [GOLD94] Gold, C.M. 1994. The interactive map. *Proceedings of the Workshop on Advanced Geographic Data Modeling Netherlands Geodetic Survey*
- [GOLD92] Gold, C.M., et G. Edwards. 1992. The Voronoi Spatial Model - Two and Three Dimensional Applications in Image Analysis. *ITC Journal*, Number 1, pp. 11-19.
- [GRYL92] Gryl, A. 1992. Operations cognitives mises en oeuvre dans la description d'itinéraires. *Mémoire de DEA*, Université Paris 11, France.
- [GRYL95] Gryl, A. et G. Ligozat. 1995. Generating route descriptions: a stratified approach. *Proceedings of the IJCAI '95 Workshop on Spatial and Temporal Reasoning*, IJCAI '95, Montréal, pp. 57-64.
- [HERNA93] Hernández, D. 1993. Qualitative Representation of Spatial Knowledge. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Volume 804, Berlin: Springer-Verlag.
- [HERSK86] Herskovits, A. 1986. *Language and Spatial Cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [KUIP78] Kuipers, B. 1978. Modeling spatial knowledge. *Cognitive Science*, Volume 2, pp. 129- 153.
- [LAND93] Landau, B., et R. Jackendoff. 1993. *What and Where* in spatial language and spatial cognition. *Behavioural and Brain Sciences*, Volume 16, pp. 121-141.
- [LIGO93] Ligozat, G. 1993. Models for qualitative spatial reasoning. Dans Anger, Guesgen et van Benthem (eds.), *Proceedings of the IJCAI'93 Workshop on Spatial and Temporal Reasoning*, IJCAI'93, Chambéry, France, pp. 35-45.
- [LIGO91] Ligozat, G. 1991. On Generalised Interval Calculi. *Proceedings of the Ninth National Conference on Artificial Intelligence*, Anaheim, California, pp.
- [OGNI93] Ogniewicz, R.L. 1993. *Discrete Voronoi' Skeletons*. Hartung-Gorre: Hartung-Gorre Verlag Konstanz, 226 pp.
- [OLIV94] Olivier, P.L., et J. Tsujii. 1994. A Computational View of the Cognitive Semantics of Spatial Expressions. *Proceedings of ACL '94*.
- [OKABE92] Okabe, A., B. Boots et K. Sugihara. 1992. *Spatial Tessellations - Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*, Chichester: John Wiley and Sons.
- [RIESB80] Riesbeck, C. 1980. "You Can't Miss It!": Judging Clarity of Directions. *Cognitive Science*, Volume 4, pp. 285-303.
- [TALMY83] Talmy, L. 1983. How Language Structures Space. Dans Pick et Acredolo (eds.), *Spatial Orientation: Theory, Research and Application*. New York: Plenum Press, pp. 225-282.
- [YANG94] Yang, W., et C.M. Gold. 1994. The architecture of a dynamic distributed GIS. *Proceedings of the Canadian Conference on GIS*, Ottawa, pp. 1185-1194.

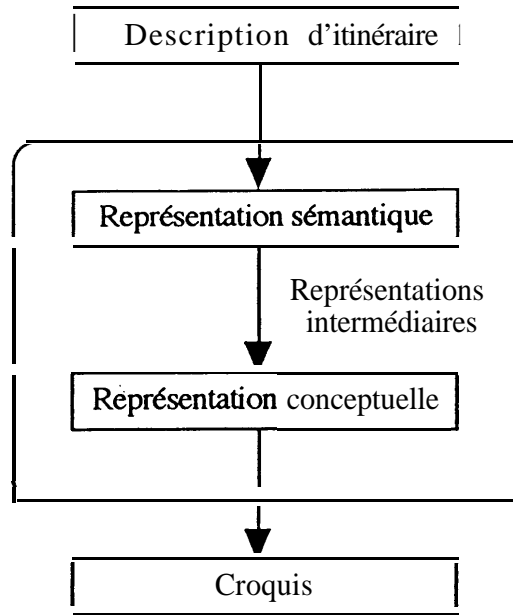


Figure 1: Architecture du système de traduction automatique du texte en croquis

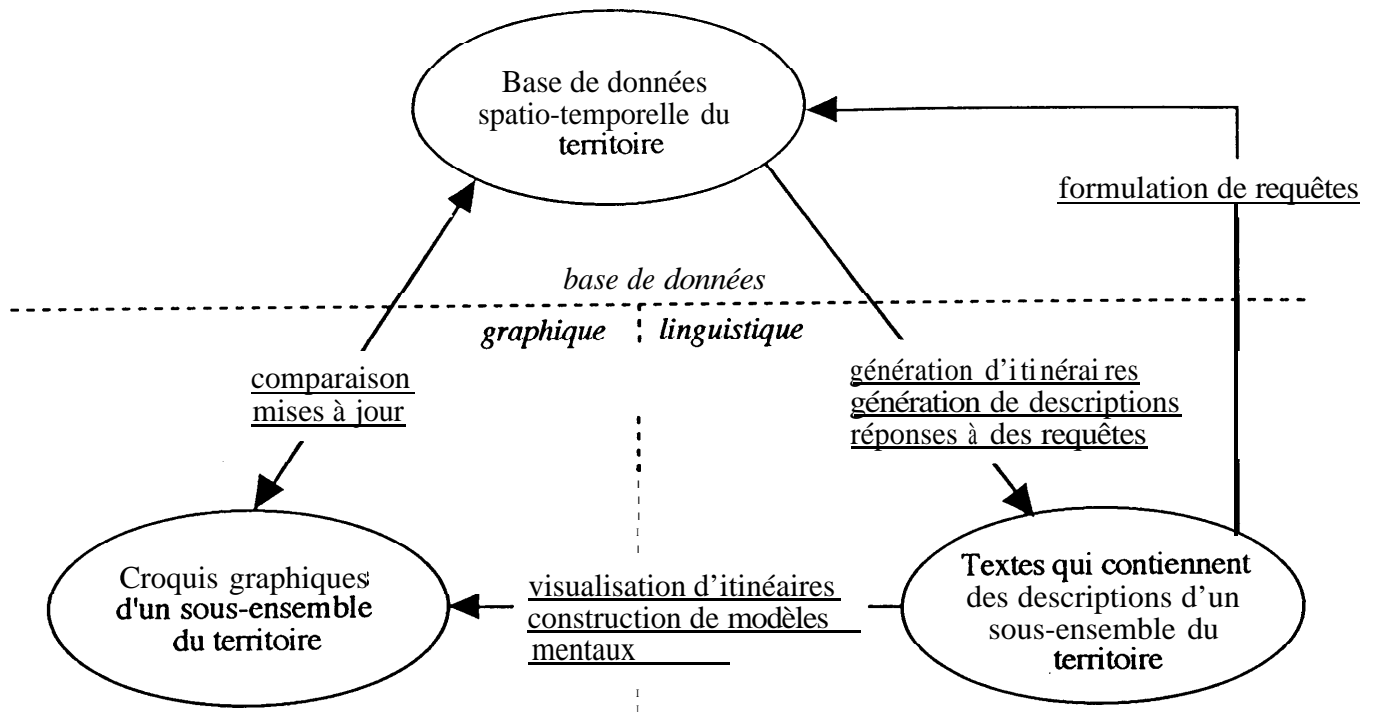


Figure 2 : Relation entre les **différents** types d'information ayant un contenu spatial et les tâches impliquées dans leur analyse. Sont également indiqués les trois domaines auxquels appartiennent les différents types d'information.

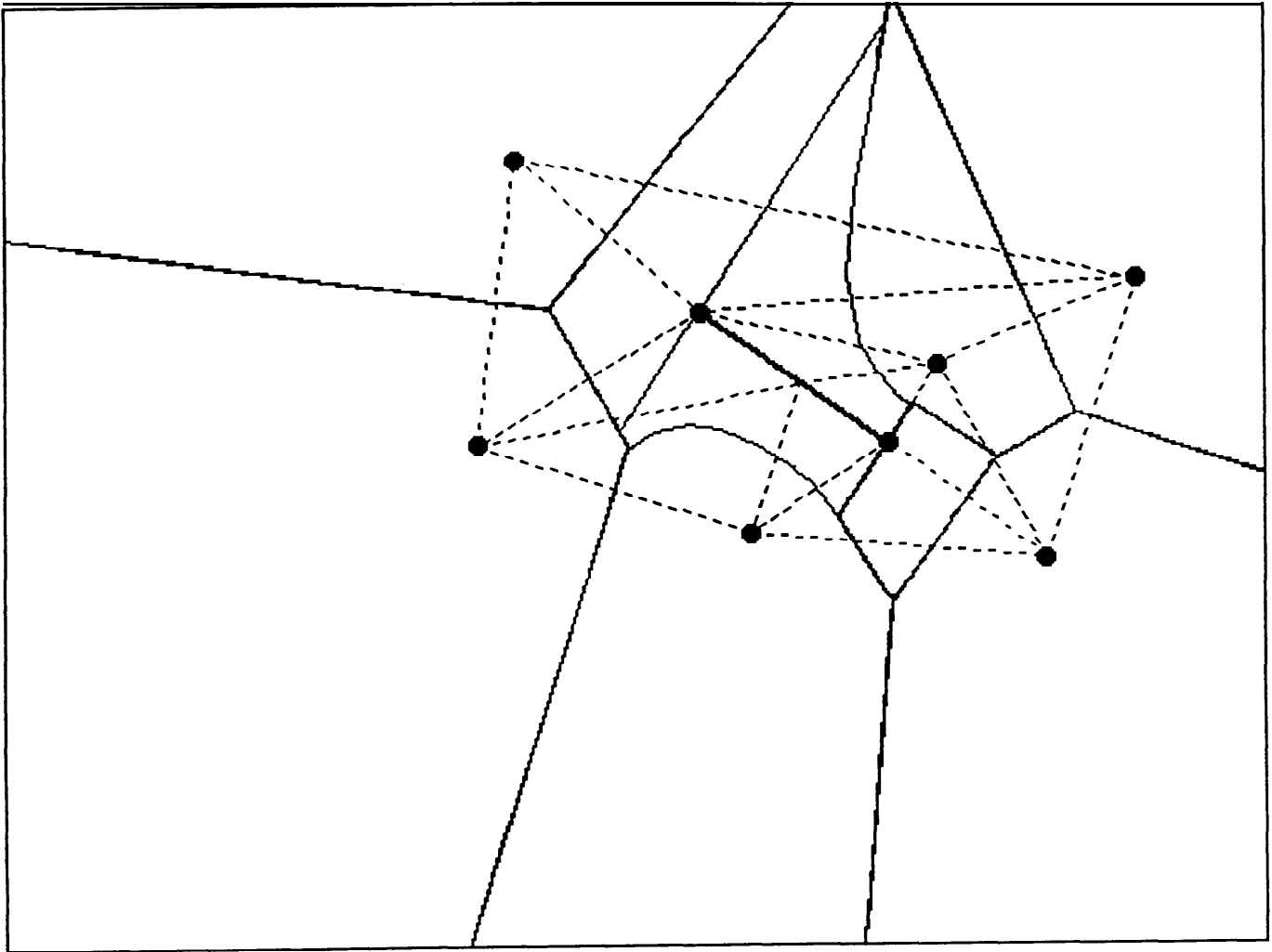


Figure 3 : Diagramme de Voronoi pour des points (ronds noirs) et les segments de droite (traits épais). Les frontières des régions de Voronoi sont des traits minces en continu ; la triangulation de Delaunay correspondante est représentée par des traits minces en pointillé.

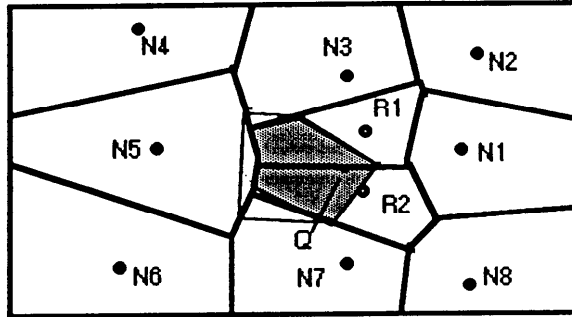


figure 4 : La préposition « entre » correspond à une configuration topologique unique dans la diagramme de Voronoi. Le point de requête (Q) a comme voisins les deux objets de référence (R1 et R2) et au moins un autre objet (N5). Lorsqu'on insère le point Q dans la structure, les régions que celui-ci « vole » aux zones de Voronoi des autres objets permettent la détermination d'une gradation d'appartenance à la situation « entre ».

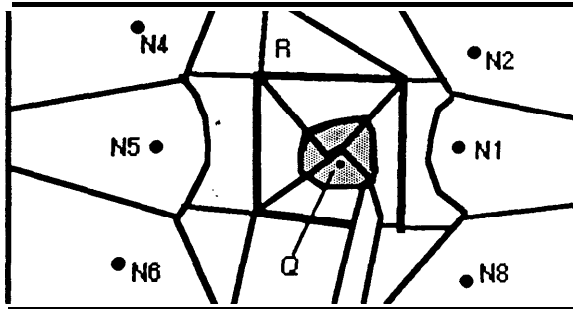


Figure 5 : La préposition « dans » correspond à une configuration topologique unique dans la diagramme de Voronoi. Le point de requête (Q) a comme voisins les murs intérieurs de l'objet de référence (R). Dans l'exemple donné on voit que le point Q a aussi comme voisin la région de l'entrée vers l'intérieur de R. La région « volée » par Q à l'intérieur de R fournit une gradation sur l'appartenance de cette situation à l'expression « dans ».

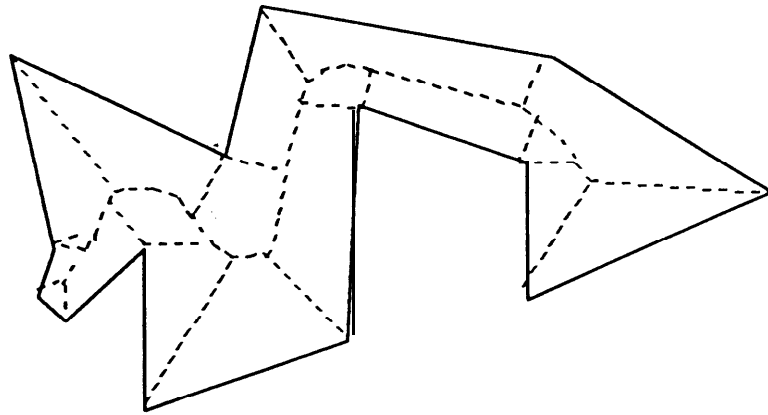


Figure 6 : Une forme géométrique arbitraire et son squelette géométrique (transformé d'axe médian).

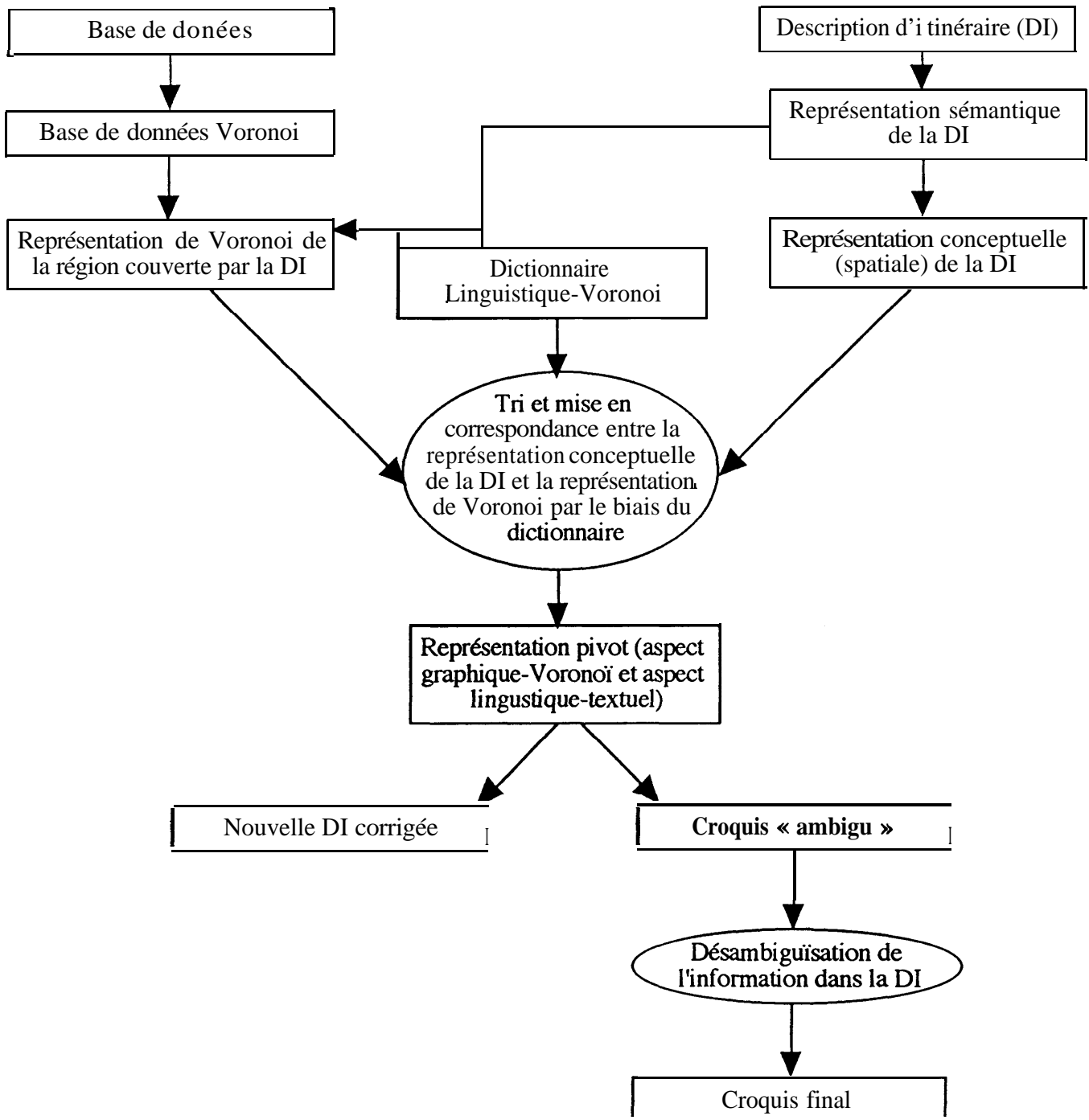


Figure 7 : Schéma du traitement des descriptions d'itinéraire au moyen d'une représentation pivot : cas de présence d'une base de données.

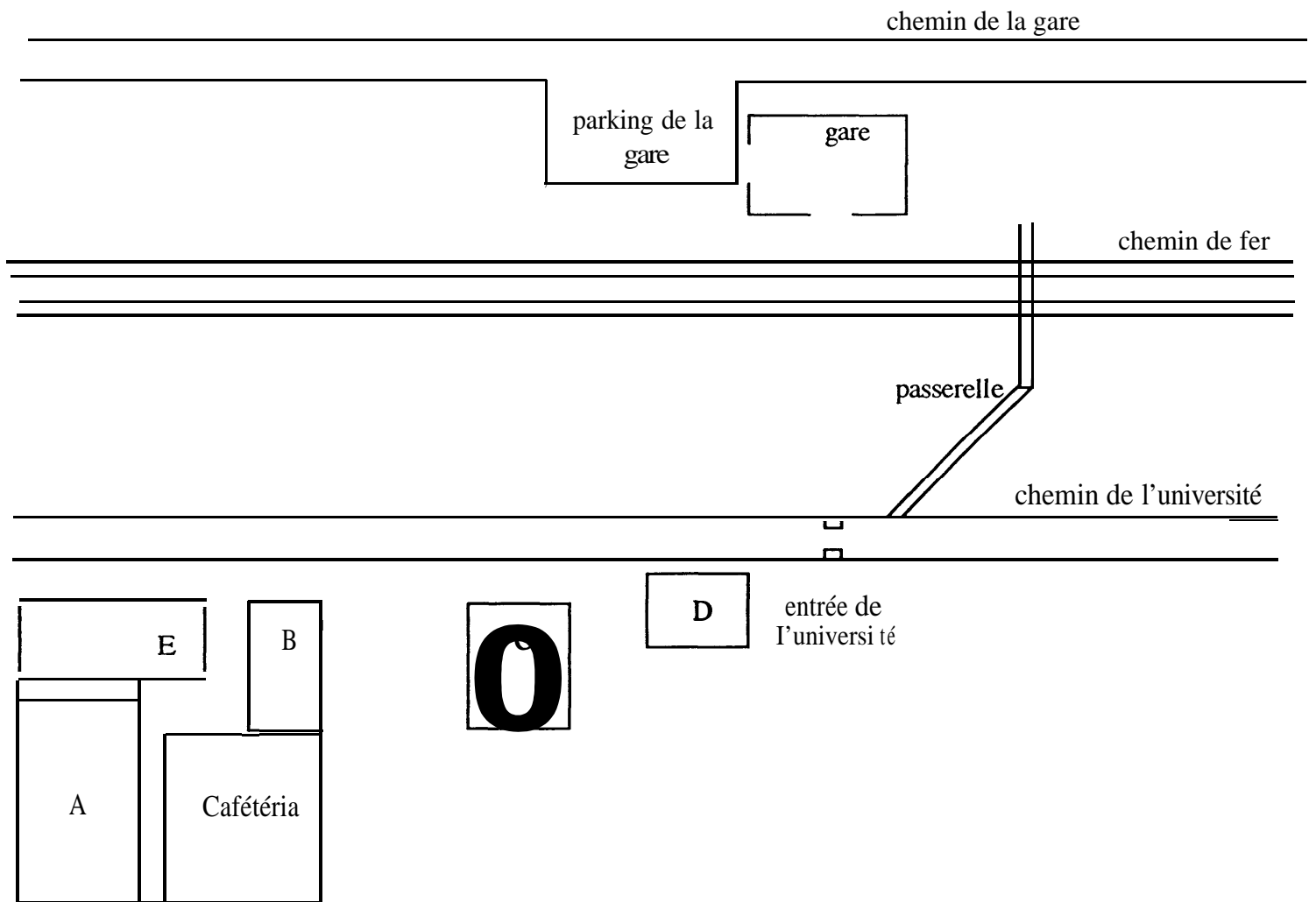


Figure 8 : La base de données originale possible pour la description d'itinéraire donnée dans le texte.

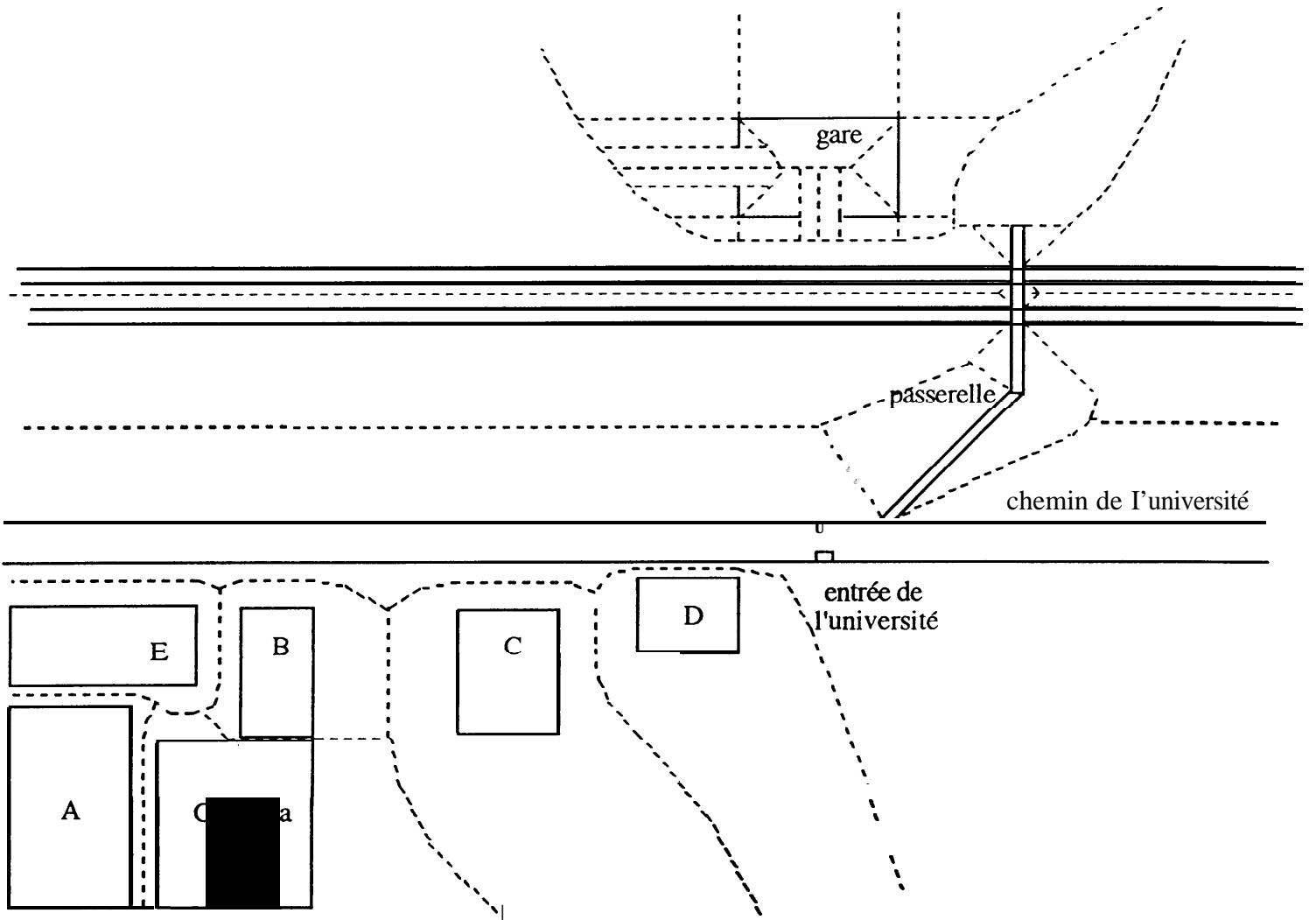


Figure 9 : La base de données Voronoi pour la description d'itinéraire dans le texte.

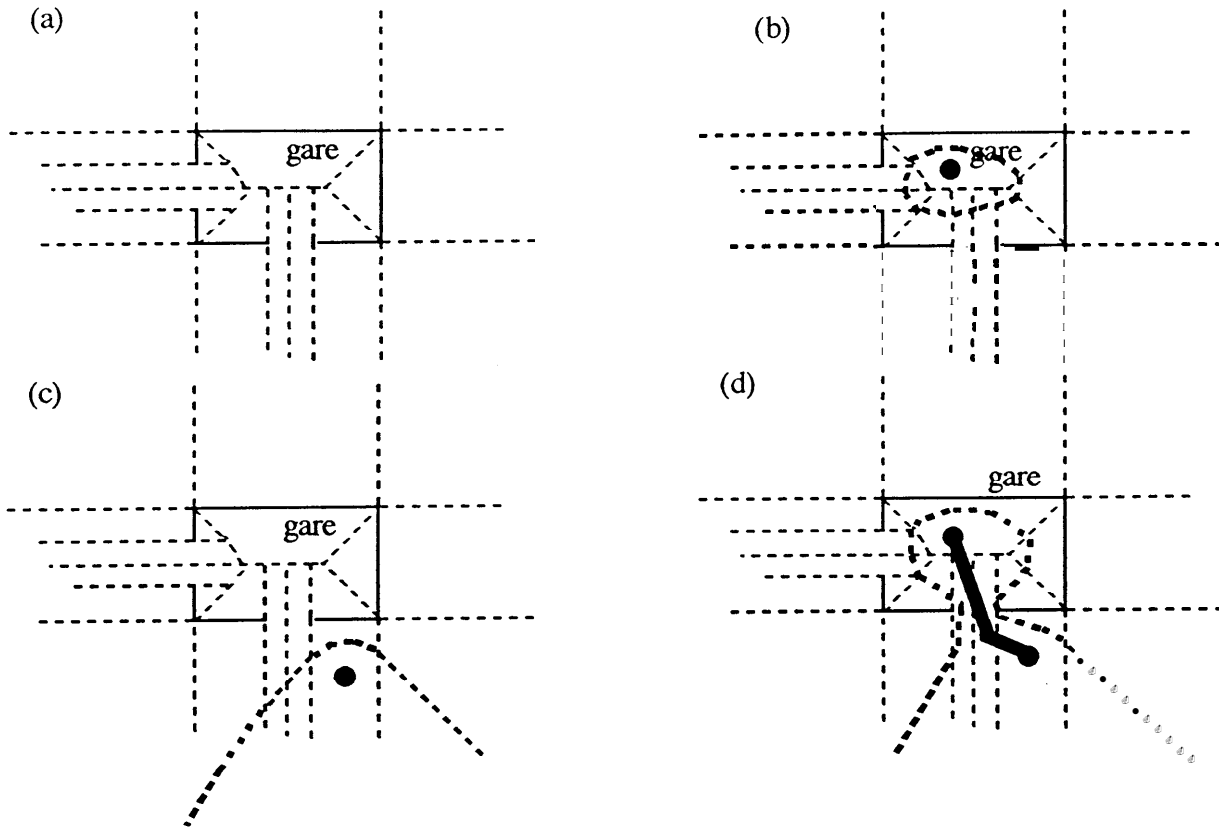


Figure 10 : Composition spatiale (Voronoi) de la séquence 1 de la description d'itinéraire. (a) Les éléments dans la base de données Voronoi (b) Ajout d'un marqueur de déplacement correspondant à la situation linguistique « intérieur de la gare ». La zone de Voronoi de ce marqueur est superposée sur les zones existantes par un trait pointillé plus large. (c) Déplacement du marqueur vers la situation linguistique « extérieur de la gare ». (d) Parcours possible du marqueur pour le trajet « sortir » de la gare. La zone de Voronoi montrée représente la zone de l'ensemble des positions occupées par le marqueur en se déplaçant. Elle correspond à un ensemble de liens topologiques (dans la triangulation de Delaunay) propre au parcours suivi.

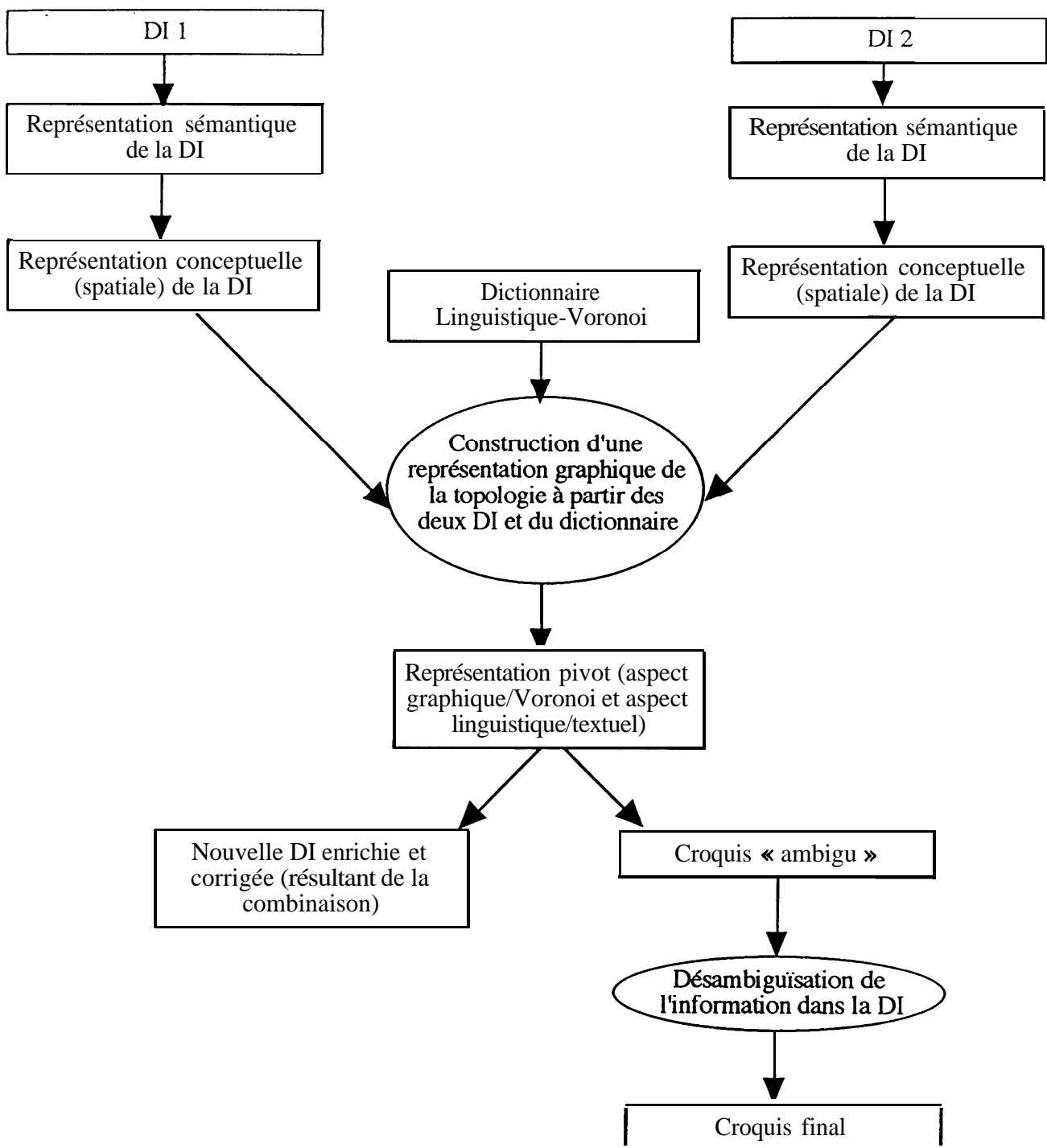


Figure 11 : Schéma du traitement des descriptions d'itinéraires au moyen d'une représentation pivot : cas d'absence d'une base de données.

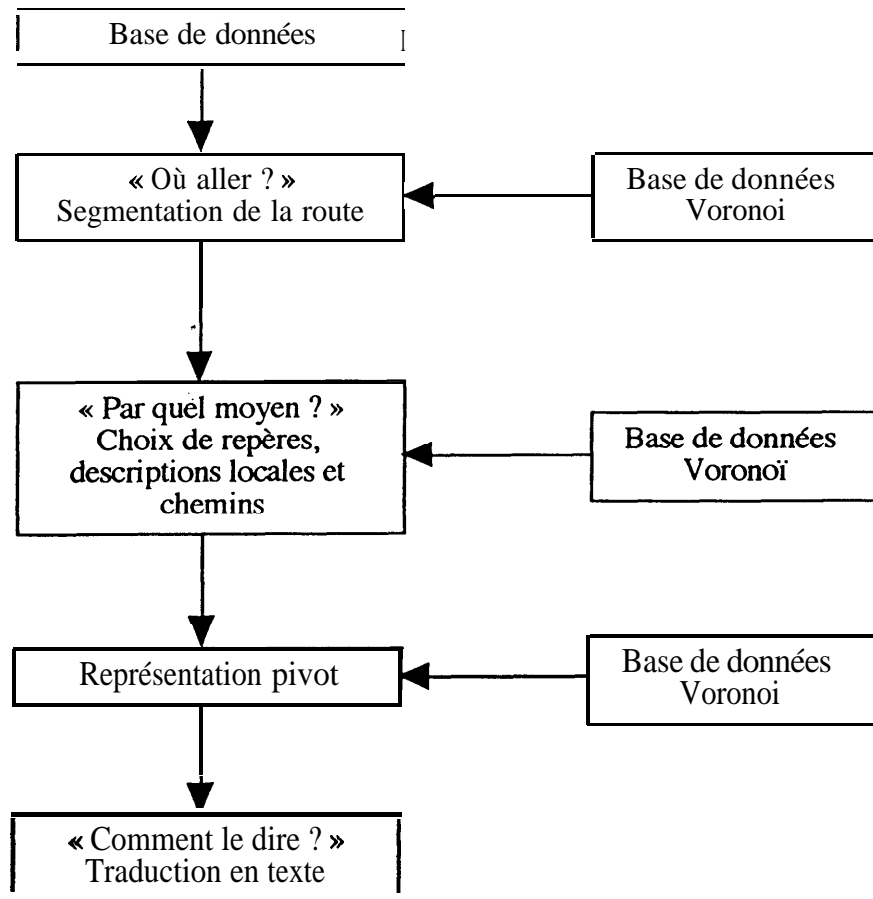


Figure 12 : Rôle du Voronoi et de la représentation pivot dans la construction de descriptions d'itinéraires à partir d'une base de données existante.