



Formalisation de la description d'un environnement naturel. Application à la géo-localisation d'un individu

Jean-Marie Le Yaouanc

► To cite this version:

Jean-Marie Le Yaouanc. Formalisation de la description d'un environnement naturel. Application à la géo-localisation d'un individu. domain_other. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2010. Français. NNT: . tel-00529036v2

HAL Id: tel-00529036

<https://theses.hal.science/tel-00529036v2>

Submitted on 4 Nov 2010 (v2), last revised 15 Nov 2010 (v3)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE / UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

Mention : Informatique - Géomatique

École Doctorale des Sciences de la Mer

présentée par

Jean-Marie LE YAOUANC

Préparée à l'Institut de Recherche de l'Ecole
navale (EA 3634)

Formalisation de la description d'un environnement naturel. Application à la géo- localisation d'un individu

Thèse soutenue le 8 octobre 2010

devant le jury composé de :

Jacques TISSEAU

Professeur, ENIB / *Président du jury*

Gérard LIGOZAT

Professeur, Université Paris-Sud / *Rapporteur*

Philippe RIGAUX

Professeur, Université Paris-Dauphine / *Rapporteur*

Frédéric LANDRAGIN

Chargé de Recherches, LaTTiCe / *Examineur*

Christophe CLARAMUNT

Professeur, Ecole Navale / *Directeur de thèse*

Éric SAUX

Maître de Conférences, Ecole Navale / *Co-encadrant de thèse*

Remerciements

JE tiens à remercier en tout premier lieu Éric SAUX pour son investissement, son honnêteté, sa rigueur et ses encouragements. Éric, ce fut un réel plaisir de travailler avec toi, j'espère que nous aurons de nouvelles opportunités de réflexion autour d'un projet commun. Ensuite, Christophe CLARAMUNT, l'Herbert von Karajan des Sciences de l'Information Géographique, pour avoir accepté de diriger cette thèse et pour m'avoir guidé dans la rédaction des premiers articles scientifiques.

Un grand merci également à mon jury : Gérard LIGOZAT et Philippe RIGAU pour avoir accepté de rapporter ces travaux, Jacques TISSEAU pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance et Frédéric LANDRAGIN pour avoir bien voulu être examinateur.

Une thèse permet de développer des collaborations scientifiques et humaines. À défaut de pouvoir dresser une liste exhaustive, je voudrais remercier :

- Clément CHAMPENOIS pour avoir participé à l'élaboration du prototype de carte conceptuelle, Yann MOREAU pour avoir réalisé un système de détection d'entités topographiques ; merci à tous les deux pour le travail accompli, cela fut un réel plaisir de vous co-encadrer durant votre stage à l'IRENav ;
- Marie COZ pour avoir accepté de relire l'ensemble de ce manuscrit ;
- Marie Cécile COULAUD et Alcino FERREIRA pour avoir corrigé l'anglais de mes articles ;
- Les participants aux différentes expérimentations et validations. Leur implication et leur volonté de réussir le défi proposé m'ont sincèrement surpris ;
- Les membres de l'IRENav passés ou actuels, que j'ai eu la chance de côtoyer. Un clin d'œil particulier aux drôles de dames du secrétariat Élise, Magalie et Christine ; Mériam HORCHANI pour ses suggestions pertinentes (« Dis-moi ce que tu vois, je te dirai où tu es »), sa prévenance et sa sincérité ; Rémy THIBAUD pour sa spontanéité et son franc-parler ; Éric GUILBERT pour les discussions enrichissantes que nous avons eues à l'occasion du projet Procure ;
- Les (“post-” ?)doctorants de l'IRENav que j'ai côtoyés pendant quatre ans. Je pense évidemment à David et Géraldine, qui ont successivement partagé un bureau avec moi, et qui ont réussi à me supporter (mais c'était réciproque ☺). Géraldine, merci pour toutes les astuces à propos de $\text{\LaTeX}$ et bonne chance pour la fin de thèse !

Je n'oublie pas Ariane, Marie-Laure, Rachel, Valérie, Antoine, Imad, Laurent D., Laurent E., Mathieu, Thomas L. B. et Yann. Thomas B. et Thierry : aux suivants ! J'oublie sûrement beaucoup de monde mais j'espère qu'ils me pardonneront ;

- Les élèves de l'École navale et de l'École de manœuvre et de navigation qui ont supporté mes cours. Car une thèse nécessite de faire preuve de pédagogie lorsqu'il s'agit d'exposer ses idées. En ce sens, les enseignements m'ont aidé à développer cet aspect, et c'est grâce à vous que je pense avoir progressé ;
- Le lieutenant de vaisseau Patrice L'HOURL qui m'a permis d'embarquer et de découvrir la vie de marin à bord de la goélette Étoile pendant une semaine ; le premier maître Philippe TANGUY qui m'a accueilli à bord du Virginie Hériot et fait découvrir les Glénans au mois de Décembre ; le second maître Thomas LE BRETON qui m'a permis de naviguer à ses côtés lors du Grand Prix de l'École navale 2009 (Marc, sans rancune ? ☺) ; ainsi que l'ensemble de l'équipe des moyens nautiques de l'École navale ;

Sur un plan plus personnel, je souhaite exprimer ma gratitude et mon amitié à :

- Anthony JULOU qui m'a régulièrement permis de m'évader sur l'eau lorsque le temps breton le permettait, et sans qui je n'aurais probablement pas décroché ce fameux *patron J80* du Club Nautique. En cours comme sur l'eau, j'ai sincèrement apprécié ta façon de transmettre un savoir qui, cela se sent, te tient tant à cœur ;
- Alexandre MUZIKA que j'ai hâte de revoir courir. Ces dernières semaines ne sont probablement pas évidentes, mais je suis de tout cœur avec toi ! Je n'oublie pas Tristan que j'espère croiser en Bretagne, à Hong Kong ou encore du côté du détroit de Gibraltar ;
- Élodie, Christophe et Souad leur petit bout de chou, Marilyn 🌸 et Terry, Anne-Gaëlle, Brendan et Fabien, et Benoît 🐶.

Un grand merci à ma famille – mes parents Christian et Marie-Pierre, ma sœur Maëva et ma grand-mère Denise qui doit être fière de son petit-fils – ainsi qu'à ma belle-famille pour leur soutien et leur gentillesse avant, pendant et après cette thèse.

Enfin, merci à ma moitié pour son soutien tout au long de ces années, sa bonne humeur inébranlable, son amour.



Résumé

Les récents outils dédiés aux Sciences de l'Information Géographique s'attachent principalement à visualiser, analyser voire interpréter une information dite quantitative, c'est-à-dire issue de données cartographiques. Malgré une utilisation exponentielle voire quotidienne de ces systèmes, ces derniers ne correspondent pas à la manière dont un individu perçoit l'espace. Le mécanisme de perception spatiale est en effet dépendant de nos propres connaissances, du contexte ou de la tâche à réaliser. Il entraîne une représentation cognitive de l'environnement qui est caractérisée par une absence de formalisation des concepts manipulés. Cette représentation n'est pas une reproduction fidèle de la réalité, mais un assemblage d'objets aux formes et aux échelles exagérées qui est structuré par des relations spatiales approximatives.

Ce travail est né du paradoxe suivant : comment peut-on utiliser des systèmes informatiques dont les fondements reposent sur des données quantitatives, alors que la perception de l'espace et son expression par le langage naturel sont par définition absentes de toute formalisation, et ainsi très éloignées de la précision métrique recherchée par les outils géoinformatiques actuels ? L'objectif de cette thèse consiste à associer une représentation cognitive issue de la perception d'un environnement naturel, aux données quantitatives provenant d'une base de données géographiques. Le scénario associé à cette approche s'attache à identifier les positions géographiques d'un individu à partir de la description de ses environs : un randonneur ou un pêcheur perdu ne disposant pas d'outil de géo-positionnement, décrit de manière spontanée son environnement à un interlocuteur qui s'appuie sur les propositions d'un système informatique pour le localiser.

Une modélisation de la description linguistique puis de la scène environnementale perçue est proposée. Cette « carte conceptuelle » est contrainte par quatre espaces de proximité et deux à quatre cônes directionnels qui ordonnent et orientent les objets perçus par rapport à la position fixe de l'individu. Une telle représentation ne permet cependant pas de distinguer les entités saillantes, des entités ne favorisant pas le géo-positionnement de l'observateur. Nous avons donc proposé deux critères de saillance linguistique et spatiale fondés sur un algorithme de renforcement mutuel. Les positions géographiques possibles de l'individu sont alors calculées à partir de l'interprétation de la configuration spatiale fournie par la carte conceptuelle. Les zones de visibilité des objets perçus sont calculées puis les relations spatiales sont interprétées sous la forme de contraintes spatiales. Chaque nouvelle contrainte réduit au fur et à mesure l'espace solution, et le résultat exploitable pour lancer les opérations de recherche de l'individu est fourni par l'intersection des différentes régions.

Table des matières

Table des matières	iii
Liste des figures	vii
Introduction Générale	1
I De la perception spatiale d'environnements à leur expression	7
I.1 Perception spatiale	9
I.1.1 Un processus subjectif et contextuel	9
I.1.2 Perception et cognition des objets du monde	10
I.2 Perception de la position des objets	16
I.2.1 Un processus dépendant du référentiel	16
I.2.2 Perception des distances	19
I.3 Une structure cognitive, reflet de la réalité perçue	20
I.3.1 Espaces psychologiques	20
I.3.2 Représentations cognitives de l'espace	21
I.4 Expression de la perception par le langage	23
I.4.1 Expressivité du langage <i>vs</i> complexité de l'espace	23
I.4.2 Études linguistiques de descriptions spatiales	25
I.5 L'image comme illustration de la perception	26
I.5.1 Contexte d'utilisation des croquis	26
I.5.2 Du croquis à la carte géographique	29
I.6 Saillance perceptive et linguistique	31
I.6.1 Saillance et perception visuelle	31
I.6.2 Saillance et pertinence dans le discours linguistique	33

I.7 Conclusion	34
II Modélisation conceptuelle d'une scène environnementale	35
II.1 Expression du positionnement d'un objet ou d'un individu	37
II.2 Étude expérimentale pour l'obtention de descriptions	39
II.2.1 La photographie comme substitut aux études <i>in situ</i>	39
II.2.2 Protocole expérimental	41
II.2.3 Résultats	42
II.3 Modèle conceptuel d'une scène environnementale	44
II.3.1 Représentation linguistique de la description	45
II.3.2 Représentation sémantique d'une description spatiale	49
II.3.3 Représentation spatiale fondée sur les proximités	50
II.3.4 Représentation spatiale fondée sur les orientations	53
II.3.5 Carte conceptuelle d'une scène environnementale	56
II.4 Modèle de saillance pour la qualification de descriptions et de scènes environ- nementales	59
II.4.1 Saillance linguistique	61
II.4.2 Saillance spatiale	63
II.4.3 Résultats expérimentaux	66
II.5 Validation du modèle	71
II.5.1 Développement du prototype	71
II.5.2 Protocole de validation	73
II.6 Conclusion	76
III Géo-positionnement d'un individu à partir d'une description environne- mentale	79
III.1 Sémantique de l'observateur et de la carte	81
III.2 Approche fondée sur la visibilité des objets	84
III.3 Interprétations des relations spatiales	87
III.3.1 Contexte de développement d'un système d'aide à la décision	87
III.3.2 Contrainte 1 : Entités aux relations d'orientation opposées par rapport à l'observateur	90
III.3.3 Contrainte 2 : Entités aux orientations identiques par rapport à l'ob- servateur	93

III.3.4	Contrainte 3 : Distance entre des entités aux orientations identiques par rapport à l'observateur	94
III.3.5	Contrainte 4 : Orientations relatives entre deux entités	96
III.3.6	Exemple applicatif	97
III.4	Conclusion	98
Conclusion		101
Annexes		107
A Expérimentations		109
A.1	Photographies panoramiques utilisées au cours de l'expérimentation	109
A.2	Exemples de descriptions verbales d'environnements naturels	110
B Validation du modèle		113
B.1	Protocole de validation du modèle	113
B.2	Résultats préliminaires	115
B.2.1	Description 1	115
B.2.2	Description 2	118
B.2.3	Description 3	120
Bibliographie		123
Curriculum vitæ		135

Liste des figures

1	Évolution des cartes marines	2
2	Illustration du scénario	3
I.1	Organisation du chapitre I	8
I.2	Théorie perceptive de la Gestalt	12
I.3	Taxinomie des concepts d'ontologies génériques	15
I.4	Taxinomie des objets géographiques (inspirée de [Granö, 1929])	16
I.5	Référentiels liés à la configuration de la scène	17
I.6	Représentations cognitives de l'espace [Freundschuh et Egenhofer, 1997] . . .	22
I.7	Erreurs cognitives dans le positionnement de Seattle, New York City, Paris et Rome	23
I.8	Types de perspectives	24
I.9	Exemples de représentations graphiques de l'environnement	27
I.10	Esquisse et carte marine de la ville de Brest et de sa rade, France	28
I.11	Croquis issus de représentations cognitives de Boston [Lynch, 1960]	29
I.12	Exemples de <i>landmarks</i>	32
II.1	Organisation du chapitre II	37
II.2	Types de perspectives	39
II.3	Panorama virtuel interactif de la ville de Paris	41
II.4	Principe de l'expérimentation	43
II.5	Conceptualisation à l'aide du modèle MADS [Parent et al., 1997]	46
II.6	Taxinomie partielle des relations spatiales	47
II.7	Vue linguistique d'une description verbale	49
II.8	Exemples de vues sémantiques	50
II.9	Vue sémantique d'une description verbale	51

II.10	Vue d'une description verbale fondée sur les espaces de proximité	54
II.11	Systèmes directionnels [Hernandez, 1994, Frank, 1992]	55
II.12	Vue d'une description verbale fondée sur les orientations	57
II.13	Carte conceptuelle d'une scène environnementale	58
II.14	Saillance linguistique : graphe de la description verbale	62
II.15	Saillance spatiale : graphe partiel de la carte conceptuelle	65
II.16	Photographie panoramique d'un environnement champêtre - Exemple 1	66
II.17	Évolution du score des unités lexicales (HITS), $\lambda = 0$ - Exemple 1	67
II.18	Évolution du score de saillance des unités et des phrases, $\lambda = 0$ - Exemple 1 .	67
II.19	Évolution du score de saillance des entités et des cônes directionnels - Exemple 1	68
II.20	Panorama et représentation de la description d'un environnement maritime .	69
II.21	Évolution du score des unités lexicales (HITS), $\lambda = 0$ - Exemple 2	69
II.22	Évolution du score de saillance des unités et des phrases, $\lambda = 0$ - Exemple 2 .	70
II.23	Évolution du score de saillance des entités et des cônes directionnels - Exemple 2	70
II.24	Principe de réalisation du prototype de carte conceptuelle	71
II.25	Prototype : visualisation et manipulation d'une scène environnementale	73
III.1	Organisation du chapitre III	81
III.2	Spectre des modèles de représentation des connaissances (inspiré de [Lassila et McGuinness, 2001])	83
III.3	Concepts de haut niveau de l'ontologie de l'application	83
III.4	Configurations de visibilité	85
III.5	Principe de visibilité	87
III.6	Configurations spatiales – Hypothèse 1	90
III.7	Configurations spatiales – Hypothèse 2	90
III.8	Interprétation géométrique de la contrainte d'orientation	91
III.9	Contrainte « B est devant l'observateur et A derrière » (Quatre cônes - hypothèse 1)	92
III.10	Contrainte « B est devant l'observateur et A derrière » (Deux cônes - hypothèse 2)	93
III.11	Contrainte « A et B sont dans un même cône » (Quatre cônes - hypothèse 2) .	94
III.12	Contrainte « A et B sont dans un même cône, et B est derrière A » (Quatre cônes - hypothèse 2)	95
III.13	Comparaison d'intervalles spatiaux	96
III.14	Contraintes liées aux orientations relatives (deux ou quatre cônes)	97

III.15	Approche de géo-positionnement fondée sur des contraintes géométriques . . .	98
III.16	Prototype intégrant les contraintes spatiales	99
III.17	Identification des objets morphologiques de l'environnement	104
III.18	Évolution spatiale des entités lors du déplacement de l'observateur	105
A.1	Pointe de Pen Hir, Presqu'île de Crozon-Morgat (29)	109
A.2	Plage de Toëno, Trébeurden (22)	109
A.3	Plage de Toëno, Trébeurden (22)	109
A.4	Baie de Goulven, Goulven (29)	109
A.5	Paysage de Haute-Loire (43)	109
A.6	Barrage de Saint-Egrève, Saint-Egrève (38)	109
A.7	Sentier côtier de Brignogan, Brignogan-Plages (29)	110
A.8	Vallée du Tarn, Millau (12)	110
A.9	Panorama de l'Ardèche (07)	110
A.10	Panorama depuis le Pic de Lizieux (43)	110
B.0	Protocole de validation du modèle de carte conceptuelle	114
B.1	Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 1 . .	117
B.2	Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 2 . .	119
B.3	Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 3 . .	121

Introduction Générale

Contexte et motivation de la thèse

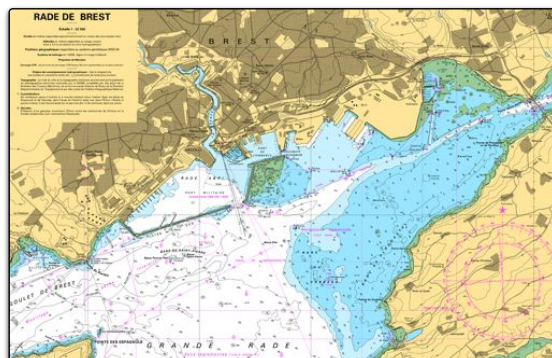
LA perception de notre *espace géographique* est une notion cruciale qui nous permet d'interagir de manière efficace avec lui. La perception ne peut être dissociée de l'environnement dans lequel l'individu est immergé, ni de la situation ayant déclenché ce mécanisme [Varela, 1988]. Cela implique que les relations entre l'individu et son environnement ne sont pas objectives, mais bien au contraire liées au contexte et à l'environnement lui-même. La perception visuelle combine en effet des *stimuli* visuels sur le monde extérieur, et cognitifs qui font appel à un ensemble de croyances et de souvenirs. L'interprétation de ces informations multiples engendre une représentation mentale qui tire son essence de la nature des notions manipulées. Lorsque nous décrivons un lieu ou que nous spécifions un itinéraire, nous avons en effet tendance à préférer des termes qualitatifs, et par conséquent approximatifs (par exemple « le château est sur ma gauche en contrebas de la vallée »), aux notions quantitatives qui définissent l'espace à l'aide de concepts mathématiques et/ou géométriques (par exemple « le château est situé à 284 mètres d'ici ») [Tversky, 1993].

La cartographie est marquée par cette évolution de la perception et de la modélisation de l'espace. La *Géographie* de Strabon constitue la première description exhaustive de l'espace méditerranéen à l'aube de l'ère chrétienne. La conception du monde est alors décrite à l'aide des connaissances scientifiques et quantitatives d'Ératosthène, mais Strabon intègre aussi à son ouvrage de nombreuses descriptions littéraires qui permettent de caractériser les traits distinctifs d'objets géographiques ainsi que les configurations spatiales de l'espace [Kowalski, 2009]. Ces descriptions, à la fois cartographiques et textuelles, servent de support aux marins grecs qui corrélaient la perception visuelle de repères terrestres aux descriptions objectives et intègrent d'une carte, afin de confirmer leur positionnement géographique et la validité de leur itinéraire (Fig. 1).

Les développements technologiques actuels ont entraîné une évolution des supports cartographiques. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) se sont développés grâce aux progrès des technologies informatiques. Les SIG sont apparus dans les années soixante comme des outils de manipulation de données géographiques. Ces systèmes ont par la suite évolué en vue de modéliser, analyser et visualiser des données géographiques. Ils sont largement intégrés à de nombreux domaines d'application, notamment grâce au développement des bases de données géographiques produites par des organismes nationaux tels que l'Institut Géographique National (données terrestres) ou le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine



Ancienne carte marine fondée sur la perception visuelle d'objets géographiques



Carte marine actuelle fournie par le SHOM - *Ne pas utiliser pour la navigation. Autorisation n° 186/2010*

Figure 1 – Évolution des cartes marines

(données maritimes). Les SIG s'attachent désormais à traiter des quantités de données de plus en plus importantes. Leur mise en œuvre est réalisée au travers d'interfaces de plus en plus complexes qui intègrent parfois une visualisation tridimensionnelle de l'environnement et/ou une utilisation de supports multimodaux.

Ces systèmes d'information sont cependant de plus en plus critiqués pour leur inadéquation avec les besoins de l'utilisateur et leur manque d'adaptation au langage naturel [Timpf, 2002]. Leurs développements récents semblent aller à l'encontre des principes relatifs à la perception et la cognition spatiale. Ce travail est alors né du paradoxe suivant : comment peut-on utiliser des systèmes informatiques dont les fondements reposent sur des données quantitatives, alors que la perception de l'espace et son expression à l'aide du langage naturel sont par définition absentes de toute formalisation, et ainsi très éloignées de la précision métrique recherchée par les outils géo-informatiques actuels ? L'objectif de cette thèse consiste à associer une représentation cognitive issue de la perception d'un environnement naturel, et des données quantitatives fournies par un SIG couplé à une base de données géographiques.

Intérêt applicatif

« Un couple de touristes s'est égaré hier lors d'une promenade en raquettes. Ils ont vraisemblablement été trompés par le mauvais temps [...] Âgés d'une trentaine d'années, d'origine flamande et parlant anglais, ils ont réussi à prévenir les secours vers 11 heures du matin à l'aide de leur téléphone portable. Un important dispositif s'est alors mis en place [...] Première étape : essayer de situer la position des touristes perdus et les accès possibles pour les secourir. Ensuite, plusieurs groupes sont partis à la recherche des randonneurs afin d'affiner la zone de recherche. Dans l'après-midi, les sauveteurs ont réussi à communiquer par SMS avec les randonneurs. Ils auraient confirmé se situer à proximité d'un cours d'eau, vraisemblablement la Dorche. Finalement, vers 18 heures, après sept heures de recherches, un contact physique a pu être établi avec les randonneurs qui s'étaient effectivement égarés dans le vallon de la Dorche. Ils sont sains et saufs. » *Le Progrès, 6 février 2010.*

Les approches dédiées à la localisation d'un individu perdu et ne disposant pas de système de géo-positionnement s'inscrivent dans le cadre d'*opérations de recherche et de secours* (Search-And-Rescue ou SAR). Leur objectif consiste à identifier la position potentielle de l'individu afin d'engager et de coordonner au mieux les moyens de sauvetage. Le contexte et la situation stressante provoqués par cette désorientation conditionnent la perception et entraînent des distorsions cognitives [Cornell et Hill, 2005]. Mais la description de l'environnement perçu est essentielle et déterminante pour initier les recherches. Don Ferguson propose de combiner plusieurs critères relatifs au contexte et au profil de l'individu afin de réduire l'étendue des recherches [Ferguson, 2008]. Il considère notamment ses habitudes, son comportement, son équipement et ses capacités physiques. D'autres études ont exploré le potentiel des outils géo-informatiques actuels afin de coordonner plusieurs équipes de sauvetage et ainsi optimiser la zone à ratisser [Heth et Cornell, 2006].

À notre connaissance, les outils géo-informatiques n'ont cependant pas été utilisés afin de géo-positionner un individu à partir de l'interprétation de la description de son environnement. Le fait divers rapporté dans l'article de presse introductif montre cependant que cette situation n'est pas illusoire et qu'un tel système d'aide à la décision aiderait les secours à identifier une zone de recherche. Nous proposons donc une approche fondée sur l'interprétation de la description verbale de l'environnement perçu par un individu¹. Ce dernier est situé à une position fixe et ne se déplace pas pour évaluer l'ensemble de l'espace environnant. La méthodologie est fondée sur une interprétation de cette description environnementale, et aucune supposition relative à l'itinéraire prévu, aux raisons de cette excursion ou aux caractéristiques physiologiques de l'individu perdu n'est considérée.

La description verbale est initiée par un observateur et communiquée à un interlocuteur qui n'a pas connaissance de la configuration spatiale décrite (Fig. 2). Ce travail de thèse s'attache à caractériser les mécanismes mis en œuvre lors de la perception d'un environnement et à identifier les critères qui favorisent la communication d'une configuration spatiale entre un observateur et un interlocuteur. L'interprétation de la description environnementale engendre une représentation cognitive de l'espace qui sert ensuite de support au géo-positionnement de l'individu perdu.

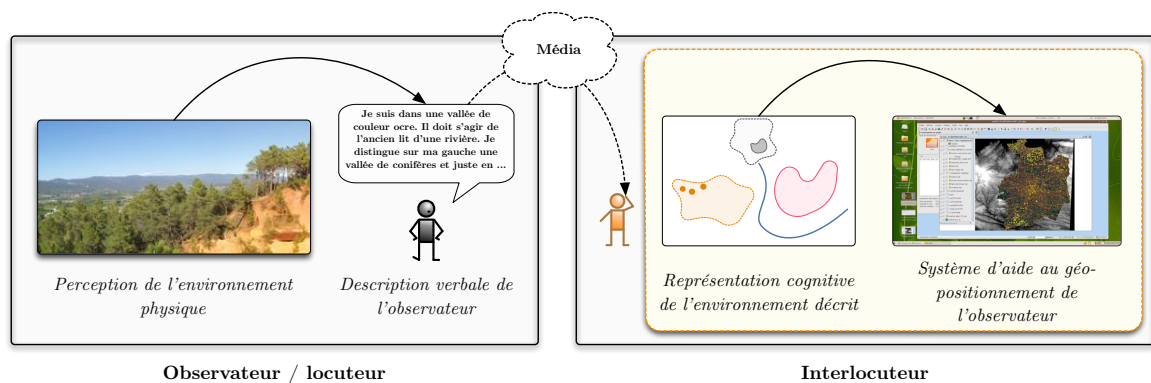


Figure 2 – Illustration du scénario

1. Le qualificatif *verbale* met simplement l'accent sur la spontanéité de la description qui n'est pas le fruit d'une mûre réflexion.

Ce travail de thèse est au carrefour de plusieurs disciplines transverses, les sciences cognitives, l'ingénierie des connaissances et la modélisation déclarative :

- les *sciences cognitives* sont dédiées à la compréhension des mécanismes inhérents à un système cognitif. Elles reposent sur l'étude et la modélisation de phénomènes complémentaires tels que la perception, l'expression linguistique, le raisonnement ou la connaissance ;
- l'interprétation de la description environnementale s'appuie sur une analyse syntaxique et sémantique des unités lexicales. Ce mécanisme ne peut être automatisé sans une modélisation de la sémantique associée aux unités manipulées. C'est l'objectif donné à l'*ingénierie des connaissances* qui concerne « l'étude des concepts, méthodes et techniques permettant de modéliser et/ou d'acquérir les connaissances pour des systèmes réalisant ou aidant des humains à réaliser des tâches ne se formalisant *a priori* pas ou peu » [Charlet et al., 2000] ;
- la *modélisation déclarative* propose de modéliser un environnement, non plus en fournissant des données numériques, mais en exprimant la représentation mentale de cet espace grâce à un ensemble de propriétés énoncées à l'aide du langage naturel [Gaildrat, 2003]. Notre approche considère de la même manière une description linguistique qui est interprétée sous la forme d'un ensemble de contraintes spatiales dédiées au géo-positionnement d'un individu.

Plan du manuscrit

Le document est organisé en trois chapitres principaux qui illustrent le processus de géo-positionnement d'un individu à partir de l'interprétation de la description de ses environs :

1. le premier chapitre introduit les principes relatifs à la perception spatiale et à son expression. Nous étudions tout d'abord les différents mécanismes cognitifs initiés lors de la perception visuelle d'un environnement physique. La perception engendre intuitivement une représentation cognitive de l'environnement qui n'est pas le reflet de la réalité, mais plutôt le résultat d'une interprétation. Différentes modalités facilitent la manipulation de la représentation cognitive, notamment le langage ou les croquis. Quel que soit le mode de représentation choisi, tous deux s'attachent à mettre en avant les éléments saillants et pertinents de l'environnement plutôt que de décrire l'ensemble de ses caractéristiques ;
2. le second chapitre caractérise la perception égocentrique d'un environnement naturel. La représentation cognitive issue de la perception est pour cela exprimée au moyen du langage naturel. Une étude empirique est réalisée afin de collecter un nombre significatif de descriptions verbales d'environnements naturels. L'objectif consiste à identifier la manière dont un environnement naturel est spontanément décrit par des individus aux profils divers. Plusieurs photographies panoramiques de paysages variés sont pour cela présentées à un panel de participants. Les résultats de cette expérimentation servent de support à l'élaboration d'un modèle conceptuel fondé sur la perception égocentrique d'un environnement naturel. Les formalisations de la description verbale et de l'environnement servent de support à la définition de critères de saillance linguistique et spatiale ;
3. le troisième chapitre décrit les fondements du mécanisme de géo-positionnement d'un individu à partir de l'interprétation du modèle conceptuel. De manière intuitive, l'idée

consiste à associer le modèle conceptuel d'un environnement, aux données fournies par une base de données géographiques. Cette étape est réalisée à l'aide d'une structure ontologique qui fournit une sémantique aux objets de la base de données. Le mécanisme de géo-positionnement identifie alors les positions possibles de l'observateur. Les zones de visibilité des objets perçus sont calculées, puis les relations spatiales sont interprétées sous la forme de contraintes spatiales qui réduisent au fur et à mesure l'espace solution.

I De la perception spatiale d'environnements à leur expression

Sommaire

I.1	Perception spatiale	9
I.1.1	Un processus subjectif et contextuel	9
I.1.2	Perception et cognition des objets du monde	10
I.2	Perception de la position des objets	16
I.2.1	Un processus dépendant du référentiel	16
I.2.2	Perception des distances	19
I.3	Une structure cognitive, reflet de la réalité perçue	20
I.3.1	Espaces psychologiques	20
I.3.2	Représentations cognitives de l'espace	21
I.4	Expression de la perception par le langage	23
I.4.1	Expressivité du langage <i>vs</i> complexité de l'espace	23
I.4.2	Études linguistiques de descriptions spatiales	25
I.5	L'image comme illustration de la perception	26
I.5.1	Contexte d'utilisation des croquis	26
I.5.2	Du croquis à la carte géographique	29
I.6	Saillance perceptive et linguistique	31
I.6.1	Saillance et perception visuelle	31
I.6.2	Saillance et pertinence dans le discours linguistique	33
I.7	Conclusion	34

LES développements récents des Sciences de l'Information Géographique sont largement influencés par des représentations spatiales fondées sur des mesures quantitatives de l'espace qui sont indépendantes du contexte ou de la situation. Dire que « la ville de New York est située à 5851 kilomètres de Paris » est en effet une réalité qui est indépendante de l'individu qui s'interroge ou du mode de transport envisagé pour rejoindre Paris depuis New York. Les représentations quantitatives ne permettent cependant pas de manipuler simplement une information partielle ou imprécise, et elles ne correspondent pas réellement aux modes d'expression et d'interprétation de l'homme qui s'appuie principalement sur des concepts qualitatifs [Kuipers, 1978, Freksa, 1992, Smith et Mark, 2001]. L'approche spatiale qualitative est caractérisée par un ensemble fini de concepts dont la sémantique peut varier

en fonction du contexte ou de l'échelle, et qui permet de distinguer différentes configurations spatiales. Dire que « New York est loin de Paris » n'est alors plus une tautologie, mais une affirmation toute relative et dépendante de l'échelle à laquelle on se place. Si la perception visuelle d'un environnement particulier engendre une représentation mentale qui facilite sa manipulation, est-il possible de conceptualiser cette interprétation qualitative afin d'obtenir une représentation spatiale de l'environnement perçu au moyen d'un système informatique ? C'est l'objectif de cette thèse qui vise à développer un modèle en adéquation avec la perception et la cognition spatiale, qui soit automatiquement exploitable dans des tâches nécessitant de manipuler des données géographiques.

Ce chapitre introduit les principes relatifs à la perception spatiale et à son expression (Fig. I.1). Nous étudions tout d'abord les différents mécanismes cognitifs initiés lors de la perception visuelle d'un environnement physique, et notamment l'identification ou la reconnaissance des différents objets qui structurent l'espace (Sec. I.1 et I.2). La perception engendre intuitivement une représentation cognitive de l'environnement qui n'est pas le reflet de la réalité mais plutôt le résultat de l'interprétation réalisée par l'individu (Sec. I.3). Selon le contexte et la situation, la représentation cognitive générée est intuitivement stockée en mémoire, mais peut tout aussi bien être manipulée ou modifiée. Différentes modalités facilitent la manipulation d'une représentation cognitive, notamment le langage (Sec. I.4) ou les représentations graphiques à l'aide de croquis (I.5). Quel que soit le mode de représentation choisi par le locuteur, tous deux s'attachent à mettre en avant les éléments saillants et pertinents de l'environnement plutôt que de chercher à décrire toutes ses caractéristiques (Sec. I.6). La dernière section conclut ce chapitre en identifiant les principes qui orientent notre modèle de conceptualisation d'un environnement.

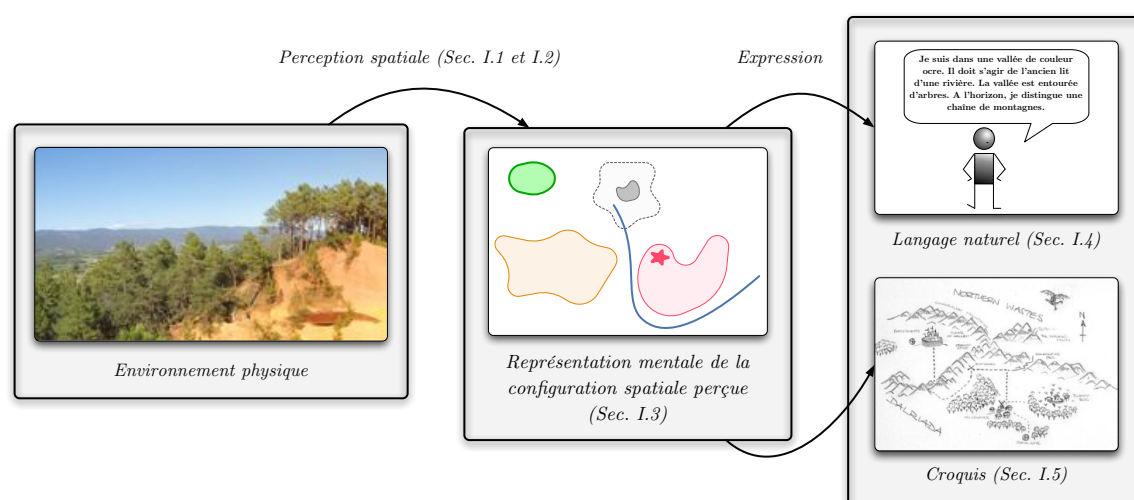


Figure I.1 – Organisation du chapitre I

I.1 Perception spatiale

I.1.1 Un processus subjectif et contextuel

Lorsqu'on considère l'espace au travers de la perception que s'en fait l'homme, on ne peut s'empêcher de se poser la question des rapports entre la subjectivité résultant de cette conceptualisation et d'autre part le monde réel, si tant est que ce dernier ait préalablement pu être capturé en toute objectivité. Ainsi, la perception spatiale ne peut généralement pas être dissociée de l'environnement dans lequel l'humain est immergé [Varela, 1988]. Cela signifie que les relations entre l'homme et son environnement ne sont pas objectives, mais bien au contraire dépendantes de la situation et de l'environnement lui-même.

La façon dont nous percevons l'environnement varie aussi en fonction de la culture à laquelle chacun de nous est attaché. Cela implique que notre manière de voir l'espace est façonnée par notre environnement socioculturel, et qu'il existe des différences culturelles significatives entre les individus d'horizons culturels et géographiques variés dans l'appréhension et l'interprétation de leur environnement [Mark et al., 1999]. David Mark et Andrew Turk définissent ainsi l'*ethnophysiographie* ou *science of landforms* comme la discipline s'attachant à étudier les termes linguistiques relatifs à un paysage en fonction du contexte culturel ou linguistique [Mark et Turk, 2003]. Leurs premiers résultats confirment l'hypothèse selon laquelle il n'existe pas de concept universel associé aux entités géographiques d'un paysage. La perception de l'espace n'est alors pas une donnée immédiate de la conscience, mais plutôt le fruit d'un mécanisme de construction progressif pouvant être entravé par des biais cognitifs tels que les croyances. D'une manière générale, la racine culturelle d'un individu influe sur la capacité cognitive qu'il porte sur son environnement, ainsi que sur la façon dont les informations de l'environnement sont traitées [Miyamoto et al., 2006]. Le processus de cognition spatiale est alors tout autant influencé par la richesse culturelle transmise de générations en générations dans chaque société, que le sont les pensées et les croyances. Chaque culture a en effet une histoire qui lui est propre, c'est-à-dire une organisation temporelle et spatiale formée à partir d'un attribut ou d'un ensemble d'attributs qui lui sont propres. Ces variations culturelles engendrent en quelque sorte une disparité universelle parmi les hommes. En ce sens, la cognition est contextuelle et caractérisée par la culture des hommes.

Il semble alors légitime d'envisager une perception et cognition spatiales, non plus uniquement dépendantes de la culture, mais aussi des caractéristiques morphologiques propres à chaque individu. Les travaux relatifs à ce sujet mettent en évidence à la fois des similitudes et des différences non significatives au niveau de jugements qualitatifs ou de l'identification de relations spatiales entre hommes et femmes. Si les hommes ont en moyenne de meilleures aptitudes dans des exercices visant à déterminer les relations spatiales, les différences sont hautement variables et non significatives dans des tâches de manipulation de l'information spatiale complexe [Weiss et al., 2003].

La perception visuelle n'est alors pas le résultat naïf d'un flux d'informations électromagnétiques détecté par la rétine de l'oeil. Elle entremêle des informations *visuelles* sur le monde extérieur et les objets qui le composent, et *mentales* pouvant faire appel à un ensemble de croyances et souvenirs. Toute perception associe ainsi un certain espace ou un objet avec des données subjectives. C'est pourquoi la perception visuelle d'un serpent peut par exemple

provoquer selon les individus des réactions différentes (admiration, peur, désir, etc.), dues à ce que l'animal évoque pour l'un ou l'autre. Percevoir c'est aussi identifier et qualifier les objets. Cette idée simple selon laquelle la perception s'accompagne d'un jugement subjectif voire d'une signification pouvant être associée à l'espace et aux objets qui le composent, donne lieu à un monde perçu dans l'espace et le temps qui s'oppose alors au monde physique classiquement admis par les géographes. Notre représentation spatiale n'est alors pas le reflet exact de l'espace externe mais la résultante de deux composantes perceptives et représentatives qui interagissent entre elles. Selon Jean Piaget, ces structures émergent vers l'âge de deux ans, lorsque l'enfant découvre sa capacité à utiliser les symboles [Piaget et Inhelder, 1948]. Ceci rejoint l'affirmation d'Emmanuel Kant pour qui l'espace est une forme qui tient *a priori* de la « constitution subjective de notre esprit » et non pas un « être réel » autonome [Kant, 1781]. L'esprit impose alors sa propre conception interne de l'espace à l'information visuelle qu'il reçoit. La perception englobe donc une dimension intermédiaire entre la passivité de la visualisation et l'activité de réflexion, due aux unifications issues des habitudes, de l'instinct et des processus de reconnaissance. Elle implique ainsi une sorte de pensée quasi inconsciente qui structure les données résultant de la visualisation.

Ainsi, la perception lorsqu'elle sollicite l'ensemble de nos sens, demeure le fondement de la connaissance du monde environnant. Mais son intégrité doit-elle être pour autant remise en cause ? La perception est l'unique accès dont l'homme dispose pour interagir avec le monde. Il est donc vain d'imaginer une conception du monde sans perception. Le contact qu'elle nous assure avec lui est source de vérité. La perception d'un objet n'est alors jamais biaisée ou fautive. Dire que la lune semble bouger lorsqu'un nuage fin la traverse ou qu'elle est proche d'un nuage en mouvement n'est pas dénué de sens. L'erreur est alors finalement dans le jugement lorsque nous affirmons que la lune bouge lorsqu'on la regarde.

Sans pour autant être remise en cause, la perception de l'espace n'en reste pas moins subjective, contextuelle et limitée. En étant centrée sur l'homme, notre approche vise finalement à intégrer les propriétés de cet espace perçu subjectivement, à une vision objective de l'environnement à partir de laquelle aucune interprétation n'est possible. Les biais induits par la culture, les valeurs personnelles, les attitudes et les émotions délimitent les frontières un peu floues que nous avons essayé de distinguer entre l'objectif de la réalité et le subjectif lié à la perception. Comment l'adéquation entre le résultat issu de la perception spatiale et la réalité peut-elle être vérifiée ? Parmi les candidats, le langage naturel et les représentations graphiques fournissent une base objective en un sens, en s'attachant à caractériser les éléments perçus de l'environnement réel.

I.1.2 Perception et cognition des objets du monde

La perception visuelle d'un objet initie un processus de reconnaissance puis d'identification de ce dernier. Mais si la perception visuelle du monde et des objets qui le composent est finalement issue d'un processus subjectif, c'est-à-dire dépendant de notre culture ou notre éducation propre, n'est-il pas alors ambitieux de vouloir définir l'identité des objets qui nous entourent ?

Perception et identification d'objets

L'homme dispose d'un système visuel qui démontre une capacité remarquable à la reconnaissance puis à l'identification des objets. Intuitivement, lorsque nous regardons l'environnement qui nous entoure, nous ne percevons pas les objets dans leur globalité, mais uniquement certaines faces de ces objets. Plusieurs écoles s'affrontent quant à une reconnaissance des objets dépendante ou non de leur visualisation. La première considère que la reconnaissance d'un objet tridimensionnel est indépendante du point de vue de l'observateur. *A contrario*, la seconde voit la représentation d'un objet tridimensionnel comme le résultat de la représentation de multiples images d'un objet à partir de plusieurs points de vues.

Irving Biederman propose la théorie de la « reconnaissance d'un objet par ses parties » qui se fonde sur les résultats des travaux de David Marr [Marr et Nishihara, 1978]. Les objets sont représentés en mémoire par un arrangement spatial de parties volumiques appelées *géons*, qui est structuré par des relations spatiales qualitatives. La visualisation complète d'un objet n'est alors pas indispensable à son identification, et sa reconnaissance se fait par tout ou partie des géons qui le composent [Biedermann, 1987]. La reconnaissance des objets par tout ou partie de leurs composants nécessite cependant une connaissance ou tout du moins une visualisation préalable de l'objet dans son ensemble. Manish Sing et Markus Wuersch soulignent que cet appel à la mémoire visuelle influe sur la reconnaissance globale de l'espace perçu [Singh, 2001, Wuersch, 2003].

Pour l'école défendant une identification dépendante de la visualisation, la reconnaissance de l'objet dépend de l'angle de vision selon lequel il est appréhendé. Cependant, Michael J. Tarr et Heinrich H. Bülthoff concluent ce débat en proposant une approche hybride intégrant les aspects les plus pertinents des deux approches [Tarr et Bulthoff, 1995]. La reconnaissance des composants d'un objet devient alors nécessaire à son identification qui ne peut avoir lieu sans une reconstruction des différents composants perçus comme des images bidimensionnelles.

Ces deux approches confortent la théorie proposée par la psychologie de la Gestalt selon laquelle « l'ensemble apporte plus que la somme de ses composants ». Ainsi, le son d'une mélodie et l'harmonie qui en découle ne sont pas simplement issus de la juxtaposition de notes de musique sur une portée. On imagine en effet très bien que l'écoute d'un impromptu de Chopin n'aurait pas le même succès et ne susciterait pas la même émotion s'il était interprété note après note. Les théoriciens de la Gestalt considèrent donc que ce sont les composants de la mélodie qui interagissent entre eux pour produire « la nature du tout » [Guillaume, 1979]. La perception humaine est alors expliquée par le principe de *régularité* selon lequel la perception se fonde sur l'organisation la plus simple et la plus régulière afin de grouper les *stimuli* perceptifs. Ainsi, la figure I.2 illustre un premier objet, le pavillon Sully du Louvre, partiellement caché par un second, la pyramide. Cette occlusion partielle engendre plusieurs composants aux frontières douces ou brutales, et aux couleurs et textures contrastées. Ce sont les similarités et la douceur des frontières couplées à des connaissances architecturales potentielles qui permettent à l'homme d'en déduire que le pavillon Sully n'est constitué que d'un unique bâtiment.



Figure I.2 – Théorie perceptive de la Gestalt

Identité de l'objet physique

Le résultat de la perception visuelle du monde correspond à une composition harmonieuse des objets qui le composent. Il s'agit en quelque sorte d'une vision « leibnizienne » du monde selon laquelle l'espace est purement relatif, jamais vide et défini à partir des objets qui le composent. Par opposition à la vision « newtonienne » qui considère l'espace, le temps et la matière comme des éléments distincts et indissolubles. L'*identité physique* de ces objets ne peut cependant pas être tacitement garantie puisqu'elle est elle aussi dépendante de la perception de celui/celle qui tente de la définir. Se pose alors la question de savoir comment référencer un objet dont la définition peut elle-même être remise en cause.

Puisque la perception au sens général du terme est l'unique mécanisme nous liant au monde réel, il est donc possible d'établir l'identité des objets physiques à partir de leurs propriétés perçues. Cependant, comment doit-on considérer et caractériser un objet associé à un phénomène, dont les caractéristiques visuelles peuvent varier en fonction du temps et des saisons ? Cela signifie-t-il que son identité évolue elle aussi ? Nous identifions généralement la rivière bouillonnante au moment de la fonte des neiges ou le cours d'eau dans lequel il est agréable de tremper ses pieds quelques mois plus tard comme un même et unique objet géographique. Les deux instantanés visualisés à deux instants temporels différents ne sont alors pas liés entre eux par un simple lien de parenté [Quine, 1981], mais associés à un objet perdurable, c'est-à-dire étendu, pouvant varier dans le temps et doté d'une identité à part entière. Cette idée contredit l'opinion du philosophe David Hume qui définit l'identité d'un objet physique comme une fiction construite pour pallier les erreurs relatives à la perception. La perception répétée d'un objet physique nous conduit alors inconsciemment à lui associer une même identité, alors que la perception d'un objet à deux instants lointains nous engage au contraire à croire que les objets sont distincts [Hume, 1740]. Hegel propose plus tard de définir l'*entendement* comme l'essentiel qui demeure dans le changement des choses et qui permet de définir la pensée ou concept de l'objet [Hegel, 1807]. L'identité se définit alors comme le caractère invariable et ininterrompu de l'objet, à travers une variation supposée du temps. Mais l'identité de l'objet n'est-elle finalement pas acquise lorsqu'on peut se référer à l'objet physique grâce au langage ? Car si l'objet peut être nommé, son identité est conceptualisée par notre esprit. Poser le concept d'identité de l'objet physique revient donc à fonder le principe

même de la descriptibilité du monde [Wittgenstein, 2001]. Le monde est alors construit à partir des objets qui le composent et auxquels nous associons un sens.

Ainsi, l'association d'un terme linguistique à un objet du monde réel ne remet plus en doute son existence. C'est probablement par provocation que Barry Smith en doute, en posant la question de l'existence des montagnes, alors qu'elles constituent communément l'archétype de l'objet géographique. Il s'attache en particulier à déterminer le caractère flou du terme linguistique *montagne* qui, en fonction de son contexte d'utilisation, se rapporte aussi bien à un objet individuel qu'à une catégorie pouvant être composée de plusieurs individus [Smith et Mark, 2001, Smith et Mark, 2003]. La perception du monde réel amène généralement l'homme à identifier des objets comme les « fragments » d'un ensemble plus large. Helen Couclelis pointe cette contradiction entre manipulation des objets et des « champs » en soulignant que la surface de la Terre est divisée en parcelles qui sont manipulées comme des objets [Couclelis, 1992].

Si l'identité d'une montagne reste si difficile à définir, c'est aussi parce qu'il subsiste une difficulté liée à la définition de ses frontières physiques. Les objets *bona fide* sont alors définis comme ayant une extension spatiale révélée par des discontinuités qualitatives. En revanche, un objet *fiat* n'a pas de frontière révélée par une discontinuité qualitative, et sa frontière ne correspond pas nécessairement à une réalité physique [Smith et Varzi, 1997]. Puisque la catégorisation est une activité cognitive majeure [Lakoff et Johnson, 1980], ces considérations ontologiques entraînent implicitement une identification et classification des objets en fonction de leur types de frontières.

Considérations ontologiques

La recherche d'un système de pensée philosophique est indissociable de la réalité identifiée par les philosophes. Ces derniers se sont donc intéressés à l'identité des objets composant les représentations réelles. L'Ontologie constitue le champ d'étude dont l'objectif est d'apporter une réponse philosophique aux interrogations liées à l'Être et à l'Existence. Plus précisément, il s'agit de l'« étude de l'Être en temps qu'Être, indépendamment de ses déterminations particulières », c'est-à-dire de l'étude des propriétés générales de ce qui existe [Roche, 2005]. Ainsi, une Ontologie d'un domaine donné décrit les constituants de la réalité, les relations entre ces constituants et les relations avec les constituants d'autres domaines.

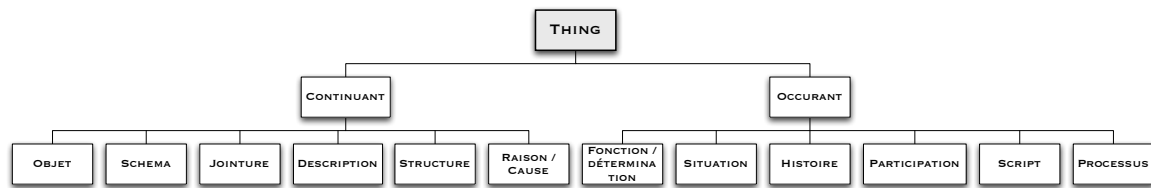
Les individus interagissent en général avec le monde qui les entoure de différentes manières, qu'elles soient directes par la perception que l'on en a, ou indirectes par l'utilisation de cartes géographiques, la lecture de journaux ou l'écoute des prévisions météorologiques. Chacune de ces interactions induit une certaine conceptualisation de la réalité, structurée par un système formé de concepts ou de catégories qui segmente le domaine concerné en objets, qualités ou relations [Laurence et Margolis, 1999]. Le terme « ontologie » est désormais utilisé dans le domaine de l'Intelligence Artificielle, dans un sens légèrement distinct de celui promulgué par les philosophes. L'ontologie désigne la représentation d'une modélisation d'un domaine sous la forme d'un ensemble de concepts liés par des relations et des propriétés logiques. Elle aide à la clarification et spécialisation des concepts employés dans différents domaines à l'aide d'une formalisation logique. L'ontologie identifie donc les concepts existants tels que les objets ou d'autres entités conceptuelles, ainsi que les propriétés observables ou

leurs attributs tels que leur taille, leur unicité ou leur caractère immatériel. Une ontologie n'est alors plus concernée par la question de l'Existence mais répond à un besoin de normalisation des communications et des échanges. Tom Gruber définit une ontologie comme « une spécification d'une conceptualisation » [Gruber, 1993]. Cette définition est une tentative de réponse au problème récurrent de l'incompréhension qui émerge lorsque plusieurs groupes collaborant entre eux utilisent des termes parfois identiques mais ayant une définition et un sens qui leur sont propres. Ainsi, ce consensus commun autour du sens des termes favorise leur réutilisation et le partage de la connaissance [Ushold et Gruninger, 1996]. De manière plus pragmatique, Nicola Guarino précise la définition précédente en relevant les différences existant entre une « conceptualisation » et une « ontologie » [Guarino, 1998]. Une ontologie se distingue alors selon ses niveaux de conceptualisation :

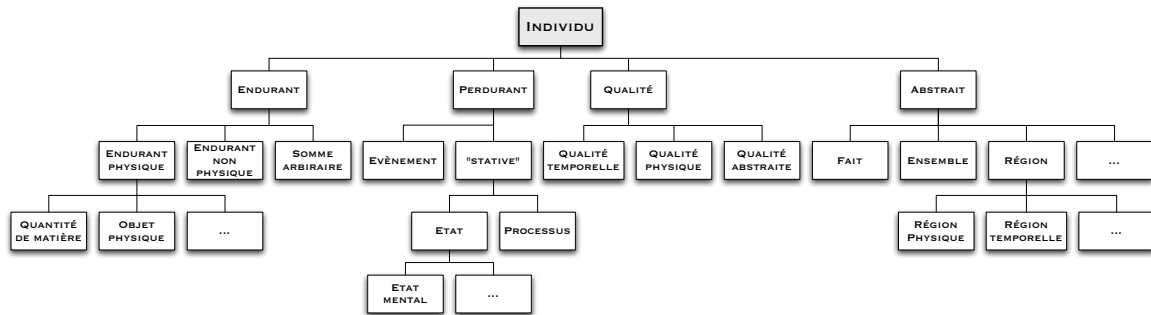
- le domaine d'étude est appréhendé selon une approche logique rigoureuse proche des tentatives de rationalisme philosophiques du XVII^e siècle [Spinoza, 1677] ;
- les concepts pertinents qui définissent le vocabulaire du domaine d'étude sont identifiés, définis et structurés en un réseau sémantique (niveau épistémologique) ;
- ces concepts sont reliés entre eux par des relations sémantiques (niveau ontologique).

Les ontologies sont classées selon le niveau de la connaissance qu'elles représentent. Les ontologies génériques définissent les concepts de haut niveau, communs à de nombreux domaines d'applications, et dont la définition pose parfois des questions préalablement identifiées par les philosophes. Les ontologies du domaine sont des conceptualisations dédiées à un domaine d'étude particulier tel que la géographie. Les ontologies de l'application contiennent les définitions nécessaires à la modélisation de la connaissance propre à une tâche particulière. Par abus de langage, la communauté liée à l'Intelligence Artificielle ou au Web Sémantique parle d'ontologie pour qualifier un simple réseau sémantique, une base de donnée, ou plus communément une taxinomie, c'est-à-dire un réseau structuré par la relation dite de subsumption « est un/une », ou une partonomie, c'est-à-dire un réseau structuré par la relation « est une partie de ». Nous considérons pour notre part qu'une ontologie au sens informatique ne peut être dissociée des trois niveaux définis par Nicola Guarino. Ainsi, les ontologies sont un outil informatique composé d'un ensemble structuré de concepts et de relations défini à l'aide d'un formalisme logique. Elles sont utilisées dans un but de partage de l'information dédiée à un domaine ou une application particulière, et tentent par conséquent de répondre au problème de l'interopérabilité entre différentes sources [Fonseca, 2001].

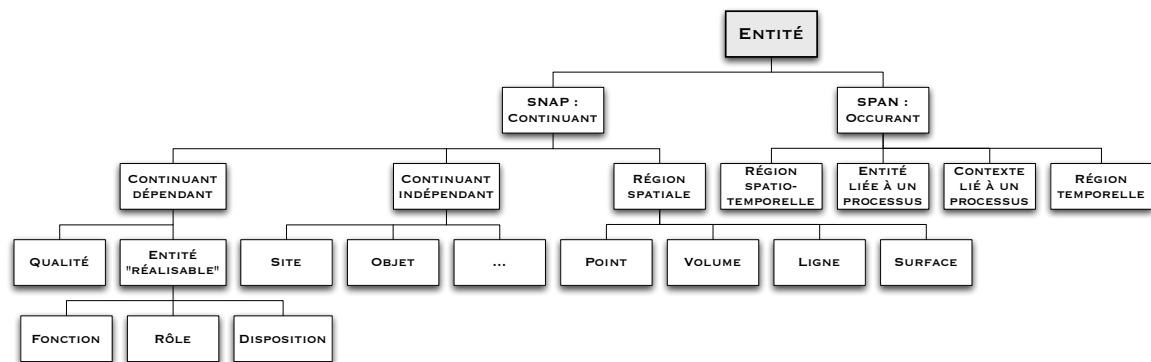
Les ontologies génériques sont composées de concepts génériques issus du sens commun, c'est-à-dire dont le sens est intuitif et partagé par une communauté d'acteurs. Elles caractérisent les objets et phénomènes physiques ou abstraits et ne sont pas dédiées à une tâche ou une application particulière. La figure I.3 illustre les taxinomies de concepts de plusieurs ontologies, SOWA, DOLCE et BFO qui s'attachent toutes à différencier sous diverses appellations les continuants et les occurants [Sowa, 1999, Masolo et al., 2003, Grenon et Smith, 2004]. Les continuants (ou endurants) se réfèrent aux objets physiques ou abstraits perçus indépendamment du temps, alors que les occurants (ou perdurants) sont à la fois dépendants du temps et de l'espace. Sous différentes terminologies, les ontologies génériques reconnaissent l'existence de qualités pouvant être considérées comme une hiérarchie indépendante ou non des continuants et occurants.



(a) Taxinomie des concepts de haut niveau de SOWA



(b) Taxinomie des concepts de haut niveau de DOLCE



(c) Taxinomie des concepts de haut niveau de BFO

Figure I.3 – Taxinomie des concepts d'ontologies génériques

Soixante années plus tôt, Johannes Gabriel Granö dont l'unique credo était de voir la géographie considérée comme une science à part entière propose déjà de caractériser les objets géographiques à partir de la connaissance visuelle qu'ils nous transmettent [Granö, 1929]. L'environnement est alors perçu de manière élémentaire comme un ensemble de *phénomènes* dont la combinaison fournit la connaissance nécessaire à l'identification des objets qui composent l'espace. Ces phénomènes se manifestent par des propriétés spatiales ou temporelles, et peuvent dans les deux cas être de nature qualitative ou quantitative (Fig. I.4). Ainsi, une montagne se définit par exemple comme un continuant, c'est-à-dire un objet perdurant dans le temps, ayant une forme globalement convexe et une surface rocheuse. À la différence, la crue d'une rivière se caractérise comme un phénomène momentané mais fréquent en période de fonte des neiges.

Selon la théorie dite « écologique » élaborée par James Jerome Gibson, la connaissance des objets ne correspond pas à une structuration des propriétés visuelles, mais plutôt aux

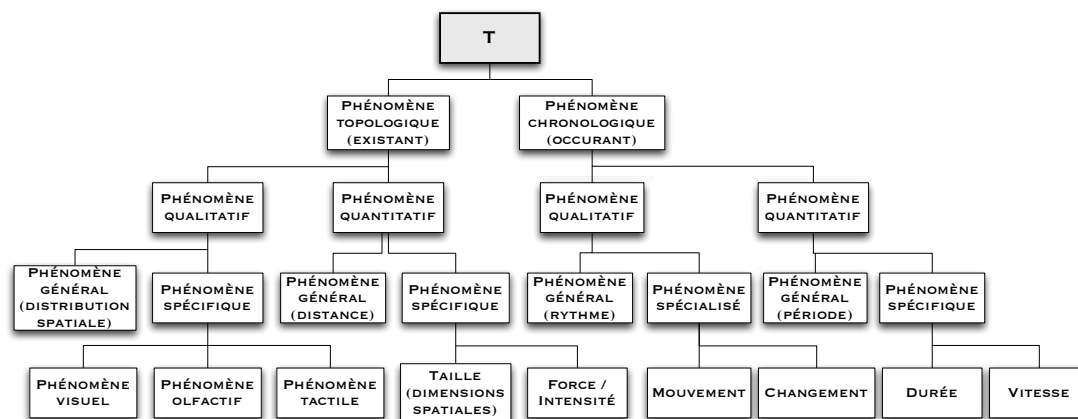


Figure I.4 – Taxinomie des objets géographiques (inspirée de [Granö, 1929])

propriétés fonctionnelles qui s'en dégagent. Ainsi, lorsqu'un objet de l'environnement offre une possibilité d'action à l'observateur, on parle d'affordance [Gibson, 1979]. La détection de l'affordance d'un objet est immédiate et inconsciente, et dépend tout autant des caractéristiques propres à l'objet que de celles de l'observateur. Elle considère implicitement une vision « leibnizienne » du monde, c'est-à-dire un découpage de l'environnement en objets qui deviennent alors des éléments avec lesquels l'observateur peut interagir.

I.2 Perception de la position des objets

L'espace occupé par un objet constitue un caractère essentiel de son identité. Mais comment percevons et définissons-nous la position des objets qui nous entourent ? Quelles sont les relations spatiales qui nous lient à ces objets et comment sommes-nous situés par rapport à eux ?

I.2.1 Un processus dépendant du référentiel

Que la perception soit directe par l'intermédiaire de nos sensations ou indirecte par l'interprétation d'une description ou l'utilisation de cartes géographiques par exemple, la position spatiale d'un objet se définit selon un référentiel physique. Ainsi, si l'on considère un voilier en mer, l'observateur situé au bord de la côte a l'impression que le bateau se déplace puisque l'origine du référentiel est associée à sa propre position, mais lorsque l'origine est associée au bateau, ce dernier est finalement statique. Il est communément admis que l'homme manipule de multiples référentiels. Pour preuve, lorsque nous considérons la scène illustrée en figure I.5, nous pouvons tout aussi bien dire que « le bateau noir est derrière le bateau blanc » ou que « le bateau noir est à droite du bateau blanc » sans pour autant imaginer que le piéton ait changé de place entre-temps¹. De nombreux travaux menés à ce

1. Ce dernier exemple fait notamment appel au principe de fixation selon lequel la désignation de l'avant d'un objet mobile est attribuée à l'aide de la direction significative de son mouvement [Vandeloise, 1986]

sujet dans les domaines de la psychologie et de la linguistique se sont attachés à définir ces ambiguïtés sous la forme de multiples distinctions.

En dépit des différences philosophiques fondamentales quant aux positions de Newton et de Leibniz sur la perception de l'espace, la plupart des penseurs philosophes et psychologues qui leur ont succédé ont opté pour une vision *relative* de l'espace, c'est-à-dire un espace composé d'objets physiques liés entre eux par des relations, à la différence d'un espace *absolu*. L'espace perçu de manière relative est généralement associé à un système de coordonnées égocentriques, et l'espace absolu à un système non-égocentrique. Le référentiel *égocentré* correspond à un système de coordonnées dont l'origine est centrée sur une partie ou l'ensemble du corps de l'observateur et les positions des objets qui l'entourent sont définies relativement à sa propre position. La manipulation de ce référentiel est quotidienne, et il n'est ainsi pas rare de s'entendre dire qu'un objet est à sa droite, devant son pied ou encore derrière soi [Ceyte, 2006]. Le référentiel *allocentré* correspond à un système de coordonnées dont l'origine n'est pas située sur l'observateur mais sur une référence externe, c'est-à-dire un objet de l'environnement ou une origine absolue. Le référentiel *allocentré* est notamment manipulable par des références absolues comme les coordonnées géographiques de latitude et de longitude, ou par l'orientation indiquée par l'aiguille d'une boussole.

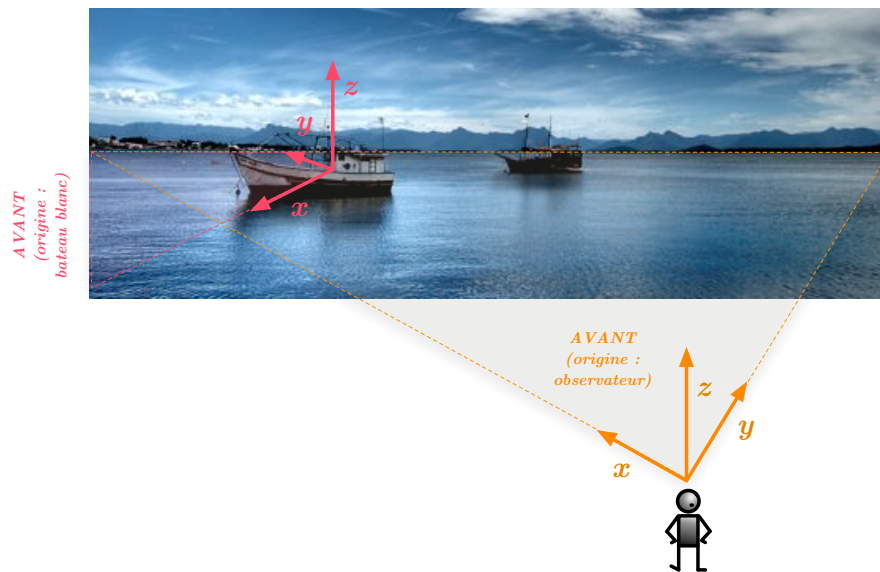


Figure I.5 – Référentiels liés à la configuration de la scène

L'interprétation de phrases telles que « Gonzague est en face de l'épicerie » entraîne une ambiguïté puisque il peut faire face à l'entrée principale du bâtiment, mais il peut aussi être entre l'observateur et de n'importe quel côté de l'épicerie. Les linguistes définissent ainsi le référentiel *intrinsèque* comme un système de coordonnées dont l'orientation est donnée à partir de l'objet considéré. Lorsqu'on affirme par exemple que « la ruelle passe devant l'épicerie de Monsieur Collignon », cela signifie que le chemin longe l'entrée principale (avant) de l'épicerie. Le référentiel *déictique* est défini comme un système de coordonnées dont l'origine n'est pas confondue avec l'observateur, mais dont l'orientation est spécifiée selon cet observateur. Il existe des situations particulières pour lesquelles ce référentiel est opportun, notamment lorsque deux observateurs discutent le placement relatif des objets dans le pay-

sage [Frank, 1998]. Stephen Levinson propose une alternative et distingue trois référentiels dits *intrinsèque*, *absolu* ou *relatif* selon le point de vue de l'observateur [Levinson, 1996]. Le référentiel absolu définit la position des objets grâce à des supports fixes tels que les directions cardinales. Le référentiel relatif manipule un système ternaire puisque la position de l'objet est spécifiée relativement à un autre objet de l'environnement, et selon le point de vue de l'observateur. Si nous remarquons que « la bouche de métro Abbesses est sur la gauche de l'épicerie de Monsieur Collignon », nous faisons finalement référence à trois points de référence, la bouche de métro, l'épicerie et l'observateur. Le tableau I.1 résume les différentes classifications de référentiels.

Tableau I.1 – Classifications des référentiels physiques (inspiré de [Levinson, 1996])

INTRINSÈQUE	ABSOLU	RELATIF
Origine $\neq$ Égocentrée	Origine $\neq$ Égocentrée	Origine = Égocentrée
Centré sur l'objet	Centré sur l'environnement	Centré sur l'observateur, Déictique
Allocentrique		Égocentrique
Indépendant de l'orientation	Relatif à l'orientation	

Il est généralement acquis que les personnes sont capables de transformer leur perception de l'espace selon un autre point de vue, ce que Pim Levelt appelle « la prise de perspective » [Levelt, 1996]. Ainsi, la perspective correspond au système de référence adopté lors d'une description de l'espace. Cette capacité à permuter et mixer plusieurs perspectives est fondamentale pour la compréhension de descriptions spatiales faites par les autres depuis leur propre perspective. Le référentiel utilisé par un observateur n'est alors plus égocentré puisque la position d'un objet est décrite non pas en fonction de sa position réelle, mais par rapport à la position d'un autre objet de l'environnement à partir de laquelle il se projette.

L'homme manipule trois types de perspectives [Taylor et Tversky, 1996]. Dans une perspective de type *route*, l'observateur adopte un point de vue changeant avec l'environnement, en projetant directement son interlocuteur dans l'environnement, comme si c'était lui-même qui se déplaçait dans l'environnement. Cette immersion est accentuée par l'utilisation de positions relatives qui varient en fonction des déplacements de l'observateur telles que « sur votre gauche » ou « au dessus de vous ». Dans une perspective de type *survey*, l'observateur prend un point de vue statique au dessus de l'environnement et positionne les objets de la scène de manière relative entre eux en utilisant un référentiel allocentré. Par exemple « l'épicerie est au Nord de la station de métro et la boulangerie à l'Ouest ». Une perspective est donc composée d'un objet devant être localisé, d'un objet référent, d'un référentiel, d'un point de vue et de termes de référence. Que les descriptions soient verbales ou textuelles, les perspectives sont intuitivement combinées afin de faciliter la construction mentale de l'environnement décrit [Taylor et Tversky, 1996, Tversky et al., 1999]. Une troisième perspective de type *gaze* est utilisée pour la description d'environnements plus petits, et pouvant être vus depuis un seul point de vue, comme une pièce perçue depuis le pas de la porte [Ehrich et Kosler, 1983]. Dans une description de type *gaze*, les positions des objets sont exprimées de manière relative, depuis un point de vue statique, en fonction de l'orientation de l'observateur. Par exemple, « la bibliothèque est à gauche du canapé ». Ces trois perspectives correspondent aux trois référentiels analysés par Stephen Levinson, puisque la perspective de type *gaze* correspond au

référentiel relatif, *route* correspond au référentiel intrinsèque ou relatif, et *survey* correspond au référentiel absolu. Ces perspectives correspondent aussi au mode d'acquisition privilégié des humains, depuis un point de vue extérieur, en naviguant dans l'environnement pour le découvrir ou en observant depuis une certaine hauteur.

I.2.2 Perception des distances

L'information issue de la perception des distances joue un rôle important dans la cognition humaine. Ainsi, dans le cadre d'une activité liée à la navigation, les distances affectent le choix des déplacements et des itinéraires. La recherche liée à la perception des distances et de l'orientation se focalise sur deux domaines généralement étudiés de manière disjointe, la psychophysique de l'espace visuel et le contrôle visuel de l'action.

La psychophysique de l'espace visuel étudie la relation existant entre l'espace réel et visuel, c'est-à-dire les *stimuli* et contraintes internes déterminant l'espace visuel, les relations croisées entre la direction perçue, la distance, la taille ou les mécanismes sensoriels et neuro-naux impliqués dans la perception spatiale. Les travaux initiaux portent sur la *constance des grandeurs*, c'est-à-dire le rapport supposé constant entre la distance perceptuelle et la taille apparente de l'objet [Fraisse, 1953]. Cette hypothèse de constance entre taille et distance s'appuie sur la géométrie euclidienne qui précise que le rapport entre la taille physique et la distance est constant pour un angle visuel donné [Kilpatrick et Ittelson, 1953]. Cette hypothèse est remise en cause par Howard E. Gruber pour qui la taille relative de l'objet lointain est sous-estimée, alors que sa distance relative est surestimée [Gruber, 1954]. Walter C. Gogel remarque que la distorsion de distances égocentriques peut entraîner une modification de la distance relative perçue entre deux autres objets [Gogel, 1963]. L'appréciation des distances relatives semble aussi être dépendante de l'objet de référence puisque la distance appréciée est inférieure à la distance réelle lorsque la référence est un objet physique remarquable. *A contrario*, la distance perçue est supérieure à la distance réelle lorsque l'objet de référence est relativement commun. De la même manière, les distances perçues entre des objets d'un même ensemble socioculturel, géographique ou politique sont inférieures à la réalité, et les distances perçues entre des objets d'ensembles disjoints sont supérieures [Hirtle et Jonides, 1985]. Le contexte spatial, et tout particulièrement la proximité d'objets par rapport à la référence et de la cible, exercent donc une influence médiatrice. Roderic Bera formalise ce mécanisme à l'aide d'un opérateur de proximité (l'adjacence relative) qui intègre l'influence du contexte spatial avec une intensité modulable [Bera, 2004].

Le contrôle visuel de l'action concerne l'étude de la manière dont l'information visuelle est utilisée par l'observateur dans le contrôle de son comportement dans l'espace. Dan Montello étudie la perception des distances au travers d'un déplacement dans un espace environnemental. L'appréhension d'espaces tels que les parcs, les immeubles, les campus universitaires ou les villes nécessite l'acquisition de connaissances sur des périodes de temps significatives. La connaissance de la distance environnementale est alors traditionnellement appelée *distance cognitive*, par opposition à la distance perceptuelle qui concerne la distance des objets perçus depuis un point fixe [Baird, 1970]. Puisque les sources d'informations influençant la perception des distances sont multiples, Dan Montello propose un modèle intégrant le nombre d'objets perçus, le temps de déplacement et l'effort préalable fourni par l'observateur [Montello, 1997]. Ces facteurs influent la perception de l'espace jusqu'à présent parcouru, et se répercutent aussi

sur les choix stratégiques à adopter dans la planification de la suite de l'itinéraire.

I.3 Une structure cognitive, reflet de la réalité perçue

I.3.1 Espaces psychologiques

La perception de l'espace entraîne une représentation mentale structurée par les distances, les sensations, ou le comportement que l'on peut adopter dans l'environnement perçu [Piaget et Inhelder, 1948]. La conception de l'espace perçu est donc dépendante de l'individualité propre de l'homme et les espaces mentaux sont par conséquent distincts de l'espace physique primaire et universel. Certains géographes et psychologues se sont alors attachés à définir une structure mentale située à mi-chemin entre la perception et une représentation cognitive de l'espace. La notion d'*espace psychologique* est alors définie comme un espace cognitif idéalisé qui se construit à partir de stratégies culturelles, pragmatiques et linguistiques et de raisonnements fondés sur le sens commun [Fauconnier, 1984].

Johannes Gabriel Granö montre que l'espace est structuré selon les proximités et les sensations [Granö, 1929]. Il définit l'environnement immédiat (*proximate environment*) comme l'espace perçu par l'ensemble des sens, et l'environnement distant (*landscape environment*) par la vision uniquement. Mais la perception et l'estimation des distances ne peuvent être dissociées de la taille qui influence largement la manière dont l'homme traite l'information spatiale. Dan Montello définit quatre espaces fondés sur la perception et la « taille projective » relative à celle du corps humain : les espaces proéminents perçus depuis une distance importante sont considérés comme étant de petits espaces [Montello, 1993]. L'*espace figuratif* est projectivement plus petit que le corps humain et peut être directement perçu depuis un point fixe. Il est composé d'objets distants ou d'objets relativement petits dont les propriétés spatiales peuvent être appréhendées par des phénomènes haptiques. L'*espace vista* est plus étendu que le corps humain et peut être perçu depuis un seul endroit, sans que cela ne nécessite de déplacement important. Il est de ce point de vue associable à une perspective de type *gaze*. La pièce dans laquelle vous vous situez, le square en bas de la rue ou les petites vallées sont représentatifs des espaces vistas. L'*espace environnemental* est plus grand que le corps et nécessite un déplacement conséquent pour être perçu dans son ensemble. Les campus universitaires ou les agglomérations en sont des exemples typiques. Enfin, l'*espace géographique* nécessite des représentations symboliques telles que des cartes afin de pouvoir le réduire à un espace figuratif.

Barbara Tversky différencie quatre espaces psychologiques définis en fonction du comportement que l'on peut adopter dans l'environnement perçu : l'*espace du corps* intègre les phénomènes haptiques, c'est-à-dire le toucher, la kinesthésie qui correspond à la perception du corps dans l'environnement, mais aussi nos propres sensations et actions ; l'*espace entourant le corps* est conceptualisé comme un environnement tridimensionnel dans lequel les objets sont localisés relativement à l'observateur ; l'*espace de navigation* est trop large pour pouvoir être appréhendé depuis un unique point de vue et se construit à partir de l'exploration, de la lecture de cartes géographiques ou de descriptions ; enfin, l'*espace des graphiques* est constitué de l'ensemble des représentations graphiques de l'espace [Tversky, 1993].

I.3.2 Représentations cognitives de l'espace

L'appréhension de l'espace entraîne une représentation mentale résultant de la perception. Bien que n'ayant pas les mêmes caractéristiques qu'une carte au sens littéral du terme, cette représentation est parfois appelée *carte cognitive*. L'utilisation de ce terme est généralement attribuée à Edward Tolman qui qualifie ainsi l'association d'un grand nombre d'informations relatives à des visions limitées pour produire une vue globale de l'espace [Tolman, 1948]. Les cartes cognitives sont considérées par les psychologues comme le mode de représentation de l'espace privilégié par les humains. Sans le savoir, nous manipulons ainsi quotidiennement ces représentations afin de répondre à des questions relatives à des directions ou des distances, pour expliquer l'itinéraire d'un point A à un point B ou pour retrouver son chemin. Les cartes cognitives sont le résultat de la combinaison de la sensation immédiate et de la mémoire de l'expérience passée et font appel à des connaissances provenant de sources multiples. Chaque carte correspond à une ou plusieurs tâches et permet de guider l'action engagée pour l'accomplissement de ladite tâche. Si la tâche est amenée à évoluer, la représentation cognitive associée s'adapte aux objets impliqués ou aux échelles et résolutions nécessaires. Les cartes cognitives sont constituées de cinq éléments majeurs : les *chemins* constituent les passages empruntés par les personnes pour se déplacer dans la ville ; les *barrières* sont les frontières et ruptures dans la continuité ; les *districts* sont les surfaces caractérisées par des critères communs ; les *nœuds* tels que les places et les intersections constituent des points stratégiques pour l'orientation ; et les *objets*, généralement des entités physiques facilement identifiables dans le paysage urbain [Lynch, 1960]. Il n'existe cependant pas de consensus quant à la structuration des cartes cognitives qui peuvent être hiérarchisées ou pas [Dong, 2005].

De nombreuses dénominations ont été proposées afin de spécifier les limitations de l'image de la carte cognitive : les « images spatiales » [Lynch, 1960], les « schémas spatiaux » [Lee, 1968], les « configurations cognitives » [Golledge, 1978], les « atlas cognitifs » [Kuipers, 1982], les « modèles mentaux » [Fauconnier, 1984] les « modèles mentaux spatiaux » et « collages cognitifs » [Tversky, 1991, Tversky, 1993], les « réseaux d'inter-représentation » [Portugali, 1996] ou les « collages spatiaux » [Claramunt et Mainguenaud, 1996]. Ces métaphores font référence à des concepts hétérogènes puisque le modèle mental spatial et le réseau d'inter-représentation se réfèrent à une construction cognitive liée à la résolution d'un problème spatial, alors que les images spatiales correspondent à des représentations urbaines esquissées manuellement. Mais la métaphore la plus intéressante dans ce contexte est celle de collage cognitif qui met en exergue le caractère incohérent, inconsistant, schématisé, fragmenté, multimodal, hiérarchiquement organisé mais partiellement contradictoire des représentations cognitives de l'espace. Cette (inévitabile) conséquence correspond à une acquisition de la connaissance spatiale au travers de différentes modalités, perspectives et échelles. S. Freundsuh et Max Egenhofer comparent différentes approches de conceptualisation de l'espace en les classifiant selon leur échelle (Fig. I.6²).

Notre mémoire n'est en effet pas organisée à la manière de l'Almanach du Marin Bre-

2. David A. Zubin définit quatre espaces A, B, C et D : l'espace A inclut l'ensemble des objets manipulables par l'homme (par exemple un livre ou une plante) ; l'espace B correspond à l'ensemble des objets qui sont difficilement déplaçables (par exemple une maison, une montagne ou un étang) ; l'espace C identifie un espace pouvant être perçu depuis un point fixe (par exemple une grotte ou une pièce) ; enfin, l'espace D correspond aux espaces qui ne peuvent pas être perçus comme de simples unités élémentaires [Mark, 1989b].

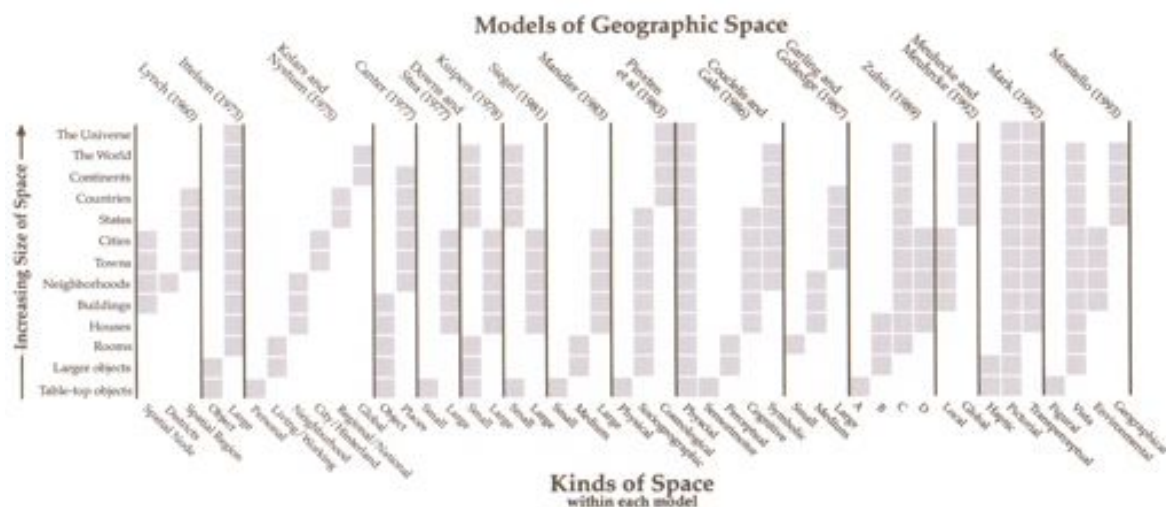


Figure I.6 – Représentations cognitives de l'espace [Freundschuh et Egenhofer, 1997]

ton. Elle n'est pas constituée d'un catalogue de cartes classifiées selon leur taille et échelle pouvant être retrouvées sur demande. Pour preuve, les nombreuses erreurs de mémoire et de jugements systématiques qui suggèrent une distorsion des modèles spatiaux et un positionnement approximatif et schématisé des objets indexés [McNamara, 1986]. Ainsi la ville de Seattle est-elle située à la même latitude, bien plus au Nord ou bien plus au Sud de Rome ? La figure I.7 illustre la déformation cognitive correspondant à l'alignement exagéré des latitudes des villes de Seattle, New York City, Paris et Rome. Ces erreurs d'alignement sont la conséquence de l'association d'objets selon leur proximité [Tversky, 1993] : si les orientations relatives des villes proches telles que Paris par rapport à Rome, et de Seattle par rapport à New York City sont conformes à la réalité, ce n'est par contre pas le cas pour des entités appartenant à des ensembles différents compte tenu de la distance qui les sépare.

Une autre représentation mentale plus abstraite est proposée en marge de la traditionnelle métaphore de la carte cognitive, l'*image schemata*. George Lakoff et Mark Johnson définissent les *image schematas* comme des structures cognitives élémentaires manipulées au cours de la perception et de la cognition spatiale [Lakoff et Johnson, 1980, Johnson, 1987]. De manière pragmatique, elles décomposent les objets en schémas atomiques dotés d'une sémantique et capturent les relations entre eux. Ces briques élémentaires opèrent la liaison entre une structure mentale abstraite d'une part, et les images concrètes issues de la perception d'images ou d'événements d'autre part [Johnson, 1987]. Les schémas sont intuitivement manipulables, notamment lorsque la tâche concernée nécessite un raisonnement qualitatif de la part de l'homme. Ils sont associés à des termes linguistiques illustrant des interactions ou relations telles que le contenant, la balance, le blocage, l'attraction, le contact, la surface, le chemin ou le lien. Les *image schematas* ont été notamment étudiés dans le cadre du raisonnement qualitatif spatial [Rodríguez et Egenhofer, 1997, Egenhofer et Rodríguez, 1999], pour l'élaboration de systèmes d'information [Mark, 1989a, Frank et Raubal, 1998] et appliqués à la description de concepts utilisateurs dans le domaine de l'Interaction Homme Machine [Kuhn et Frank, 1991].

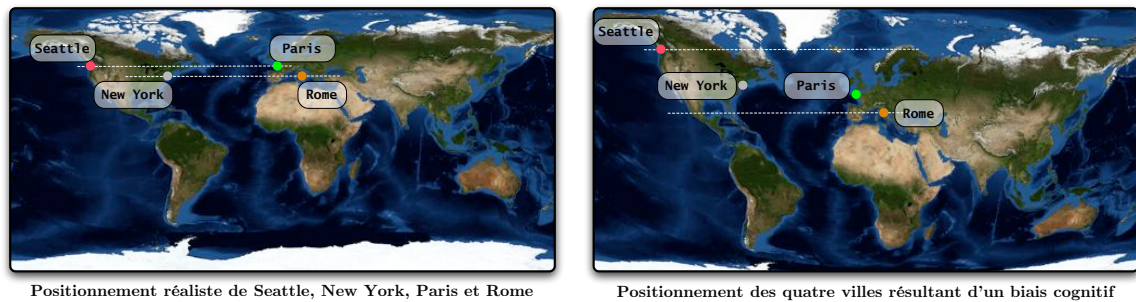


Figure I.7 – Erreurs cognitives dans le positionnement de Seattle, New York City, Paris et Rome

I.4 Expression de la perception par le langage

La perception visuelle spontanée d'un environnement génère une représentation mentale de l'espace qui est représentative, bien que schématique et partiellement biaisée. Que ce soit pour suivre un itinéraire auquel nous sommes habitués ou pour indiquer le lieu d'un rendez-vous, nos activités les plus courantes nous amènent à manipuler ces représentations. Nous étudions donc dans cette section la manière dont une carte cognitive complexe peut être manipulée à l'aide du langage. Cette section considère plus particulièrement les travaux connexes à la psychologie cognitive et la linguistique qui concernent les relations entre l'expression de la perception par le langage et leur représentation cognitive.

I.4.1 Expressivité du langage *vs* complexité de l'espace

Le langage vise à exprimer la pensée en la manifestant extérieurement. C'est du moins l'opinion de Descartes pour qui la pensée précède l'outil d'extériorisation qu'est le langage [Descartes, 1646]. De manière pragmatique, le langage constitue un instrument social puisqu'il est par essence destiné à la communication. Nous l'observons quotidiennement, le langage facilite nos interactions avec les autres individus. S'exprimer verbalement n'est alors pas une fin en soi, mais sert à communiquer. Cette capacité intrinsèque aux hommes se confirme dans un contexte spatial dans lequel nous pouvons être amenés à questionner les autres sur un itinéraire conduisant à une destination souhaitée [Denis et al., 1999], ou à décrire un environnement particulier afin d'informer les autres sur le positionnement d'un objet ou d'un lieu. Nous faisons ainsi régulièrement référence au langage afin de communiquer une information spatiale. La production de telles descriptions est complexe et déclenche un nombre important de processus instinctifs tels que le choix des objets potentiellement intéressants à décrire, la structuration temporelle des éléments de la description, le choix du référentiel et des perspectives manipulées (Sec. I.2.1), ainsi que le choix des termes linguistiques associés aux relations spatiales perçues [Franklin, 1996]. L'interlocuteur est alors face à un défi de taille visant à former un modèle spatial cohérent à partir d'une expression linguistique linéaire. Car si la linéarité du langage semble adaptée à la description d'itinéraires [Denis, 1996], qu'en est-il de la description d'environnements perçus de manière tridimensionnelle, ou de situations dépendantes à la fois du temps et de l'espace ?

Les configurations et problématiques spatiales exprimées par le langage conduisent

l'interlocuteur à construire une représentation mentale adaptée à la situation [Taylor et Tversky, 1992, Tversky, 1993]. Michel Denis s'est notamment intéressé à la corrélation possible entre les propriétés spatiales de cartes cognitives construites à partir de descriptions verbales, ou dérivées de la perception visuelle [Denis et Zimmere, 1992]. Les résultats relatifs à l'amorçage spatial³ et la comparaison de distances montrent que les individus sont capables de convertir les descriptions verbales de configurations spatiales en représentations mentales reflétant les configurations spatiales décrites. Mais ces représentations mentales sont-elles organisées et structurées de la même manière? Ne sont-elles pas dépendantes de la forme de la description? Les interviews réalisées par Kevin Lynch et exprimant les représentations mentales de la ville de Boston [Lynch, 1960] ont probablement inspiré Erika L. Ferguson et Mary Hegarty qui remarquent que les modèles cognitifs issus de descriptions linguistiques sont organisés autour d'objets significatifs (*anchors*) [Ferguson et Hegarty, 1994]. Ces objets significatifs de l'espace correspondent à des objets qualifiés comme tels dans le texte puisqu'ils agissent comme des référents aidant au positionnement relatif d'autres objets. Ces résultats ne sont influencés ni par le choix des perspectives utilisées dans le texte (Fig.I.8), ni par la quantité d'informations disponibles, ni par l'ordonnancement de l'information linguistique. Ce dernier critère contredit cependant les résultats de Paul W. Foos qui soulignent la corrélation certaine entre l'ordonnancement des phrases de la description linguistique et le positionnement des éléments dans les représentations mentales [Foos, 1980].

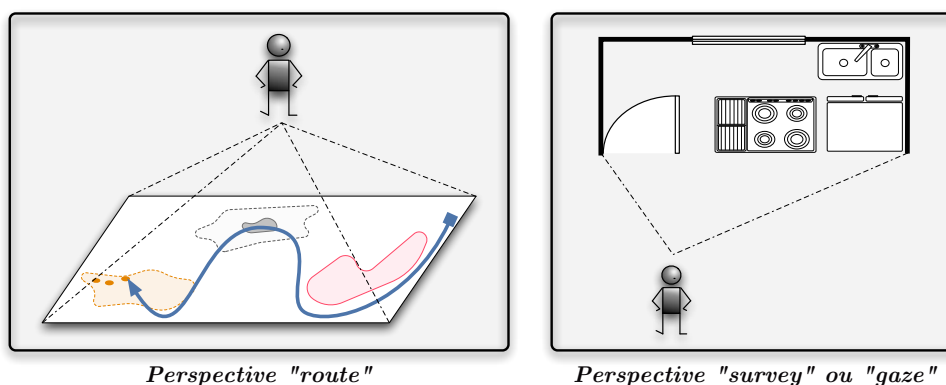


Figure I.8 – Types de perspectives

Le langage permet donc d'acquérir et de transmettre une connaissance spatiale multidimensionnelle de manière simple, souple, pratique et efficace. Il constitue le moyen par excellence, à la disposition des adultes, pour transmettre des connaissances sur l'espace entourant l'enfant. Mais le langage de l'enfant devient lui-même un outil de connaissance intériorisé et utilisé pour réfléchir sur le monde à mesure que l'apprentissage progresse. Le langage n'est alors plus simplement l'expression de la pensée, il en est le point de départ. L'idée d'un apport transverse du langage et de la perception spatiale est appuyée par le psychologue Herbert H. Clark qui remarque que les enfants associent les termes linguistiques spatiaux à des connaissances spatiales préalablement acquises au cours de leur développement [Clark, 1973].

3. L'amorçage spatial correspond à la présentation préalable d'un *stimulus* spatial influençant le traitement d'un autre *stimulus*.

I.4.2 Études linguistiques de descriptions spatiales

Si l'existence d'une corrélation entre la perception spatiale et la sémantique de termes spatiaux manipulés par les humains est admise, on peut se demander de quelle manière le langage influence l'espace et *vice versa*. Leonard Talmy suggère que le langage schématise l'espace en incorporant certains de ses aspects, mais en occulte d'autres [Talmy, 1983]. L'expression de la perception est schématisée par l'utilisation de marqueurs spatiaux dont la sémantique est réductrice, et qui entraînent une réduction de l'information en encodant certaines caractéristiques d'une scène et en négligeant d'autres. Trois groupes permettent de distinguer les marqueurs spatiaux du langage [Vieu, 1991] :

- les noms et adjectifs de localisation permettent de décrire les caractéristiques morphologiques des objets tels que le sommet, le côté, ou la hauteur ;
- les verbes de mouvement décrivent en particulier les déplacements de personnes ou d'objets. Les verbes manipulés mettent en relief le lieu de départ (par exemple, le voilier a *quitté* le port de Brest), le lieu d'arrivée (par exemple, je suis *entré* dans l'épicerie), les deux à la fois (par exemple, nous avons *marché depuis* l'île Saint Louis *jusqu'*au musée d'Orsay), ou un lieu dit « médian » dans lequel a lieu l'ensemble du déplacement (par exemple, nous avons *marché dans* le parc du Thabor) ;
- les prépositions spatiales qui se distinguent selon qu'elles soient statiques (*dans*, *sur*, *devant*, *à gauche de*, etc.) ou dynamiques (*vers*, *de*, *jusqu'à*, etc.). Ces dernières s'utilisent en conjonction avec un verbe de mouvement, alors que les premières s'utilisent avec des verbes communs tels que *être* ou *se trouver*.

Puisque nous nous plaçons dans le contexte d'un observateur percevant son environnement depuis un point fixe, nous nous focalisons dans la suite de ce manuscrit sur l'interprétation de prépositions spatiales statiques. La modélisation d'une description linguistique conduit à distinguer les phrases, elles-mêmes constituées d'expressions locatives du type [*objet₁ relation objet₂*]. L'*objet₁* est l'objet cible que l'on souhaite positionner par rapport à l'*objet₂* qui est l'objet de référence. Il arrive fréquemment que nous fassions référence aux objets, non pas dans leur globalité, mais en les idéalisant à une de leurs parties. Une étendue d'eau est ainsi généralement concrétisée par sa surface puisque le voilier navigue *sur* l'eau. De la même manière, la contrainte géométrique n'est pas identique lorsqu'on dit que « le poisson est *au milieu* de l'aquarium » ou que « le curé est *au milieu* de l'église », puisque le prêtre serait alors susceptible d'être en lévitation au milieu de l'église [Vandeloise, 1986]. Si les prépositions spatiales sont interprétables en terme de contraintes géométriques et topologiques sous-jacentes, elles ne peuvent être éloignées des aspects fonctionnels et contextuels dépendant de leur manipulation. Claude Vandeloise et Annette Herskovits indiquent par exemple que les expressions locatives ne sont pas nécessairement manipulées afin de positionner un objet cible par rapport à un objet de référence, mais plutôt pour contextualiser la discussion [Herskovits, 1986]. Ainsi, si un agent immobilier indique que « l'appartement est *à deux pas* de la station de métro Bastille », il souhaite principalement accentuer sur l'accessibilité de l'appartement plus que sur son positionnement réel dans la ville. De la même manière, le locuteur disant que « cette babiole a été achetée *dans* une boutique des Champs-Élysées » souhaite d'une manière détournée signifier que l'objet est luxueux ou cher.

La conservation d'une cohérence du discours passe aussi par le choix (généralement intuitif) de relations spatiales pertinentes. Ce choix qui ne peut être dissocié de l'usage habituel

ou de la fonction des objets rejoint en quelque sorte le principe des affordances, c'est-à-dire la capacité d'un objet à suggérer sa propre utilisation [Gibson, 1977] et d'*images schematas* qui constituent des patrons cognitifs aidant à l'identification de ces fonctionnalités. Ainsi, nous situons un objet *sur* et non pas *dans* la table car la fonction habituelle de la table est de servir de support à d'autres objets. La pertinence d'une expression est ainsi potentiellement liée à l'usage habituel et surtout à la fonction des objets. Le langage devient alors un outil dont l'interprétation reste parfois délicate. Pour preuve le cas de la préposition spatiale « dans » qui, selon le contexte, la fonctionnalité ou la géométrie des objets impliqués, matérialise un objet contenu dans un autre (le spinnaker *dans* le sac), un objet inséré ou déposé dans un autre (l'ancre *dans* l'eau), un objet sur la frontière d'un autre objet (la cabane *dans* l'arbre), un objet contenu ou situé dans une portion d'espace (le voilier *dans* le port), une personne dans un vêtement (le marin *dans* sa vareuse) ou un individu dans une institution (nos enfants sont *dans* la même école)⁴ [Vieu, 1991].

En conclusion, le langage est un outil social à l'interprétation complexe mais particulièrement adapté pour la manipulation de l'information spatiale. L'interprétation de descriptions spatiales conduit nécessairement l'interlocuteur à appréhender indirectement l'espace en construisant une représentation cognitive. Les travaux s'attachant à démontrer la corrélation entre les descriptions linguistiques et leur représentation mentale concluent sur l'adéquation des domaines. Bien que le langage soit unidimensionnel, il est capable de transmettre parfois de manière schématique mais sans aucune difficulté, la complexité induite par plusieurs dimensions. Cette prouesse n'est cependant pas dissociable des capacités cognitives de l'homme qui déduit et manipule les perspectives en raisonnant qualitativement (Sec. I.2.1) et, si nécessaire, imagine en faisant appel à des connaissances préalablement mémorisées.

I.5 L'image comme illustration de la perception

I.5.1 Contexte d'utilisation des croquis

Nos ancêtres nous l'ont prouvé notamment grâce aux fresques de la grotte de Lascaux, les représentations graphiques constituent un support privilégié pour la visualisation, l'enregistrement et la transmission d'informations. Dans le domaine de l'information spatiale, cette constatation se confirme, que le contexte soit dynamique par l'utilisation systématique de cartes permettant par exemple au randonneur ou au marin d'évaluer sa position géographique [Winter, 2003, Dara-Abrams, 2008, Kowalski, 2009], ou statique par l'interprétation de l'information présentée à l'aide d'une table d'orientation, d'une carte géopolitique illustrant un conflit ou d'un cadastre (Fig. I.9). La fonction d'une représentation spatiale vise en effet à conserver, et si nécessaire communiquer une information spatiale, mais aussi à supporter l'analyse et la résolution de problèmes : sans l'aide d'une carte marine, le marin ne peut pas identifier sa position avec précision, ni par conséquent la route maritime qui le mènera à bon port. La résolution d'un problème spatial complexe contraint aussi parfois à privilégier de manière instantanée une résolution graphique. Grâce à leur nature manifeste, les croquis sont en effet particulièrement bien adaptés pour décrire des situations spatiales parfois complexes.

4. Annette Herskovits distingue d'autres cas qui ne sont alors plus orthogonaux entre eux.

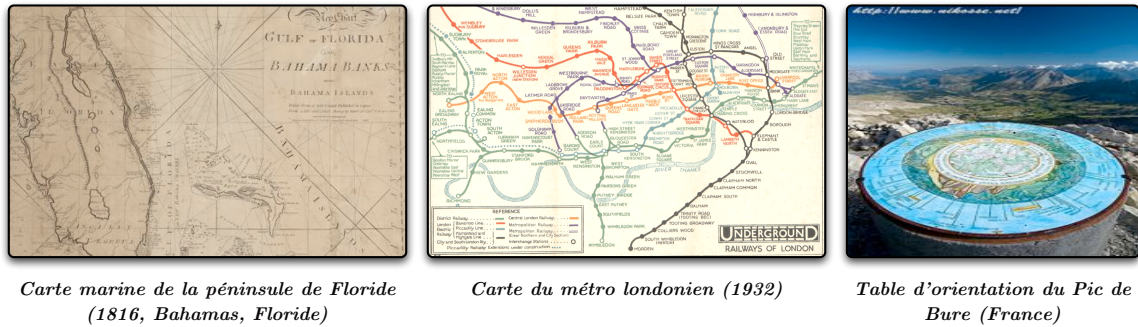


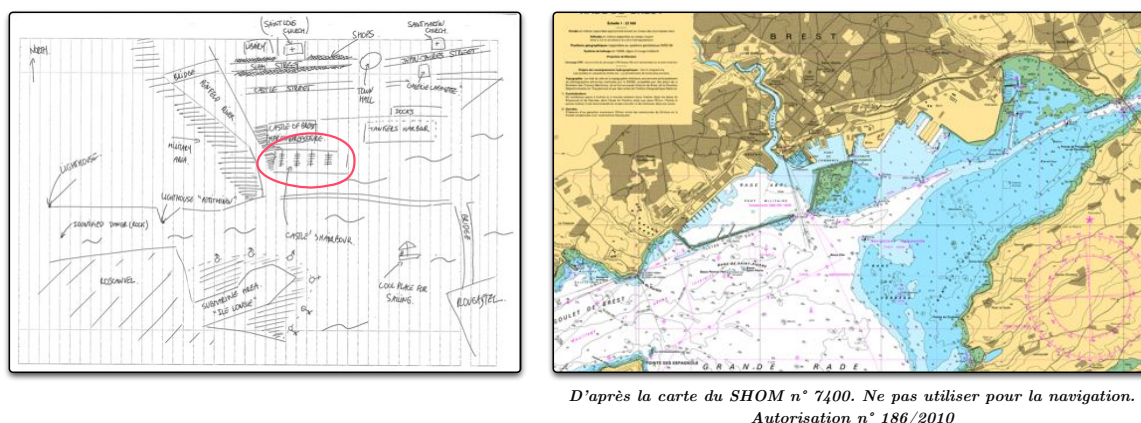
Figure I.9 – Exemples de représentations graphiques de l'environnement

L'interprétation de représentations graphiques spatiales est parfois dépendante du savoir préalablement acquis, notamment lorsqu'il s'agit de comprendre les symboles graphiques associés aux bouées indiquant un danger pour le voilier et son équipage. Cette caractéristique ne qualifie pas les croquis qui, dans un contexte particulier, conservent un caractère « universel » dans leur création et surtout dans leur interprétation. Les compétences graphiques qui diffèrent considérablement d'une personne à une autre ne semblent en effet pas être un frein à la réalisation d'un croquis, ni à leur interprétation par une tierce personne. La raison possible de cette interprétation commune tient potentiellement d'une manipulation de structures, de symboles ou de stratégies de dessin fondée sur le sens commun [Blaser, 2000]. L'espace est alors représenté graphiquement au travers de la conception usuelle qu'en ont les humains. Un croquis ne s'attache par conséquent pas à représenter l'espace de manière réaliste, mais il correspond plutôt à une schématisation issue dans notre perception du monde.

Ces situations spatiales bi-dimensionnelles correspondent finalement à l'expression d'une interprétation cognitive de l'espace [Appleyard, 1970]. Les croquis servent en ce sens la cause de la cognition spatiale en libérant le contenu de la mémoire de travail et en fournissant un support de travail physique qui facilite la compréhension, et favorise le travail collaboratif. Ces représentations reflètent la cognition spatiale et permettent l'organisation et la réorganisation du contenu de la mémoire. Croquis et représentations cognitives ont ainsi en commun certaines caractéristiques. Qu'elles soient mentales ou physiques, les représentations schématisent l'information, c'est-à-dire qu'elles éliminent ou caricaturent certaines données, voire déforment la réalité. Elles reflètent ainsi des conceptions de la réalité, mais en aucun cas la réalité elle-même [Tversky et al., 1999, Schwering et Wang, 2010]. Barbara Tversky remarque que les estimations de distances des croquis sont affectées par des facteurs irréguliers tels que les organisations structurelles ou la quantité d'informations relevées tout au long du déplacement lorsque le croquis illustre un déplacement. Les orientations ne sont pas en reste puisque les axes majeurs de l'espace croqué ont tendance à être assimilés aux orientations Nord, Sud, Est ou Ouest uniquement. Enfin, les courbures sont souvent ignorées ou ajustées. Nous serions en effet surpris de nous trouver face à une carte du métropolitain identique à celle de 1932 qui s'attachait alors à présenter de la manière la plus réaliste possible les tours et détours du réseau souterrain (Fig. I.9). Si ce mécanisme peut sembler ne pas être préjudiciable à la bonne compréhension de l'information spatiale qui est traitée en amont puisque seuls les traits essentiels de l'information sont considérés, la schématisation entraîne malgré tout des biais et erreurs lorsque le croquis n'est pas manipulé dans son contexte initial. Un

croquis ne doit ainsi pas être dissocié de son contexte de conception.

Alors que la conception d'un croquis ne suit aucune règle formelle, qu'en est-il de ses composants et de sa structure générale ? Une particularité des croquis est d'être composée d'*objets* représentés par quelques coups de crayons qui suffisent à leur conférer une identité. Leur représentation est souvent symbolique et n'a que peu de correspondance avec la forme géométrique réelle. Pour preuve les nombreux objets de la figure I.10 illustrant la ville de Brest et sa rade. Andreas D. Blaser remarque que les objets composant un croquis sont généralement indissociables de la situation pour laquelle ils sont esquissés [Blaser, 2000]. Auriez-vous ainsi reconnu un port de plaisance si sa représentation avait été sortie de son contexte ? Si l'ordonnancement relatif des objets et la topologie sont globalement consistants avec la réalité et remarquablement bien retransmis par les croquis [Lynch, 1960], les annotations permettent malgré tout de préciser la sémantique des relations et des objets ou le contexte général. Elles sont en particulier fréquemment utilisées de manière complémentaire pour décrire les caractéristiques des objets qui restent difficiles voire impossibles à représenter graphiquement telles que le nom ou l'adresse.



D'après la carte du SHOM n° 7400. Ne pas utiliser pour la navigation.
Autorisation n° 186/2010

Figure I.10 – Esquisse et carte marine de la ville de Brest et de sa rade, France

Les représentations graphiques forment un langage visuel à part entière [Weger, 1999]. Mais quelles relations entretiennent-elles avec le langage naturel ? Bien que les structures sémantiques du langage naturel soient plus riches, la nature des objets et les relations entre eux sont plus explicitement exprimées et manipulables par les représentations graphiques. Barbara Tversky souligne que si les croquis schématisent, le langage naturel schématise encore plus [Tversky, 2005]. Les croquis sont de plus avantageés par leur correspondance visuelle, spatiale ou parfois métaphorique aux objets qu'ils représentent. Ces représentations figuratives des objets de l'espace les relient de manière plus directe à la réalité et facilitent leurs compréhension, manipulation et interprétation. Cette souplesse d'interprétation des croquis est enfin favorisée par une absence de changement de perspective. Kevin Lynch n'oppose pas ces deux modes d'expression mais remarque que les éléments majeurs n'apparaissent que très rarement dans une seule source. Il constate que si la corrélation entre les croquis et les interviews de leur concepteurs est plutôt faible, la tendance est inversée lorsque la comparaison est réalisée entre des croquis issus de la composition de plusieurs d'entre eux, et des descriptions linguistiques elles aussi composites. Il note enfin que les représentations graphiques opèrent en quelque sorte un filtrage « passe-haut » puisque les objets faiblement cités dans

les descriptions linguistiques ont tendance à ne pas être esquissés (Fig. I.11).

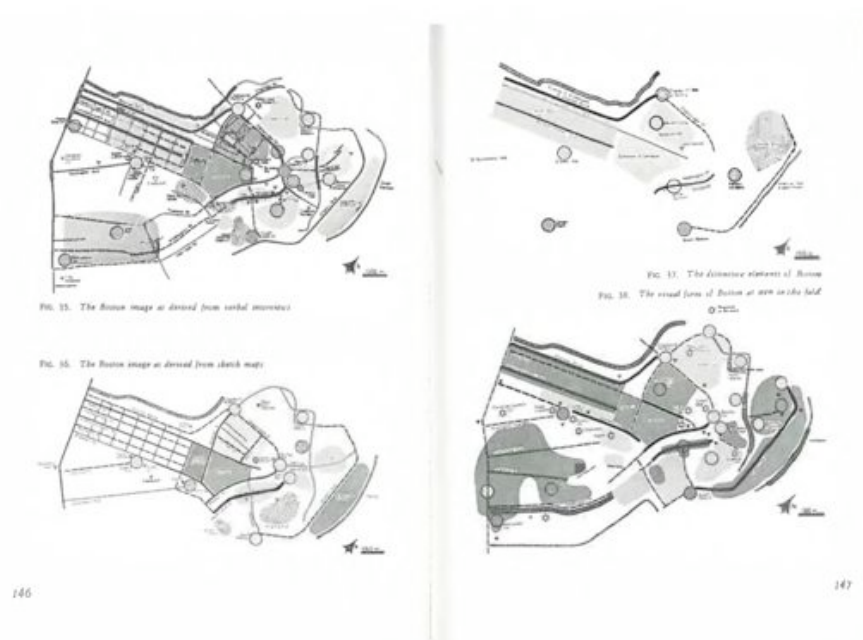


Figure I.11 – Croquis issus de représentations cognitives de Boston [Lynch, 1960]

I.5.2 Du croquis à la carte géographique

L'absence de règles de conception des croquis n'empêche bien heureusement pas une corrélation entre leur interprétation et la volonté de leur concepteur. La relation quasi « intimiste » liant la représentation graphique à son lecteur risquait cependant de l'amener à des interprétations échappant à son concepteur en particulier dans des situations complexes. Afin d'éviter que le lecteur ne laisse vagabonder son imagination au hasard d'une information géographique erronée, les cartographes ont proposé que les représentations spatiales reposent sur des règles de construction [Bertin, 1967]. La représentation spatiale n'est alors plus qualitative comme le croquis mais devient quantitative. La volonté première de la *sémiologie graphique* est de permettre d'aboutir à la création d'une image cartographique aisément accessible au concepteur afin de faciliter la transmission d'informations. La démarche de la sémiologie graphique repose sur une utilisation codifiée des signes, symboles et écritures mais aussi sur des principes esthétiques généraux des cartes afin d'en faciliter leur décodage. Tout l'art du cartographe vise donc à orchestrer les conventions et outils graphiques à sa disposition afin d'assurer une interprétation correcte de la carte. Son choix doit notamment considérer la nature géométrique des objets mis en relation dans la carte, mais aussi leur taille, valeur, couleur, grain, orientation et forme afin de traduire les caractéristiques des objets et phénomènes géographiques en une image géographique lisible.

Roger Brunet propose quant à lui une conceptualisation plus générique de l'espace et de son organisation en définissant les *chorèmes* comme des structures élémentaires d'organisation de l'espace [Brunet, 1980]. Ce sont des signes graphiques exprimant des phénomènes statiques

ou dynamiques, dont la combinaison produit « une organisation spécifique des espaces ». De la même manière que les caricatures s'attachent à exprimer les traits caractéristiques d'un personnage, les chorèmes s'attachent à révéler les phénomènes de manière simple et pédagogique. Ce ne sont pas des représentations graphiques d'objets physiques tels que les montagnes, les rues ou les écoles mais plutôt des représentations de conceptions situationnelles. Comme le précise l'auteur, il ne s'agit pas de « jouer aux cubes ou aux légos ». Par cette métaphore, l'auteur suggère la simplicité mais aussi la rigueur et l'exigence indispensable à la conception d'une carte composée de chorèmes. Un chorème ne saurait être résumé à une simplification graphique d'un objet ou d'une situation. On ne doit en effet pas « se contenter de dessiner une ligne là où le réel apparaît flou et sinueux, et un cercle là où sa forme est vaguement patatoïde : on aurait mutilé, et non représenté ». Les chorèmes permettent de mettre en exergue de réelles *stratégies de contrôle de territoire* comme le modèle *centre périphérie* dans lequel le centre exploite sa périphérie ou le *pavage* qui fournit une division de l'espace en aires d'exercice de la domination. D'autres stratégies moins connotées socialement mettent en avant des directions et différenciations dans l'espace. Citons par exemple les modèles de *tropisme*, de *rupture*, ou d'*agrégation*. Enfin, un troisième type de modèle exprime de manière explicite la *dynamique* d'un territoire, c'est-à-dire son expansion ou sa rétractation, voir la dynamique de populations suite par exemple à des conquêtes ou défaites. Les chorèmes sont manipulés, parfois à tort et à travers, par de nombreuses applications. Les « wayfinding choremes » sont un ensemble limité de primitives caractérisant des connaissances relatives à la navigation. De manière plus pragmatique, ces primitives illustrent le choix directionnel auquel un individu situé à une intersection et devant se rendre à un point précis est confronté [Klippel, 2003]. Mais Alexander Klippel ne fait finalement que représenter des stratégies de navigation et d'orientation au moyen de pictogrammes suggérant le simple choix d'aller en face, sur la gauche ou sur la droite, et qui ne correspondent plus à des abstractions de représentations de configurations géographiques complexes. D'autres considèrent les chorèmes comme des outils visuels d'aide à la décision en proposant des approches appropriées de visualisation des bases de données géographiques. L'espace est alors appréhendé de manière générale au moyen de quelques « méta-chorèmes » qui peuvent se raffiner et préciser la situation visualisée par un simple zoom de l'utilisateur via l'interface graphique [Laurini et al., 2006].

Le langage graphique est un outil approprié pour la résolution de problèmes et la description de situations spatiales. La simplicité et souplesse de conception des croquis facilitent ainsi l'expression de représentations cognitives de l'espace, puisqu'ils ne nécessitent ni le suivi de règles formelles, ni une connaissance préalable particulière à leur réalisation. Les croquis sont finalement une expression graphique fondée sur un *sens commun* à tout un chacun, c'est-à-dire sur des propriétés intuitives partagées par un ensemble d'individus. À la différence de la réalisation d'une carte géographique qui nécessite généralement d'être familier voir expert du domaine de la géographie. Croquis et cartes formalisées à l'aide de règles ont cependant un point commun, puisqu'il est désormais acquis que l'utilisation de chorèmes n'est plus réservée aux seules cartes, mais qu'ils sont aussi intégrés de manière intuitive et certainement moins rigoureuse dans les esquisses spatiales.

I.6 Saillance perceptive et linguistique

La saillance correspond familièrement à la mise en relief d'un concept ou d'un ensemble de concepts qui se distinguent du contexte dans lequel ils sont immergés. Bien que la saillance puisse être notamment visuelle, linguistique, cognitive, sémantique ou temporelle [Landragin, 2005a], nous considérons plus particulièrement dans cette section les phénomènes de saillance résultant de la perception spatiale, et la manière dont la dimension visuelle est finalement transmise par le langage naturel.

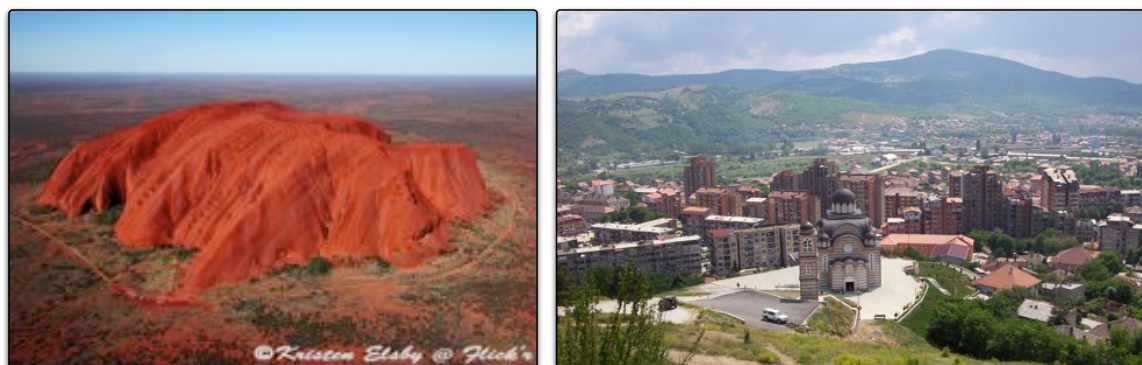
I.6.1 Saillance et perception visuelle

Quel que soit le contexte et la modalité employée, l'expression d'une représentation cognitive de l'espace ne reflète qu'une partie de la réalité : d'une part, car notre activité cognitive ne nous permet pas de traiter de manière systématique et immédiate la masse d'informations sensorielles perçues ; d'autre part, car une description exhaustive de l'environnement ne serait probablement pas pertinente pour la tâche ayant entraîné l'expression de cette configuration spatiale. Il est alors légitime de s'interroger sur la pertinence des informations à transmettre en fonction du contexte, et en particulier sur la nature des objets devant être identifiés. Les *landmarks*⁵ constituent en quelque sorte les poutres maîtresses de l'information spatiale puisqu'ils sont manipulés aussi bien dans des tâches de production et de communication de l'information spatiale que dans des activités nécessitant la compréhension et l'interprétation de l'environnement physique [Golledge, 1991, Montello, 1997].

Si le terme de *landmark* faisait initialement référence aux objets géographiques pertinents pour l'identification d'un itinéraire préalablement parcouru, sa sémantique a évolué et considère désormais les objets géographiques pouvant être perçus comme des référents spatiaux [Couclelis et al., 1987]. Molly Sorrows et Stephen Hirtle ont proposé une des plus influentes définitions des caractéristiques des *landmarks* en comparant les différences entre des espaces virtuels et réels [Sorrows et Hirtle, 1999]. Ils considèrent que trois caractéristiques définissent un *landmark* : la *saillance visuelle* qui décrit l'importance spatiale de l'objet, la *saillance sémantique* qui précise l'importance culturelle et sémantique de l'objet, et la *signification structurelle* qui souligne le rôle structurel de l'objet dans la configuration globale de l'environnement. La figure I.12 illustre cette caractérisation par la formation rocheuse Uluru (Australie) qui se distingue du reste de l'environnement par sa proéminence (saillance visuelle et structurelle) et par l'église orthodoxe de Mitrovica (Kosovo), monument symbolique illustrant les tensions entre les communautés serbes et albanaises (saillance sémantique et structurelle). Si les *landmarks* sont employés pour caractériser un environnement, ils permettent aussi d'identifier un point de passage obligatoire ou d'exprimer des changements de direction au cours d'un déplacement [Denis et al., 1999, Duckham et al., 2010].

Les *landmarks* sont par définition difficilement dissociables du concept de *saillance*. Définir un *landmark* revient donc finalement à lui associer des critères de saillance. Une étude récente proposée par David Caduff met en évidence trois facteurs fondamentaux qui interviennent dans l'estimation de la saillance d'un objet [Caduff et Timpf, 2008]. Celle-ci n'est

5. Nous favorisons l'utilisation de cet anglicisme par rapport à une traduction approximative telle que « repère géographique » qui ne traduirait finalement pas la sémantique initiale du terme anglais.

Figure I.12 – Exemples de *landmarks*

alors pas uniquement considérée comme une propriété intrinsèque de l'objet, mais comme une propriété de la relation ternaire qui lie l'objet lui-même, l'environnement dans lequel il est immergé et la perception qu'en a l'observateur. Autrement dit, l'hypothèse selon laquelle la saillance est dépendante de la relation entre l'objet et son environnement suppose que cet objet contraste sensiblement avec son environnement, soit par la valeur de ses attributs, par exemple sa couleur, sa texture, sa taille ou sa forme, soit par sa position qui le distingue du reste de l'environnement [Montello, 2005]. La propriété relative au contraste de l'objet saillant confirme l'expérimentation réalisée par Philip G. Edmonds qui montre qu'un immeuble *a priori* saillant par sa hauteur conséquente perd son importance lorsqu'il est entouré d'immeubles plus hauts [Edmonds, 1993]. Il considère aussi que certaines caractéristiques sont saillantes pour certains objets mais pas pour d'autres, de la même manière que certaines caractéristiques sont saillantes pour un but précis du dialogue et non dans un autre.

Mais la saillance n'est pas seulement perceptive, elle s'évalue également en fonction de critères cognitifs qui renvoient à l'expérience et aux événements vécus par l'observateur, ou aux connaissances issues du sens commun [Kaplan, 1979]. Un objet considéré comme familier par un observateur a intuitivement tendance à être considéré comme un objet de référence [Landragin, 2005b]. La familiarité peut en particulier être déterminée par le type, le nombre et la fréquence d'activités associés à cet objet. Dans ce contexte, la pertinence réelle de l'objet est parfois mise entre parenthèses puisque si l'existence et la sémantique de l'objet peut sembler évidente pour l'observateur, la réciproque n'est pas forcément vraie pour l'interlocuteur. Le critère de familiarité est encore plus fort lorsque l'observateur attache une considération idiosyncratique pour l'objet puisque l'évaluation de la saillance est alors dépendante d'une signification personnelle, culturelle ou historique, et est le fruit d'expériences associées. La saillance se caractérise donc par une attention particulière portée par l'observateur sur un objet, un lieu ou une situation particulière. Mais l'évaluation de la saillance est également dépendante de l'attention de l'observateur au moment de la perception. L'attention est une fonction cérébrale liée à la détection, la régulation, la sélection ou la discrimination de *stimuli* sensoriels et se caractérise par la concentration perceptive volontaire ou non de l'observateur sur des objets ou situations spatiales. Dans un tout autre domaine, Marie Claude Vettraino-Soulard étudie l'impact de la perception de l'image publicitaire sur le consommateur et propose une théorie de l'*iconologie* qui complète la théorie de la sémiologie graphique. Elle souligne l'importance de l'ordre dans lequel est perçue une image ou un élément de cette

image et formalise l'attention qu'on leur porte [Vettraino-Soulard, 1993]. Attention et familiarité sont alors adjacents puisque dans un contexte familier, notre attention est foncièrement moindre. Pour preuve, ne vous est-il jamais arrivé de ne pas percevoir de manière immédiate un changement dans un environnement qui vous était familier ?

La perception visuelle d'un environnement suscite donc une sélection de l'information saillante, c'est-à-dire de l'information qui attire l'attention de l'observateur. Ces facteurs de saillance agissent de manière coordonnée à plusieurs niveaux. Contrairement à ce qui peut être suggéré dans la littérature, il ne semble pas que saillance visuelle rime avec pertinence de l'information. En effet, la perception visuelle ne résulte pas forcément d'une situation particulière ou de la volonté de résolution d'un problème spatial, et la pertinence n'est alors pas nécessairement un critère déterminant dans l'élaboration de la représentation mentale.

I.6.2 Saillance et pertinence dans le discours linguistique

« J'ai décroché un poste chez Landwell & Associés. Alléluia ! », « Charlie ? Il a finalement été recruté par le cabinet Willway » sont autant d'exemples pour lesquels l'accent est mis sur un terme ou un groupe de termes, afin d'exprimer une émotion ou d'accentuer une simple affirmation. De ce fait, la saillance n'est pas uniquement perceptive, elle est aussi linguistique et fait référence à un grand nombre d'aspects notamment lexicaux, syntaxiques, sémantiques et cognitifs. Si la saillance va de pair avec la perception spatiale, elle devient intimement liée au processus de communication langagière. Quelle que soit la modalité employée, l'étude de la communication entre les individus distingue la représentation cognitive du locuteur, celle de l'interlocuteur, et les hypothèses faites par le locuteur quant à la conception du monde de l'interlocuteur. Afin de faciliter l'échange et la coopération, la contribution du locuteur doit être suffisamment informative et pertinente [Grice, 1975]. Le souhait de pertinence de l'information contraint donc le discours du locuteur qui doit sélectionner l'information judicieuse pour construire un énoncé répondant aux objectifs de communication. Locuteur, interlocuteur, discours et contexte sont ainsi liés par la contrainte de pertinence de l'information.

Au fur et à mesure de l'échange entre les deux individus, l'image mentale conçue par l'interlocuteur subit des changements et évolutions, en particulier lors de la création de nouveaux objets ou relations issue de l'interprétation directe du discours. Cette conception chaotique résultant de la linéarité du discours entraîne une variation du degré de saillance associé à chacun des objets du discours. Eva Hajičová montre que les variations de saillance sont en grande partie dépendantes de l'articulation thème / rhème de l'énoncé [Hajicová, 1993] : en grammaire, le rhème est un élément nouveau introduit dans l'énoncé, généralement par un déterminant indéfini. Un thème est, par opposition, un élément connu de l'énoncé, généralement introduit par un déterminant défini. Considérons l'exemple suivant : « Sur ma droite, il y a *une échoppe*. *L'échoppe* propose des épices exotiques et autres gourmandises. » Si dans la première proposition *une échoppe* est le rhème, *l'échoppe* dans la seconde proposition devient le thème annoncé par un déterminant défini. Cet exemple illustre le fait que la saillance favorise le processus de résolution des références et co-références, c'est-à-dire la correspondance entre un pronom et son antécédent qui désignent tous les deux le même concept sémantique.

Mais l'association simple de la saillance linguistique à des intonations ou des considéra-

tions structurelles est réducteur. Frédéric Landragin se fonde sur des facteurs résultant de la perception visuelle pour proposer une définition des aspects fondamentaux de la saillance linguistique [Landragin, 2003, Landragin, 2004]. La saillance peut être traduite par une *structure particulière des éléments du discours*, en particulier un placement stratégique, un isolement par exemple traduit par des signes de ponctuation induisant une mise en exergue de l'élément, une rupture dans la continuité, des répétitions ou l'utilisation de figures de styles. D'autres facteurs tels que la récence ou la fréquence d'un terme relèvent là-aussi de la structure de l'énoncé. Si le locuteur considère qu'un objet physique de l'environnement est particulièrement saillant et que le contexte le rend pertinent, il aura tendance à en faire rapidement référence dans son discours. Au même titre que la récence, le positionnement en début ou fin de phrase ou de discours prédispose à la saillance. De par sa fonction grammaticale qui le rend indispensable à la bonne compréhension d'une phrase, le sujet constitue aussi un élément de saillance du discours. Enfin, la saillance est également dépendante du contexte et de la sémantique des termes employés.

I.7 Conclusion

La perception au sens général constitue l'unique accès dont l'homme dispose pour interagir avec le monde. Le contact qu'elle nous assure avec l'environnement qui nous entoure est donc source de vérité. Sans pour autant être remise en cause, la perception de l'espace n'en reste pas pas moins subjective, contextuelle et limitée. La perception est en effet liée à de nombreux facteurs dépendants de la situation dans laquelle elle est initiée, de l'observateur, mais aussi de l'environnement lui-même qui constitue le déclencheur d'émotions plus ou moins fortes pour l'observateur.

La perception d'un environnement engendre donc une représentation cognitive schématique et déformée de l'espace, structurée par plusieurs concepts théoriques et formels. Elle n'intègre pas l'ensemble des éléments et relations de l'espace perçu, mais uniquement les éléments saillants de l'espace qui s'imposent donc par leurs propriétés perceptives.

Cette représentation cognitive peut être exprimée et manipulée à l'aide de différentes modalités, notamment le langage ou les représentations graphiques telles que les croquis. Bien que le langage soit un outil à l'interprétation particulièrement complexe, il est tout aussi approprié que les croquis pour la résolution de problèmes et la description de situations spatiales. Quel que soit le mode de représentation choisi par le locuteur, tous deux s'attachent à mettre en avant des éléments saillants et pertinents de l'environnement plutôt que de chercher à décrire l'intégralité de l'espace.

Modélisation conceptuelle d'une scène environnementale

Sommaire

II.1	Expression du positionnement d'un objet ou d'un individu . . .	37
II.2	Étude expérimentale pour l'obtention de descriptions	39
II.2.1	La photographie comme substitut aux études <i>in situ</i>	39
II.2.2	Protocole expérimental	41
II.2.3	Résultats	42
II.3	Modèle conceptuel d'une scène environnementale	44
II.3.1	Représentation linguistique de la description	45
II.3.2	Représentation sémantique d'une description spatiale	49
II.3.3	Représentation spatiale fondée sur les proximités	50
II.3.4	Représentation spatiale fondée sur les orientations	53
II.3.5	Carte conceptuelle d'une scène environnementale	56
II.4	Modèle de saillance pour la qualification de descriptions et de scènes environnementales	59
II.4.1	Saillance linguistique	61
II.4.2	Saillance spatiale	63
II.4.3	Résultats expérimentaux	66
II.5	Validation du modèle	71
II.5.1	Développement du prototype	71
II.5.2	Protocole de validation	73
II.6	Conclusion	76

LA perception d'un environnement engendre une représentation cognitive dépendante des *stimuli* perçus, c'est-à-dire des *landmarks* identifiés et de leurs positions relatives. Ce processus est sélectif dans le sens où l'intégralité des sensations visuelles et structurales n'est pas encodée en mémoire. Seuls les éléments caractérisant l'environnement sont évalués et intégrés à une représentation cognitive qui constitue en quelque sorte une vision schématique de la réalité. Cette carte cognitive résulte d'une interprétation et d'une évaluation des différents *stimuli* et n'est par conséquent pas un simple duplicata de l'environnement. La perception est donc subjective car fortement dépendante des caractéristiques d'un indi-

vidu, mais aussi de l'environnement perçu, de la tâche ayant entraîné cette perception et du contexte dans lequel s'inscrit cette tâche. L'environnement est effectivement perçu différemment par un marin longeant le Cap Horn dans des conditions météorologiques extrêmes, par un photographe cherchant la configuration spatiale et le jeu de lumières idéaux pour réaliser un cliché inoubliable ou par un randonneur incertain quant à sa position géographique.

La perception engendre une intériorisation qualitative de l'espace qui favorise l'étude de ses propriétés sémantiques et structurelles. Son expression peut être supportée par le langage qui constitue un instrument facilitant nos interactions avec les autres individus. Le langage est en particulier approprié pour caractériser efficacement la configuration spatiale d'un environnement urbain [Lynch, 1960]. Mais en est-il de même lorsqu'il s'agit d'exprimer la configuration spatiale d'un environnement naturel ? Ces derniers ne sont en effet pas organisés comme des modèles quasi-géométriques et leurs éléments ne sont pas référencés à l'aide de dénominations particulières.

Ce chapitre s'attache à caractériser la perception égocentrique d'un environnement naturel. La représentation cognitive issue de la perception est pour cela exprimée au travers du langage naturel. L'objectif consiste à proposer un modèle conceptuel de représentation de l'espace qui soit en adéquation avec les principes liés à la perception et l'expression d'un tel environnement. Le processus mis en œuvre pour répondre à cet objectif est illustré par la figure II.1 et structure les différentes sections de ce chapitre :

1. la section II.1 étudie les différentes manières d'exprimer la localisation d'un lieu, soit à partir d'une perception directe et immédiate, soit à partir d'un assemblage d'informations préalablement mémorisées ;
2. la section II.2 introduit les principes et résultats d'une expérimentation ayant été conduite auprès d'individus aux profils divers afin de collecter un large panel de descriptions d'environnements naturels. L'objectif consiste notamment à déterminer, en fonction du contexte, les concepts linguistiques et physiques pertinents employés par un observateur ;
3. à partir de l'interprétation syntaxique et sémantique d'une description verbale, une approche formelle permet de favoriser le positionnement relatif des objets perçus par l'observateur (Sec. II.3). La formalisation est supportée par plusieurs représentations qui favorisent l'interprétation de la description verbale afin de positionner les objets perçus par l'observateur ;
4. cette formalisation est exploitée afin de répondre à la problématique de la thèse illustrée au travers d'un scénario applicatif, à savoir la localisation d'un observateur à partir de la description linguistique de son environnement. Il apparaît en effet que certains objets sont plus saillants et plus pertinents que d'autres pour initier les opérations de recherche de l'individu. Des scores de saillance linguistique et spatiale sont ainsi associés à chacune des entités composant la scène (Sec. II.4) ;
5. nous détaillons enfin le protocole et les résultats relatifs à la validation du modèle et du prototype réalisé (Sec. II.5).

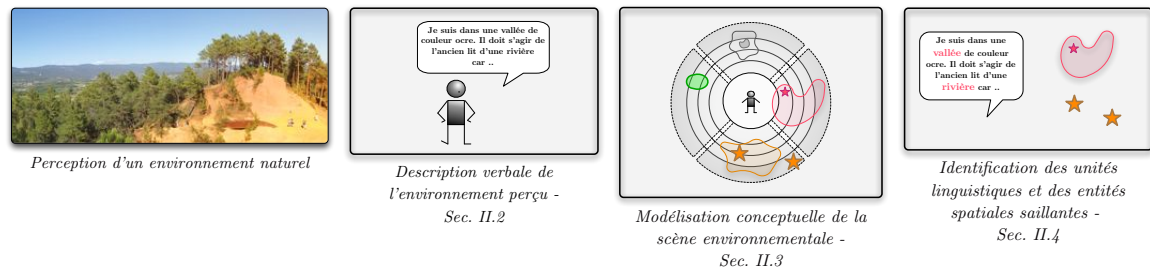


Figure II.1 – Organisation du chapitre II

II.1 Expression du positionnement d'un objet ou d'un individu

- Interlocuteur : « Où es-tu ? »
- Locuteur : « Ici », « Chez Maëva, au 85 rue des Martyrs dans le 18^e », « À deux pas, juste derrière toi », « Dirige-toi jusqu'à l'éolienne puis longe la rivière en direction de l'Est. Une fois le pont franchi, tourne sur ta droite et continue à marcher sur deux kilomètres. », « Sur le flanc Ouest, à quelques centaines de mètres en contrebas d'un refuge et juste à proximité d'une piste de ski ».

Cette section pose la question de la manière dont un locuteur doit exprimer la position d'un individu (ou d'un objet) afin d'en faciliter la compréhension. Les exemples précédents illustrent clairement la complexité et la richesse considérable du langage spatial, et tendent à prouver qu'il n'existe pas de réponse simple à la question. Le positionnement d'un individu ou d'un objet peut être exprimé de multiples manières qui dépendent du contexte, mais aussi et surtout du socle de connaissances supposé de l'interlocuteur. On n'apporte en effet pas la même réponse à la question « où es-tu ? » à un groupe d'amis que l'on cherche à rejoindre autour d'un café, à son épouse qui sort du bureau ou à un collègue que l'on avait perdu de vue depuis plusieurs années. La tâche du locuteur consiste alors à construire une réponse pertinente et adaptée à son interlocuteur. Ce processus intuitif vise à produire une réponse qui demande un effort cognitif minimal à l'interlocuteur afin de comprendre et si nécessaire interpréter le message reçu [Grice, 1975]. Lorsque simplicité et pertinence ne prévalent pas lors de l'élaboration de la description, la communication entre les deux individus devient alors faillible.

Fournir une adresse (par exemple le « 85 rue des Martyrs dans le 18^e ») constitue de nos jours un moyen couramment utilisé pour exprimer le positionnement précis d'un lieu, d'un objet ou d'un individu dont la dimension est alors réduite à un simple point. La réponse est pertinente lorsque le locuteur a des raisons de croire que l'interlocuteur est susceptible de connaître cette adresse (dont la position est facilitée par l'indication « Chez Maëva »). Une alternative est offerte à l'interlocuteur qui dispose d'un support quelconque pour identifier la position, par exemple un croquis, une carte ou un système de géo-positionnement. L'objectif d'un tel système est de pouvoir identifier un lieu (et parfois de fournir un itinéraire permettant de l'atteindre) à partir d'un simple mot-clef caractérisant le lieu (par exemple « Maison »), l'adresse (« 85 rue des Martyrs ») ou le nom d'un monument (« Sacré Cœur »). Le système

de géo-positionnement (communément appelé GPS) fournit alors un itinéraire et guide son utilisateur vers la destination souhaitée.

Mais le locuteur ne dispose pas toujours de l'adresse correspondant à la destination. Une alternative consiste alors à spécifier un itinéraire, c'est-à-dire le chemin à suivre afin d'atteindre le lieu souhaité [Taylor et Tversky, 1992]. Par exemple, « Dirige-toi jusqu'à l'éolienne puis longe la rivière en direction de l'Est. Une fois le pont franchi, tourne sur ta droite et continue à marcher sur deux kilomètres ». Que ce soit pour le locuteur ou son interlocuteur, cette réponse est néanmoins bien plus complexe que la précédente. Plutôt que de spécifier une unique position, la description fournit en effet une procédure pour atteindre la destination. L'expression de cet itinéraire intègre les *landmarks* que le locuteur est susceptible de croiser lors de son déplacement, et traduit leur position relativement à la sienne qui évolue tout au long de l'itinéraire. La description d'un itinéraire ne se limite pas à la spécification des *landmarks* que le locuteur est susceptible de rencontrer, puisque les portions d'itinéraires liant ces objets sont corrélées aux chemins empruntés par le locuteur [Brosset et al., 2007]. La description d'un itinéraire peut alors très vite se confondre à un roman et la surcharge cognitive engendrée par une longue description risque de perdre l'interlocuteur plutôt que de l'aider. C'est la raison pour laquelle Alexander Klippel et Martin Raubal caractérisent les directions considérées lors de la description d'un itinéraire afin d'en réduire leur nombre [Klippel, 2003]. La spécification des directions fournies est alors uniquement déterminée par la structure de l'itinéraire, et ne considère pas la connaissance environnementale du locuteur. De manière similaire, Robert Dale propose un système fournissant des descriptions d'itinéraires urbains à des granularités différentes [Dale et Reiter, 1995]. Les directions résultantes sont structurées selon un arbre hiérarchique et le processus est mis en œuvre sur des supports mobiles. La perspective favorisée pour spécifier un itinéraire est de type *route*, c'est-à-dire que l'origine du référentiel manipulé est variable et dépendante de la position du locuteur. Les sujets des phrases se réfèrent à l'interlocuteur qui doit se représenter mentalement le chemin à parcourir pour retrouver le locuteur. Par exemple, « [Tu] tournes à droite dès que tu passes la rivière »).

Enfin, la situation amène parfois l'interlocuteur à spécifier sa position en décrivant l'environnement dans lequel il est immergé, par exemple « [Je suis] sur le flanc Ouest, à quelques centaines de mètres en contrebas d'un refuge et juste à proximité d'une piste de ski ». Cette réponse tout aussi complexe que la précédente ne décrit plus l'itinéraire pour atteindre la position souhaitée, mais la scène dans laquelle le locuteur est immergé, ainsi que le positionnement des objets qui composent et structurent cet environnement. Une telle description identifie les positions des *landmarks* les uns relativement aux autres et la perspective manipulée est alors qualifiée de type *survey*. Dans une perspective de type *survey*, l'observateur prend un point de vue statique au dessus d'un environnement généralement assez large et positionne les objets de la scène en utilisant un référentiel allocentré, par exemple à l'aide de relations cardinales [Taylor et Tversky, 1992]. Mais les positions des objets ne sont pas uniquement évaluées à l'aide d'un référentiel allocentré puisque l'observateur a également tendance à référencer les objets en fonction de sa propre position. Cette perspective de type *gaze* est définie par Veronika Ehrich et Charlotte Koster qui étudient la manière dont les individus décrivent la configuration spatiale de maisons de poupées [Ehrich et Kosler, 1983]. Les participants peuvent percevoir l'ensemble de la scène depuis un point de vue extérieur sans réaliser d'hypothétiques déplacements. Les positions des accessoires de la maison de poupées sont spécifiées relativement les uns aux autres, avec des termes tels que « à gauche

de [l'escalier] » ou « en face de [la coiffeuse] ».

Ces différents types de perspectives considèrent cependant le locuteur comme étant *extérieur* à la scène. À notre connaissance, aucune perspective correspond au cas pour lequel le locuteur est immergé dans la scène. Nous définissons donc la perspective *immerse* comme le point de vue correspondant à la situation selon laquelle le locuteur décrit un environnement depuis une position fixe comme s'il était immergé dans ce dernier (Fig. II.2). Les objets physiques qui structurent la scène sont définis par des termes tels que « en face [de moi] », « sur ma gauche » ou « à deux pas [de moi] ». Tout comme pour la perspective de type *gaze*, une perspective *immerse* a une origine fixe. Le sujet des phrases se réfère aux objets de la scène et les verbes employés à des états. Mais contrairement à la perspective de type *gaze* qui s'attache à manipuler un référentiel relatif aux autres objets, la perspective *immerse* manipule au contraire un référentiel de type *égocentré*.

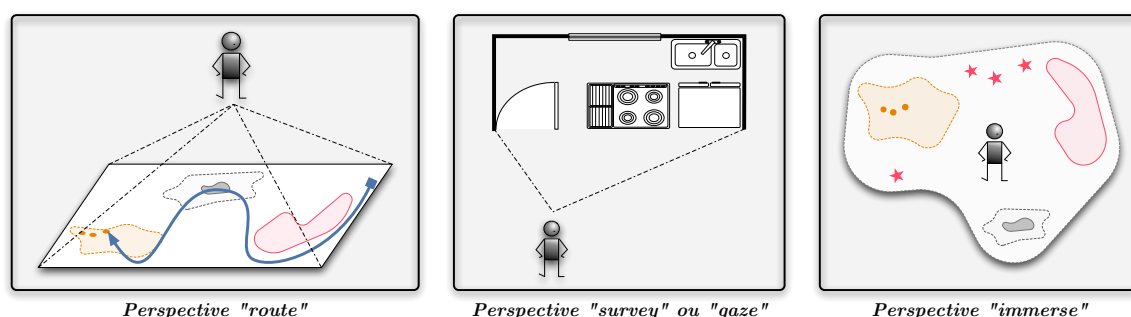


Figure II.2 – Types de perspectives

Hooly A. Taylor et Barbara Tvesky soulignent que dans une description spatiale spontanée, l'individu ne considère pas la dimension du *landmark* [Taylor et Tversky, 1996]. Les *landmarks* sont réduits à des points caractéristiques qui sont exprimés par des noms ou des adresses. Ces points ne correspondent pas obligatoirement à des objets physiques du paysage mais peuvent également être associés à des intersections, en particulier dans le cas de descriptions d'itinéraires. Les directions sont exprimées de manière qualitative et quasiment jamais à l'aide d'une mesure quantitative [Franklin et al., 1995]. Les distances sont quant à elles exprimées dans des unités standards tels que les kilomètres, mais aussi à l'aide d'unités approximatives issues de l'expérience. Par exemple, « Le 7-Eleven le plus proche est à deux blocs d'ici », « Vous êtes à deux minutes de la station de métropolitain la plus proche » ou « La bouée à passer est à une coudée à tribord ».

II.2 Étude expérimentale pour l'obtention de descriptions

II.2.1 La photographie comme substitut aux études *in situ*

La perception est un processus qui sollicite nos sensations afin de recueillir une information liée à l'espace environnant. L'interprétation des signaux acquis au travers de ce processus complexe est fortement dépendante de caractéristiques propres aux individus, mais aussi de l'environnement lui-même et de la situation ayant entraîné cette perception. Ce

travail s'attache à étudier les mécanismes de perception égocentrique et de représentation cognitive d'un environnement naturel. La représentation cognitive qui en résulte est exprimée au moyen d'une description verbale. Aussi, une étude empirique est mise en œuvre afin de collecter un nombre significatif de descriptions verbales d'environnements naturels. L'objectif consiste à étudier la façon dont un environnement naturel perçu de manière spontanée est décrit, quelle est la nature des objets dotés d'un pouvoir structurant et quelles sont les relations sémantiques et spatiales manipulées afin de lier les objets identifiés.

Si la réalisation d'une expérience *in situ* dédiée à la perception de paysages peut sembler intuitive et évidente, sa mise en place n'en demeure pas moins complexe. L'appréhension directe d'un paysage présente l'avantage de stimuler l'intégralité des sensations sans contraindre le mode de perception de l'environnement. L'observateur situé à proximité d'un ruisseau de montagne peut, par exemple, à la fois percevoir les sonorités apaisantes et la dynamique liée à l'écoulement de l'eau sur les rochers. En pratique cependant, cette mise en situation engendre des difficultés logistiques et financières liées au déplacement des participants dans différents environnements potentiellement isolés. Une alternative consiste à limiter l'étude empirique pour ne considérer qu'un faible nombre de participants et/ou d'environnements, mais les résultats s'en trouvent alors potentiellement biaisés. Ces difficultés pratiques ont amené plusieurs chercheurs à se désintéresser des études environnementales réalisées *in situ* pour favoriser des méthodes facilitant les expérimentations auprès d'un large panel. Si la vidéo favorise la restitution d'images animées et accompagnées de son, elle n'en reste pas moins faiblement interactive et temporellement peu flexible puisque l'observateur est contraint par l'angle de vue sélectionné par le cadreur ayant filmé la scène. La photographie s'est alors imposée comme une alternative flexible, utilisable à moindre coût et facilitant le contrôle des études relatives à la perception spatiale [Shafer et Richards, 1974, Kaplan, 1979, Schoenberg, 2009]. L'utilisation d'un tel substitut de visualisation fait malgré tout apparaître des distorsions perceptuelles qui ne doivent pas être négligées lors de l'élaboration de l'étude [Shuttleworth, 1980] :

- le *champ visuel latéral* d'un appareil photographique est généralement limité à 60 degrés, alors que celui d'un individu est estimé à 130 voire 200 degrés. Cette déficience peut cependant être comblée par l'utilisation d'objectifs « grand angle » ou de photographies panoramiques qui résultent de l'agencement et du traitement de plusieurs photographies afin d'assurer une consistance de l'intensité des couleurs et des contrastes ;
- si l'environnement considéré *in situ* est tridimensionnel, la photographie n'en reste pas moins qu'une image en deux dimensions obtenue par la projection de la vue au travers un système optique plus ou moins complexe. Stephan Kaplan remarque cependant que les individus disposent de capacités cognitives leur permettant de percevoir la profondeur de champ d'une photographie d'une manière quasi-intuitive.

Bien que la validité et la généralisation de ces études dépendent de la pertinence des photographies à représenter les propriétés environnementales intéressantes, toutes mettent cependant en exergue la forte corrélation entre les jugements perceptifs à partir de photographies et les réponses parallèles issues de l'expérience directe des paysages représentés [Shafer et Richards, 1974, Meitner, 2004].

Différents projets ont étudié la manière dont l'image panoramique d'un environnement peut être présentée à un utilisateur afin de favoriser son immersion. *Paris 26 Gigapixels*¹ fournit un panorama virtuel de la ville de Paris (Fig. II.3). Le résultat correspond à l'assemblage de 2346 images réalisées depuis le sommet de l'Église Saint-Sulpice, et l'interface Web est adaptée à la visualisation et la manipulation de l'image. De la même manière, Google propose depuis l'été 2008 de naviguer virtuellement dans les rues de grandes villes françaises grâce à son application *Google Street View*. La photographie panoramique est qualifiée à l'aide d'un ensemble de méta-données (telles que les coordonnées latitude – longitude), et des annotations qualitatives insérées dans la photographie indiquent la dénomination d'une voie, d'un carrefour, d'un bâtiment particulier ou d'une direction pouvant être empruntée par l'utilisateur du système.



Figure II.3 – Panorama virtuel interactif de la ville de Paris

II.2.2 Protocole expérimental

L'expérimentation vise à collecter un grand nombre de descriptions verbales d'environnements naturels, à partir de leur visualisation et de leur manipulation au moyen d'une interface intuitive. Afin de collecter des descriptions verbales, quatorze images panoramiques d'environnements naturels sont présentées à un large panel de participants. Nous définissons un *environnement naturel* comme un espace principalement constitué d'éléments naturels, mais pas uniquement. Il s'agit ici de les distinguer des environnements urbains qui ne sont pas structurés de manière identique. Puisque la perception spatiale est dépendante de la nature de l'environnement, de sa structure, de sa diversité et des éléments qui le composent, l'appréhension d'environnements naturels et urbains fait donc appel à des mécanismes complémentaires. La perception et l'expression d'un environnement urbain sont en effet influencées par la structure géométrique de la ville qui est quadrillée par des voies dédiées au transport de piétons et/ou de véhicules. Quelle que soit sa densité de population, un environnement urbain est en effet composé de voies principales dédiées à la circulation qui articulent et desservent les différents points clefs de la ville [Lynch, 1960]. Chicago ou Paris sont ainsi le résultat d'une application quasi-stricte du « culte de l'axe » dont l'objectif historique était de favoriser une meilleure circulation de l'air et des hommes autour de points centraux, c'est-à-dire de centres économiques et financiers ou d'aires naturelles [Park, 1967]. C'est à partir de ces distinctions que nous définissons un environnement naturel comme un espace dont la structure générale n'est pas élaborée par la main de l'homme, mais qui peut cependant être partiellement composé d'objets manufacturés.

1. <http://www.paris-26-gigapixels.com/>

Les photographies des environnements considérés sont collectées dans différentes régions françaises et les paysages sont sélectionnés selon leur variété et degré de richesse². L'étude intègre ainsi des environnements aux configurations spatiales hétérogènes par leur topographie, morphologie, végétation, hydrographie ou grâce aux objets manufacturés qui composent l'espace. Ainsi, si certains paysages sont composés d'objets particulièrement structurants comme un château, le clocher d'une église ou un rocher à la forme étonnante, d'autres s'avèrent en revanche plus monotones. Afin de créer des photographies panoramiques, un appareil photographique reflex numérique Sony de 14,2 mégapixels monté sur un trépied est utilisé. La monture utilisée est composée d'un objectif Sony Alpha ayant une longueur de focale comprise entre 18 et 70 mm et une ouverture comprise entre 3,5 et 5,6. Une rotation de l'appareil est régulièrement réalisée afin de couvrir l'ensemble du panorama. Les photographies résultantes sont par la suite assemblées grâce au logiciel Adobe Photoshop. La distorsion des images est corrigée puis les différentes photographies sont automatiquement alignées et assemblées les unes aux autres afin de ne constituer qu'une seule image panoramique. L'exposition, le contraste et la balance des couleurs sont ajustés afin d'uniformiser l'image résultant de l'agencement de plusieurs prises aux expositions et réglages différents.

Les photographies panoramiques présentées à un panel de vingt-trois participants (dix-huit hommes et cinq femmes) âgés de dix-huit à trente ans. Ces participants bénévoles sont principalement des novices du domaine des Sciences de l'Information Géographique et n'ont pas connaissance de localisation des paysages présentés. Il leur est expliqué qu'ils vont décrire verbalement une série de panoramas dans un contexte bien particulier, puisque leur description doit être suffisamment précise pour aider leur interlocuteur à identifier l'endroit perçu. Les images panoramiques sont présentées au travers d'une *applet* Java sur un écran d'ordinateur de résolution 1600*1200 pixels³. L'applet Java est disponible à l'adresse <http://experimentation.yaou.org/>. Chaque participant est tout d'abord invité à se familiariser avec l'application Java et à manipuler la photographie (Fig. II.4). Pour cela, deux modalités lui sont offertes : la rotation de la photographie est activée soit en déplaçant la souris sur la photographie dans la direction qu'il souhaite observer, soit en utilisant les flèches gauche/droite du clavier. Dans ce dernier cas, la rotation est plus précise mais également plus saccadée. Afin de favoriser l'immersion du participant dans le paysage, ce dernier a la possibilité d'ajuster la focale de visualisation pour avoir, soit une perception large et globale du paysage, soit une vision plus précise de ses éléments. Chaque participant est autorisé à visualiser les panoramas aussi longtemps qu'il le souhaite, et il lui est demandé de s'assurer que l'ensemble de la scène est perçue avant de débiter la description. Dès que le participant est prêt, la description verbale est enregistrée à l'aide d'un dictaphone et ne doit pas excéder 5 minutes (Annexe A.2).

II.2.3 Résultats

Les descriptions verbales générées par les participants font émerger un ensemble de caractéristiques liées à la perception d'un environnement naturel et à son expression de manière spontanée au travers du langage naturel.

2. Les photographies panoramiques utilisées sont proposées dans l'annexe A.1.

3. Cette fonctionnalité est désormais offerte par *Google Street View*.



Figure II.4 – Principe de l'expérimentation

Les photographies panoramiques sont principalement décrites de gauche à droite, et la description est initiée à partir d'une référence de l'image qui n'est pas systématiquement explicitée verbalement. Cette référence est associée à un objet caractéristique de la scène et permet au participant d'identifier une rotation complète de la photographie panoramique. Les descriptions verbales sont implicitement organisées selon une certaine hiérarchie qui peut être mise en corrélation avec la manière dont un environnement est perçu. En effet, 60% des participants décrivent tout d'abord l'environnement de manière générale par des expressions telles que « c'est un paysage typique du bord de la mer », « c'est une région rurale et agricole » ou « je suis dans une région montagneuse » avant d'identifier les objets structurant l'espace. Cette statistique conforte l'idée selon laquelle l'espace est tout d'abord perçu dans son ensemble avant d'être hiérarchisé et filtré [Hirtle et Jonides, 1985].

Les participants s'attachent par la suite à identifier les objets saillants de la scène. Si l'identification de la saillance d'un objet est un processus quasiment intuitif, il n'en est cependant pas de même concernant l'établissement de la pertinence de l'objet perçu. Toute la difficulté de l'opération pour l'observateur consiste à décrire le ou les objets qu'un interlocuteur pourrait potentiellement connaître ou identifier par le truchement de ses propres connaissances ou à l'aide d'un support géographique. L'opération visant à sélectionner les objets saillants et pertinents est évidente pour deux participants, élèves de l'École navale, et habitués à s'orienter lors d'exercices nocturnes ou de simulations de situations périlleuses en mer. Cette opération ne semble pas avoir été problématique pour les vingt-et-un autres participants. Exception faite de l'un d'entre eux dont les descriptions spatiales trop précises n'ont pas été retenues pour la suite de l'expérimentation. Ce dernier s'est en effet attaché à décrire les paysages, avec une finesse et une précision qui auraient été probablement plus appropriées pour la description d'une toile de Paul Gauguin que pour sa propre localisation. Quoiqu'il en soit, les descriptions d'un même paysage sont foncièrement différentes et ne caractérisent pas nécessairement les mêmes objets, confirmant ici que la sélection et l'identification des objets qui composent l'environnement perçu sont des mécanismes largement dépendants des caractéristiques propres à chacun. Une compilation des descriptions d'un même paysage réalisées par différents participants confirme l'hypothèse de Kevin Lynch selon laquelle l'ensemble des objets caractéristiques de l'environnement est alors identifié [Lynch, 1960]. Cette dernière constatation, bien que critiquable car fortement subjective, est malgré tout fondée sur une connaissance précise de l'environnement réel. Une compilation de l'ensemble des résultats montre que 50% des objets identifiés sont manufacturés (par exemple « une éolienne, le clocher d'une église, un barrage ou un bâtiment »), 30% caractérisent la topographie (par

exemple « une colline, une île rocheuse, une falaise ou une plage de sable blanc »), 15% la végétation (par exemple « une forêt touffue, une lande littorale à bruyère ou une zone arborée ») et les 5% restants caractérisent des zones hydrographiques ou des voies d'accès.

La manière dont la structure spatiale est décrite est largement dépendante du référentiel manipulé par l'observateur. Les expérimentations montrent que les participants combinent la plupart du temps les référentiels égocentriques et relatifs. L'utilisation du référentiel égocentrique dont l'origine est centrée sur l'observateur est en effet favorisée par le fait que la photographie est elle-même centrée sur l'observateur. La forte utilisation du référentiel relatif semble être une conséquence directe de l'utilisation de la photographie comme substitut d'un environnement réel. Pour décrire leur environnement, certains participants n'ont en effet utilisé qu'un référentiel relatif associé à des relations d'orientation entre différents objets de l'environnement. Par exemple « À droite du petit phare rouge, on distingue l'entrée d'un fort militaire. Une crique est située à droite de ce fort. À droite de cette crique, il y a une colline sur laquelle pousse de la lande. À droite de la colline ... » En utilisant de manière systématique une même relation d'orientation entre plusieurs objets de l'environnement, le participant complexifie la tâche de l'interlocuteur et semble oublier l'objectif l'ayant potentiellement amené à décrire son environnement. Dans ce cas précis, la compréhension de la structure et de l'organisation de la scène nécessite un dialogue plus complexe entre l'observateur et le locuteur. Un positionnement des objets identifiés relatif à l'observateur permet alors, par exemple, de mieux définir et caractériser la configuration spatiale perçue.

Lorsqu'elle est précisée, l'orientation des objets par rapport à l'observateur n'est caractérisée que par quatre termes « devant [moi] », « derrière [moi] », « à ma gauche » et « à ma droite ». Les descriptions des différents paysages présentent la particularité d'exprimer de manière pertinente l'ordonnancement spatial entre les objets composant l'espace. La profondeur de champ est exprimée par la description de plans successifs et caractérisée par des termes linguistiques tels que « devant [le château] », « à l'horizon », « au premier plan », « au milieu » ou « à l'arrière-plan ». Les distances entre les objets sont précisées grâce à des adjectifs de proximité tels que « à côté de », « tout près de », « côte à côte », « aux abords », « à proximité de », « aux environs ». Mais rares sont les participants à utiliser des termes caractérisant l'éloignement relatif. Ce choix résulte probablement du fait que l'espace relatif à la proximité d'une région ou d'un objet est moins ambigu que ne l'est son éloignement qui correspond alors à une surface large et sans réelle limite par rapport à l'élément référent. Deux participants ont manipulé des mesures quantitatives pour spécifier certaines distances. Cette évaluation approximative des distances est généralement associée à des termes linguistiques caractérisant l'imprécision de la mesure, par exemple « à environ 500 mètres, ou peut-être 400 ». En conclusion, l'expérience illustre le rôle majeur joué par les relations d'orientation (50%) qui sont quasiment deux fois plus utilisées que les relations de distance (30%) ou que les constructeurs topologiques (20%).

II.3 Modèle conceptuel d'une scène environnementale

Dans les années soixante, un modèle était une représentation la plus réaliste possible du monde physique. Cette définition a par la suite évolué puisqu'un modèle correspond désormais à une interprétation liée à la tâche que l'on souhaite réaliser. Un modèle est alors une

abstraction qui permet de réduire la complexité de la modélisation en se focalisant sur certains aspects relatifs au but à atteindre. Un modèle conceptuel est traditionnellement défini comme la représentation graphique d'un ensemble de concepts reliés entre eux par des relations sémantiques. L'identité de ces concepts est caractérisée par un terme linguistique dont la définition doit limiter les interprétations divergentes. De la même manière, les relations s'appuient sur des termes linguistiques pour définir le processus logique à représenter. La modélisation conceptuelle s'attache à représenter le plus fidèlement possible les caractéristiques intrinsèques des données du domaine, de l'application ou de la situation concernée. Le succès de leur utilisation est sans aucun doute lié à leur simplicité de conception et de manipulation. Chaque utilisateur est ainsi en mesure d'exprimer, avec une clarté toute relative, sa propre conception du processus ou des données considérées, et ainsi de participer activement à l'élaboration du schéma conceptuel. Puisque le concepteur s'abstrait de la manière dont le modèle est mis en œuvre, le résultat obtenu est indépendant d'un quelconque outil informatique. Il reste ainsi valable dans le cas d'une éventuelle évolution ou modification technologique. Enfin, la modélisation conceptuelle facilite par sa lisibilité les échanges de l'information entre individus appartenant à des organisations et communautés distinctes.

Le modèle entité-association est un modèle conceptuel largement répandu qui fournit des outils et un cadre rigoureux pour l'analyse de données et de leurs liaisons [Chen, 1976]. Il est couramment utilisé dans les phases amont de conception de systèmes informatiques manipulant une base de données complexe, car il favorise la représentation conceptuelle de la base de données et ce, indépendamment de toute considération informatique. MADS est un *descendant* du modèle entité-association dont l'objectif est de satisfaire les besoins des applications spatio-temporelles [Parent et al., 1997, Parent et al., 2006]. Il offre notamment la possibilité de manipuler des relations topologiques, temporelles ou constructives. La hiérarchie des relations topologiques est fondée sur la spécification formelle proposée par Eliseo Clementini [Clementini et al., 1993] et les relations temporelles permettent d'exprimer aussi bien un cycle de vie que la validité des valeurs d'un attribut. Les relations constructives identifient notamment les principes d'agrégation spatiale et temporelle, de généralisation et de spécialisation. Enfin, les objets sont caractérisés selon une hiérarchie de types abstraits spatiaux qui définit leur nature géométrique (Fig. II.5).

Nous nous intéressons par la suite à définir les différentes étapes ayant abouti à la conceptualisation d'une scène environnementale. Le modèle résultant est comparable à un schéma conceptuel classique qui caractérise de manière fine et simple la structure spatiale et sémantique d'un environnement, tout en minimisant la diversité d'interprétations possibles. Nous introduisons une approche de modélisation et de schématisation dont l'objectif consiste à faciliter la compréhension de l'agencement des structures et des objets spatiaux qui résultent de l'interprétation de la description de l'environnement.

II.3.1 Représentation linguistique de la description

L'interprétation de la description spatiale d'un environnement naturel fait émerger des connaissances taxinomiques et spatiales associées aux objets identifiés par l'observateur. Cette interprétation de l'information est le résultat d'une analyse lexicale, syntaxique et sémantique qui vise à mettre en évidence la structure de la description. La description verbale est initialement *transcrite* avant d'être manuellement filtrée afin de ne conserver que l'information

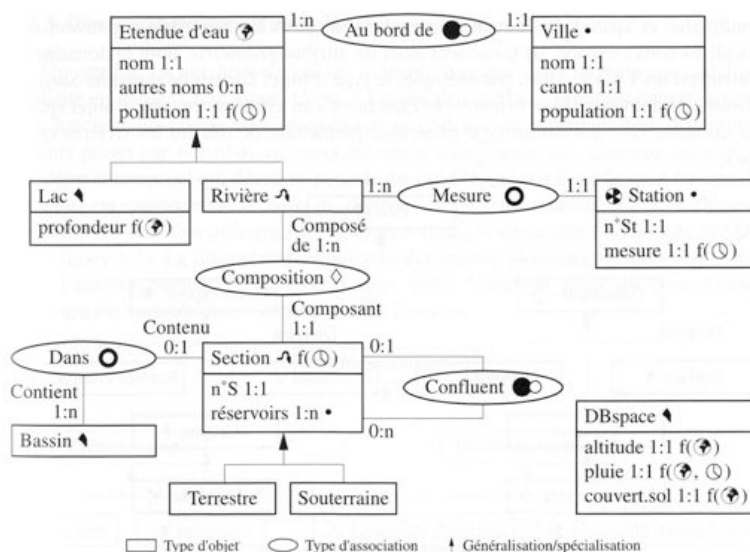


Figure II.5 – Conceptualisation à l'aide du modèle MADS [Parent et al., 1997]

pertinente. Si l'observateur nous décrit par exemple « un paysage vallonné composé d'un château en haut d'une colline, qui telle une sentinelle, semble protéger ce havre de paix », seuls les indices pertinents et facilitant la représentation mentale de la scène par l'interlocuteur sont conservés et analysés. Ainsi, seule l'information relative au « paysage vallonné composé d'un château en haut d'une colline » est conservée avant d'être analysée. L'analyse lexicale segmente une description textuelle voire un corpus en un ensemble structuré d'unités lexicales dont la nature grammaticale (article ou déterminant, nom commun, adjectif qualificatif, verbe, pronom, adverbe, préposition, conjonction de coordination, conjonction de subordination) est spécifiée par un étiqueteur. L'analyseur syntaxique interprète alors ce corpus annoté en identifiant les relations de dépendance syntaxique entre les différentes unités lexicales. Une relation de dépendance syntaxique est une relation orientée liant deux unités lexicales. Elle permet notamment de déterminer le sujet d'un verbe (par exemple « le château ^{sujet} surplombe ... »), le complément d'objet direct de verbe (« le château surplombe ^{complément} la vallée »), le complément d'objet indirect de verbe, de nom ou d'adjectif (« le château ^{complément} de Gonzague ») et l'épithète de nom (« le château ^{épithète} médiéval »). Syntex est un analyseur particulièrement puissant capable d'identifier ces relations de dépendance syntaxique, et constitue une alternative au processus d'analyse syntaxique préalablement décrit et qui est réalisé manuellement [Bourigault et al., 2005]. Lorsqu'une ambiguïté d'association est levée, l'outil informatique réalise un apprentissage endogène et déduit les informations lui permettant de lever cette ambiguïté. Si cela est nécessaire, il explore aussi des ressources exogènes, c'est-à-dire des propriétés générales fondées sur une hiérarchisation des verbes, des noms et des adjectifs.

L'analyse syntaxique favorise l'émergence d'une représentation structurée de la description verbale nommée *vue linguistique*. Les objets physiques identifiés par l'observateur sont associés à des unités lexicales qui sont liées entre elles par des relations spatiales, sémantiques et syntaxiques. La vue linguistique structure ces différentes connaissances à l'aide d'une représentation temporellement ordonnée et composée d'unités lexicales corrélées aux

objets physiques identifiés par l'observateur, et de relations liant ces unités. Les objets sont représentés dans des boîtes tandis que les relations étiquettent les flèches. Les déterminants sont filtrés et ne sont pas représentés, alors que les compléments de noms, épithètes et autres qualificatifs associés à un nom commun sont considérés comme des attributs.

Les principes génériques liés au traitement de la description spatiale ayant été préalablement introduits, nous détaillons par la suite l'approche de formalisation de la description verbale et de sa vue linguistique. Soit $\mathcal{D}$ l'ensemble des descriptions spatiales réalisables, $\mathcal{P}$ l'ensemble des phrases composant une description, $\mathcal{U}$ l'ensemble des unités élémentaires composant une phrase, $\mathcal{E}$ l'ensemble des unités lexicales d'une description et $\mathcal{R}$ l'ensemble des relations qui inclut l'ensemble vide $\emptyset$. La description D d'un environnement spatial est formalisée comme un ensemble ordonné de phrases $p_i \in \mathcal{P}$, et $D = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ avec $D \in \mathcal{D}$ et $n \geq 1$. Une phrase p_i est un ensemble ordonné d'unités élémentaires $u_i \in \mathcal{U}$, et $\forall i \in [1, \dots, m]$ avec $m \geq n, p_i = [u_1, u_2, \dots, u_m]$. Une unité élémentaire u_i est un triplet tel que $u_i = [e_j, r_k, e_l]$ avec $e_j, e_l \in \mathcal{E}$ et $r_k \in \mathcal{R}$.

La manipulation d'un référentiel spatial égocentrique met en avant l'importance de l'observateur dans l'expression du positionnement des objets de l'environnement. De manière implicite, l'observateur constitue donc une référence spatiale majeure qui est contrainte par l'expression $\forall D \in \mathcal{D}, \exists e_i \in \mathcal{E}, e_i = \text{observateur}$. Trois types de relations spatiales sont manipulés par les participants de l'expérimentation afin de positionner les objets physiques. Soit $\mathcal{T} = \{\text{orientation, distance, topologie}\}$ l'ensemble des types de relations spatiales manipulables. Soit $f_{relation}$ la fonction associant un type à une relation spatiale :

$$f_{relation} : \mathcal{R} \setminus \{\emptyset\} \rightarrow \mathcal{T} \quad (II.1)$$

$$r_i \mapsto type$$

Les types de relations spatiales et les dénominations correspondantes sont structurés par une taxinomie des relations spatiales qui fournit un support pour l'automatisation des différents processus explicités dans cette section. La figure II.6 illustre les concepts de haut niveau de la taxinomie. Les différentes descriptions verbales collectées lors de l'expérimentation sont interprétées puis compilées de manière statistique. Les relations spatiales utilisées sont ensuite associées à une classification déterminée par un formalisme logique comparant l'intersection des frontières, des intérieurs et des extérieurs de deux objets. La classification « Disjoint, Rencontre, Chevauche, À l'intérieur, Contient, Couvre, Est couvert par, Égal » est alors retenue [Egenhofer, 1989].

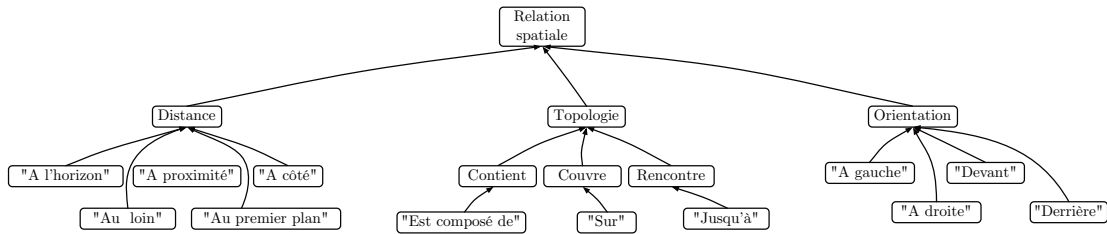


Figure II.6 – Taxinomie partielle des relations spatiales

Les unités lexicales sont liées entre elles par des relations binaires. Lorsque des relations d'arité supérieure sont manipulées par l'observateur, ces dernières sont converties en relations binaires. Une solution alternative consiste à utiliser une notation événementielle pour relier les arguments. Cette solution n'a cependant pas été retenue puisque aucune relation ternaire n'a été utilisée au cours de l'expérimentation. D'autre part, l'observateur est positionné à un point fixe et n'a par conséquent aucune raison de spécifier un déplacement quelconque qui nécessiterait l'utilisation de ce type de relation (par exemple, « Je marche *depuis* le château *jusqu'à* la vallée »). h est la fonction associant la relation r_k aux deux unités lexicales e_i et e_j .

$$\begin{aligned} h : \mathcal{E}^2 &\rightarrow \mathcal{R} \\ (e_i, e_j) &\mapsto r_k, \text{ tel que } [e_i, r_k, e_j] \in \mathcal{U}. \end{aligned} \quad (\text{II.2})$$

Soit $f_{\text{occurrence}}(e_i, j)$ la fonction qui retourne le nombre d'occurrences d'une unité lexicale e_i dans la $j^{\text{ème}}$ phrase.

$$\begin{aligned} f_{\text{occurrence}} : \mathcal{E} \times \mathbb{N}^* &\rightarrow \mathbb{N}, \text{ avec } \mathbb{N}^* \text{ l'ensemble des entiers naturels privés de } 0 \\ (e_i, j) &\mapsto k \end{aligned} \quad (\text{II.3})$$

Chaque unité lexicale qui fait référence à un objet physique de la scène apparaît au moins une fois dans une phrase de la description. Cette règle d'intégrité est formalisée de la manière suivante : $\forall e_i \in \mathcal{E}, \exists j \in \mathbb{N}$ tel que $f_{\text{occurrence}}(e_i, j) \geq 1$. Finalement, f_{sentence} est définie comme la fonction associant l'identifiant d'une phrase à une unité lexicale e_i . L'opérateur $\mathfrak{P}$ désigne l'ensemble des parties d'un ensemble, c'est-à-dire l'ensemble des sous-ensembles de cet ensemble. Un ensemble autre que l'ensemble vide correspond à la présence d'une unité lexicale e_i dans la/les phrase(s) j .

$$\begin{aligned} f_{\text{sentence}} : \mathcal{E} &\rightarrow \mathfrak{P}(\mathbb{N}) \\ e_i &\mapsto \{j\} \text{ tel que } f_{\text{occurrence}}(e_i, j) \geq 1. \end{aligned} \quad (\text{II.4})$$

Concluons cette section par un exemple de description résultant de la perception d'un environnement et par la vue linguistique associée de la figure II.7⁴. « Je suis complètement perdu au beau milieu d'un environnement très vallonné. Je me situe sur un sentier qui longe un château et un petit étang. Le château qui est composé d'un mur d'enceinte et d'un petit donjon est réellement majestueux. Il y a juste en face de moi une petite vallée avec le château sur sa gauche, et à l'horizon, je distingue une chaîne de montagnes. Juste derrière moi, il y a l'étang, puis une large prairie derrière, et au loin une forêt dense ». Soient $p_1 \dots p_5$ les cinq phrases de la description qui est décomposée de la manière suivante :

- $p_1 = \{[\text{Observateur}, \text{Au milieu de}, \text{Environnement}]\}$;
- $p_2 = \{[\text{Observateur}, \text{Sur}, \text{Sentier}], [\text{Sentier}, \text{Longe}, \text{Château}], [\text{Sentier}, \text{Longe}, \text{Étang}]\}$;
- $p_3 = \{[\text{Château}, \text{Est composé de}, \text{Mur d'enceinte}], [\text{Château}, \text{Est composé de}, \text{Donjon}]\}$;
- $p_4 = \{[\text{Vallée}, \text{En face de}, \text{Observateur}], [\text{Château}, \text{Sur la gauche de}, \text{Vallée}], [\text{Chaîne}$

4. Le panorama peut être visualisé au moyen de l'application Java disponible à l'adresse <http://experimentation.yaou.org/panoramas/>.

- de montagne, A l'horizon de, Observateur]] ;
- $p_5 = \{[\text{Étang, Derrière, Observateur}], [\text{Prairie, Derrière, Étang}], [\text{Forêt, Au loin de, Observateur}]\}$;

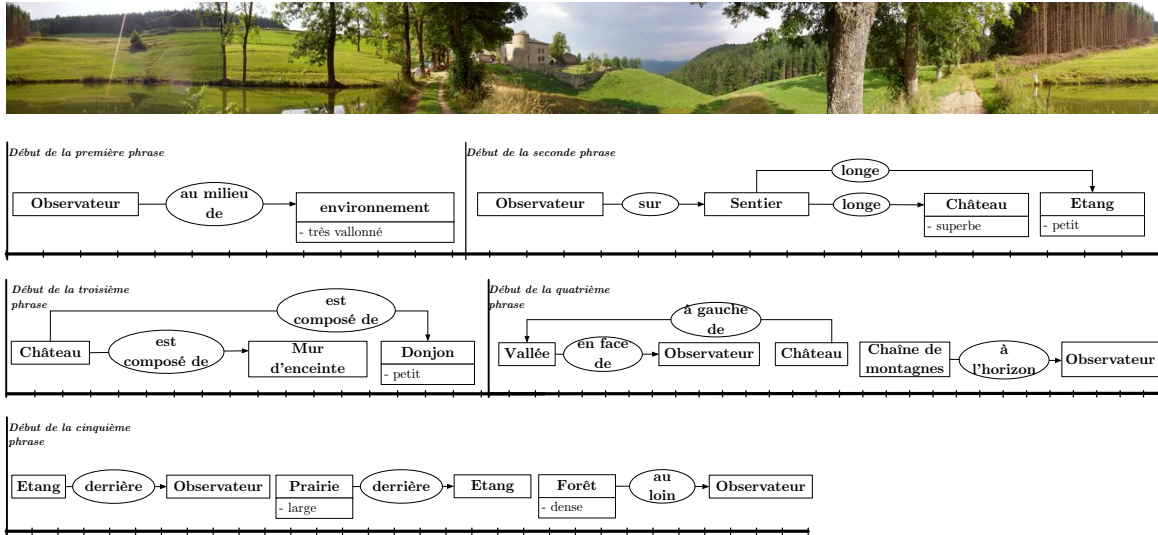


Figure II.7 – Vue linguistique d’une description verbale

La description d’un environnement peut alors être considérée comme une ligne temporelle à une seule dimension à laquelle sont associées des constructions sémantiques [Levelt, 1982]. La vue linguistique s’attache à reproduire le rythme qui émerge de la description par la succession des phrases et des unités lexicales. Elle reflète également le fait que l’espace est structuré à travers l’utilisation de signes périodiques et reconnaissables, et rythmé par des similarités et des changements significatifs [Deleuze et Guattari, 1980].

II.3.2 Représentation sémantique d’une description spatiale

La *vue sémantique* a pour objectif d’extraire les concepts pertinents de la description verbale et de les structurer à l’aide d’un réseau sémantique. Ross Quillian introduit en 1966 le concept de *réseau sémantique* comme un outil de modélisation des capacités cognitives de la mémoire humaine et des protocoles engagés dans le traitement de l’information exprimée à l’aide du langage [Quillian, 1968]. Quelques années plus tard, le concept est reformulé par Marvin Minsky qui définit la notion de « frame » en défendant l’idée que l’Intelligence Artificielle doit utiliser des approches multiples pour représenter les connaissances, plutôt que de se cloisonner à une unique approche qui serait censée être la meilleure [Minsky, 1975]. Les réseaux sémantiques sont en général associés au concept de réseau conceptuel. Outre leur capacité à représenter de l’information, tous les deux sont en effet considérés comme étant une facilité graphique pour représenter des contenus.

La *vue sémantique* structure les différentes connaissances de la vue linguistique à l’aide d’un réseau sémantique. Les nœuds représentent les unités lexicales corrélées aux objets physiques identifiés par l’observateur, et les arcs, les relations entre ces unités. Les objets sont

représentés par des boîtes tandis que les relations étiquettent les arcs. La figure II.8 illustre la représentation de la vue sémantique de deux phrases ordinaires. L'exemple « le bâtiment en pierre de taille *est un* superbe château » correspond à une assertion logique appliquant un prédicat sur une unité lexicale, soit $Bâtiment(Château)$. De la même manière, le syntagme « le donjon surplombe la vallée » est le résultat de l'instanciation de la relation $surplombe(X, Y)$ avec $X = donjon$ et $Y = vallée$.

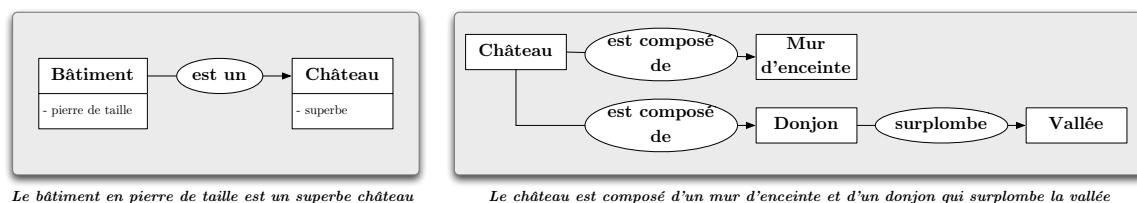


Figure II.8 – Exemples de vues sémantiques

De manière plus formelle, la vue est modélisée par un hypergraphe G constitué de couples d'éléments tels que $G = (V, E)$. Les éléments de V correspondent aux nœuds du graphe et les éléments de E aux arcs étiquetés. Chaque unité élémentaire $u_i = [e_j, r_k, e_l]$ est associée à un sous-graphe pour lequel e_j et e_l sont les nœuds, et r_k l'arc étiqueté les liant. Cette représentation de la description d'un environnement naturel est similaire à un modèle entité – association. Elle illustre la diversité des objets et des relations préalablement exposée par les résultats de l'expérimentation. L'approche est illustrée à l'aide de l'exemple proposé à la section II.3.1 par la figure II.9. Elle met en avant le rôle central joué par l'observateur, le château ou l'étang et parallèlement souligne le peu d'intérêt porté par l'observateur à la forêt ou à la chaîne de montagnes.

II.3.3 Représentation spatiale fondée sur les proximités

La perception des distances et de la profondeur de champ est un processus cognitif intuitif qui permet d'évaluer notre façon d'interagir avec l'environnement. Il n'est en effet pas surprenant de s'entendre dire que l'on préfère utiliser un *Vélib'* pour rejoindre la Tour Eiffel depuis le Grand Palais, alors même que la Tour est visible depuis le Grand Palais, et se détache clairement du paysage urbain. C'est la perception visuelle du bâtiment couplée à la connaissance que l'on a de la ville de Paris qui nous incite finalement à préférer le vélo à la marche à pied⁵. Quoiqu'il en soit, la perception spatiale engendre un ordonnancement des objets saillants de l'environnement perçus en fonction de notre propre position. Si les travaux de recherche relatifs à la perception de la profondeur de champ sont unanimes quant à son importance et sa portée, il n'en est pas de même quant aux raisons liées à ses différences d'appréciation. Les tentatives visant à expliquer ces différences perceptuelles reposent sur des justifications liées aux caractéristiques intrinsèques des individus telles que le sexe, l'âge ou la capacité physique [Norman et al., 2005]. La profondeur de champ étant liée à la hauteur des objets physiques, certains suggèrent même que ces distorsions sont la conséquence de la phobie des hauteurs [Jackson, 2009].

5. Nous illustrons notre propos par un exemple urbain (mais extensible au cas du naturel) afin de le rendre explicite et compréhensible pour le lecteur.

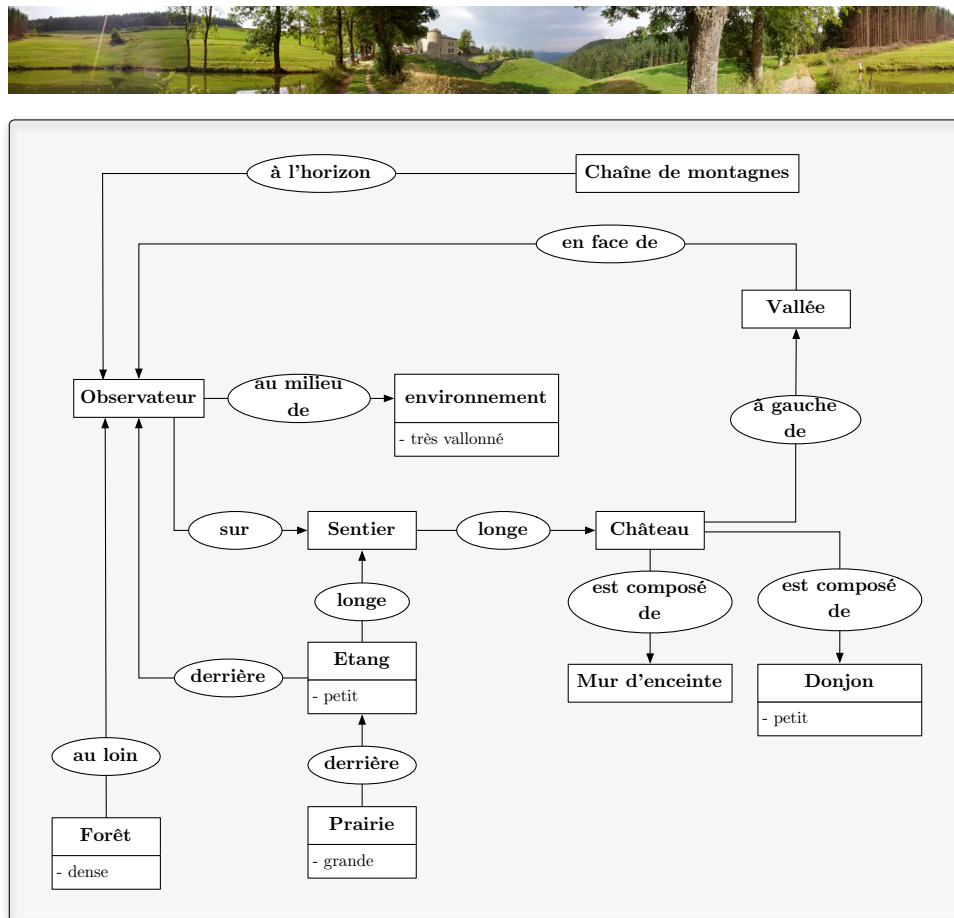


Figure II.9 – Vue sémantique d'une description verbale

Perception spatiale et représentation cognitive étant intimement liées, plusieurs psychologues ont proposé une catégorisation des *espaces psychologiques* comme le résultat de l'interprétation de la perception spatiale. Dan Montello définit quatre espaces qui peuvent plutôt être apparentés à quatre ensembles composés d'objets physiques classés selon leur *taille projective* [Montello, 1993]. Ainsi, si un espace large ou un objet proéminent (par exemple une chaîne de montagnes) sont perçus depuis une distance importante, ils sont classés dans le même ensemble que celui d'un espace ou d'un objet de petite taille (par exemple une motte de terre) perçu à une faible distance. Barbara Tversky différencie quant à elle quatre espaces psychologiques définis en fonction du comportement que l'on peut adopter dans l'environnement perçu : l'*espace du corps*, l'*espace entourant le corps*, l'*espace de navigation* et l'*espace des graphiques* [Tversky, 1993]. Enfin, Johannes Gabriel Granö propose une approche plus pragmatique fondée sur la perception plutôt que sur son interprétation. Il définit l'environnement immédiat (*proximate environment*) comme l'espace perçu par l'ensemble des sens, et l'environnement distant (*landscape environment*) par la vision uniquement [Granö, 1929].

Contrairement aux approches psychologiques courantes, notre approche de modélisation de l'espace ne s'attache ni à interpréter les informations acquises au travers de la perception

visuelle, ni à classifier l'information en fonction de la modalité utilisée pour l'acquérir. Le modèle intègre cependant les préceptes proposés par Johannes Gabriel Granö et Barbara Tversky. Il fournit un cadre formel mais justifié par une approche cognitive pour la structuration de l'espace en fonction des caractéristiques propres à chaque individu. Ainsi, la perception égo-centrique d'un espace est qualitativement structurée par quatre *espaces de proximité* qui sont respectivement définis en fonction des actions réalisables par l'observateur dans ces derniers. Ces espaces de proximité sont ordonnées par rapport à la position de l'observateur. Ils sont par conséquent intuitivement liés à la distance relative à la profondeur de champ et au mode de déplacement utilisé afin de les atteindre.

- L'*espace du corps* est défini de la même manière que celui du même nom proposé par Barbara Tversky [Tversky, 1993]. Il correspond à l'espace dans lequel l'observateur effectue des actions sans qu'aucun déplacement ne soit nécessaire.
- L'*espace de nos expériences* est facilement accessible par un déplacement limité de l'observateur autour de l'*espace du corps*.
- L'*espace distant* est l'environnement localisé entre l'*espace de nos expériences* et l'*espace à l'horizon*. Il est difficilement accessible sans un déplacement significatif de l'observateur.
- L'*espace à l'horizon* est composé de silhouettes, c'est-à-dire de frontières à deux dimensions qui sont définies par la limite entre le ciel et la terre. Yann Chevriaux souligne que ces silhouettes sont décrites par des termes qualitatifs associés aux objets physiques significatifs de l'environnement tels que « montagne », « colline » ou « vallée » [Chevriaux, 2008].

La définition des espaces de proximité est précisée par sa formalisation. Afin d'en faciliter la compréhension, chaque *unité lexicale* de la description verbale et de la représentation sémantique sont associées à une *entité conceptuelle* de notre/nos représentation(s). Chaque *entité conceptuelle* est elle-même associée à un *objet physique*. Dans la suite du manuscrit, un *objet* correspond à un objet physique de l'environnement qui est perçu par l'observateur, alors qu'une *entité conceptuelle* correspond à sa représentation au travers des différentes vues présentées. Soit $\mathcal{S} = \{\text{corps, expériences, distant, horizon}\}$ l'ensemble des espaces de proximité, $\mathfrak{P}(\mathcal{S})$ l'ensemble des parties de l'ensemble $\mathcal{S}$, c'est-à-dire l'ensemble des sous-ensembles de $\mathcal{S}$, et $e_i \in \mathcal{E}$. La fonction $f_{space}(e_i)$ qui localise l'entité spatiale est définie de la manière suivante :

$$\begin{aligned} f_{space} &: \mathcal{E} \rightarrow \mathfrak{P}(\mathcal{S}) \setminus \{\} \\ e_i &\mapsto \{s_i\} \text{ tel que } s_i \in \mathcal{S} \end{aligned} \tag{II.5}$$

Si l'on considère l'exemple illustré par la figure II.9, $f_{space}(\text{Forêt}) = \{\text{horizon}\}$ et $f_{space}(\text{Château}) = \{\text{expériences, distant}\}$. La manière dont les frontières des espaces de proximité sont conceptualisées dépend du paysage étudié. Les espaces de proximité peuvent en effet être matérialisés par des régions aux frontières *fiat* dont les positions sont incertaines, ou *bona fide* lorsqu'elles correspondent à des discontinuités qualitatives de l'environnement [Smith et Varzi, 1997]. La frontière des espaces de proximité est souple par définition, et une entité conceptuelle peut donc être positionnée sur plusieurs espaces contigus. Au plus quatre espaces de proximité peuvent être associés à une entité conceptuelle, c'est-à-dire $\forall i, 1 \leq \text{Card}(f_{space}(e_i)) \leq 4$ avec $\text{Card}()$ l'opérateur de cardinalité. Lorsqu'une entité est positionnée

sur plusieurs espaces de proximité contigus, elle doit répondre à une contrainte de contiguïté :

$$2 \leq \text{Card}(f_{\text{space}}(e_i)) \leq 4 \Rightarrow \bigcap f_{\text{space}}(e_i) \neq \emptyset \quad (\text{II.6})$$

L'intégration des espaces de proximité à la vue sémantique fournit une nouvelle interprétation de la description de l'environnement. Les unités lexicales ne correspondent plus uniquement à de simples termes linguistiques, mais elles sont réellement associées à des entités conceptuelles, entités qui sont elles-mêmes associées à des objets physiques de l'environnement. Un ordonnancement des objets perçus est ainsi mentalement généré à partir de la perception visuelle de l'environnement. Lorsque la description verbale n'est pas assez explicite ou qu'elle est susceptible d'entraîner un doute ou une incohérence de la part de l'interlocuteur, un dialogue plus complexe s'engage entre l'observateur et l'interlocuteur afin de préciser la configuration spatiale. La *vue relative aux espaces de proximité* qui en découle est définie de la manière suivante. Soit $\mathcal{E}_{\text{corps}}$ (respectivement $\mathcal{E}_{\text{expériences}}$, $\mathcal{E}_{\text{distant}}$, $\mathcal{E}_{\text{horizon}}$) l'ensemble des entités conceptuelles positionnées dans l'*espace du corps* (respectivement de nos expériences, distant, à l'horizon).

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{corps}} &= \{e_i \text{ tel que } f_{\text{space}}(e_i) = \{s_j \text{ tel que } \exists s_k \text{ tel que } s_k = \text{corps}\}\} \\ \mathcal{E}_{\text{expériences}} &= \{e_i \text{ tel que } f_{\text{space}}(e_i) = \{s_j \text{ tel que } \exists s_k \text{ tel que } s_k = \text{expériences}\}\} \\ \mathcal{E}_{\text{distant}} &= \{e_i \text{ tel que } f_{\text{space}}(e_i) = \{s_j \text{ tel que } \exists s_k \text{ tel que } s_k = \text{distant}\}\} \\ \mathcal{E}_{\text{horizon}} &= \{e_i \text{ tel que } f_{\text{space}}(e_i) = \{s_j \text{ tel que } \exists s_k \text{ tel que } s_k = \text{horizon}\}\} \end{aligned} \quad (\text{II.7})$$

L'approche est illustrée à l'aide de l'exemple proposé à la section II.3.1 par la figure II.10. La *vue relative aux espaces de proximité* illustre la manière dont les entités sont agencées dans les différents espaces de proximité. Elle fournit ainsi une représentation de la structure du paysage uniquement fondée sur l'interprétation de sa description et illustre l'ordonnancement relatif des entités. La figure II.10 met de plus en avant le fait que l'association d'espaces de proximité à une entité n'est pas un critère absolu. L'observateur considérant le positionnement relatif de l'unité lexicale « Environnement » comme délicat a ainsi préféré ne pas lui attribuer d'espace de proximité. Enfin, certaines méthodes fondées sur l'interprétation automatique des relations spatiales aiguillent l'interlocuteur dans le positionnement des entités. Si l'entité « Château » est positionnée sur les espaces de nos expériences et distants, les entités « Donjon » et « Mur d'enceinte » qui sont des constituants de l'entité « Château », sont elles-même positionnées dans les mêmes espaces ou dans l'un d'entre eux.

II.3.4 Représentation spatiale fondée sur les orientations

La représentation spatiale fondée sur les orientations des entités répond à la forte utilisation de relations d'orientations pour décrire les scènes environnementales proposées lors de l'expérimentation. Une relation d'orientation est définie par un point de vue, un objet cible et un objet de référence. La relation d'orientation est exprimée en manipulant un référentiel qui illustre finalement le point de vue sélectionné par l'observateur pour définir l'orientation des objets. Ce référentiel est, soit de type *intrinsèque* et l'orientation de l'objet cible est exprimée

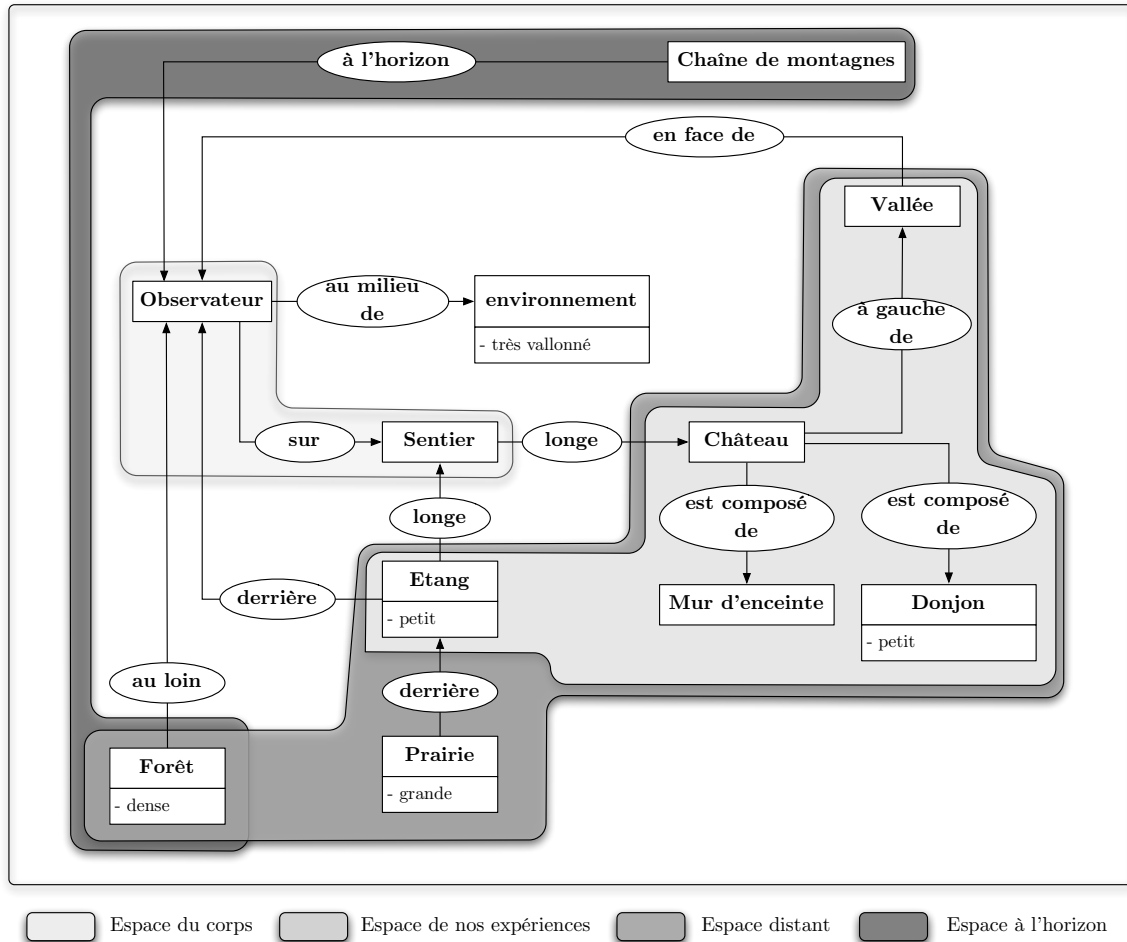


Figure II.10 – Vue d'une description verbale fondée sur les espaces de proximité

relativement à l'objet de référence, soit *extrinsèque* et c'est un système externe à la scène qui est manipulé, soit *relatif* et l'orientation de l'objet cible est définie par rapport aux positions de l'observateur et de l'objet de référence. Daniel Hernández souligne l'importance des référentiels et de leur utilisation dans le cadre du raisonnement spatial [Hernández, 1991]. Il propose une structure de données nommée *nœud d'orientation relative*, motivée par la manière dont un individu perçoit l'espace environnant. Cette structure est utilisée afin de représenter la relation d'orientation entre les objets de manière relative à la position de l'observateur.

Andrew U. Frank propose de segmenter l'espace en deux demi-plans qui définissent les régions Nord-Sud ou Est-Ouest lorsqu'elles sont exprimées par des relations d'orientation cardinales. Ces deux demi-plans couplés entre eux permettent de définir les quatre orientations Nord, Sud, Est et Ouest à partir de régions coniques [Frank, 1992]. Ce modèle modélisant les orientations par des cônes fournit une certaine facilité pour définir des orientations à

des résolutions plus fines. Ce sont alors 8 voire 16 régions résultant de la combinaison des premières qui peuvent être définies (Fig. II.11). La caractéristique particulière d'une représentation à base de cônes provient de l'augmentation de la surface considérée au fur et à mesure que la distance relative au point de référence augmente. Celle-ci la rend particulièrement pertinente pour la formalisation de relations d'orientation entre des objets surfaciques [Peuquet et Ci-Xiang, 1987]. Lorsque l'objet de référence est aussi surfacique, le système composé des orientations relatives peut être centré sur le barycentre de l'objet. Une alternative proposée par le *système à base de projections* consiste à définir neuf régions Nord, Sud, Est, Ouest, Nord-Est, Sud-Est, Sud-Ouest, Nord-Ouest et une région dite *neutre*. La zone *neutre* permet de définir les positions exprimées au travers d'expressions telles que « ici » ou « à la même position que ».

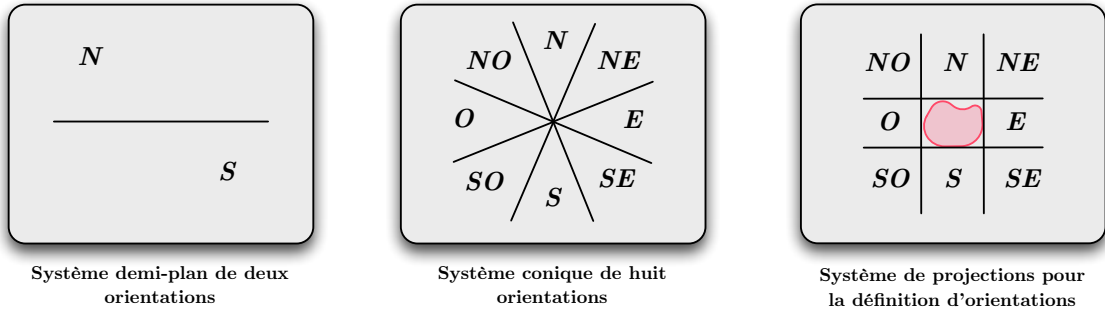


Figure II.11 – Systèmes directionnels [Hernandez, 1994, Frank, 1992]

La *vue sémantique* est ainsi enrichie par les orientations relatives à l'observateur. L'espace est ainsi segmenté à l'aide de deux (avant–arrière) ou quatre cônes directionnels (avant, arrière, droite et gauche). L'observateur est quant à lui positionné sur une région neutre à laquelle aucune orientation n'est attribuée. Une entité peut appartenir à plusieurs cônes lorsqu'elle satisfait une contrainte de contiguïté. Soit $f_{cone}(e_i)$ la fonction qui localise une entité spatiale dans un cône directionnel. Alors $\forall i, 1 \leq Card(f_{cone}(e_i)) \leq 4$ et

$$2 \leq Card(f_{cone}(e_i)) \leq 4 \Rightarrow \bigcap f_{cone}(e_i) \neq \emptyset \quad (II.8)$$

La description verbale est parcourue selon l'ordre temporel d'énumération des unités lexicales et un nouveau cône directionnel est détecté lorsqu'il existe une relation d'orientation entre l'observateur et une ou plusieurs unités lexicales de la description verbale. De manière plus formelle, soit $<_t$ l'opérateur d'ordonnancement temporel des unités lexicales de la description, $\mathcal{E}_{front}$ l'ensemble des entités positionnées dans le cône directionnel situé face à l'observateur, $\mathcal{E}_{back}$ l'ensemble des entités positionnées dans le cône directionnel situé derrière lui, $\mathcal{E}_{left}$ l'ensemble des entités positionnées dans le cône directionnel situé à sa gauche, $\mathcal{E}_{right}$ l'ensemble des entités positionnées dans le cône directionnel situé à sa droite et x une relation d'orientation telle que $x \in \{front, back, left, right\} \subset \mathcal{R}$. Soient e_m et e_n deux unités

lexicales, nous définissons $\mathcal{E}_x$ tel que

$$\mathcal{E}_x = \{e_m \text{ tel que } e_n <_t e_i \leq_t e_m \text{ avec } (f_{relation}(h(e_n, e_i)) = orientation \wedge e_n = Observateur) \wedge (h(e_n, e_i) = x)\} \quad (\text{II.9})$$

Certaines méthodes fondées sur l'interprétation automatique des relations spatiales guident l'interlocuteur dans le positionnement des entités conceptuelles. Un cône est initialisé lorsqu'une relation spatiale de type *Orientation* est détectée entre l'observateur et une unité lexicale ou un ensemble d'unités. Lorsque la description verbale est complexe, l'interlocuteur doit affiner manuellement le positionnement proposé par le système. Lorsque deux cônes (avant-arrière) sont initialement créés et qu'un troisième cône (droite ou gauche) est détecté, le système modifie automatiquement la configuration spatiale et segmente la scène en quatre cônes. Enfin, si une entité (par exemple « Château ») est positionnée dans le cône directionnel *Avant*, les entités « Donjon » et « Mur d'enceinte » étant des constituants de l'entité « Château », sont elles-mêmes positionnées dans le cône *Avant*. L'exemple de la figure II.12 illustre le rôle joué par les relations d'orientation dans les descriptions verbales. Il souligne le partitionnement explicite de l'environnement perçu entre les cônes *Avant* et *Arrière*. La *représentation à base de cônes directionnels* engendre une nouvelle caractérisation spatiale de la description verbale et une spécialisation préliminaire des entités identifiées grâce à une structure de la scène centrée sur l'observateur.

II.3.5 Carte conceptuelle d'une scène environnementale

Nous définissons une *scène environnementale* comme l'environnement perçu à 360° par un observateur depuis un point de vue statique. Elle est associée à une description anthropocentrique, c'est-à-dire à ce qu'un observateur perçoit depuis sa propre position. Puisque les individus ont tendance à structurer leur environnement, une scène est qualitativement structurée par quatre espaces de proximité et deux à quatre cônes directionnels. Les vues successives font émerger la notion de *carte conceptuelle* comme la représentation d'une scène environnementale structurée à la fois par les espaces de proximité, les cônes directionnels et la position d'un observateur. Une carte conceptuelle est composée d'entités identifiant les objets physiques perçus par l'observateur et de relations spatiales qui lient ces entités entre elles et/ou l'observateur. Elle peut être considérée comme une abstraction caractérisant la représentation cognitive d'un environnement naturel.

La figure II.13 correspond à l'interprétation de l'exemple proposé à la section II.3.1. La représentation s'abstrait partiellement de la description linguistique initiale pour s'attacher à « spatialiser » les entités de la scène environnementale. Certaines unités lexicales dont le positionnement était inapproprié sont filtrées (par exemple « Environnement »), et seules les unités pertinentes sont conservées. Afin d'obtenir une représentation lisible, ni les composants « Mur d'enceinte » et « Donjon » de l'entité « Château », ni les attributs des entités ne sont affichés. La carte conceptuelle résultante illustre la corrélation existant entre les phrases de la description et le positionnement des entités.

Ces cartes conceptuelles fournissent un support pour la comparaison de descriptions d'un même paysage réalisées par des observateurs aux profils et cultures différents. Elles per-

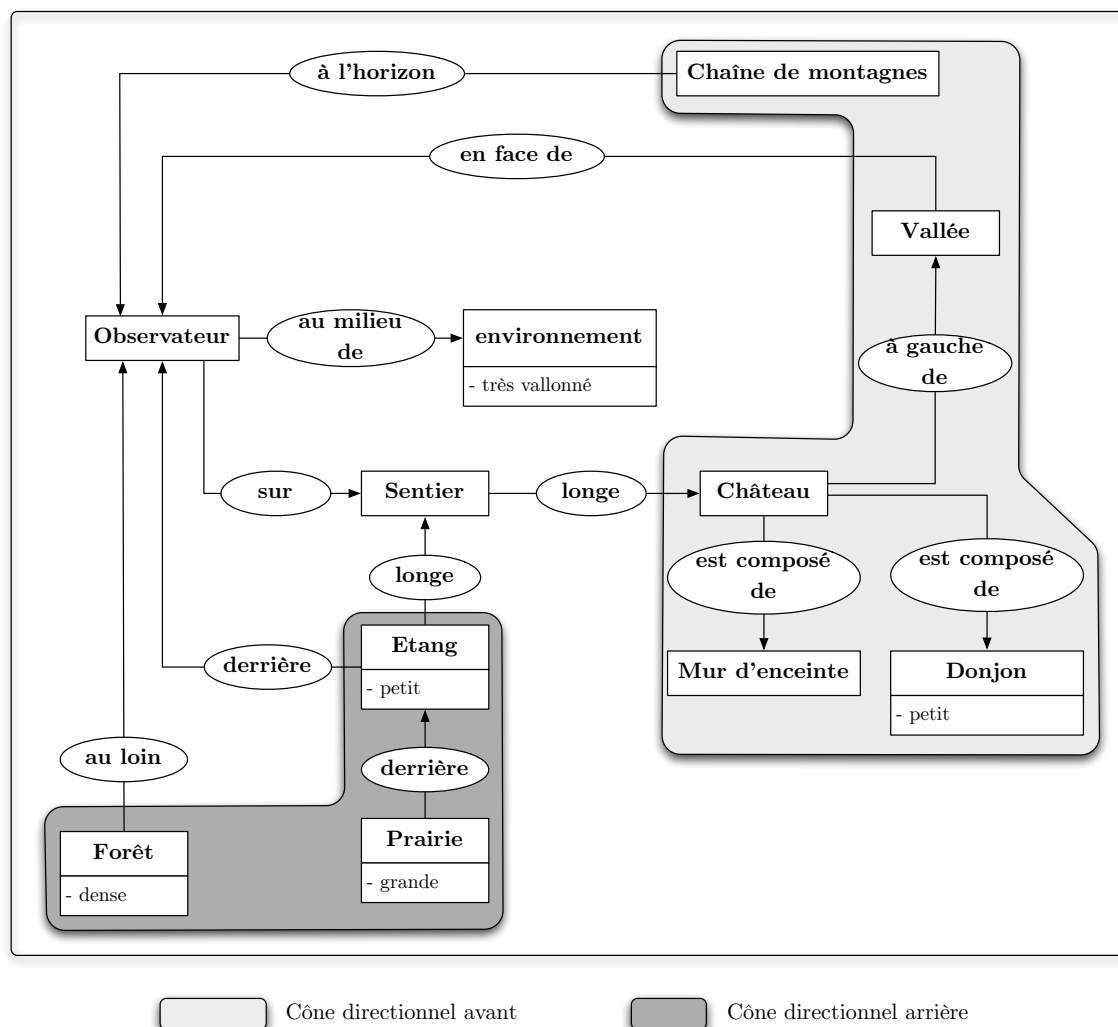


Figure II.12 – Vue d'une description verbale fondée sur les orientations

mettent de comparer la syntaxe et la sémantique employées pour décrire l'environnement. La carte conceptuelle n'illustre cependant pas la temporalité des unités lexicales de la description. Carte conceptuelle et représentation linguistique de la description sont donc des abstractions complémentaires lorsqu'il s'agit de comparer plusieurs descriptions entre elles. La carte conceptuelle constitue également un support pour la comparaison de la structure spatiale de paysages distincts. Elle est une représentation graphique issue de la perception égocentrique d'un environnement, à mi-chemin entre la rigueur de conception et de réalisation de la carte géographique et la souplesse des croquis réalisés à main-levée. Car si aucune règle formelle n'est imposée quant à la réalisation d'un croquis, il n'en est finalement pas de même lorsqu'il s'agit de positionner les entités de manière manuelle sur une carte conceptuelle : les

graphique utilisée.

II.4 Modèle de saillance pour la qualification de descriptions et de scènes environnementales

Si la carte conceptuelle fournit un support adéquat pour le positionnement d'entités, elle ne permet cependant pas de distinguer les entités saillantes des autres entités courantes et non caractéristiques de l'environnement perçu. Cette sélection est pourtant indispensable dans le cadre de la localisation d'un individu puisque tous les objets identifiés par l'observateur et spécifiés par la description verbale de ses environs n'ont pas le même degré de discrimination. Certains objets sont en effet remarquables compte tenu de leur position spatiale, et de la même manière certaines unités lexicales deviennent marquantes compte tenu de l'intérêt particulier que l'observateur leur porte en les décrivant.

Nous définissons donc par la suite une approche visant à caractériser quantitativement les entités majeures d'une description verbale et d'un environnement spatial. L'approche est contrainte par le contexte applicatif, à savoir la géo-localisation d'un individu à partir de la description de son environnement. La saillance correspond familièrement à la mise en relief d'un concept ou d'un ensemble de concepts qui se distinguent du contexte dans lequel ils sont immergés [Landragin, 2003, Carlson, 2008]. Un élément saillant s'impose donc à l'attention par ses propriétés perceptives, qu'elles soient visuelles, auditives ou olfactives. Le modèle de carte conceptuelle est ainsi enrichi par une approche identifiant les entités saillantes grâce à une analyse linguistique de la description qui évalue l'importance des unités lexicales, et une étude des propriétés spatiales de l'environnement qui quantifie le degré de prééminence spatiale des entités de la carte conceptuelle. L'approche illustre en particulier la richesse de l'information associée à chaque unité lexicale, mais aussi l'isolement spatial associé à l'objet physique correspondant. Elle est mise en œuvre à l'aide d'un algorithme de renforcement mutuel qui est adapté afin d'évaluer les scores de saillance linguistique et spatiale.

Le principe de renforcement mutuel a été initialement adopté par l'algorithme Hyperlink-Induced Topic Search (HITS) afin d'identifier les pages Web les plus pertinentes et correspondant à une requête spécifique [Kleinberg, 1998]. L'algorithme filtre un ensemble de pages Web correspondant à une requête spécifique et structuré selon un graphe, afin d'en faire émerger les pages qualifiées d'*autorités*, c'est-à-dire les plus pertinentes et représentatives du sujet. Le modèle HITS évalue les relations existant entre les *autorités* d'un sujet particulier, et les pages Web liées à de nombreuses *autorités* que l'on appelle les *concentrateurs* (« hubs » en anglais). Ces relations sont habituellement exprimées par des liens hypertextes qui permettent aux internautes de naviguer d'une page Web à une autre. Tout comme l'algorithme PageRank, HITS est un algorithme itératif qui interprète les liens entre les différentes pages Web afin de leur associer un score. À la différence peut-être qu'il ne propose pas un seul score, mais deux valeurs d'*autorité* et de *concentrateur* par page. Le principe de renforcement mutuel spécifie qu'une page Web devient une *autorité* importante lorsqu'elle est pointée par un grand nombre de *concentrateurs* ayant eux aussi un score important, et qu'un *concentrateur* devient important lorsqu'il pointe un grand nombre d'*autorités* importantes. L'ensemble permet d'identifier les *autorités* et *concentrateurs* ayant les plus hauts scores. Le score de l'*autorité* correspond à la somme des scores des *concentrateurs* pointant vers cette

page, et le score d'un *concentrateur* correspond à la somme des scores des *autorités* vers lesquelles il pointe (Alg. 1). Soit $\mathcal{G}$ l'ensemble des graphes illustrant une structure de pages Web, $G \in \mathcal{G}$ un graphe, v un nœud de G , q_j un nœud qui pointe vers v , n_q le nombre de nœuds qui pointent vers v , r_j un nœud pointé par v , n_r le nombre de nœuds pointés par v et k le nombre d'itérations.

$$\begin{aligned} \forall v, score_autorité(v, k=0) &= 1, score_hub(v, k=0) = 1. \\ \forall r_j, k \geq 1, score_autorité(r_j, k) &= \sum_{j=1}^{n_q} score_hub(q_j, k-1). \\ \forall q_j, k \geq 1, score_hub(q_j, k) &= \sum_{j=1}^{n_r} score_autorité(r_j, k). \end{aligned} \tag{II.10}$$

Algorithme 1 HITS

Entrées : G un graphe illustrant une structure de pages Web, v un nœud de G , q un nœud qui pointe vers v , r un nœud pointé par v et k le nombre d'itérations.

Sorties : Score_autorité, Score_hub

```

1: pour tout  $v \in G$  faire
2:   {Initialisation des scores}
3:    $Autorité(v, 0) \leftarrow 0$ 
4:    $Hub(v, 0) \leftarrow 0$ 
5: fin pour
6: pour  $i = 1$  à  $k$  faire
7:   {Calcul des scores des autorités}
8:   pour tout  $v \in G$  faire
9:     pour tout  $q \in G$  faire
10:       $Autorité(v, i) += Hub(q, i-1)$ 
11:    fin pour
12:    {Normalisation des scores}
13:     $Autorité(v, i) \leftarrow \frac{Autorité(v, i)}{Norme(Autorité(v, i))}$ 
14:  fin pour
15:  {Calcul des scores des concentrateurs}
16:  pour tout  $v \in G$  faire
17:    pour tout  $r \in G$  faire
18:       $Hub(v, i) += Autorité(r, i)$ 
19:    fin pour
20:    {Normalisation des scores}
21:     $Hub(v, i) \leftarrow \frac{Hub(v, i)}{Norme(Hub(v, i))}$ 
22:  fin pour
23:   $i \leftarrow i + 1$ 
24: fin pour

```

II.4.1 Saillance linguistique

Dans le domaine du Traitement Automatique du Langage (TAL), les récents travaux liés à la recherche automatique de textes ont largement traité les problèmes de saillance linguistique. Ils se sont attachés à interpréter le contenu formel et la sémantique des données à l'aide de méthodes d'évaluation des critères de récence et de répétition des termes [Pattabhiraman, 1992]. La *récence* est un critère pertinent lorsqu'il s'agit d'évaluer qualitativement ou quantitativement l'importance des termes d'un document textuel ou verbal. Le calcul de récence s'appuie sur le prédicat suivant : plus les unités lexicales du document sont récemment citées, plus elles sont saillantes [Hajicová, 1993, Mainwaring et al., 2003]. Ce critère de saillance syntactique est donc relatif à l'ordre d'apparition des unités lexicales dans chaque phrase. Un document est constitué d'une séquence d'unités lexicales caractérisées par leur position relative, et par conséquent d'un poids relatif à leur ordonnancement. Ainsi, un document $\mathcal{D}$ est couramment représenté par un vecteur d'unités lexicales tel que $\mathcal{D} = \{(e_0, w_0), (e_1, w_1), \dots, (e_n, w_n)\}$, où chaque e_k couplée à un poids w_k identifie quantitativement une unité lexicale du document $\mathcal{D}$ [Salton et Buckley, 1987]. La répétition fréquente d'une unité lexicale est aussi le signe que le locuteur souhaite mettre l'accent sur cette dernière. Le nombre d'occurrences d'une unité lexicale est donc un critère approprié pour la quantification de la saillance linguistique, et une unité lexicale régulièrement mentionnée devient plus saillante que les autres. Un score illustrant la fréquence de chaque unité lexicale u_k dans le document $\mathcal{D}$ leur est alors associé [Spärck, 1972]. Shalom Lappin propose de coupler ces critères de saillance linguistique afin de détecter les co-références et les anaphores. Le rôle grammatical de l'unité lexicale, sa fréquence de citation ainsi que la récence des phrases sont considérés et l'évaluation des scores de saillance est fondée sur plusieurs règles qui comparent la fonction syntaxique des unités lexicales [Lappin et Leass, 1994]. En marge de ces critères linguistiques, Joyce Y. Chai et Shaolin Qu évaluent des scores de saillance à partir d'une interprétation conjointe des gestes réalisés par le locuteur et de son discours [Chai et Qu, 2005]. L'approche qui est une mise en application de la théorie de la communication, considère que les gestes accentuent les notions introduites par la description [Grice, 1975] .

Certaines méthodes s'attachent également à interpréter les relations entre les phrases et les unités lexicales afin d'évaluer leur saillance pour produire de manière automatique une version condensée de la description. Elles se distinguent des approches traditionnelles en considérant cette fois la structure générale du corpus ou de la description. Hongyuan Zha propose d'utiliser un algorithme de renforcement mutuel pour évaluer les scores de saillance des unités lexicales et phrases d'un document [Zha, 2002]. L'intuition sous-jacente consiste à associer un score élevé à une unité lexicale qui apparaît dans un grand nombre de phrases saillantes, et parallèlement un score élevé à une phrase composée d'un grand nombre d'unités lexicales aux scores élevés. Autrement dit, l'objectif consiste à sélectionner les termes et phrases de la description les plus informatives possibles. La description est alors représentée par un graphe biparti et orienté pour lequel les nœuds représentent les phrases et les unités lexicales, et les arcs les relations de composition entre eux (Fig. II.14). Contrairement à l'algorithme HITS qui évalue doublement chaque nœud du graphe puisqu'il les considère comme étant à la fois une autorité et un concentrateur, une phrase est simplement évaluée par un score de concentrateur et une unité lexicale par un score d'autorité. De manière plus formelle, soit N le nombre de phrases d'une description, n_j le nombre d'unités lexicales e_i dans la phrase s_j et k l'index de l'itération.

$$\forall e_j, score_unité(e_j, k = 0) = 1, \forall s_i, score_phrase(s_i, k = 0) = 1. \quad (II.11)$$

$$\forall e_i, k \geq 1, score_unité(e_i, k) = \sum_{\substack{j=1 \\ s_j \ni e_i}}^N score_phrase(s_j, k - 1).$$

$$\forall s_i, k \geq 1, score_phrase(s_i, k) = \sum_{\substack{j=1 \\ e_j \in s_i}}^{n_j} score_unité(e_j, k).$$

Afin d'évaluer la saillance linguistique des unités lexicales, nous représentons la description verbale de l'observateur à l'aide d'un graphe biparti et orienté. Cette représentation de la description sous la forme d'un graphe correspond ni plus ni moins à une représentation partielle de la vue linguistique car seules les unités lexicales dont les entités associées sont positionnées dans la carte conceptuelle sont considérées. C'est la raison pour laquelle les phrases de la description qui ne font pas référence à des entités pertinentes de l'environnement ne sont pas représentées.

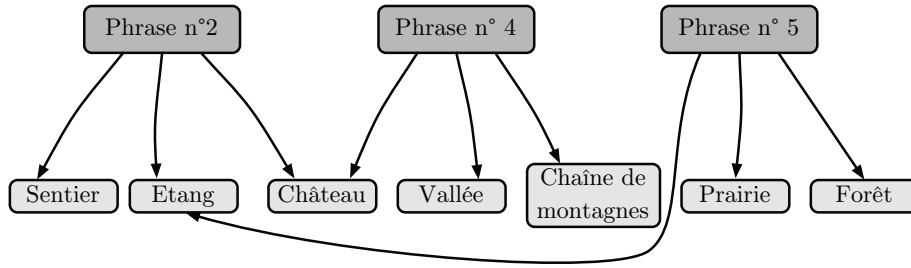


Figure II.14 – Saillance linguistique : graphe de la description verbale

Le contexte est corrélé à l'expression de la configuration spatiale puisque l'observateur est potentiellement désorienté et donc dans une situation stressante. L'individu va d'autant plus tenter d'être pertinent afin d'identifier les objets physiques saillants qui seraient susceptibles d'aider son interlocuteur à identifier sa position géographique. Nous considérons que la valeur informative d'une phrase courte de la description est supérieure à celle d'une phrase longue qui présente alors le défaut de « noyer » l'information. Autrement dit, le score de saillance d'une phrase composée de peu d'unités lexicales est supérieur à celui d'une phrase composée d'un nombre plus élevé d'unités lexicales. Une unité lexicale saillante est une unité qui apparaît dans un grand nombre de phrases, et une phrase saillante est une phrase qui contient un nombre réduit d'unités lexicales, mais dont les scores de saillance sont élevés. Par conséquent, plus il y a d'unités lexicales dans une phrase, plus le score de chaque unité est faible. Chaque phrase est généralement structurée autour de l'unité lexicale la plus saillante, et le score de chaque phrase est donc pondéré par le score de l'unité lexicale la plus saillante de ladite phrase. Nous évaluons la saillance linguistique par deux fonctions $score_ling_phrase(s_i, k)$ qui évalue le score linguistique de la phrase s_i , et $score_ling_unité(e_j, k)$ qui évalue le score linguistique de l'unité lexicale e_j . Soit N le nombre de phrases de la description verbale, n_j le nombre d'unités lexicales de la phrase s_j associées

à une entité de la carte conceptuelle et k le paramètre correspondant à l'index de l'itération.

$$\begin{aligned}
 \forall e_i, score_ling_unité(e_i, k = 0) &= 1, \forall s_i, score_ling_phrase(s_i, k = 0) = 1. & (II.12) \\
 \forall e_i, k \geq 1, score_ling_unité(e_i, k) &= \sum_{\substack{j=1 \\ s_j \ni e_i}}^N score_ling_phrase(s_j, k - 1). \\
 \forall s_i, k \geq 1, score_ling_phrase(s_i, k) &= \frac{1}{\sum_{\substack{j=1 \\ e_j \in s_i}}^{n_i} score_ling_unité(e_j, k)} * \max_{j=1}^{n_i} (score_ling_unité(e_j, k)).
 \end{aligned}$$

La situation dans laquelle la description verbale est exprimée amène l'observateur à être pertinent dans ses propos et à sélectionner les entités susceptibles de favoriser sa localisation. La description verbale est hiérarchisée de manière temporelle et les unités importantes sont initialement citées et spatialisées. L'ordre de citation des unités lexicales, et en particulier leur récence, constitue donc un critère de saillance. On considère que la récence de chaque unité lexicale décroît de manière exponentielle. Soit $index(e_i)$ l'index de l'unité lexicale e_i , M le nombre d'entités de la carte conceptuelle et $\lambda \in \mathbb{R}$ un paramètre d'amplification de la récence, alors $récence(e_i) = \exp^{-\lambda * \frac{M - index(e_i)}{M}}$. L'évaluation de la saillance linguistique résultante est donnée par la formule

$$\forall e_i, score_ling_unité(e_i, k) = \sum_{\substack{j=1 \\ s_j \ni e_i}}^N score_ling_phrase(s_j, k - 1) * récence(e_i).$$

Nous avons introduit un critère de saillance linguistique qui évalue l'importance des phrases et des unités lexicales d'une description. Le critère quantifiant les unités lexicales intègre l'influence de leur répétition dans différentes phrases. Le score (d'autorité) d'une unité lexicale correspond à la somme des scores des phases dans lesquelles elle est citée. Ainsi, plus une unité lexicale est citée dans des phrases différentes, plus son score est élevé (Alg 2).

II.4.2 Saillance spatiale

La saillance d'un objet physique est intrinsèquement liée au contexte environnemental dans lequel il est inclus [Edmonds, 1993]. La saillance visuelle ou spatiale d'un objet physique de l'environnement est notamment liée à sa position par rapport aux autres objets de l'environnement, c'est-à-dire son isolement ou son appartenance à un *groupe perceptuel*. Un *groupe perceptuel* correspond à une association d'objets qui sont spatialement proches ou à une classe d'objets physiques qui disposent de caractéristiques visuelles similaires. Ce type de saillance est directement lié à l'arrangement de l'espace visuel en groupes résultant de l'interprétation de la perception. Une entité isolée devient saillante lorsqu'elle se détache sensiblement des

Algorithme 2 Saillance linguistique

Entrées : G un graphe illustrant la structure de la description verbale, v un nœud du graphe G avec $Type(v) = Phrase$ ou $Type(v) = Unité$, q un nœud tel que $Type(q) = Phrase$ et qui pointe vers v , r un nœud tel que $Type(r) = Unité$ et qui est pointé par v , k le nombre d'itérations, M le nombre d'entités de la carte conceptuelle et $\lambda \in \mathbb{R}$.

Sorties : $Score_unité$, $Score_phrase$

```

1: pour tout  $v \in G$  tel que  $Type(v) = Unité$  faire
2:    $Score\_unité(v, 0) \leftarrow 1$ 
3: fin pour
4: pour tout  $v \in G$  tel que  $Type(v) = Phrase$  faire
5:    $Score\_phrase(v, 0) \leftarrow 1$ 
6: fin pour
7: pour  $i = 1$  à  $k$  faire
8:   {Calcul des scores des unités lexicales}
9:   pour tout  $v \in G$  tel que  $Type(v) = Unité$  faire
10:    {Initialisation du score à chaque début de phrase}
11:     $Somme \leftarrow 0$ 
12:    pour tout  $q \in G$  faire
13:       $Somme+ = Score\_phrase(q, i - 1)$ 
14:    fin pour
15:     $Récence \leftarrow \exp(-\lambda * \frac{M - index(v)}{M})$ 
16:     $Score\_unité(v, k) \leftarrow Somme * Récence$ 
17:  fin pour
18:  {Normalisation du score de l'entité}
19:  pour tout  $v \in G$  tels que  $Type(v) = Unité$  faire
20:     $Score\_unité(v, k) \leftarrow \frac{Score\_unité(v, k)}{\max(Score\_unité(v, k))}$ 
21:  fin pour
22:  {Calcul des scores des phrases}
23:  pour tout  $v \in G$  tels que  $Type(v) = Phrase$  faire
24:    {Initialisation du score à chaque début de phrase}
25:     $Somme \leftarrow 0$ 
26:    pour tout  $r \in G$  faire
27:       $Somme+ = Score\_unité(r, i - 1)$ 
28:    fin pour
29:     $Score\_phrase(v, k) \leftarrow \frac{1}{Somme} * \max(Score\_unité(r, k))$ 
30:  fin pour
31:  {Normalisation du score de la phrase}
32:  pour tout  $v \in G$  tel que  $Type(v) = Phrase$  faire
33:     $Score\_phrase(v, k) \leftarrow \frac{Score\_phrase(v, k)}{\max(Score\_phrase(v, k))}$ 
34:  fin pour
35:   $i \leftarrow i + 1$ 
36: fin pour

```

autres objets visibles de l'environnement qui appartiennent à un *groupe perceptuel*.

Nous considérons qu'une entité est particulièrement saillante lorsqu'elle est spatialement

isolée des autres entités de la carte conceptuelle. L'isolement spatial de l'entité est calculé de manière relative aux cônes directionnels. Afin d'évaluer la saillance spatiale des entités, la carte conceptuelle est partiellement représentée à l'aide d'un graphe biparti et orienté pour lequel les nœuds représentent les cônes directionnels et les unités lexicales, et les arcs, les relations de composition entre eux (Fig. II.15). Une entité est saillante lorsqu'elle apparaît dans un grand nombre de cônes, et un cône saillant est composé d'un nombre réduit d'entités, mais qui ont toutes un score de saillance élevé. Par conséquent, plus il y a d'entités dans le cône, plus le score de ces entités est faible. Puisque l'entité ayant le score le plus important a tendance à structurer l'ensemble du cône, le score de chaque cône est pondéré par le score de l'entité la plus saillante du cône.

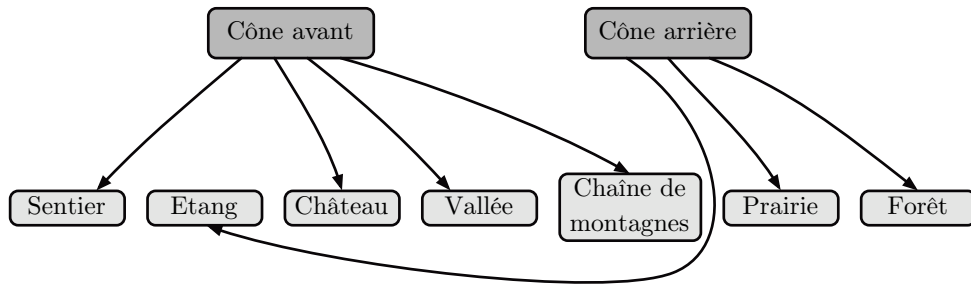


Figure II.15 – Saillance spatiale : graphe partiel de la carte conceptuelle

Nous évaluons la saillance spatiale par deux fonctions $score_spatial_cône(c_i, k)$ qui évalue le score spatial du cône c_i et $score_spatial_entité(e_j, k)$ qui évalue le score spatial de l'entité e_j . Soit N_c le nombre de cônes de la carte conceptuelle, n_j le nombre d'entités du cône c_j et k le paramètre correspondant à l'index de l'itération.

$$\forall c_i, score_spatial_cône(c_i, 0) = 1, \forall e_i, score_spatial_entité(e_i, 0) = 1. \quad (II.13)$$

$$\forall e_i, k \geq 1, score_spatial_entité(e_i, k) = \sum_{\substack{j=1 \\ c_j \ni e_i}}^{N_c} score_spatial_cône(c_j, k-1).$$

$$\forall c_i, k \geq 1, score_spatial_cône(c_i, k) = \frac{1}{\sum_{\substack{j=1 \\ e_j \in c_i}}^{n_i} score_spatial_entité(e_j, k)} * \max_{j=1}^{n_i} (score_spatial_entité(e_j, k)).$$

L'approche est aussi applicable aux entités situées dans des espaces de proximité, et l'algorithme est alors enrichi par le fait qu'un espace de proximité saillant contient un nombre réduit d'entités, mais qui ont toutes un score de saillance élevé. La fonction $score_spatial_espace(esp_i, k)$ évalue le score de saillance de l'espace esp_i , et $score_spatial_entité(e_j, k)$ évalue le score spatial de l'entité e_j . Soit N_{esp} le nombre d'espaces de la carte conceptuelle, n_j le nombre d'entités de l'espace esp_j et k le paramètre correspondant à l'index de l'itération.

$$\begin{aligned}
 \forall c_i, score_spatial_espace(esp_i, 0) &= 1, \forall e_i, score_spatial_entité(e_i, 0) = 1. \quad (II.14) \\
 \forall e_i, k \geq 1, score_spatial_entité(e_i, k) &= \sum_{\substack{j=1 \\ esp_j \ni e_i}}^{N_{esp}} score_spatial_espace(esp_j, k-1). \\
 \forall c_i, k \geq 1, score_spatial_espace(esp_i, k) &= \\
 &\frac{1}{\sum_{\substack{j=1 \\ e_j \in esp_i}}^{n_i} score_spatial_entité(e_j, k)} * \max_{j=1}^{n_i} (score_spatial_entité(e_j, k)).
 \end{aligned}$$

II.4.3 Résultats expérimentaux

Description d'un environnement champêtre (Exemple 1)

Considérons l'exemple d'une description illustrée par la photographie panoramique II.16 : « Je suis complètement perdu au beau milieu d'un environnement très vallonné. Je me situe sur un sentier qui longe un château et un petit étang. Le château qui est composé d'un mur d'enceinte et d'un petit donjon est réellement majestueux. Il y a juste en face de moi une petite vallée avec le château sur sa gauche, et à l'horizon, je distingue une chaîne de montagnes. Juste derrière moi, il y a l'étang, puis une large prairie derrière, et au loin une forêt dense ».



Figure II.16 – Photographie panoramique d'un environnement champêtre - Exemple 1

La figure II.17 fournit les scores de saillance des unités lexicales évaluées par l'algorithme analogue à HITS et pour lequel une unité lexicale saillante est une unité lexicale qui apparaît dans un nombre important de phrases, et une phrase saillante est une phrase qui contient de nombreuses unités lexicales saillantes. Les unités lexicales « Étang » et « Château » ont les scores les plus élevés de la description puisqu'elles sont citées plusieurs fois dans différentes phrases. Elles constituent ainsi des références pour les autres unités dont le score est évalué relativement à ces premières. La seconde phrase contient ces deux unités « Étang » et « Château » et profite donc de leur score de saillance important. Par ricochet, l'unité « Sentier » profite elle-même du score de saillance de la seconde phrase. Au final, les autres unités lexicales de la description ne sont citées qu'une seule fois et obtiennent un faible score.

La figure II.18a illustre l'évolution de notre algorithme de saillance évaluant les unités lexicales. Cet algorithme illustre le fait qu'« une unité lexicale saillante est une unité qui apparaît dans un grand nombre de phrases saillantes, et qu'une phrase saillante est une phrase composée d'un nombre réduit d'unités lexicales, mais qui ont toutes un score de saillance élevé ». Il apparaît que les unités lexicales « Étang » et « Château » sont une fois de plus les plus saillantes de la description (score de 100%). Le score de la seconde phrase est le plus faible puisqu'elle est composée de plusieurs unités lexicales saillantes (« Étang » et

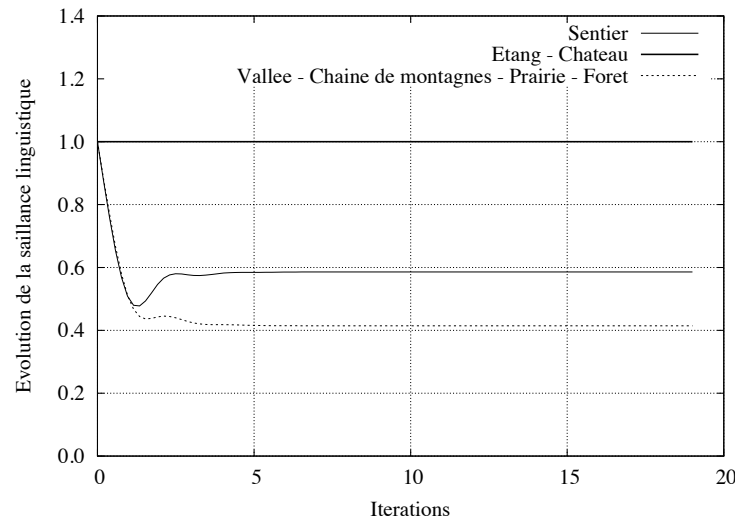


Figure II.17 – Évolution du score des unités lexicales (HITS), $\lambda = 0$ - Exemple 1

« Château »), en comparaison des quatrième et cinquième phrases qui ne sont composées que d'une seule unité relativement saillante (« Château » pour la quatrième et « Étang » pour la cinquième phrase) (Fig. II.18b). Compte tenu du faible score de la seconde phrase, l'unité lexicale « Sentier » n'obtient pas un score important, mais bien au contraire le plus faible.

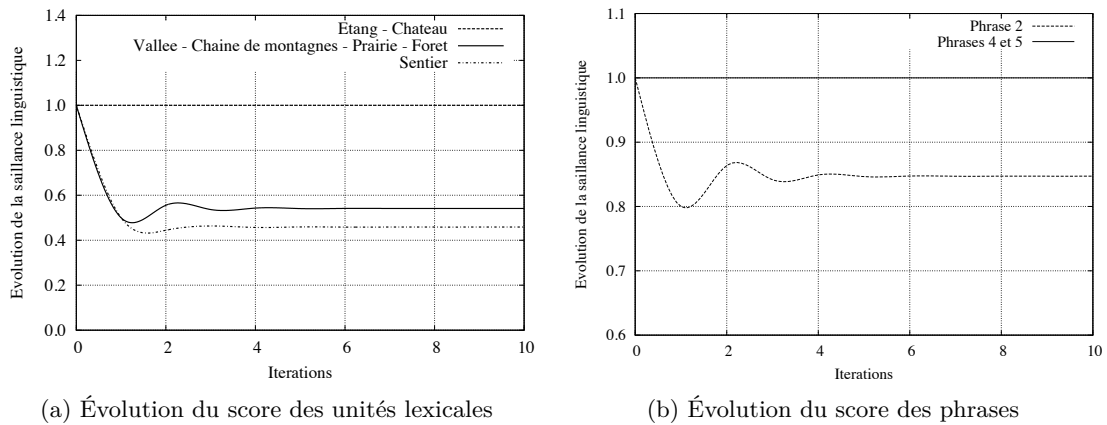


Figure II.18 – Évolution du score de saillance des unités et des phrases, $\lambda = 0$ - Exemple 1

La saillance spatiale d'une entité est dépendante de son isolement spatial dans un cône directionnel, c'est-à-dire qu' « une entité est saillante lorsqu'elle apparaît dans un grand nombre de cônes, et un cône saillant est composé d'un nombre réduit d'entités, mais qui ont toutes un score de saillance élevé ». Le cône *Avant* qui contient le plus d'entités est donc le moins saillant (Fig. II.19b) et l'évolution de la saillance des entités composant ces cônes est largement dépendante de ce résultat (Fig. II.19a).

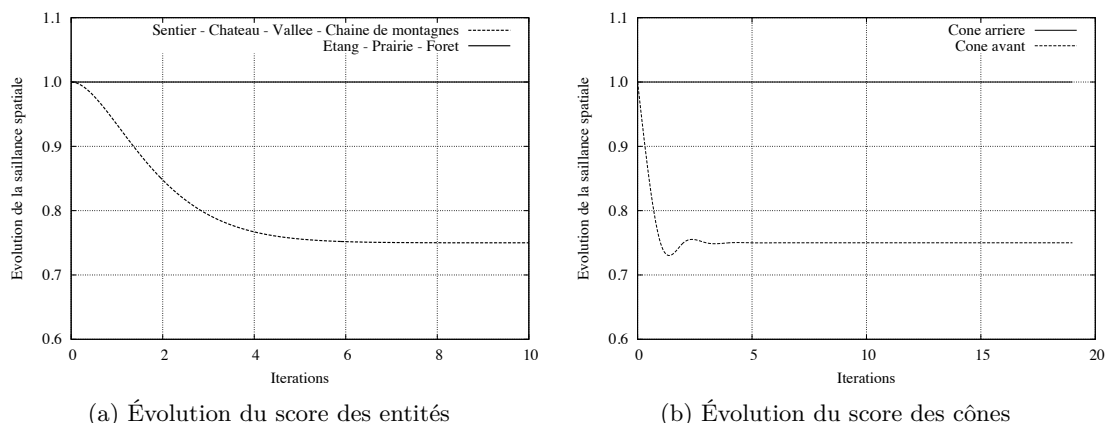


Figure II.19 – Évolution du score de saillance des entités et des cônes directionnels - Exemple 1

Description d'un environnement maritime (Exemple 2)

Considérons désormais la description verbale d'un environnement naturel à la structure spatiale plus complexe (Fig. II.20) : « Je suis sur une falaise au dessus d'une plage. Juste en face de moi, il y a une péninsule avec un bâtiment blanc tout au bout. Je n'en suis pas sûr, mais ce bâtiment ressemble à un sémaphore. Juste à côté de moi, sur ma droite, il y a plusieurs blockhaus et deux maisons plutôt anciennes à droite des blockhaus. Sur ma gauche, il y a plusieurs immenses ancres qui délimitent un sentier côtier amenant à un autre blockhaus. Sur la droite de la falaise, il y a une autre péninsule sur laquelle est positionnée une Croix de Lorraine. Derrière moi, il y a l'Océan ». L'entité « Plage » n'est liée à aucun cône directionnel car l'interprétation de la description verbale ne permettait pas de lui en associer un.

La figure II.21 illustre l'évolution des scores des unités lexicales et des phrases par l'algorithme HITS. Le score de chaque unité lexicale est dépendant du score de leurs phrases puisque plus il y a d'entités dans une phrase, plus leur score augmente. L'unité lexicale ayant le score le plus élevé est la « Falaise » (100%) puisqu'elle est la seule unité citée deux fois dans des phrases ayant par conséquent elles aussi des scores élevés (respectivement 62% pour la première phrase et 100% pour la sixième). De manière consécutive, les unités lexicales « Péninsule (11) » et « Croix de Lorraine » de la sixième phrase profitent elles aussi du score élevé de leur phrase. Les autres phrases de la description sont composées d'un nombre réduit d'unités lexicales (une ou deux), ou sont relativement peu saillantes puisqu'elles atteignent des scores proches de 2%. C'est la raison pour laquelle l'algorithme identifie les autres unités lexicales de la description comme étant elles aussi relativement peu saillantes.

Les figures II.23a et II.23b illustrent l'évolution des scores de la saillance linguistique. Nous considérons que la valeur informative d'une phrase courte est supérieure à celle d'une phrase longue qui présente le défaut de « noyer » l'information. La septième phrase de la description obtient donc un score de 100% puisque c'est la seule phrase composée d'une unique unité lexicale « Océan » dont le score est de 75%. L'unité lexicale la plus saillante est « Bâtiment (4) » qui est citée deux fois dans des phrases relativement courtes. En comparaison de son évaluation précédente avec l'algorithme HITS, le score de l'unité lexicale « Falaise » faiblit légèrement (53%) puisqu'elle est citée dans une phrase contenant peu d'unités lexicales

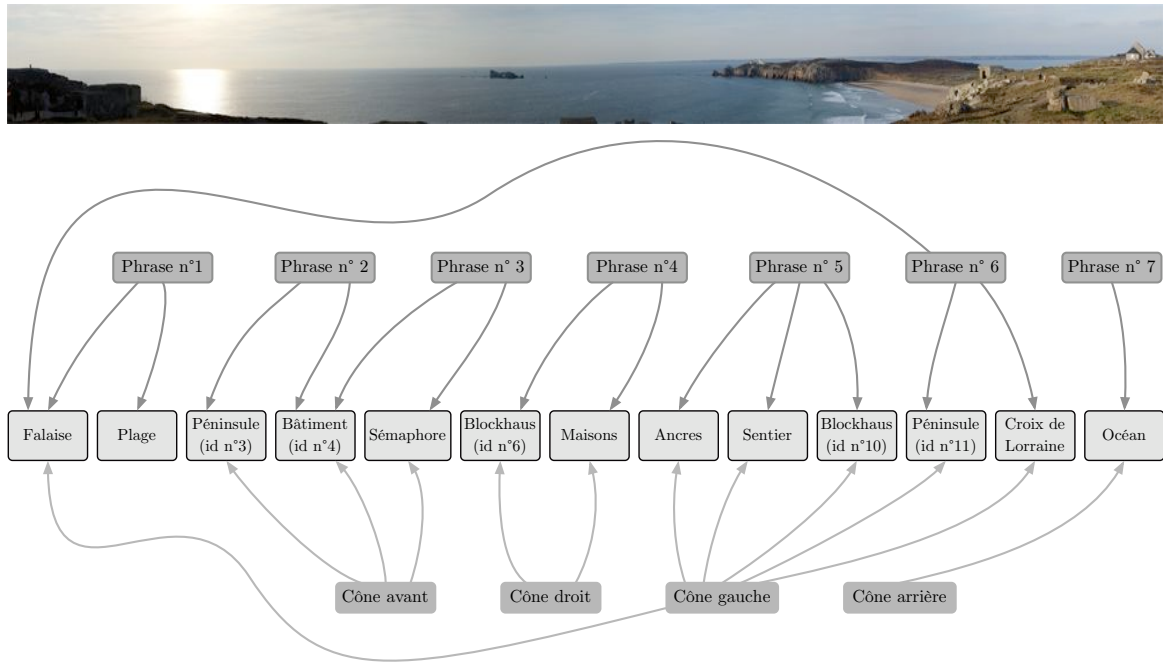


Figure II.20 – Panorama et représentation de la description d'un environnement maritime

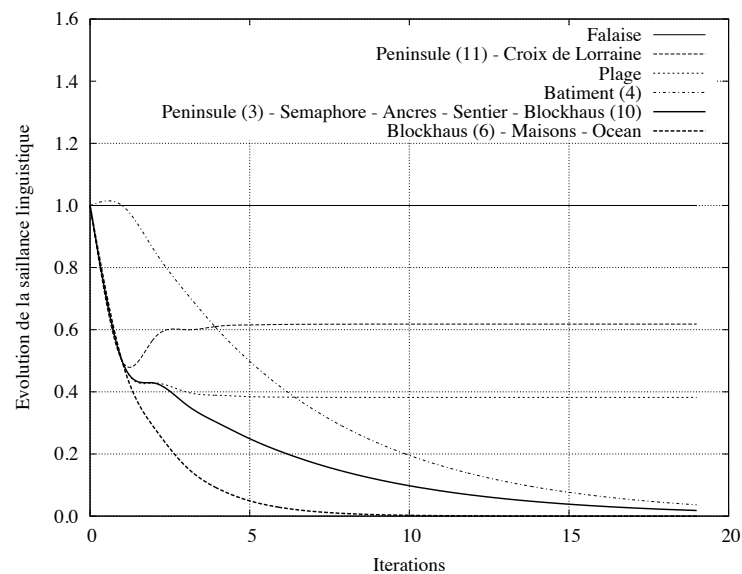


Figure II.21 – Évolution du score des unités lexicales (HITS), $\lambda = 0$ - Exemple 2

saillantes. Enfin, le score des unités lexicales « Ancres », « Sentier » et « Blockhaus (10) » est de 25% en raison du score relativement faible de leur phrase (33%), en comparaison des scores d'autres phrases qui sont supérieures à 60%.

Le cône directionnel le plus saillant est situé derrière l'observateur (100 %) puisqu'il ne contient qu'une seule entité qui est ainsi relativement isolée des autres entités de la carte

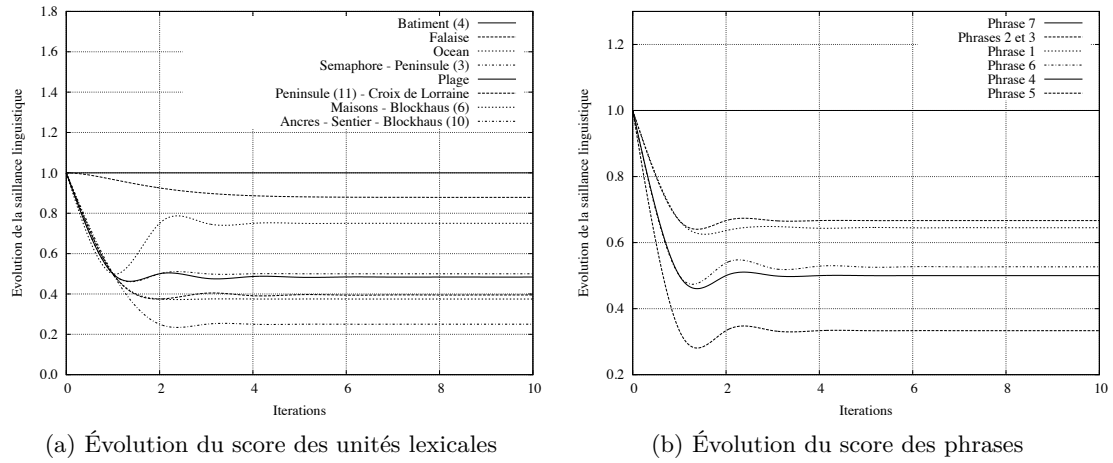


Figure II.22 – Évolution du score de saillance des unités et des phrases, $\lambda = 0$ - Exemple 2

conceptuelle (Fig. II.23). Le cône *Droit* qui est composé de deux entités obtient un score de 50%, le cône *Avant* qui contient trois entités un score de 33%, et enfin le cône *Gauche* qui est composé de quatre entités, un score de 16%.

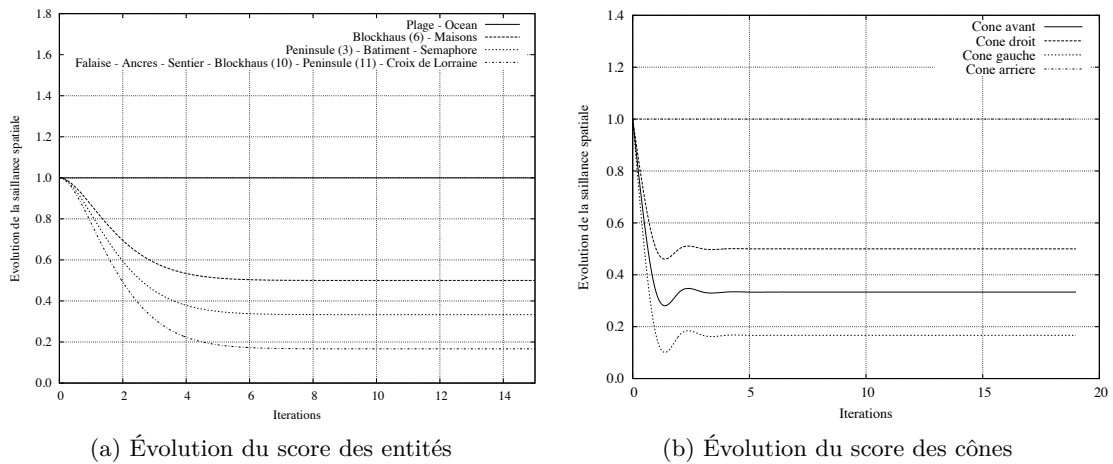


Figure II.23 – Évolution du score de saillance des entités et des cônes directionnels - Exemple 2

Nous avons défini deux critères complémentaires pour l'évaluation de la saillance. Le critère de saillance linguistique identifie les unités lexicales et les phrases majeures de la description verbale, alors que le critère de saillance spatiale quantifie les entités, les cônes et les espaces saillants de la carte conceptuelle. Que ce soit au niveau linguistique ou spatial, l'approche fait émerger un ordonnancement des unités lexicales et des entités conceptuelles qui est utilisé au cours du chapitre III afin de hiérarchiser les contraintes liées au processus de géo-positionnement de l'individu.

II.5 Validation du modèle

II.5.1 Développement du prototype

Les principes et possibilités offerts par le modèle de *carte conceptuelle* sont illustrés par un prototype réalisé à l'aide du langage Java. Le système considère en entrée une description spatiale formalisée à l'aide du langage XML (Extensible Markup Language) que l'on suppose être issue d'une analyse syntaxique réalisée par l'outil Syntex. Cette description est analysée, et les entités et relations qui composent la carte conceptuelle sont affichées au moyen d'une interface graphique. Cette interface permet à l'interlocuteur d'interagir avec la représentation de la scène environnementale et éventuellement de raffiner la position des entités voire d'en ajouter d'autres (Fig. II.24).

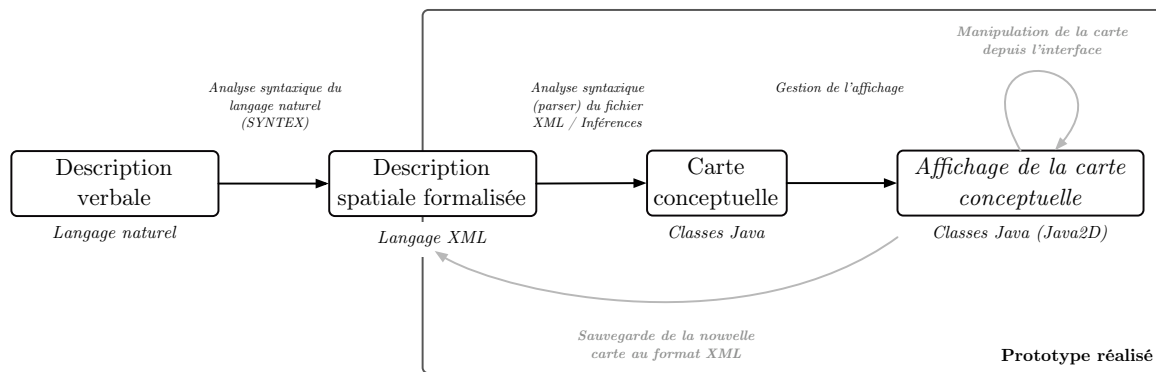


Figure II.24 – Principe de réalisation du prototype de carte conceptuelle

La description de la scène environnementale est représentée à l'aide d'une structure XML qui permet de stocker les données sous la forme de champs arborescents. L'exemple ci-après illustre la phrase « Je suis sur un sentier qui longe un superbe château ». Certaines balises sont vides, notamment **attribute** qui permet de qualifier une entité, **space** qui identifie le(s) espace(s) de proximité associé(s) à l'entité et **cone** qui correspond au(x) cône(s) directionnel(s).

```

<?xml version = "1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<scene>
  <entity id = "0" name = "Observateur">
    <attribute></attribute>
    <space></space>
    <cone></cone>
  </entity>
  <entity id = "1" name = "Sentier">
    <attribute></attribute>
    <space></space>
    <cone></cone>
  </entity>
  <entity id = "2" name = "Château">
    <attribute>superbe</attribute>
    <space></space>
    <cone></cone>
  </entity>
  <sentence id = "0">
    <relation id = "0" source_id = "0" target_id = "1" keyword = "Sur">

```

```

        <category>Topologique</category>
    </relation>
    <relation id = "1" source_id = "2" target_id = "2" keyword = "Longe">
        <category>Topologique</category>
    </relation>
</sentence>
</scene>

```

L'interface de programmation SAX (Simple API for XML) lit et traite la structure XML pour pouvoir initialiser puis intégrer les entités, relations, phrases et cônes directionnels de la scène environnementale. Un système de règles déduit les valeurs des attributs incomplets à partir de l'interprétation des données existantes ou propose un positionnement éventuel des entités :

- un nouveau cône directionnel est créé lorsqu'une relation d'orientation lie l'observateur à une autre entité ou à un groupe d'entités. Si l'observateur indique par exemple qu'« un château est sur sa droite » et qu'aucun cône directionnel « Droite » n'a été préalablement créé, le cône « Droite » composé de l'entité « Château » est initialisé ;
- lorsqu'une relation topologique de type « Contient » lie deux entités, les attributs relatifs à l'espace de proximité et au cône directionnel de l'entité de référence sont automatiquement associés à l'entité cible. De la même manière, si une relation topologique de type « Couvre » lie l'observateur à une entité ou à un groupe d'entités, ces dernières sont automatiquement associées à l'*espace du corps*.

L'interface graphique est composée de deux panneaux respectivement dédiés à l'affichage de la carte conceptuelle et aux caractéristiques du composant sélectionné par l'interlocuteur (Fig. II.25)⁶. La carte conceptuelle illustre le positionnement des entités et des relations spatiales entre ces entités. Si le positionnement proposé par le système n'est pas opportun, l'interlocuteur peut interagir avec la représentation de la carte conceptuelle, et éventuellement corriger la position des entités. Le prototype est réalisé à l'aide d'une architecture modèle-vue-contrôleur qui facilite la mise-à-jour de l'apparence visuelle de l'application ou des règles logiques, tout en vérifiant la cohérence du positionnement des entités [Champenois, 2009]. Ainsi la modification de la position ou de l'extension spatiale d'une entité depuis l'interface entraîne une modification automatique de ses propriétés sans que l'opération n'ait nécessité de quelconque « recompilation ». Chaque modification de la carte conceptuelle depuis l'interface entraîne une modification des valeurs des champs de la structure XML et la carte modifiée peut être rechargée *a posteriori* dans le système.

L'interlocuteur peut ainsi adapter la scène environnementale de manière interactive, et notamment affiner le positionnement ou l'extension spatiale des entités composant la scène environnementale. Si l'observateur enrichit sa description en détaillant par exemple la position de nouveaux objets, l'interlocuteur peut alors intégrer ces nouvelles entités, relations et cônes directionnels à la scène environnementale.

6. Une version allégée du prototype est disponible à l'adresse <http://experimentation.yaou.org/prototype/modelisation.jnlp>

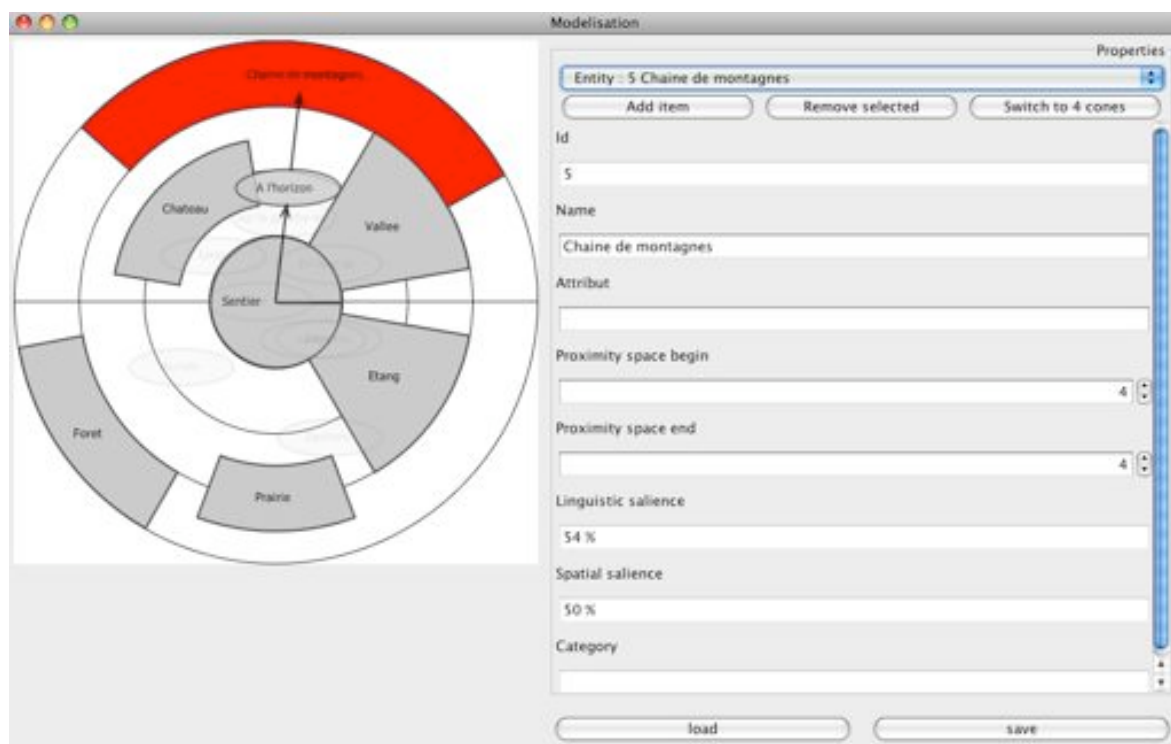


Figure II.25 – Prototype : visualisation et manipulation d’une scène environnementale

II.5.2 Protocole de validation

La validation expérimentale évalue l’interprétation d’une configuration spatiale exprimée par une description verbale. Dans un second temps, l’utilisabilité d’un prototype représentant une carte conceptuelle est appréciée. L’utilisabilité d’un système est évaluée par l’*efficacité*, c’est-à-dire sa capacité à atteindre le résultat escompté ; son *efficience* qui tend à apprécier l’effort et le temps requis pour atteindre le résultat ; et la *satisfaction*, c’est-à-dire le confort et l’évaluation subjective de l’interaction⁷.

Dix-huit personnes ont accepté de participer à ce protocole de validation. Les participants qui sont âgés de 21 à 55 ans sont principalement sélectionnés en fonction de leur aisance à manipuler de l’information spatiale. Ainsi, 36% des participants disent pratiquer régulièrement une activité nécessitant un repérage dans un environnement peu connu voire inconnu (par exemple de la course d’orientation, de la randonnée, de l’« air-soft » ou de la voile par une navigation à l’estime⁸). Si 64% des participants avouent au contraire ne pas pratiquer de manière régulière une telle activité et ne souhaitent pas être considérés comme des experts dans la manipulation de l’information spatiale, tous arrivent à se repérer plus ou moins bien dans un espace quelconque. Quoi qu’il en soit, un tel panel nous permet de confronter notre modèle à différents niveaux d’expertise et de connaissance du domaine.

7. L’utilisabilité est définie par la norme ISO 9241.

8. La navigation à l’estime permet de déduire la position d’un voilier, de sa route et de la distance parcourue depuis sa dernière position connue. Traditionnellement, cette méthode repose sur les instruments mesurant son cap, sa vitesse et le temps ainsi que l’estimation de l’influence de l’environnement sur son avancée.

Le test est composé de deux étapes distinctes, l'une dédiée à la validation du modèle, l'autre à la validation du prototype (Annexe B.1). Plusieurs descriptions d'environnements semi-naturels sont fournies aux participants qui n'ont pas connaissance des lieux précis à partir desquels ces descriptions sont générées. Certaines descriptions sont précises et relativement bien structurées. Le positionnement des entités composant l'espace est alors exprimé cône par cône, et les imprécisions liées à l'ordonnancement relatif des entités sont volontairement limitées. La description est alors élaborée de la manière la plus claire possible puisque l'observateur ne se perd pas en détails inutiles pour le positionnement ou l'identification des entités (Description 1). D'autres descriptions sont au contraire volontairement ambiguës, et le positionnement des entités devient alors un exercice plus ou moins subjectif et soumis à l'interprétation de l'interlocuteur. Ces dernières descriptions expriment la position des objets en manipulant plusieurs types de référentiels, et les distances sont parfois même exprimées de manière quantitative (Descriptions 2 et 3). Les descriptions verbales manipulées dans le cadre du protocole de validation du modèle correspondent à un panel qui se veut représentatif des descriptions verbales collectées dans le cadre de l'expérimentation (Sec. II.2), et elles intègrent ainsi leurs principales caractéristiques.

Chaque participant est tout d'abord invité à se familiariser avec le modèle de carte conceptuelle composé d'espaces de proximité et de cônes directionnels. Deux cartes conceptuelles vides sont jointes à chaque description du test, l'une composée de deux cônes directionnels, l'autre de quatre. Une fois la description lue, la tâche du participant consiste à sélectionner un des deux supports (soit celui composé de deux cônes, soit celui composé de quatre cônes) puis à positionner les entités et ainsi à construire la carte conceptuelle. Lorsque le participant est indécis quant à la position d'une entité, il peut détailler la question qu'il souhaiterait poser à l'observateur afin d'en préciser le positionnement. Aucune indication ou réponse ne lui est cependant apportée. Une fois les descriptions « spatialisées » sur le papier, les participants sont invités à manipuler et évaluer de manière qualitative le prototype correspondant. Ce sont en particulier les facilités de manipulation de l'interface lors de la création de nouvelles entités et de relations spatiales ou du positionnement d'entités qui sont testées. Les participants qui le souhaitent sont par la suite invités à découvrir les photographies panoramiques correspondant aux descriptions proposées.

La compilation des résultats relatifs à la manipulation d'une carte conceptuelle montre que la représentation graphique résultante est correctement interprétée (Annexe B.2). Si certains participants (42%) notent la corrélation éventuelle entre la description verbale et le choix de l'utilisation d'une structure composée de deux ou quatre cônes, la plupart choisissent de manipuler la structure *Avant – Arrière – Gauche – Droite* indépendamment du contenu de la description. Les participants justifient leur choix en considérant que cette structure est plus « précise » et permet de distinguer un plus grand nombre de configurations. Pour d'autres, ce choix est la conséquence de l'utilisation de relations « gauche » et « droite » et ce, quel que soit l'élément de référence (l'observateur ou un objet de la scène) manipulé. Ainsi, la première description caractérise l'environnement à l'aide des relations *Avant – Arrière* relatives à l'observateur, mais 50% des participants choisissent cependant de manipuler la structure composée de quatre cônes et 8% préfèrent ne pas répondre à cette question.

Les participants placent tout d'abord les entités dont le positionnement est exprimé à l'aide d'un repère égocentrique. L'origine du référentiel correspond alors à la position de l'observateur, et au mode de représentation favorisé par la carte conceptuelle. L'utilisation du

référentiel intrinsèque, c'est-à-dire d'un référentiel indépendant de la position de l'observateur et relatif aux côtés intrinsèques d'un objet, perturbe au contraire les participants. L'observateur évoque par exemple le cas d'une ligne haute tension située « à gauche de l'habitation » sans préciser l'orientation relative de l'entrée principale (troisième description). Cette expression spatiale est ambiguë puisque 21% des participants considèrent d'ailleurs que la position de la ligne est exprimée de manière relative à la position de l'observateur. Lorsque la position est incertaine, certains choisissent de ne pas positionner les entités, alors que d'autres indiquent l'incertitude ou le placement aléatoire par des signes distinctifs tels que les points d'interrogation.

Les participants favorisent les entités qui tendent à structurer l'espace, par exemple un sentier segmentant la scène en deux demi-plans. La difficulté de l'exercice est accrue lorsque les distances sont exprimées par des données quantitatives, par exemple « [Il y a un sémaphore] à environ 500 mètres ». Les participants notent qu'il est quasiment impossible d'associer un espace de proximité au sémaphore avec cette unique précision. L'interlocuteur doit disposer d'une visualisation plus globale de la scène afin de pouvoir interpréter des valeurs quantitatives. 14% des participants remarquent que certains objets décrits ne sont pas pertinents pour l'application (par exemple « le sentier » ou « la ligne haute tension »), et ne les positionnent pas sur la carte conceptuelle⁹. Enfin, d'autres remarquent que l'observateur ne prend pas systématiquement le temps de décrire les caractéristiques discriminantes des objets qu'il perçoit. L'évaluation de ces caractéristiques pourraient pourtant faciliter son géo-positionnement. L'observateur identifie par exemple une bouée qui « semble être une cardinale mais il n'en est pas sûr ».

En conclusion, le positionnement d'entités géographiques sur une représentation égocentrique de l'espace semble intuitif. Les distances et les orientations relatives sont correctement appréhendées à l'aide des espaces de proximité et des cônes directionnels. La difficulté réside parfois dans l'interprétation de la configuration spatiale exprimée par la description. L'ambiguïté inhérente au langage naturel ne permet pas toujours de placer de manière satisfaisante les entités. Un *dialogue* entre l'observateur et l'interlocuteur permettrait de répondre aux imprécisions de la description initiale. Enfin, le dialogue apporterait une réponse aux ambiguïtés liées à l'interprétation d'une configuration spatiale exprimée à l'aide du langage naturel.

L'utilisabilité du prototype est enfin évaluée. Le prototype est disponible sur l'Internet et l'application peut être déployée à partir d'un simple navigateur Web. Les diverses versions de Java installées sur les ordinateurs des participants sont cependant parfois incompatibles avec le déploiement de l'application, et seuls huit participants achèvent cette étape. Les participants remarquent que l'interface du prototype est similaire au modèle de carte conceptuelle. Ils précisent que l'ajout d'une nouvelle entité ou d'une relation spatiale n'est pas intuitif. Ce processus pourrait être accompagné d'indications afin de guider l'utilisateur. Enfin, les participants sont parfois troublés car certaines entités et relations spatiales de l'interface sont transparentes. Ceci correspond à la solution adoptée afin de ne pas surcharger l'interface. Les concepts sélectionnés (ou associés à une sélection particulière) sont mis en relief, alors que les autres sont placés en arrière-plan.

9. Ce choix est discutable et issu de leur propre interprétation.

II.6 Conclusion

Sabin Timpf souligne que les systèmes d'information géographique sont fréquemment critiqués pour leur inadéquation avec les besoins de l'utilisateur et leur manque d'adaptation au langage naturel [Timpf, 2002]. Ces systèmes s'attachent notamment à traiter des quantités de données de plus en plus importantes et à proposer des services de « recherche et de recommandation » de plus en plus performants. Leur mise en œuvre est réalisée au travers d'interfaces de plus en plus complexes intégrant parfois une visualisation tridimensionnelle de la scène ou une utilisation de supports multimodaux. Ces développements semblent cependant aller à l'encontre des principes cognitifs de l'utilisateur. Yunhui Wu et Stephan Winter suggèrent que la recherche et le développement en la matière nécessitent un changement radical de perspective [Wu et Winter, 2008, Winter et Wu, 2009].

Nos travaux de recherche s'intègrent à ce changement de perspective souhaité par la communauté des Sciences de l'Information Géographique. À notre connaissance, peu de travaux se sont intéressés à la manière dont un environnement autre qu'urbain est perçu par un individu. Nous proposons donc un modèle fondé sur la perception égocentrique d'un environnement naturel dont l'expression au travers du langage naturel exprime les caractéristiques majeures de la représentation cognitive résultante. Plusieurs vues traduisent la description linguistique d'une scène environnementale en une représentation spatiale abstraite, et répondent aux principes cognitifs liés à la perception.

La *représentation linguistique* modélise la description verbale sous la forme d'entités et de relations qui sont ordonnées temporellement. Cette représentation supporte notamment la comparaison de plusieurs descriptions d'un même paysage. La *carte conceptuelle* est une représentation abstraite qui permet de « spatialiser » les objets perçus, à mi-chemin entre un croquis réalisé à main levée et une carte géographique conventionnelle. Elle est structurée en *espaces de proximité* et en *cônes directionnels* qui définissent les distances et orientations de manière relative à la position de l'observateur. Une carte conceptuelle est appropriée pour comparer plusieurs scènes environnementales ou conceptualiser un environnement résultant de descriptions verbales multiples. Dans ce dernier cas, *vue linguistique* et *carte conceptuelle* sont donc complémentaires. Cette « spatialisation » des entités au moyen de la carte conceptuelle ne permet cependant pas de distinguer les entités saillantes des autres entités courantes et non caractéristiques de l'environnement perçu. Cette sélection est pourtant indispensable dans le cadre du géo-positionnement d'un individu puisque tous les objets identifiés par l'observateur et spécifiés par la description verbale de ses environs n'ont pas le même degré de discrimination. Le modèle de *carte conceptuelle* est donc enrichi par des critères caractérisant à la fois la saillance linguistique des phrases et des unités lexicales de la description, et la saillance spatiale suggérée par la manipulation des cônes directionnels, des espaces de proximité et des entités les composants.

Les objets manufacturés tels qu'une éolienne, un bâtiment ou même un pont se distinguent d'un environnement naturel par leur nature ontologique. Un critère de saillance fondé sur la nature ontologique des entités de la carte conceptuelle pourrait ainsi être intégré à l'approche de saillance. Le modèle de carte conceptuelle pourrait de la même manière être couplé à un système à base de règles d'inférences qui permettrait de vérifier la cohérence de la spatialisation des entités [Ligozat, 2004, Le Ber et al., 2007] et la cohérence de cette

spatialisation avec la description verbale fournie par l'observateur. Enfin, ce modèle n'est actuellement expérimenté que dans le cadre d'environnements naturels mais il pourrait être adapté à une configuration urbaine. L'approche pourrait en effet être mise en œuvre dans le cadre de la description d'un lieu touristique réputé à l'aide d'un audio-guide, à laquelle serait alors couplée sa représentation graphique. Une carte conceptuelle pourrait enfin être corrélée à un mécanisme de détection quantitatif des objets et des plans d'une photographie, et ce modèle serait alors adapté à l'annotation automatique de photographies.

Géo-positionnement d'un individu à partir d'une description environnementale

Sommaire

III.1 Sémantique de l'observateur et de la carte	81
III.2 Approche fondée sur la visibilité des objets	84
III.3 Interprétations des relations spatiales	87
III.3.1 Contexte de développement d'un système d'aide à la décision	87
III.3.2 Contrainte 1 : Entités aux relations d'orientation opposées par rapport à l'observateur	90
III.3.3 Contrainte 2 : Entités aux orientations identiques par rapport à l'observateur	93
III.3.4 Contrainte 3 : Distance entre des entités aux orientations identiques par rapport à l'observateur	94
III.3.5 Contrainte 4 : Orientations relatives entre deux entités	96
III.3.6 Exemple applicatif	97
III.4 Conclusion	98

DURANT la dernière décennie, les systèmes informatiques dédiés au géo-positionnement ont fait l'objet de développements considérables [Wolfson et al., 2009]. Le *géo-positionnement* est un mécanisme associant une position géographique à une entité, une activité ou un individu particulier. Le principe est communément fondé sur l'association de références qualitatives identifiant un lieu, une adresse, un itinéraire ou un objet particulier à des références quantitatives manipulant des coordonnées géographiques telles que la latitude et la longitude. Les systèmes informatiques s'appuient pour cela sur une représentation géométrique de l'espace qui ne reflète pas la manière dont un individu perçoit, mémorise et décrit son environnement. La perception spatiale conduit, en effet, à une représentation mentale subjective dont la description est supportée par la manipulation de termes qualitatifs et de connaissances fondées sur le sens commun, c'est-à-dire relevant de situations quotidiennes et partagées par tous. Les termes linguistiques sont des symboles favorisant la transmission

de la connaissance associée à un environnement, qui font référence à des régions ou des objets physiques de l'espace. Ces termes linguistiques sont des concepts appropriés pour définir ces régions et objets, mais leur utilisation est restreinte à une communauté particulière pendant une période de temps donnée. La diversité linguistique permet donc d'identifier des concepts spatiaux et d'exprimer des situations spatiales sous différentes formes. L'interprétation des termes linguistiques employés par un individu pour exprimer ces situations spatiales permet d'identifier une zone de localisation possible de ce dernier. Ceci est en particulier vrai lorsque les expressions linguistiques font référence à des relations spatiales d'orientation ou de distance qui sont couramment manipulées afin de décrire des lieux.

Ce chapitre décrit les fondements du mécanisme de géo-positionnement d'un individu à partir de l'interprétation d'une carte conceptuelle (Fig. III.1). La carte conceptuelle résulte de l'interprétation de la description verbale de ce dernier, et correspond à la représentation abstraite d'une scène environnementale. Elle est structurée par des cônes directionnels et des espaces de proximité qui facilitent le positionnement d'entités spatiales. Ces entités spatiales sont identifiées par les références linguistiques adoptées par l'observateur, et le mécanisme de géo-positionnement doit alors être en mesure d'associer ces références qualitatives aux données quantitatives supportées par une base de données géographiques. Cette étape est mise en œuvre à l'aide d'une structure sémantique qui fournit une certaine identité aux objets de la base de données en leur associant des références linguistiques (Sec. III.1). Le mécanisme de géo-positionnement identifie alors les positions possibles de l'observateur à partir de l'interprétation de la configuration spatiale proposée par la carte conceptuelle :

1. les aires à partir desquelles les entités mentionnées par l'observateur sont simultanément visibles sont identifiées (Sec. III.2) ;
2. puis les relations spatiales liant l'observateur et les entités sont interprétées comme des contraintes géométriques qui réduisent les emplacements possibles de ce dernier (Sec. III.3) :
 - 2.1. interprétation de relations d'orientation opposées entre deux entités et l'observateur. Par exemple, « l'objet A est devant l'observateur, alors que l'objet B est derrière lui » ;
 - 2.2. interprétation du positionnement de deux entités dans un même cône directionnel. Par exemple, « les objets A et B sont devant l'observateur » ;
 - 2.3. interprétation de relations de distance dérivées de l'utilisation des espaces de proximité. Par exemple, « les objets A et B sont devant l'observateur, mais A est devant B » ;
 - 2.4. interprétation de relations d'orientation relatives entre deux entités. Par exemple, « l'objet A est à droite de l'objet B ».

Chacune de ces interprétations conduit à l'identification d'une région satisfaisant les contraintes. L'ordre dans lequel les contraintes sont appliquées est fonction de la valeur de saillance associée aux entités correspondantes. Le mécanisme réduit au fur et à mesure les solutions, et le résultat exploitable pour lancer les opérations de recherche de l'individu est fourni par l'intersection des zones résultant de ces interprétations.

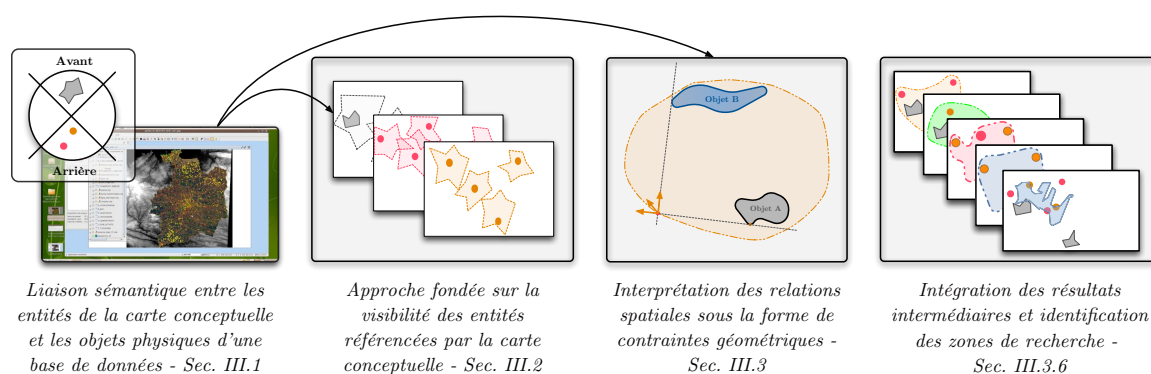


Figure III.1 – Organisation du chapitre III

III.1 Sémantique de l'observateur et de la carte

Chaque description d'un environnement perçu est propre à un observateur particulier, mais ce dernier s'attache toujours à caractériser les objets de l'espace qu'il considère comme saillants et pertinents pour son interlocuteur. Les *objets physiques* sont référencés à l'aide d'*unités lexicales* et l'interprétation de la description verbale conduit à un positionnement relatif supporté par le modèle de *carte conceptuelle*. Le mécanisme dédié à l'identification des positions possibles de l'observateur par l'interprétation de la description de son environnement doit alors être en mesure d'associer ces références linguistiques aux enregistrements d'une base de données géographiques représentant la région d'étude. Les systèmes d'information actuels n'ont cependant pas la capacité de converser avec l'homme ou d'établir des raisonnements aussi complexes que lui. Notre approche combine donc une composante linguistique dédiée à la classification des unités lexicales désignant des objets physiques, avec une composante informatique associant ces termes aux enregistrements d'une base de données géographiques¹. La connaissance associée aux unités lexicales susceptibles d'être employées doit initialement être capturée et modélisée avant d'être intégrée au système d'information concerné. L'Ingénierie des Connaissances est la branche de l'Intelligence Artificielle qui s'attache à définir ce processus d'intégration. Elle est définie par Jean Charlet comme « l'étude des concepts, méthodes et techniques permettant de modéliser et/ou d'acquérir les connaissances pour des systèmes réalisant ou aidant des humains à réaliser des tâches ne se formalisant *a priori* pas ou peu » [Charlet et al., 2000]. L'Ingénierie des Connaissances identifie donc les étapes nécessaires à l'acquisition, la modélisation, l'organisation et la recherche de connaissances représentées de manière formelle. Le modèle de représentation résultant est ensuite traduit afin de pouvoir être interprété par un système informatique [Hernandez, 2005].

De manière générale, la manipulation de connaissances en informatique facilite les interactions et le dialogue entre un individu et un système informatique. Le système doit pour cela avoir accès aux termes susceptibles d'être employés par l'individu, mais aussi à leur sémantique. L'*ontologie informatique* est un outil de représentation des connaissances qui facilite leur exploitation par un système informatique en les formalisant de manière rigoureuse. Les ontologies favorisent la communication entre les systèmes informatiques et les individus en

1. Une approche comparable est proposée par Vincent Maya dans le contexte de la description d'itinéraires [Maya, 2001].

définissant le sens et l'identité d'objets physiques ou incorporels à l'aide de *concepts* qui les désignent [Aussenac-Gilles et Mothe, 2004]. Un concept fait référence à un ensemble d'objets ou d'instances qui constituent son extension, et est caractérisé par un ensemble de propriétés qui désignent son intention [Ushold et Gruninger, 1996]. Ces concepts sont structurés entre eux à l'aide de *relations sémantiques*. À la différence des *thésaurus*, les *ontologies* sont représentées à l'aide d'un formalisme logique qui permet d'analyser la cohérence de la modélisation, et de déduire de nouvelles connaissances. Les *thésaurus* sont des vocabulaires structurés à l'aide d'un nombre restreint de relations sémantiques qui caractérisent la hiérarchie, l'association ou l'équivalence entre plusieurs concepts :

- la relation de subsomption ou d'héritage est la relation hiérarchique la plus commune. On dit qu'un concept c_1 « subsume » un concept c_2 lorsque c_2 est plus spécifique que c_1 . Cette relation binaire d'ordre partiel est nommée « est un/une » et caractérise les *taxinomies*. La structure hiérarchique d'un *thésaurus* peut aussi être spécifiée par la relation « est une partie de » qui caractérise les *partonomies*, ou la relation d'instance « est une instance de » ;
- la relation d'association caractérise des concepts qui ne sont pas liés de manière hiérarchique et favorise ainsi un certain enrichissement sémantique en proposant des concepts connexes ;
- l'équivalence permet d'introduire des termes alternatifs décrivant un concept qui est représenté par un unique terme. Les *thésaurus* fournissent de cette manière un accès à la terminologie en intégrant des expressions linguistiques alternatives.

La figure III.2 illustre l'expressivité croissante de plusieurs modèles de représentation des connaissances. Les relations sémantiques manipulées par les *thésaurus* permettent de définir plusieurs modèles de représentation des connaissances. Notamment les *taxinomies* qui structurent les concepts en utilisant uniquement la relation de subsomption, ou les *partonomies* qui sont hiérarchisées par la relation de « tout-ou-partie ». Les *ontologies* intègrent des relations sémantiques similaires et définissent de manière explicite les concepts et relations d'un domaine particulier. Concepts et relations sont alors caractérisés par un formalisme logique qui permet d'établir des inférences, c'est-à-dire de conclure à la vérité d'une nouvelle proposition logique, en vertu de sa liaison avec des propositions initiales vraies. C'est la raison pour laquelle les *ontologies* informatiques sont particulièrement adaptées aux opérations de raisonnement déductif, de classification automatique, de recherche d'information ou de maintenance de l'interopérabilité entre différents systèmes [Fonseca et al., 2002].

Afin de combiner la carte conceptuelle d'un environnement naturel à sa représentation informatique, nous considérons un modèle de représentation des connaissances qui intègre les objets physiques successibles d'être référencés linguistiquement par l'observateur, et les objets enregistrés dans une base de données géographiques. La base de données vectorielles BDTOPO est fournie par l'Institut Géographique National et couvre l'ensemble du territoire français à des échelles allant du 1/5000 au 1/50000 en intégrant l'ensemble des objets géographiques du territoire. Les différents enregistrements sont structurés par des catégories sémantiques [Institut Géographique National, 2008] : les réseaux routiers et ferroviaires ainsi que les bâtiments associés (par exemple les gares) ; le réseau de transport d'énergie, l'hydrographie (c'est-à-dire les cours d'eau, les surfaces d'eau, les réservoirs et autres points d'eau), les bâtiments, la végétation arborée ; l'orographie (c'est-à-dire les différents types de reliefs tels que les montagnes, les caps ou les vallées) ; la structure administrative (c'est-à-dire les

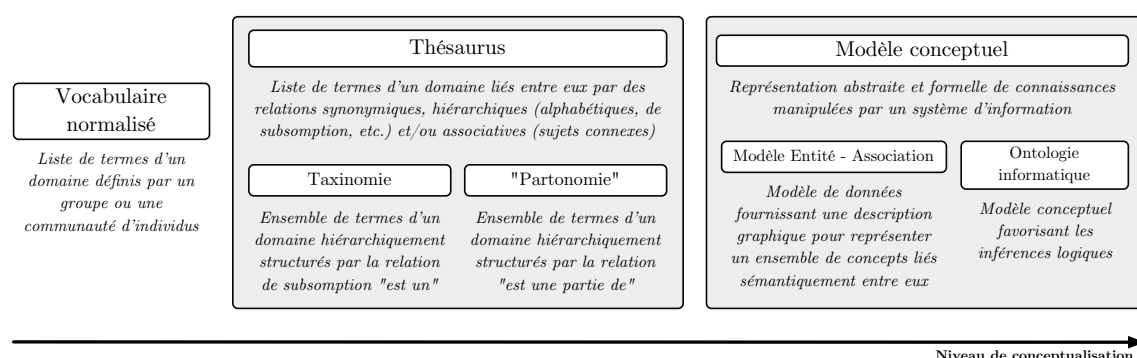


Figure III.2 – Spectre des modèles de représentation des connaissances (inspiré de [Lassila et McGuinness, 2001])

communes, arrondissements, etc.) ; les points d'activité ou d'intérêt qui localisent des bâtiments ou sites ayant un caractère particulier (administratif, religieux, sportif, etc.) ; et les toponymes de lieux-dits. Nous ne retenons que les catégories pertinentes de la base BDTOPO pour la mise en œuvre de l'ontologie et les catégories relatives aux structures administratives et aux toponymes de lieux-dits sont par conséquent exclues (Fig. III.3).

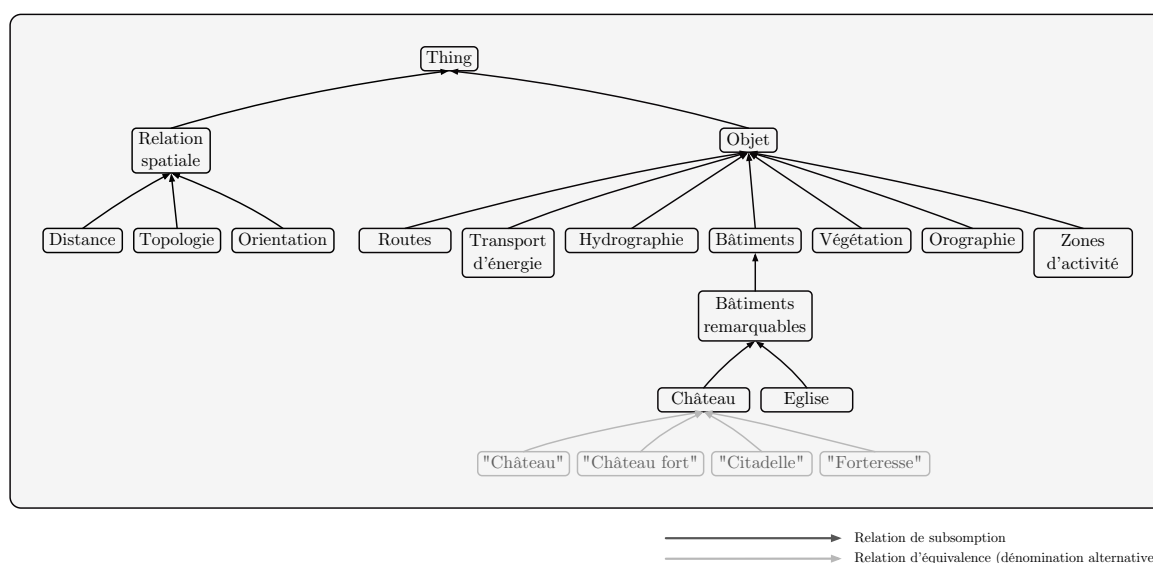


Figure III.3 – Concepts de haut niveau de l'ontologie de l'application

Le modèle de représentation des connaissances s'appuie sur l'utilisation de la relation de subsomption « est un/une » entre les concepts relatifs aux enregistrements de la base de données. Les unités lexicales associées aux concepts et susceptibles d'être utilisées par l'observateur sont intégrées au modèle à l'aide de la relation d'équivalence (ou de dénomination). Chaque concept est identifié par plusieurs unités lexicales synonymes ou sémantiquement proches afin de limiter les ambiguïtés de sens et de favoriser une utilisation du système la plus large possible. Notre ontologie peut être qualifiée d'*ontologie terminologique* puisqu'elle spécifie les termes caractérisant la connaissance d'un domaine, mais aussi d'*ontologie de l'information* puisqu'elle spécifie la structure des enregistrements d'une base de données

[van Heijst et al., 1997]. L'ontologie est mise en œuvre par le biais du langage *Ontology Web Language* (OWL). Ce langage est utilisé par des systèmes cherchant à traiter l'information, et non plus uniquement à la présenter. Il est le standard actuellement proposé par le World Wide Web Consortium (W3C) pour représenter les ontologies. Ce langage est issu de travaux relatifs à la logique de description et dispose d'une syntaxe comparable à celle du XML, bien que son expressivité soit plus importante. Il permet notamment de décrire les propriétés des classes telles que la disjonction, la cardinalité, l'égalité, les types de propriétés plus riches et les caractéristiques de propriétés telles que la symétrie ou la transitivité. Le logiciel Protégé 2000 est utilisé afin d'éditer l'ontologie au format OWL. Protégé 2000 est une interface modulaire développée par l'Université de Stanford pour l'édition, la visualisation et la vérification de l'intégrité d'une ontologie. Le modèle de connaissances de Protégé 2000 contient des « classes » (ou concepts), des « slots » (ou propriétés) et des « facets » correspondant aux domaines de valeurs des propriétés, ainsi que des instances de classes et de propriétés.

L'ontologie représente donc l'information partagée par la base de données géographiques et l'observateur sous la forme d'un ensemble structuré d'objets géographiques et de relations spatiales dont la taxinomie est présentée à la section II.3.1. Bien que la version initiale de l'ontologie ne considère que les références linguistiques proposées par les spécifications de la base de données géographiques, cette représentation peut être enrichie de nouvelles unités lexicales issues de l'interprétation de descriptions environnementales. La réalisation manuelle d'une ontologie informatique est en effet un procédé coûteux qui nécessite généralement l'implication d'un expert du domaine. Les chercheurs du domaine de l'Intelligence Artificielle ont alors fait le constat que la connaissance d'un domaine ne peut être réduite aux seules considérations d'un expert, mais qu'elle est aussi disséminée dans de nombreux écrits. De nombreux travaux se sont alors attachés à modéliser des connaissances ontologiques à partir de corpus de grande taille [Bachimont, 2000, Bourigault et al., 2002]. Parmi les méthodologies existantes, Terminæ repose sur l'analyse de corpus et propose l'identification puis l'agrégation de concepts, de relations sémantiques et de leurs propriétés [Biebow et Szulman, 2000, Szulman et al., 2002]. La méthodologie est pour cela liée à un outil de Traitement Automatique du Langage qui analyse statistiquement et sémantiquement les unités et relations lexicales.

III.2 Approche fondée sur la visibilité des objets

De nombreuses problématiques des Sciences de l'Information Géographique nécessitent de pouvoir identifier les zones de visibilité associées à une position [De Florian et al., 1994, Fisher, 1996, Fogliaroni et al., 2009]. Elles concernent en particulier le placement optimal de points d'observation en fonction de la visibilité qu'ils offrent, le placement optimal de constructions en fonction de leur degré de visibilité (Fig. III.4), ou la diffusion optimale d'ondes afin de réduire les problèmes liés à leur mauvaise réception. Les applications relatives au placement de points d'observation s'attachent à optimiser la répartition de ces points, tout en ayant une visibilité du terrain qui soit la plus large possible. Dans le cas du positionnement de tours de guet pour la surveillance des feux de forêts, Michael R. Travis suggère que la contrainte de visibilité peut être optimisée par la prise en compte de facteurs spécifiques : seule la perception de la fumée s'élevant dans le ciel est nécessaire et la perception de l'ensemble de la forêt n'est ainsi pas indispensable [Travis et al., 1975]. Une ap-

plication comparable concerne l'identification de positions qui favorisent l'intégration d'une construction dans le paysage. Par exemple, un bâtiment accueillant une brasserie dans une zone naturelle remarquable ouverte au public [Smardon et Palmer, 1986], ou une autoroute traversant un site exceptionnel. Enfin, la problématique liée à la diffusion optimale d'ondes cherche à identifier au moins deux positions qui soient mutuellement accessibles et susceptibles d'accueillir des émetteurs et récepteurs d'ondes radioélectriques. Lorsqu'un émetteur et un récepteur mobiles ne sont plus mutuellement visibles, le traitement et la visualisation de l'information peuvent alors être adaptés au contexte en favorisant un traitement ou une visualisation dégradée de l'information [Petit et al., 2008]. De manière intuitive, l'aire de visibilité associée à la position d'un objet ou d'un individu est déterminée en calculant la *ligne de vue* reliant cette position à chaque point de la région concernée. Lorsque la surface ou le relief de la région concernée s'élève au dessus de la ligne de vue, l'objet n'est pas visible [De Florian et Magillo, 2003, Lee, 1991]².

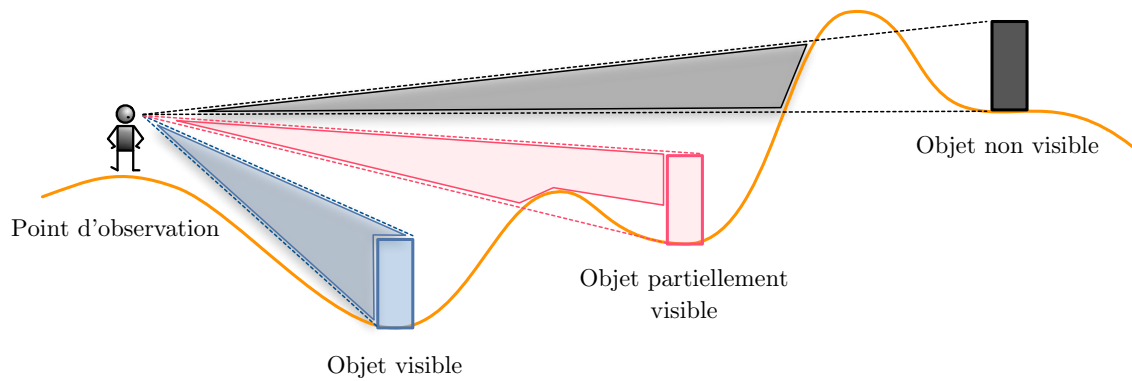


Figure III.4 – Configurations de visibilité

Les emplacements potentiels de l'observateur sont identifiés en fonction des positions relatives des entités spatialisées grâce à une carte conceptuelle. À la différence d'un système de géo-positionnement classique qui considère un positionnement comme étant ponctuel, notre approche détermine la région dans laquelle l'observateur est supposé être. Nous considérons que seuls les objets *directement visibles* depuis un point de vue fixe sont décrits par l'observateur.

Nous introduisons par la suite la représentation formelle de l'approche de visibilité des objets. Soit $\mathcal{E}$ l'ensemble des entités e_i identifiées dans une description verbale D , $\mathcal{S}$ l'ensemble ordonné des entités saillantes $e_i \in \mathcal{E}$, c'est-à-dire $\mathcal{S} = [e_1, e_2, \dots, e_n]$ et n la cardinalité de l'ensemble $\mathcal{S}$. Soit $\mathcal{B}$ l'ensemble des objets de la base de données géographiques faisant référence à la région d'étude. Soit $\mathcal{C}$ l'ensemble des classes de la base de données géographiques. La fonction f_{class} qui associe la classe $c \in \mathcal{C}$ à un objet $b_j \in \mathcal{B}$ est formalisée comme suit :

$$\begin{aligned} f_{class} &: \mathcal{B} \rightarrow \mathcal{C} \\ b_j &\mapsto c. \end{aligned} \tag{III.1}$$

2. Nous ne considérons pas ici le concept de *visibilité météorologique* qui correspond à la distance à laquelle il est possible de distinguer clairement un objet, et qui se rapporte à la transparence de l'air.

De manière similaire, soit g_{class} la fonction qui associe la classe $c \in \mathcal{C}$ à une entité $e_i \in \mathcal{S}$:

$$\begin{aligned} g_{class} &: \mathcal{S} \rightarrow \mathcal{C} \\ e_i &\mapsto c. \end{aligned} \tag{III.2}$$

Soit $e_i \in \mathcal{S}$ une entité saillante de la description verbale. Cette entité e_i est directement visible par l'observateur, et l'approche fondée sur la visibilité sélectionne donc tous les objets b_j de la base de données dont la classe correspond à celle de e_i . Soit $\mathcal{R}$ l'ensemble des m objets $b_j \in \mathcal{B}$ dont la classe correspond à celle de l'entité e_i , c'est-à-dire $f_{class}(b_j) = g_{class}(e_i)$, et $j \in [0, \dots, m]$, $i \in [0, \dots, n]$. Soit v la fonction dédiée au calcul de visibilité. t est un modèle numérique de terrain modélisé sous la forme d'un *raster* qui décrit la topographie de la région d'intérêt³. Nous ne considérons donc pas la hauteur des objets géographiques qui composent l'environnement (c'est-à-dire la hauteur du sursol), mais uniquement la visibilité de leur emplacement. Étant donné un objet b_j positionné sur le terrain t , l'aire de visibilité de b_j correspond à l'ensemble des points p de t à partir desquels b_j est visible. Nous considérons que deux points sont définis comme étant visibles l'un de l'autre si une ligne continue peut être dessinée entre ces deux points sans qu'elle n'intersecte le moindre point du modèle numérique de terrain, c'est-à-dire $v(b_j, t) = \{ p \in t \mid [b_j, p] \cap t = \emptyset \}$. Soit $h_{vis}(e_i)$ la fonction correspondant à l'ensemble des aires à partir desquelles les objets b_j ($j \in [1, \dots, m]$) dont la classe est similaire à celle de l'entité e_i , sont visibles. Par conséquent, $h_{vis}(e_i) = \{v(b_1, t), \dots, v(b_m, t)\}$.

Soit $\mathbf{S}_{vis}$ la fonction qui calcule les emplacements possibles de l'observateur à partir de l'interprétation des aires de visibilité associées aux différents objets composant la scène environnementale. $\mathbf{S}_{vis}$ est définie comme l'intersection des différentes aires de visibilité associées à chaque entité saillante, c'est-à-dire $\mathbf{S}_{vis} = \bigcap \{h_{vis}(e_i)\}$, avec $i \in [1, \dots, n]$. L'évaluation des saillances linguistique et spatiale associées à chaque entité de la carte conceptuelle fait émerger les plus saillantes d'entre elles, et fournit un ordonnancement relatif des entités. Cette mesure nous permet de ne considérer dans un premier temps qu'une version allégée de l'algorithme de géo-positionnement puisque seules les aires de visibilité des entités les plus saillantes sont considérées. Nous illustrons notre propos avec l'exemple de la description verbale de la section II.3.1 : « Je me situe sur un *sentier* qui longe un *château* et un petit *étang*. Il y a juste en face de moi une petite *vallée* avec le *château* sur sa gauche, et à l'horizon, je distingue une *chaîne de montagnes*. Juste derrière moi, il y a l'*étang*, puis une large *prairie* derrière, et au loin une *forêt* dense ». L'algorithme de saillance linguistique considère l'ordonnancement suivant : $\mathcal{S}_{ling} = \{\text{Château, Étang, Vallée, Chaîne de montagnes, Prairie, Forêt, Sentier}\}$. Les m objets b_j de la base de données dont la classe correspond à « Château » sont sélectionnés et leur aire de visibilité $v(b_j, t)$ est calculée. Si l'unique objet considéré par l'algorithme de géo-positionnement est un objet de type « Château », l'emplacement potentiel de l'observateur correspond à l'ensemble des aires de visibilité des objets b_j , c'est-à-dire $h_{vis}(\text{Château}) = \{v(b_1, t), \dots, v(b_m, t)\}$.

Supposons désormais que l'algorithme de géo-positionnement considère les trois en-

3. Un modèle numérique de terrain *raster* est représenté par un ensemble de valeurs numériques régulièrement espacées qui définissent un maillage de la surface. Chaque valeur d'altitude représente la moyenne d'un élément de surface de terrain.

tités les plus saillantes de la description verbale. Une méthode similaire est alors appliquée aux entités « Étang » et « Vallée » et une solution fondée sur la visibilité est fournie par l'intersection des aires de visibilité associées à chaque entité saillante, c'est-à-dire $S_{vis} = \{h_{vis}(Château) \cap h_{vis}(Étang) \cap h_{vis}(Vallée)\}$. Les *objets candidats*, c'est-à-dire les objets physiques qui sont potentiellement perçus par l'observateur, correspondent par conséquent aux objets pouvant être directement perçus depuis l'aire calculée par l'algorithme fondé sur la visibilité des objets. De manière plus formelle, les objets candidats correspondent aux $\{b_j, c_k, d_l\}$ tels que $\{b_j \in Château, c_k \in Étang, d_l \in Vallée\}$ dont l'intersection de leur aire de visibilité est non nulle, c'est-à-dire $\bigcap (v(b_j, t), v(c_k, t), v(d_l, t)) \neq \emptyset$.

L'approche fondée sur la visibilité des objets identifie les emplacements possibles de l'observateur. La figure III.5 résume le principe de l'approche. Cette première étape détermine aussi un ensemble d'objets physiques de l'environnement qui peuvent être potentiellement perçus depuis les « espaces solutions » S_{vis} . Ce filtrage préliminaire de l'espace est raffiné dans les sections suivantes par l'interprétation de relations spatiales entre ces objets sous la forme de contraintes géométriques.

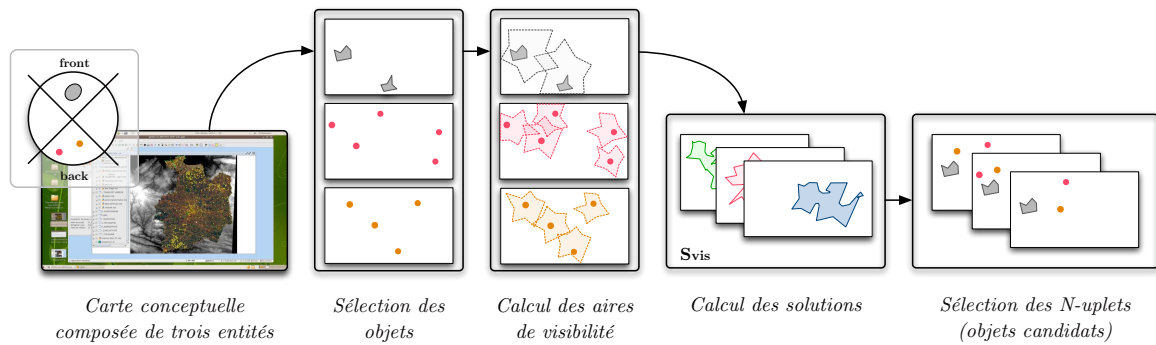


Figure III.5 – Principe de visibilité

III.3 Interprétations des relations spatiales

III.3.1 Contexte de développement d'un système d'aide à la décision

Les relations spatiales sont interprétées comme des contraintes spatiales qui restreignent les emplacements possibles de l'observateur. Ces contraintes spatiales sont dérivées de l'interprétation d'expressions linguistiques, et supportées par l'utilisation des cônes directionnels et des espaces de proximité de la carte conceptuelle. L'approche est comparable à celles proposées par la *modélisation déclarative*. La modélisation déclarative est communément appliquée à la génération automatique d'objets ou d'environnements virtuels à partir de la description qualitative de leurs propriétés [Lucas et al., 1990]. Véronique Gaildrat définit la modélisation déclarative comme « une méthode offrant au concepteur la possibilité de décrire un objet ou une scène⁴ à modéliser, non plus en fournissant des données numériques, mais en exprimant l'image mentale qu'il a de l'objet ou de la scène grâce à un ensemble de propriétés énoncées

4. La modélisation déclarative définit une *scène* comme un modèle géométrique d'un environnement qui ne fait pas de supposition sur le point de vue à adopter.

dans un langage quasi-naturel » [Gaildrat, 2003]. Un système déclaratif offre donc une facilité de conception qui est favorisée par l'utilisation d'un langage « quasi-naturel », et le concepteur peut alors spontanément exprimer les propriétés spatiales, géométriques, relatives à la texture, etc., du concept à modéliser. Ces propriétés sont ensuite interprétées par le système qui met en œuvre des opérations initialement complexes d'une manière simple et intuitive. Les modélisateurs déclaratifs répondent pour cela à un schéma de conception en trois phrases [Colin et al., 1998] :

1. l'objet ou la scène à modéliser est initialement décrit de manière intuitive par le concepteur qui fournit une description à la fois riche et réduisant les ambiguïtés. La phase de description exprime les informations nécessaires à la génération des formes souhaitées au travers de supports conviviaux qui peuvent être combinés entre eux [Horchani et al., 2007]. Par exemple, une description linguistique verbale ou écrite, une image ou un croquis, une description haptique réalisée à l'aide d'une interface reconstituant une situation spatiale donnée [Simonnet et al., 2009] ou simplement une description gestuelle. L'architecte décrit ainsi la scène en s'abstrayant des détails liés à sa construction ;
2. *la description énoncée par le concepteur est interprétée sous la forme de contraintes géométriques.* La modélisation déclarative élabore un modèle géométrique en spécifiant les relations entre des objets géométriques, et en les interprétant sous la forme de contraintes. Ces relations caractérisent essentiellement des propriétés géométriques (par exemple la symétrie ou le parallélisme), la topologie de l'objet ou de la scène, ses dimensions, sa structure hiérarchique mais aussi sa couleur ou sa texture. Les contraintes sont donc dépendantes du contexte puisque chacune d'entre elles est étroitement liée au type d'objet, de forme ou d'environnement à manipuler. Cette interprétation est d'autant plus précise que le vocabulaire utilisé est adapté au domaine [La Greca, 2005]. La phase de recherche et d'élaboration des solutions permet alors de construire les objets et/ou scènes satisfaisant ces contraintes au moyen de différentes méthodes, notamment les systèmes fondés sur la résolution de contraintes [Desmontils, 2000].

Les problèmes de satisfaction de contraintes (Constraint Satisfaction Problems ou CSP) sont largement utilisés en infographie, notamment dans le cadre de la modélisation déclarative [Dohmen, 1995]. Un problème de satisfaction de contraintes en nombre fini est défini par le triplet $P = (X, D, C)$ avec $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ l'ensemble des n variables, $D = \{D_1, \dots, D_n\}$ l'ensemble des n domaines associés aux variables et $C = \{C_1, \dots, C_m\}$ l'ensemble des m contraintes. La recherche de solutions revient alors à déterminer les N-uplets qui satisfont l'ensemble des contraintes. Les problèmes de satisfaction de contraintes peuvent être représentés de plusieurs manières. Un moyen courant consiste à représenter un CSP binaire à l'aide d'un graphe dans lequel les nœuds représentent les variables, et les arrêtes, les contraintes. Le partage d'une variable entre deux contraintes est exprimé par la relation d'incidence dans le graphe de contrainte, et deux contraintes partagent une variable lorsque leurs arrêtes partagent le nœud correspondant. Un CSP peut aussi être formulé à l'aide de formules logiques comme les prédicats du premier ordre.

Stéphane Donikian propose par exemple une méthode de construction d'environnements architecturaux à partir de leur description [Donikian et Hégron, 1995]. Plusieurs points d'observation successifs permettent à l'observateur d'organiser sa description en y intégrant au fur et à mesure de nouveaux objets et de nouvelles contraintes. Ces nouvelles contraintes sont alors intégrées au graphe représentant le problème de sa-

tisfaction de contraintes. Chaque objet est représenté sous la forme d'une boîte englobante, et les contraintes sont modélisées à l'aide de relations spatiales élémentaires [Allen, 1983, Guesgen, 1989]. Un moteur d'inférences vérifie la consistance de la description, et l'environnement est modélisé à l'aide d'un algorithme optimisant les contraintes. Ghassan Kwaiter s'attache quant à lui à favoriser la coopération entre le concepteur et le système en proposant un solveur de contraintes numériques ORANOS qui intègre des contraintes hiérarchiques et dynamiques [Kwaiter, 1998]. Les contraintes hiérarchiques offrent une solution efficace aux problèmes sur-contraints, alors que les contraintes dynamiques permettent de développer une application interactive. ORANOS est appliqué au placement optimal d'objets dans une scène tridimensionnelle décrite par un ensemble de contraintes. Enfin, Olivier Le Roux propose un solveur alternatif à ORANOS qui associe la richesse des possibilités offertes par une modélisation mathématique (sous la forme d'équations et d'inéquations) à une stratégie de recherche fondée sur un découpage récursif du problème, et qui permet de traiter des problèmes d'aménagement spatiaux complexes [Le Roux, 2003] ;

3. la prise de connaissance des solutions générées constitue la dernière phase du schéma de conception. Elle permet au concepteur de visualiser les solutions produites. Lorsque la description ne permet pas de générer la moindre solution, certaines contraintes peuvent être relaxées et une solution dégradée est proposée au concepteur. Lorsqu'au contraire la description est incomplète, un grand nombre de solutions peut être généré. Il est alors compliqué pour le concepteur de parcourir cet espace sans être guidé. C'est la raison pour laquelle un modèleur déclaratif doit fournir des outils de navigation optimisant la découverte de l'espace des solutions [La Greca, 2005].

La méthode employée pour localiser l'observateur comporte certaines similarités avec l'approche offerte par la modélisation déclarative. L'interaction entre l'observateur et l'interlocuteur est conditionnée par une description linguistique de la configuration spatiale de l'environnement. Les propriétés des objets physiques et les relations spatiales entre ces derniers ne sont alors pas exprimées en terme d'équations, mais à l'aide d'unités lexicales qui sont hiérarchisées par un système de représentation des connaissances. L'interprétation de la position des entités identifiées est favorisée par l'utilisation de la carte conceptuelle, et les relations spatiales liant l'observateur et les différentes entités entre elles peuvent être traduites sous la forme d'un ensemble de contraintes géométriques.

La différence majeure entre notre approche et celle offerte par la modélisation déclarative est illustrée par l'application elle-même. L'objectif ne consiste plus à fournir une solution unique caractérisant sans ambiguïté possible les positions relatives d'objets et à la représenter de la manière la plus réelle possible, mais à identifier un ensemble de positions possibles d'un observateur. Aucune solution potentielle ne doit donc être négligée. Les contraintes ne sont plus interdépendantes et il ne s'agit donc pas à proprement parler de résoudre un problème de satisfaction de contraintes, mais plutôt d'identifier les zones dans lesquelles l'observateur est éventuellement situé à partir de l'interprétation de contraintes. Le principe même de l'approche de géo-positionnement consiste à interpréter des relations spatiales pour en déduire les limites des emplacements possibles de l'observateur :

- les relations d'orientation liant deux entités de manière relative à la position de l'observateur sont interprétées (Contraintes 1 et 2) ;
- les relations de distance sont exprimées relativement à la position de l'observateur et

- interprétées grâce aux espaces de proximités (Contrainte 3) ;
- les relations d'orientation relatives qui caractérisent l'emplacement de deux entités sont interprétées (Contrainte 4).

Une configuration spatiale peut engendrer plusieurs interprétations possibles qui sont définies par les hypothèses suivantes :

- **Hypothèse 1** *Une entité peut appartenir à plusieurs cônes. Lorsqu'en particulier la frontière d'une entité e_i touche celle d'un cône directionnel c_i , $e_i \in c_i$. Cette hypothèse fournit une solution exhaustive des positions de l'observateur. La figure III.6 illustre les configurations pour lesquelles « A est devant l'observateur » en considérant cette hypothèse.*

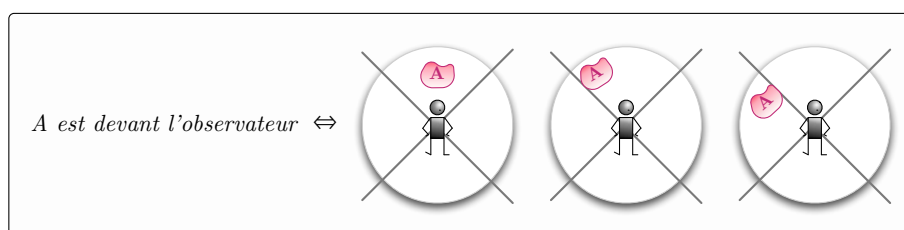


Figure III.6 – Configurations spatiales – Hypothèse 1

- **Hypothèse 2** *Une entité n'appartient qu'à un unique cône. Lorsqu'en particulier la frontière de l'entité touche celle d'un cône directionnel c_i , seule la position de l'intérieur de e_i est considérée afin d'évaluer le cône d'appartenance. La figure III.7 illustre les configurations pour lesquelles « A est devant l'observateur ».*

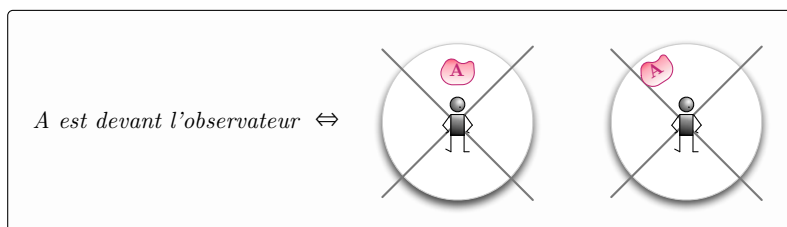


Figure III.7 – Configurations spatiales – Hypothèse 2

III.3.2 Contrainte 1 : Entités aux relations d'orientation opposées par rapport à l'observateur

Nous considérons deux entités positionnées dans des cônes directionnels opposés (Avant – Arrière ou Gauche – Droite), c'est-à-dire deux entités dont la position par rapport à l'observateur est exprimée par deux relations d'orientation opposées. Prenons l'exemple d'un objet B situé en face de l'observateur et d'un objet A situé derrière lui. L'algorithme détermine les

emplacements possibles de l'observateur en calculant les limites pour lesquelles *l'objet B est en face de l'observateur et l'objet A derrière lui*, avec un espace segmenté par deux droites perpendiculaires t_A et t_B qui définissent les quatre cônes de direction avant, arrière, gauche et droite. Les objets A et B de la base de données géographiques sont statiques, et le principe illustré par la figure III.8 s'attache à déterminer les limites de la solution qui satisfait les contraintes directionnelles, en déplaçant les frontières du cône directionnel *Avant* le long de la frontière de l'objet B (resp. A). Ce déplacement du cône *Avant* génère un déplacement relatif de l'objet A (resp. B) dans le cône *Arrière* et permet de déterminer l'ensemble des « cas limites » pour lesquels l'objet B (resp. A) est en face de l'observateur et l'objet A (resp. B) derrière lui.

Prenons le cas d'une scène environnementale segmentée par quatre cônes directionnels. La figure III.9 fournit une représentation de la solution satisfaisant l'hypothèse 1. Dans un tel cas, t_A (resp. t_B) est tangent à l'objet A (resp. B). Les objets A et B de la configuration illustrée par la figure sont placés dans le cône *Droite*, mais A et B touchent respectivement les frontières des cônes *Arrière* et *Avant*. Ainsi, l'objet A est aussi considéré comme appartenant au cône directionnel *Arrière*. De la même manière, l'objet B appartient aussi au cône directionnel *Avant* et les deux objets sont aussi positionnés dans des cônes directionnels opposés.

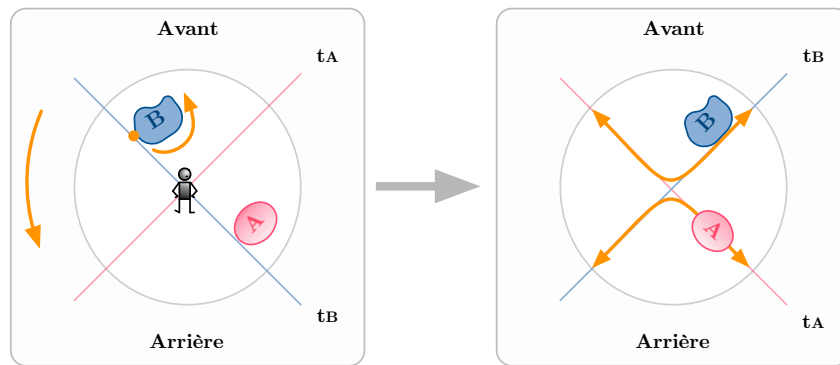


Figure III.8 – Interprétation géométrique de la contrainte d'orientation

Nous considérons deux objets surfaciques A et B dont la frontière est une courbe continue et P_B (resp. P_A) le point d'intersection entre l'objet B (resp. A) et la ligne tangente t_B (resp. t_A)⁵. Afin d'identifier les emplacements possibles de l'observateur pour lesquels l'objet B est en face de lui et l'objet A derrière, l'espace est discrétisé en déplaçant uniformément le point P_B (resp. P_A) le long de la frontière de l'objet B (resp. A) (Fig. III.9). Pour chaque position du point P_B (resp. P_A),

1. construction de la tangente t_B (resp. t_A) ;
2. construction de la tangente extérieure t_A à l'objet A au point P_A (resp. t_B à l'objet B au point P_B) qui est aussi perpendiculaire à t_B (resp. t_A)⁶.

5. De manière analogue, l'algorithme peut être appliqué aux polygones ouvertes ou fermées ainsi qu'aux objets ponctuels.

6. La tangente intérieure n'est pas nécessaire puisque les points résultants sont inclus dans l'espace solution.

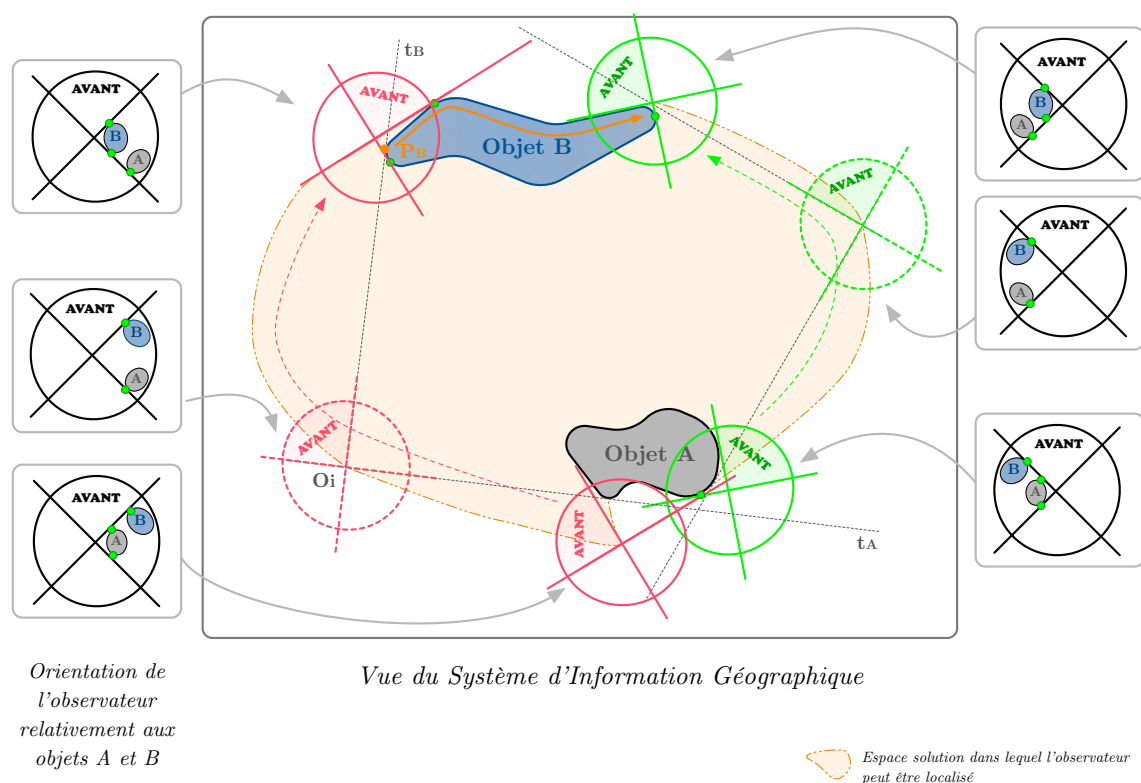


Figure III.9 – Contrainte « B est devant l'observateur et A derrière » (Quatre cônes - hypothèse 1)

L'intersection O_i de t_A avec t_B permet d'identifier un point limite de la solution, c'est-à-dire un point de la frontière de la zone caractérisant les emplacements possibles de l'observateur. La région $\mathcal{A}(\text{objet}_A, \text{objet}_B)$ dans laquelle l'observateur est positionné est par conséquent délimitée par l'enveloppe convexe matérialisée par les points $O_1, \dots, O_m$ avec $m \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$. La frontière est donc d'autant mieux définie que le nombre de points O_i est important. L'algorithme est similaire lorsque les objets A et/ou B sont modélisés par des polygones ouverts ou fermés, à la seule différence que l'intersection entre t_B et B (resp. t_A et A) correspond à un segment de la polygône plutôt qu'à un simple point. Lorsque les objets A et/ou B sont modélisés par des points, l'espace est segmenté de manière uniforme par des lignes passant par ce ou ces points. La figure III.9 illustre la *région solution* qui correspond aux positions de l'observateur par rapport aux emplacements fixes des deux objets A et B. Les solutions présentées de part et d'autre de la figure correspondent aux situations limites prises par l'observateur par rapport aux objets A et B.

Cet algorithme est appliqué aux couples d'objets de la base de données géographiques dont les classes correspondent à celles des entités positionnées dans deux cônes directionnels opposés. Considérons l'exemple suivant « Le château est en face de moi, et la vallée derrière ». L'algorithme précédent est donc appliqué à tous les couples d'objets (Château, Vallée) de la base de données géographiques qui sont aussi des objets candidats de la solution précédente S_{vis} . Soit $\mathbb{E}_{C1}$ l'ensemble des entités de la description verbale qui sont dans un cône directionnel $C1$ (par exemple $\mathbb{E}_{Avant}$), $\mathbb{E}_{C2}$ l'ensemble des entités de la description verbale qui

sont dans le cône opposé à $C1$ (par exemple $\mathbb{E}_{Arrière}$), $\mathbb{E}_{C1/2}$ l'ensemble des combinaisons des couples d'entités (e_i, e_j) de la description verbale avec $e_i \in C1$ et $e_j \in C2$. Soient $\mathbb{O}_{C1}$, $\mathbb{O}_{C2}$, $\mathbb{O}_{C1/2}$ les ensembles correspondants aux objets b_i et b_j et à leurs combinaisons. Enfin, $\mathcal{A}(b_i, b_j)$ correspond à la région solution avec $b_i \in \mathbb{O}_{C1}$ et $b_j \in \mathbb{O}_{C2}$. L'ensemble des solutions $S_{opposite_rel}$ qui correspondent aux positions de l'observateur pour lesquelles les objets b_i sont dans un cône (Avant) et les objets b_j dans le cône opposé (Arrière) est calculé par l'union des régions $\mathcal{A}(b_i, b_j)$.

Prenons maintenant le cas d'une scène environnementale segmentée par deux cônes directionnels Avant – Arrière ou Gauche – Droite. Soient N_B et M_B les points d'intersection des tangentes intérieures t_A et t_B avec l'objet B. La solution est évaluée en déplaçant uniformément le point P_B le long de la frontière de l'objet B, entre les points N_B et M_B (Fig.III.10). Un repère orthonormé $(P_B, \vec{x}, \vec{y})$ est associé à chaque position prise par P_B : le vecteur $\vec{x}$ est colinéaire au vecteur $\overrightarrow{N_A N_B}$, et $\vec{y}$ est orienté de façon à ce que le repère respecte le sens trigonométrique. $\mathcal{S}_{P_B}^i$ correspond à l'espace satisfaisant la contrainte pour laquelle l'objet B est devant l'observateur, c'est-à-dire $\vec{y} < 0$. Une méthode similaire est appliquée à l'objet A : un repère orthonormé $(P_A, \vec{x}, \vec{y})$ est associé à chaque position prise par P_A : le vecteur $\vec{x}$ est colinéaire au vecteur $\overrightarrow{M_A M_B}$, et $\vec{y}$ est orienté de façon à ce que le repère respecte le sens trigonométrique. $\mathcal{S}_{P_A}^i$ correspond à l'espace satisfaisant la contrainte pour laquelle l'objet A est derrière l'observateur, c'est-à-dire $\vec{y} > 0$. $\mathbf{S}_{dir}$ correspond à l'intersection des deux sous-contraintes, c'est-à-dire $\mathbf{S}_{dir} = \cap(\mathcal{S}_{P_B}^i, \mathcal{S}_{P_A}^i)$.

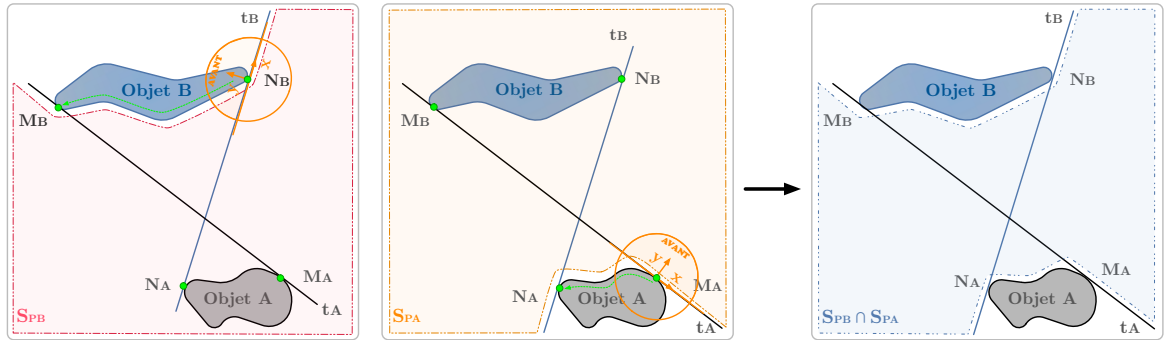


Figure III.10 – Contrainte « B est devant l'observateur et A derrière » (Deux cônes - hypothèse 2)

III.3.3 Contrainte 2 : Entités aux orientations identiques par rapport à l'observateur

La configuration spatiale caractérisant deux entités dans un même cône directionnel peut être interprétée sous la forme d'une contrainte géométrique afin d'identifier des régions solutions. L'algorithme identifie les positions de l'observateur en évaluant les limites pour lesquelles les objets A et B sont dans un même cône.

Prenons maintenant le cas d'une scène environnementale segmentée par quatre cônes directionnels. Comme pour la contrainte 1, t_A est la tangente extérieure à l'objet A qui est aussi perpendiculaire à la tangente t_B . Soit P_{t_A} (resp. P_{t_B}) le point de tangence entre l'objet A et la tangente t_A (resp. entre l'objet B et la tangente t_B). Considérons le cône directionnel

défini par le repère $(O_i, \overrightarrow{O_i P_{t_A}}, \overrightarrow{O_i P_{t_B}})$ (resp. $(O_i, \overrightarrow{O_i P_A}, \overrightarrow{O_i P_{t_B}})$). Le déplacement uniforme du point P_B (resp. P_A) le long de la frontière de l'objet B (resp. A) provoque un déplacement du cône préalablement défini et permet d'identifier les positions limites de l'observateur pour lesquelles les deux objets sont dans un même cône. La configuration spatiale de la figure III.11 illustre la région solution S_{dir_cone} pour laquelle deux objets A et B sont positionnés dans un même cône directionnel et respectent l'hypothèse 2. Lorsque la scène environnementale est segmentée par deux cônes, l'espace solution correspond au complémentaire de l'enveloppe convexe du regroupement des objets A et B.

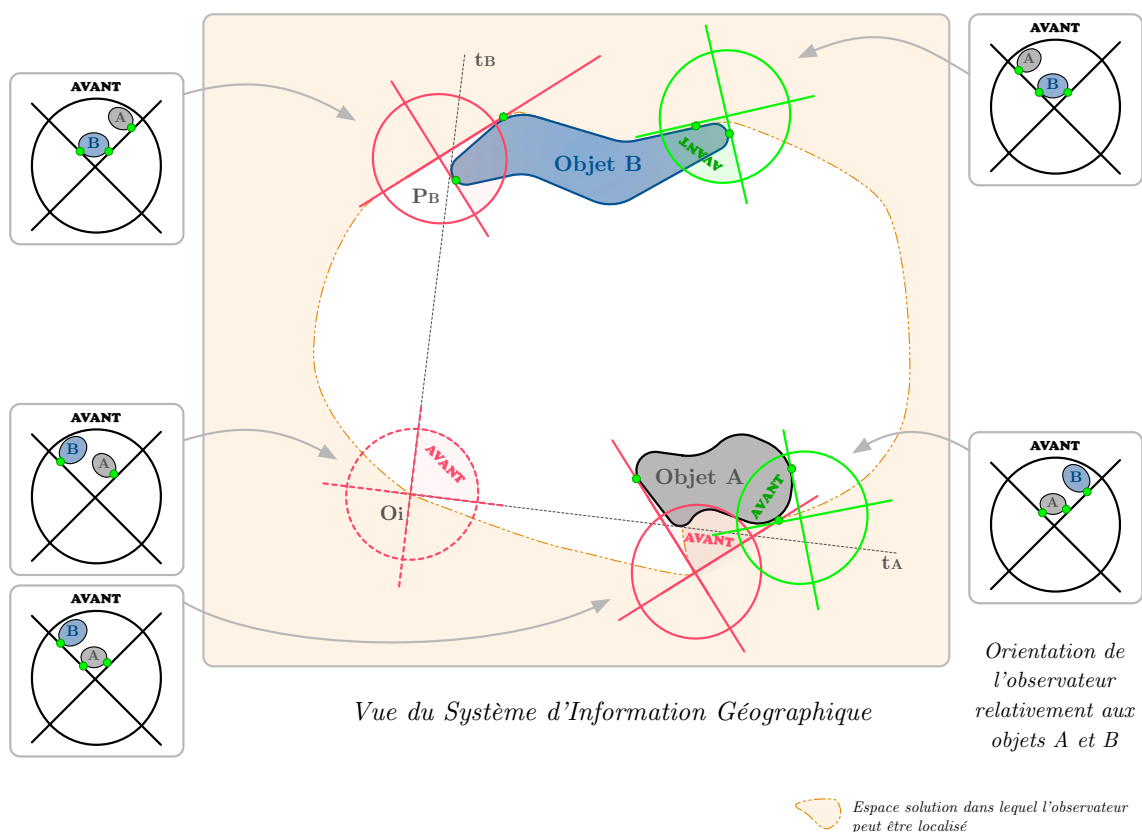


Figure III.11 – Contrainte « A et B sont dans un même cône » (Quatre cônes - hypothèse 2)

III.3.4 Contrainte 3 : Distance entre des entités aux orientations identiques par rapport à l'observateur

Deux entités positionnées dans un même cône directionnel peuvent être situées à des distances variables par rapport à la position de l'observateur. L'interprétation des relations de distance entre ces deux entités permet de distinguer une zone correspondant aux positionnements possibles de l'observateur. La figure III.12 illustre un exemple répondant à la contrainte selon laquelle les objets A et B sont en face de l'observateur, avec B derrière A. L'espace $S_{distance}$ est évalué en identifiant les limites pour lesquelles les positions de l'observateur satisfont les critères suivants :

- les objets A et B sont dans un même cône directionnel (Contrainte 2) ;
- leurs distances relatives permettent de déterminer un ordre relatif des objets.

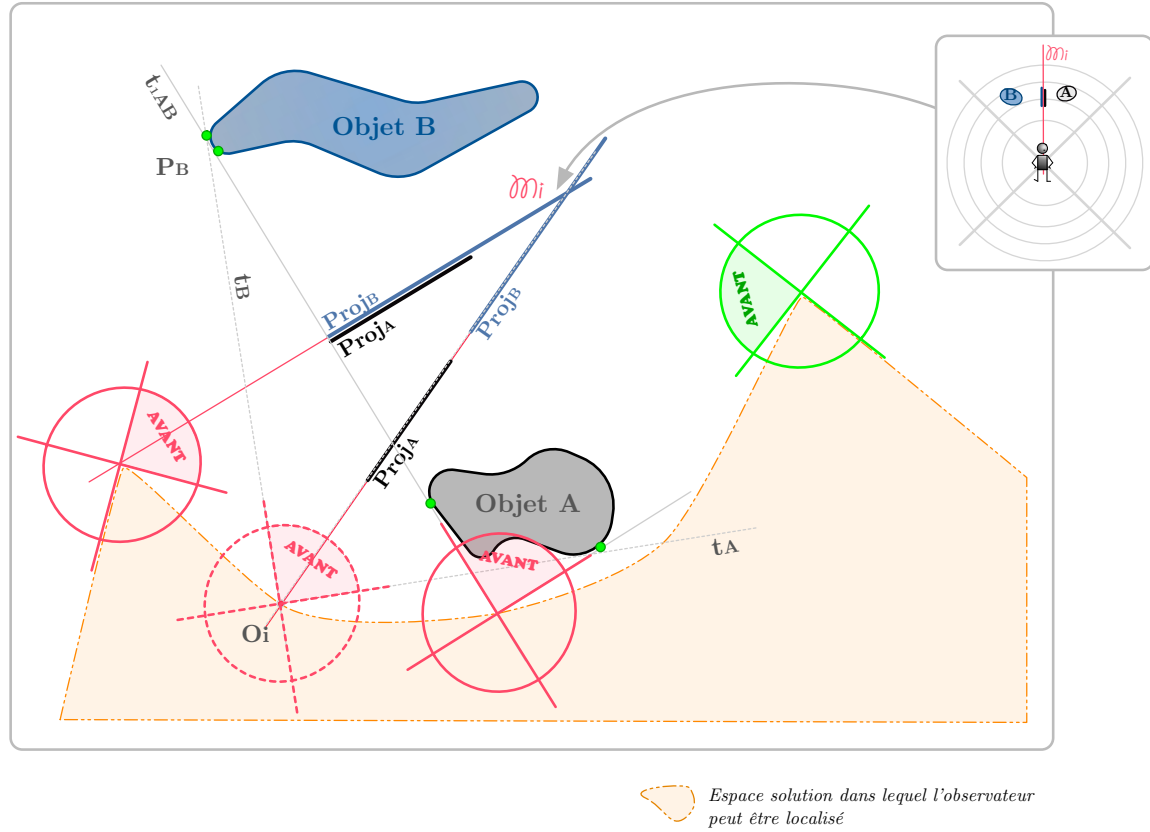


Figure III.12 – Contrainte « A et B sont dans un même cône, et B est derrière A » (Quatre cônes - hypothèse 2)

Considérons deux objets surfaciques A et B dont les frontières sont des courbes fermées. La recherche d'une région solution répondant à ces contraintes est réalisée de la manière suivante : l'espace est uniformément discrétisé en déplaçant de manière uniforme le point P_B (resp. P_A) le long de la frontière de l'objet B (resp. A). Les tangentes t_B et t_A sont construites lors de chaque position prise par le point P_B (resp. P_A). L'ordre relatif des différents objets composant la scène environnementale est défini en projetant les objets A et B sur la bissectrice de l'angle $\widehat{O_i P_{t_A}, O_i P_{t_B}}$ (Fig. III.12). La projection d'objets bidimensionnels sur la bissectrice réduit la complexité du problème puisque l'évaluation des distances est réduite à la comparaison d'intervalles selon un point fixe (correspondant à la position de l'observateur) et une direction. La comparaison d'intervalles est initiée par James F. Allen qui propose un modèle qui formalise des relations entre des événements temporels [Allen, 1983]. Ces relations sont qualitatives, dans le sens où elles ne manipulent aucune métrique. Elles peuvent être composées entre elles afin d'*inférer* de nouvelles connaissances relatives à la configuration temporelle de la situation considérée. Soient $\mathcal{R}_1$ et $\mathcal{R}_2$ deux relations temporelles, t_1 , t_2 et t_3 des événements temporels avec $t_1 \mathcal{R}_1 t_2$ et $t_2 \mathcal{R}_2 t_3$. Le mécanisme d'inférence permet alors de définir la ou les relations $\mathcal{R}_3$ possibles telles que $t_1 \mathcal{R}_3 t_3$. Ce modèle est étendu au

domaine spatial par Amitabha Mukerjee qui associe un intervalle à chaque objet de l'espace. Les bornes du premier intervalle sont alors comparées avec celles du second [Mukerjee, 1990]. Une telle représentation limite les ambiguïtés liées à l'interprétation et facilite leur expression et comparaison puisqu'elle est qualitative. La figure III.12 illustre la solution correspondant à une interprétation satisfaisant l'hypothèse 2.

Les bornes des domaines sont ainsi comparées une à une de manière relative à la position de l'observateur (Fig. III.13). Cet algorithme est identique quelle que soit la nature géométrique des objets. Lorsque les objets sont représentés par des polygones ouvertes ou fermés, l'intersection entre t_B et B (resp. t_A et A) correspond alors à un segment plutôt qu'un point. Lorsque la géométrie de l'objet correspond à un point, sa projection relative est de même nature et la comparaison des distances revient alors à caractériser des projections ponctuelles entre elles.

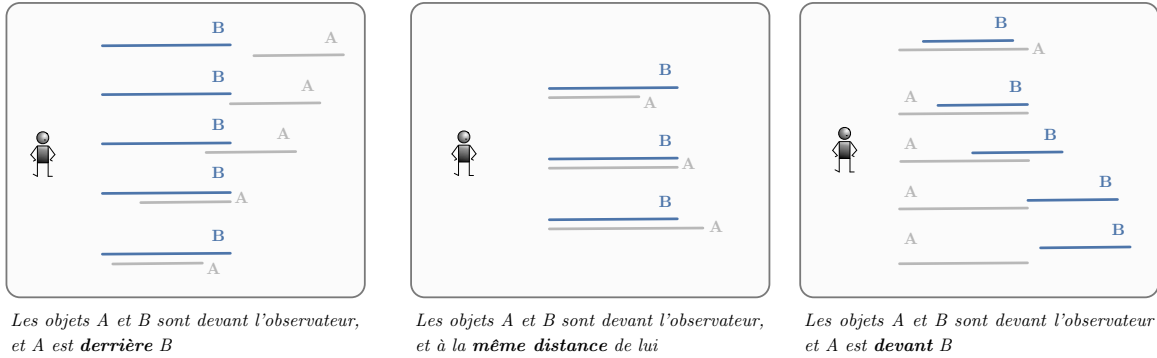


Figure III.13 – Comparaison d'intervalles spatiaux

Lorsque la carte conceptuelle est uniquement segmentée par deux cônes directionnels, l'information relative à la distance entre les objets A et B n'est pas discriminante et ne permet pas de restreindre l'espace solution. La contrainte 2 qui illustre le cas de deux entités positionnées dans un même cône est cependant applicable.

III.3.5 Contrainte 4 : Orientations relatives entre deux entités

Nous considérons désormais le cas d'une relation relative exprimée selon un référentiel ayant l'observateur pour origine, entre deux entités d'un même cône directionnel, par exemple « Le château est à gauche de la vallée ». De manière intuitive, lorsque l'observateur identifie l'objet A comme étant à gauche de l'objet B, cela implique qu'il est positionné dans un demi-espace défini relativement aux positions des objets A et B. Soient t_{AB} et t'_{AB} les tangentes extérieures aux objets A et B, P_A et P_B les points de tangence de t_{AB} , P'_A et P'_B les points de tangence de t'_{AB} . $(P'_A, \vec{i}, \vec{j})$ est le repère orthonormé orienté dans le sens trigonométrique tel que $\vec{i}$ et $\overrightarrow{P'_A P'_B}$ soient colinéaires, et $(P_A, \vec{k}, \vec{l})$ le repère orthonormé orienté dans le sens trigonométrique tel que $\vec{k}$ et $\overrightarrow{P_A P_B}$ soient colinéaires. Lorsque l'observateur exprime que « A est à gauche de B » ou que « B est à droite de A », cela signifie que l'observateur observe la scène depuis le demi-espace tel que $S_{ternary} = \{\vec{j} < 0\}$. Lorsque l'observateur indique par contre que « A est à droite de B » ou que « B est à gauche de A », cela signifie donc que l'observateur observe la scène depuis le demi-espace tel que $S_{ternary} = \{\vec{l} > 0\}$. L'algorithme

est identique lorsque les objets sont assimilés à des polygones ou des points, ou lorsque l'espace est segmenté par deux ou quatre cônes directionnels.

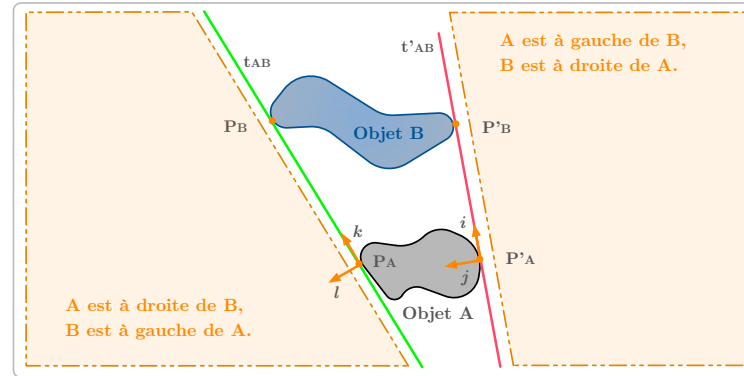


Figure III.14 – Contraintes liées aux orientations relatives (deux ou quatre cônes)

III.3.6 Exemple applicatif

Les contraintes successives proposées dans ce chapitre peuvent être résumées de la manière suivante :

- S_{viz} correspond à l'espace satisfaisant la contrainte de visibilité simultanée des entités spatialisées à l'aide de la carte conceptuelle. L'espace solution est défini en identifiant les objets de la base de données géographiques dont le type correspond à celui des entités de la carte conceptuelle, et qui sont simultanément visibles depuis un point de vue fixe ;
- S_{dir} correspond à l'espace satisfaisant la contrainte résultant de l'interprétation de deux relations d'orientation relatives à l'observateur et opposées entre elles. Les entités identifiées sont alors positionnées dans des cônes directionnels opposés Gauche–Droite ou Avant–Arrière ;
- S_{dir_cone} correspond à l'espace satisfaisant la contrainte résultant du positionnement de deux entités dans un même cône directionnel ;
- $S_{distance}$ correspond à l'espace satisfaisant la contrainte résultant de l'interprétation d'une relation de distance entre des entités aux orientations relatives identiques ;
- $S_{ternary}$ correspond à l'espace satisfaisant la contrainte résultant de l'interprétation de relations d'orientation relatives entre deux entités.

La solution répondant aux contraintes permet d'identifier les emplacements possibles de l'observateur. Elle correspond à l'intersection des solutions fournies par chacune de ces contraintes. L'ordre dans lequel les contraintes sont appliquées est déterminé par les scores de saillance associés aux entités de la carte conceptuelle (Sec. II.4). L'algorithme de géopositionnement applique de manière successive ces contraintes, et réduit ainsi au fur et à mesure la surface de la région solution. Considérons la configuration spatiale exprimée au travers de la description « Je suis face à une prairie et le château est derrière moi. Derrière le château, il y a un lac » et illustrée par la carte conceptuelle de la figure III.5. L'application de l'outil d'analyse syntaxique (Chap. II) caractérise trois unités élémentaires [Prairie, Devant,

Observateur], [Château, Derrière, Observateur] et [Lac, Derrière, Château]. L'algorithme de visibilité identifie une première région solution S_{vis} correspondant à l'espace à partir duquel les objets identifiés par l'observateur sont visibles de manière simultanée. Ce premier critère de visibilité sélectionne aussi les objets de la base de données qui sont potentiellement perçus par l'observateur. Quatre autres contraintes spatiales leur sont alors appliquées :

- le premier cas caractérisant des entités dans des cônes directionnels opposés est appliqué aux différents couples d'objets de type (Prairie, Château) et (Prairie, Lac) ;
- le second cas caractérisant des entités dans un cône identique est appliqué aux couples d'objets de type (Château, Lac) ;
- le troisième cas caractérisant une relation de distance entre des entités d'un même cône est appliqué aux couples (Château, Lac).

Ce sont par conséquent quatre régions solutions possibles S_{vis} , S_{dir_1} , S_{dir_2} , S_{dir_cone} et $S_{distance}$ qui émergent. La solution globale est identifiée par leur intersection (Fig. III.15).

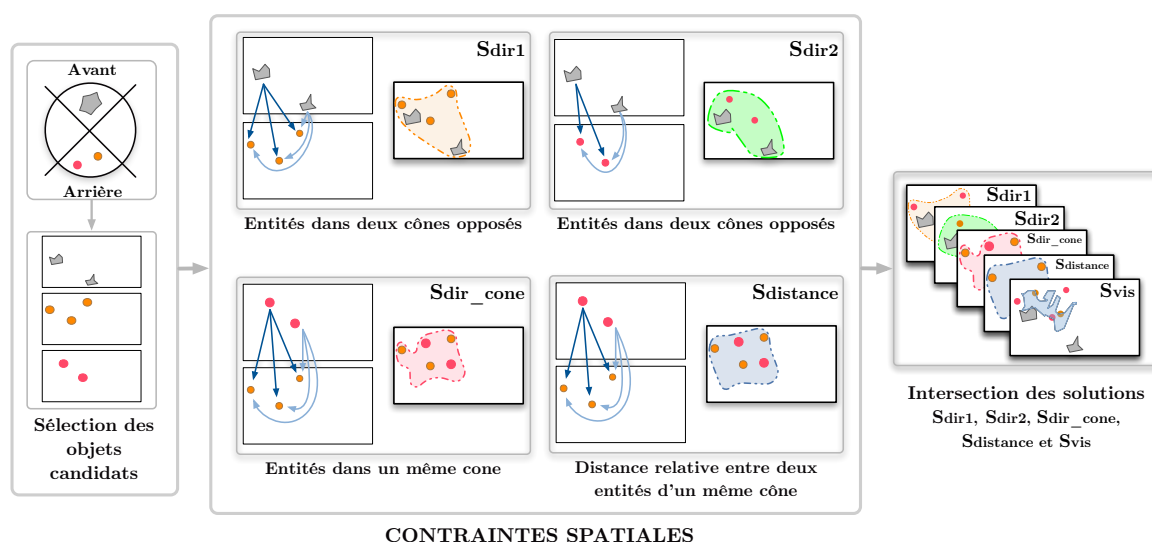
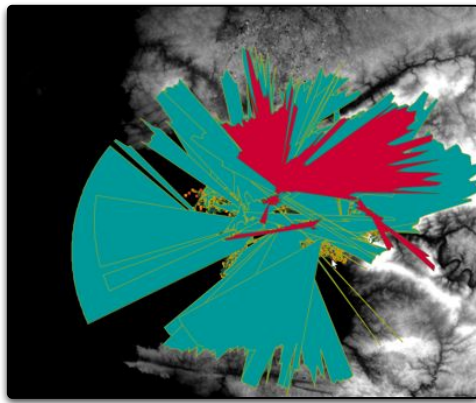


Figure III.15 – Approche de géo-positionnement fondée sur des contraintes géométriques

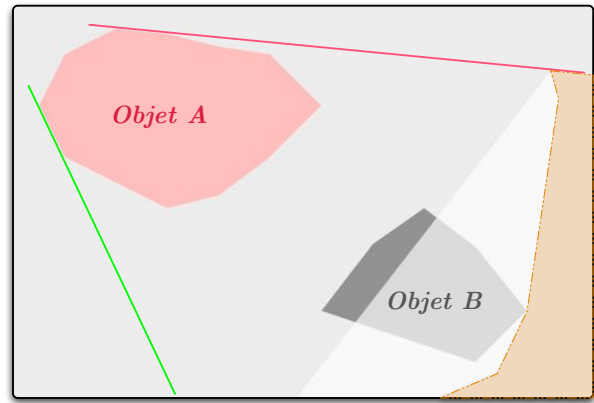
III.4 Conclusion

Les récents modèles et systèmes dédiés au géo-positionnement ont été largement influencés par des représentations quantitatives de l'espace. Ces approches ne reflètent cependant pas la manière dont les hommes perçoivent leur environnement. Nous avons ainsi introduit un mécanisme de géo-positionnement d'un observateur qui est fondé sur l'interprétation d'une carte conceptuelle. La carte conceptuelle résulte de l'interprétation de la description verbale de ce dernier, et correspond à la représentation abstraite d'une scène environnementale. Elle est structurée par des cônes directionnels et des espaces de proximité qui facilitent le positionnement des entités spatiales. Le mécanisme de géo-positionnement doit alors être en mesure d'associer ces références qualitatives aux données quantitatives d'une base de données géographiques.

Un algorithme satisfaisant plusieurs contraintes est appliqué afin de réduire de manière successive les emplacements possibles de l'observateur. L'approche apprécie toutes les zones dans lesquelles l'observateur est susceptible de se trouver. Les interprétations multiples de la description environnementale et les incohérences relatives au positionnement des entités sont limitées par l'utilisation de la carte conceptuelle. Une première méthode détermine une solution en calculant les positions à partir desquelles les objets identifiés par l'observateur sont visibles de manière simultanée, c'est-à-dire depuis un point fixe. Une seconde méthode interprète les relations d'orientation et de distance comme des contraintes géométriques. L'ordre dans lequel ces contraintes sont appliquées est déterminé par les valeurs des scores de saillance des entités. Au final, l'algorithme de géo-positionnement propose un ensemble de positions possibles qui répondent aux contraintes de visibilité et à celles issues de l'interprétation des positions des entités d'une carte conceptuelle. L'approche de visibilité présentée dans ce chapitre est implémentée et intégrée tant que nouvelle extension Java au Système d'Information Géographique *GvSIG* (Fig. III.16). Les autres contraintes spatiales présentées de manière théorique seront elles-aussi prochainement intégrées à *GvSIG*.



Implémentation de la contrainte de visibilité sous *GvSIG*



Implémentation en Java2D de la contrainte "A et B sont devant l'observateur avec B devant A" (4 cônes)

Figure III.16 – Prototype intégrant les contraintes spatiales

L'espace solution résultant pourrait être réduit en considérant cette fois les objets saillants de l'environnement qui sont *a priori* visibles depuis les zones de visibilité, mais qui n'ont pourtant pas été référencés par l'observateur. L'algorithme de saillance proposé au chapitre II pourrait alors être complété par une quantification des objets de la base de données géographiques selon leur type puisque dans un environnement naturel, un objet manufacturé (par exemple une éolienne) est plus saillant qu'un objet naturel (par exemple une prairie). La méthode permettrait alors de caractériser les zones de non-visibilité de ces objets et de restreindre l'espace solution initial. Enfin, l'approche de géo-positionnement actuelle est uniquement fondée sur l'interprétation géométrique des relations spatiales référencées dans la description verbale de l'observateur. La modélisation préalable de l'incertitude propre au langage naturel, et couramment associée à l'expression de relation spatiales [Desmontils, 2000] permettrait d'asseoir une des problématiques de recherche associée à ce travail, à savoir la liaison entre une vision quantitative et qualitative de l'environnement exprimée au travers du langage naturel. Les espaces solutions pourraient alors être définis selon plusieurs degrés de certitude, et les opérations de recherche organisées en conséquence.

Conclusion

Contexte

Les systèmes dédiés au géo-positionnement d'une personne ou d'un système nomade ne cessent d'évoluer et de s'accroître en qualité et en quantité. Ils s'attachent à associer une localisation précise à l'aide de coordonnées géographiques telles que la latitude et la longitude à la personne et/ou au système nomade. Le géo-positionnement est nécessaire dans le monde mobile actuel qui est en constante évolution. Son essor est lié à un besoin régulier de sûreté et de sérénité. La perception de l'environnement et l'utilisation d'instruments de navigation étaient, à l'origine, l'unique moyen qu'avaient les marins de l'Antiquité pour déterminer leur position géographique. Ce géo-positionnement était par la suite reproduit à l'aide d'une croix sur une carte géographique. La préparation du tour d'un monde à la voile ou la traversée du désert de Gobi est désormais inconcevable sans l'aide d'un système de géo-positionnement comme le GPS ou son pendant européen Galileo. Il est en effet rassurant pour le navigateur ou le randonneur actuels de savoir que leurs positions ne sont pas uniquement déterminées par les relevés de caps et la perception de configurations spatiales particulières comme un alignement de plusieurs objets géographiques.

Le géo-positionnement est aussi depuis quelques années devenu un phénomène de société grâce à la multiplication d'applications dédiées, au travers de supports mobiles. Les applications telles que *FourSquare*, *Voilà !* ou *Venii* proposent par exemple des services comparables à des jeux grandeur nature qui invitent l'utilisateur d'un téléphone portable à indiquer sa position géographique à chaque fois que la situation lui en donne l'occasion. Ces informations sont ensuite reproduites et consultables depuis un réseau social tel que *Twitter*, *Facebook* ou *Yahoo ! Fire Eagle*. Enfin, l'application *AroundMe* ne se limite pas à la diffusion d'une position géographique au travers de l'Internet, mais fournit à son utilisateur une information liée à l'environnement et au contexte. Ce service est amené à être utilisé dans un environnement urbain et propose de repérer les points d'intérêts tels que les banques ou les restaurants proches. Ces géo-positionnements multiples sont réalisés à l'aide d'une triangulation qui propose une position géographique en s'appuyant pour cela sur une représentation géométrique de l'espace. Cette représentation spatiale ne reflète cependant pas la manière dont un individu perçoit, mémorise et décrit son environnement.

Le contexte amène parfois un individu à indiquer sa position géographique de manière qualitative à l'aide du langage naturel ou de croquis dessinés à main levée. La description d'un environnement est propre au locuteur et dépendante de sa perception de l'espace et de

la situation l'ayant conduit à réaliser cette description. À notre connaissance, les outils géo-informatiques actuels ne sont cependant pas utilisés pour positionner un individu à partir de l'interprétation de la description linguistique ou graphique de son environnement. En retenant les fondements issus de la perception et de la cognition spatiales, l'utilisation d'une représentation fondée sur la manipulation de concepts qualitatifs apparaît donc comme une alternative à une représentation cartographique conventionnelle de l'environnement.

Contribution

Ce travail de thèse introduit un modèle fondé sur la perception égocentrique d'un environnement naturel dont la représentation cognitive est exprimée au moyen d'une description verbale.

Une étude empirique est mise en œuvre afin de collecter un nombre significatif de descriptions verbales d'environnements naturels. L'objectif consiste à identifier la manière dont un environnement naturel est spontanément décrit par des individus aux profils divers. Plusieurs photographies panoramiques illustrant des paysages aux configurations spatiales hétérogènes sont donc présentées à un panel de participants. Ces photographies sont manipulables à l'aide d'une interface intuitive, et chacun d'entre eux est invité à décrire verbalement le paysage perçu. Les résultats montrent que les objets manufacturés situés dans un environnement naturel ou semi-naturel sont plus discriminants que les autres, et aident donc à caractériser l'environnement décrit.

Ces résultats servent de support à l'élaboration d'un modèle fondé sur la perception égocentrique d'un environnement naturel. Plusieurs vues sont formalisées et transposent la description linguistique d'une scène environnementale en une représentation spatiale abstraite, répondant aux principes liés à la perception et à la cognition spatiale. La *représentation linguistique* modélise la description verbale sous la forme d'entités et de relations qui sont ordonnées temporellement. Cette représentation permet notamment de comparer plusieurs descriptions verbales d'un même paysage. La *carte conceptuelle* est une représentation abstraite d'une scène environnementale qui « spatialise » les objets décrits verbalement. Cette représentation est structurée en *espaces de proximité* et en *cônes directionnels* qui définissent les distances et orientations de manière relative à la position d'un observateur. Une carte conceptuelle est appropriée pour comparer plusieurs scènes environnementales, mais aussi pour conceptualiser une même scène environnementale résultant de descriptions verbales différentes.

Cette « spatialisation » des entités au moyen de la carte conceptuelle ne permet cependant pas de distinguer les entités saillantes des entités courantes et non caractéristiques de l'environnement perçu. Une telle sélection est pourtant indispensable dans le cadre du géo-positionnement d'un individu puisque tous les objets identifiés par l'observateur n'ont pas le même degré de discrimination. Le modèle de carte conceptuelle est alors enrichi par deux critères de saillance linguistique et spatiale, qui sont calculés à l'aide d'un algorithme de renforcement mutuel. Le critère de *saillance linguistique* évalue les phrases et les unités lexicales de la description verbale, alors que le critère de *saillance spatiale* quantifie les entités conceptuelles et les cônes directionnels ou les espaces de proximités de la scène environne-

mentale.

Le mécanisme de géo-positionnement d'un observateur résulte de l'interprétation de cette carte conceptuelle. De manière intuitive, l'idée consiste à mettre en relation la carte conceptuelle résultant de la perception d'un environnement à une représentation cartographique façonnée à l'aide d'une base de données géographiques. L'association de ces deux représentations ne peut être réalisée sans un modèle de représentation des connaissances. Une ontologie est donc implémentée afin d'associer les objets géographiques et les relations spatiales enregistrés dans la base de données de référence, aux unités lexicales correspondantes. Le mécanisme de géo-positionnement de l'observateur est alors initié grâce à l'interprétation de la configuration spatiale fournie par la carte conceptuelle :

1. les aires à partir desquelles les entités mentionnées par l'observateur sont simultanément visibles sont identifiées ;
2. les relations spatiales liant l'observateur et les entités sont interprétées comme des contraintes géométriques qui réduisent les zones de localisation possibles de ce dernier :
 - 2.1. interprétation de la position de deux entités aux relations d'orientation opposées par rapport à l'observateur ;
 - 2.2. interprétation de la position de deux entités aux orientations identiques par rapport à l'observateur ;
 - 2.3. interprétation de la relation de distance entre des entités aux orientations identiques par rapport à l'observateur ;
 - 2.4. interprétation des orientations relatives entre deux entités.

L'ordre de prise en compte de ces contraintes est déterminé par les scores de saillance associés aux entités. Chacune de ces interprétations conduit à l'identification d'une région satisfaisant les contraintes. Le mécanisme réduit au fur et à mesure les solutions, et le résultat exploitable pour lancer les opérations de recherche de l'individu est fourni par l'intersection des zones résultant de ces interprétations.

Extension de notre approche

L'approche initiale pourrait être complétée en amont par une caractérisation quantitative du relief de l'environnement considéré. Les objets morphologiques disposent en effet de frontières *fiat* qui ne correspondent pas nécessairement à une discontinuité qualitative de l'environnement. L'identification de ces frontières est subjective et dépend d'une définition quantitative de ces objets. Un objet de type « Montagne » doit alors pouvoir être *a minima* caractérisé par une extension spatiale, la hauteur de son point le plus élevé et un ordre de magnitude. L'IGN a opté pour une définition des objets topologiques de manière ponctuelle et l'établissement de leur frontière est donc laissé à l'appréciation de l'utilisateur de la base de données géographiques. Or la zone de recherche associée à une contrainte spatiale est caractérisée par une construction géométrique dépendant de la frontière de l'objet. Puisque la base de données ne définit pas les frontières, les données géographiques proposées ne permettent pas non plus de caractériser l'inclusion ou l'adjacence entre plusieurs objets morphologiques.

Il est donc nécessaire d'identifier les frontières de tels objets à partir de l'établissement de critères quantitatifs.

C'est la raison pour laquelle ce travail de thèse s'intègre dans le projet Procore initié entre l'École navale et le *Department of Land Surveying and Geo-Informatics* de Université Polytechnique de Hong Kong. L'objectif consiste à caractériser de manière qualitative plusieurs modèles numériques de terrain (MNT) à partir de critères quantitatifs. Les éléments caractéristiques de chaque MNT sont identifiés, en particulier les lignes de crêtes, les talwegs, les pics, les creux et les points cols [Saux et al., 2004]. Le relief du terrain est alors représenté sous la forme d'un graphe topologique qui permet de caractériser l'inclusion et l'adjacence d'objets morphologiques. Ce graphe fait émerger des structures morphologiques qui sont qualifiées à l'aide des dénominations fournies par une ontologie (Fig. III.17). À terme, ce projet devrait donc être en mesure de qualifier qualitativement les structures morphologiques émergeant d'un MNT ainsi que leurs frontières.

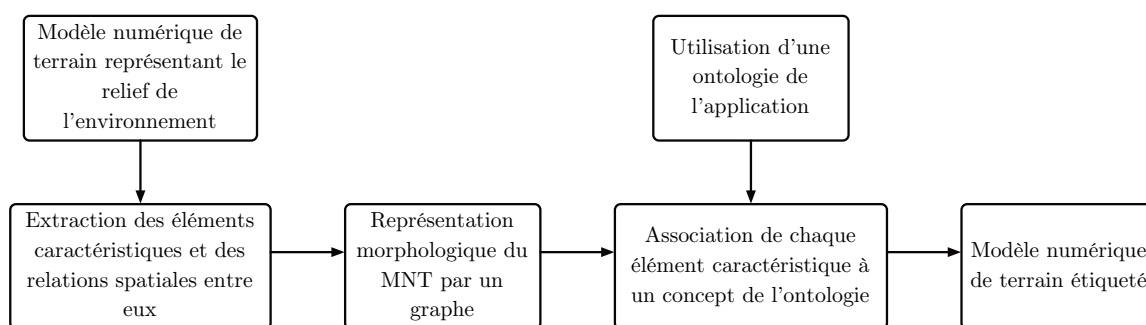


Figure III.17 – Identification des objets morphologiques de l'environnement

Le modèle de carte conceptuelle est actuellement issu de l'interprétation de la description verbale d'une scène environnementale. Il pourrait être adapté à la caractérisation d'un itinéraire, c'est-à-dire du chemin à emprunter pour se rendre d'un lieu à un autre. La description d'un itinéraire est en effet marquée par la juxtaposition de *landmarks* et de verbes caractérisant une action. Mais un itinéraire ne se limite pas à une appréciation dynamique de l'espace. Car si l'on imagine bien qu'une telle description définit les actions à réaliser pour atteindre un lieu, elle est aussi ponctuée de descriptions de scènes environnementales. Selon le dictionnaire de l'Académie Française, un itinéraire est un « relevé indiquant les lieux par où l'on passe pour aller d'un pays à un autre, accompagné parfois de leur description et des impressions qu'ils ont laissées ». L'environnement serait alors caractérisé par un itinéraire ponctué de descriptions de scènes environnementales. Les vues existantes pourraient être complétées par une représentation illustrant l'évolution de la perception spatiale au cours du déplacement d'un individu (Fig. III.18). Elle permettrait notamment d'analyser l'évolution des distances et des orientations des objets par rapport à la position de l'observateur. Plusieurs cartes conceptuelles seraient ainsi liées entre elles au moyen d'opérateurs spatiaux et sémantiques qui caractériseraient la progression d'une configuration spatiale à une autre.

Ce modèle de représentation complémentaire pourrait alors être combiné à une approche identifiant un itinéraire préalablement décrit [Brosset, 2008]. Un algorithme de colonies de fourmis est adapté afin de répondre à la problématique d'identification d'un itinéraire. Notre approche de géo-positionnement d'un individu pourrait ainsi être précisée grâce à l'interpré-

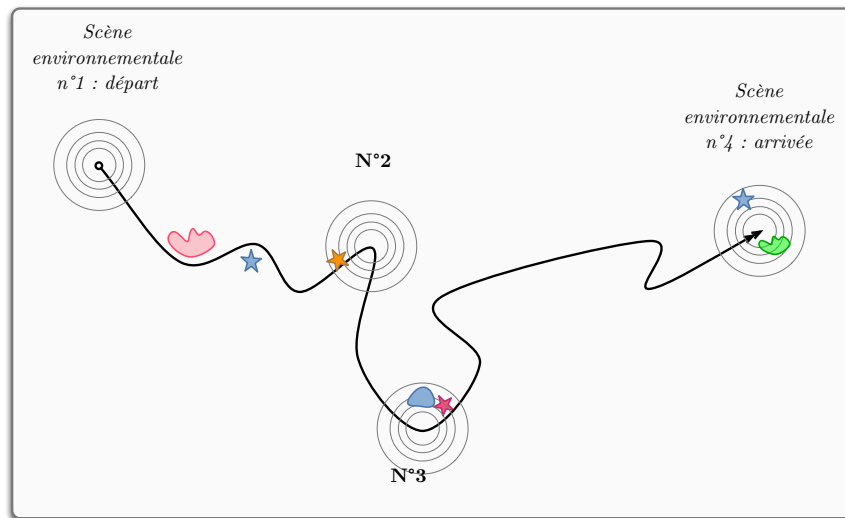


Figure III.18 – Évolution spatiale des entités lors du déplacement de l'observateur

tation d'informations relatives à sa dynamique. Une contrainte de distance et d'orientation permettrait ensuite de définir les zones de recherche à privilégier [Hendricks et al., 2003].

Le modèle de carte conceptuelle pourrait aussi être adapté à la génération automatique de descriptions de scènes environnementales urbaines ou naturelles. Il ne s'agirait alors plus de fournir une configuration spatiale à partir de l'interprétation d'une description environnementale, mais d'exprimer verbalement une configuration spatiale à partir de l'interprétation d'un environnement capturé à l'aide d'images numériques. Les objets détectés à l'issue du traitement de l'image seraient alors « spatialisés » à l'aide de la carte conceptuelle, et cette configuration spatiale pourrait être décrite verbalement. Le résultat pourrait être intégré à un système d'aide aux personnes visuellement déficientes. L'approche pourrait enfin être adaptée à la surveillance automatique d'une zone particulièrement sensible. Il s'agirait non plus de caractériser uniquement le déplacement d'un individu, mais aussi l'évolution d'objets mobiles.

Annexes

A Expérimentations

A.1 Photographies panoramiques utilisées au cours de l'expérimentation

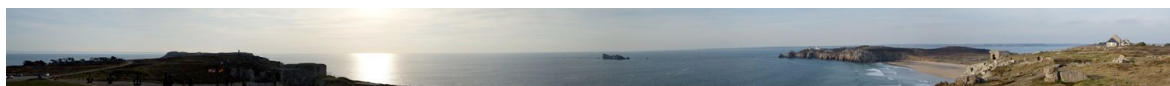


Figure A.1 – Pointe de Pen Hir, Presqu'île de Crozon-Morgat (29)



Figure A.2 – Plage de Toëno, Trébeurden (22)



Figure A.3 – Plage de Toëno, Trébeurden (22)



Figure A.4 – Baie de Goulven, Goulven (29)



Figure A.5 – Paysage de Haute-Loire (43)



Figure A.6 – Barrage de Saint-Egrève, Saint-Egrève (38)



Figure A.7 – Sentier côtier de Brignogan, Brignogan-Plages (29)



Figure A.8 – Vallée du Tarn, Millau (12)



Figure A.9 – Panorama de l'Ardèche (07)



Figure A.10 – Panorama depuis le Pic de Lizieux (43)

A.2 Exemples de descriptions verbales d'environnements naturels

« C'est à priori dans un milieu forestier, on dirait une clairière, on est dans une sorte de hameau. Il y a des conifères et des feuillus. On doit être à une altitude moyenne, à peu près 800-900 mètres. Avec mon orientation, je vois que l'on a une première partie de montagne moyenne suivie au fond, en arrière plan, de montagnes correspondant à des rochers dégarnis avec des restes de neiges. Si je prends la description de cette partie de rochers qui couvre à peu près la moitié de mon champ de vision, sur la droite, on a un premier plateau et si on poursuit ce plateau, on tombe sur une petite vallée suivie d'un second plateau terminé par un pic. En dessous de cette montagne, on tombe sur le hameau, il y a à 2 à 3 maisons. Je me retourne, et je m'oriente du côté vallée. Et alors là, on a un superbe paysage alpin, où tout au fond on voit une ville encaissée, qui est en fond de vallée. Au lointain, derrière, on a des montagnes enneigées. Il y a une antenne radio rouge et blanche. Au milieu de la vallée dont je parlais, entre la grande ville et le fond montagneux enneigé, on a des collines. Je me retourne sur ma gauche, il y a juste une maison particulière et une clôture en vieilles pierres qui borde la route. La route part dans un virage et rejoint le côté montagneux que j'ai précédemment décrit. »

« Je suis sur une route de montagne avec une petite bordure. En contrebas, il y a une maison et au loin, il y a une grande montagne enneigée. En bas, je pense qu'il y a des champs, et la route à l'air de descendre. Il y a une montagne beaucoup plus près qui est moins enneigée. Il y a beaucoup de forêts en bas de cette montagne. La route à l'air de continuer dans cette montagne. De l'autre côté, il y a une maison qui est plus haute que la route, mais pas de beaucoup, avec un mur de protection. Il y a des fils électriques dans tous les sens. Si je continue à descendre la route sur laquelle je suis, à droite je vais trouver une petite route

qui va vers une sorte de lotissement. C'est à 300 – 400 mètres, c'est pas très loin. Il y a une antenne rouge et blanche qui à l'air d'être une antenne relais plus bas sur la route. Dans la vallée en bas, il y a une grande ville. La route sur laquelle je suis doit y mener. La montagne enneigée est derrière la ville, beaucoup plus loin. »

« En face de moi, il y a une vallée et une colline. Je vois une antenne à l'horizon. L'antenne est rouge et blanche. Elle est au fond de la vallée avec quelques maisons autour. Au fond, on voit des montagnes avec le sommet enneigé. Sur ma gauche il y a [...], enfin en fait je suis derrière un petit muret, avec des barricades en métal. Devant moi, il y a une maison qui est vraiment pas loin du muret, et devant ce muret là, il y a une route. Derrière moi, il y a une autre route avec une autre maison derrière. En fait c'est un paysage de montagnes avec des habitations dans la vallée. Il y a visiblement beaucoup d'habitants. »

« Au dessus, il y a des arbres et une maison. Tout au fond, une montagne. Je me tourne vers la droite, je vois des fils électriques. Derrière, une montagne qui s'arrête à un moment donné. Il y a des arbres en face, et en contrebas du chemin sur lequel je suis et qui est entouré d'une petite clôture en pierre et en ferraille, il y a une maison qui a l'air toute récente. Derrière, il y a une grande chaîne de montagnes, et une cuvette dans laquelle on distingue une ville étendue. Tout au fond, il y a une montagne qui semble enneigée. En contrebas de cette vue, juste avant la grande ville, il y a de petites maisons et une antenne rouge et blanche. Je continue à me tourner toujours vers la droite. Il y a des arbres et une route qui longe des maisons. La route descend vers la ville. À l'horizon, il y a une toute petite montagne, et une autre grosse montagne juste derrière. Et si je continue à tourner, je reviens à la maison citée au début. »

« Je suis en haut d'une falaise, le long d'une route qui n'est pas en très bon état et qui conduit à des maisons des années 80. Donc, je suis plutôt en hauteur. Je vois en contrebas de la falaise où je suis une ville avec manifestement des tours, et en fond des monts enneigés. Entre les monts enneigés et la ville, il y a aussi plusieurs petits monts, avec des vallées entre eux. À droite de la ville, donc à un endroit où en contrebas je ne vois plus la ville, il y a une espèce d'antenne relais, avec quelque chose derrière qui pourrait ressembler à un parc, mais il s'agit peut être du jardin d'une maison. Cette antenne n'est pas très loin d'une voie de chemins de fer, c'est-à-dire qu'entre l'espèce de parc et l'antenne, il y a une voie de chemins de fer qui passe, avec manifestement un bâtiment [...] Donc là je suis toujours un peu à droite de la ville et il y a toujours les monts enneigés tout au fond. Les monts enneigés disparaissent et juste derrière la voie de chemins de fer, donc entre les monts enneigés et la voie de chemins de fer, plus proche de moi, il y a des hauteurs avec des arbres et une route. De là où je suis, je peux accéder à cette route, et quand je rejoins cette route, il y a un hameau avec des maisons assez récentes. Si je continue sur cette route, je vais vers un espèce de mont beaucoup plus proche, et qui à l'air beaucoup plus haut que les monts enneigés. Si je considère que les monts enneigés sont devant moi, entre 90 et 180°, il y a un certain nombre de câbles électriques. C'est en aval d'un espèce de mont. »

« Je suis sur une route. Sur la gauche et devant moi, il y a des barrières blanches et des montagnes tout au loin. Derrière, il y a un petit bosquet avec des arbres. Derrière, il y a une montagne qui est assez grande. Le bosquet est toujours devant moi, et j'ai l'impression qu'il y a une autoroute ou une voie rapide car on distingue des rambardes de sécurité. En face de moi, il y a une grande montagne enneigée. Lorsque je me retourne, il y a des fils qui passent

juste au dessus de ma tête. Tout au fond, il y a des montagnes. Sur ma droite, il y a un lac, ou du moins une retenue d'eau tout en longueur qui est délimitée par plusieurs bosquets et une grande montagne. On a l'impression qu'il s'agit d'un canal, d'une construction artificielle. Le long de la montagne, il y a des pylônes et des fils électriques. On devine l'entrée de tunnels dans cette même montagne. Il me semble qu'il s'agit en fait d'un barrage. Oui, c'est un barrage car il y a une centrale électrique juste à côté de moi. »

« Là, je suis dans la forêt et je vois une route qui n'est vraiment pas loin, à environ 100 mètres de moi, dans un paysage montagneux. Je suis entouré d'arbres, et devant moi, je vois une route. Lorsque je tourne à 180 °, je vois une grande étendue d'eau avec la montagne à l'horizon. Je vois aussi des pylônes électroniques. Ça a l'air d'être de la haute tension car ce sont de grands pylônes assez élevés. En fait, c'est un barrage qui est juste au bout de ce lac là. Un barrage électrique visiblement. Par contre, il n'y a pas une seule habitation, il n'y a rien du tout, je devine juste des voitures sur une route qui est parallèle à celle sur laquelle je me trouve. »

B Validation du modèle

B.1 Protocole de validation du modèle

Participation à la validation d'un modèle (Durée : 15 minutes)

PROFIL DU PARTICIPANT :

Age :

Fonction :

Réalisez-vous régulièrement une activité nécessitant un repérage dans un environnement ou sur une carte (course d'orientation, voile, air-soft, etc.). Si oui, précisez.

☐ OUI

☐ NON

Plusieurs descriptions d'environnements vous sont proposées. Ces descriptions sont réalisées par un observateur statique. Deux structures sont associées à chaque description. Les cercles concentriques illustrent la distance relativement à l'observateur (représenté par une icône).

Les espaces en pointillés représentent les orientations relativement à la position de l'observateur. La structure n°1 est composée de quatre orientations (devant/derrière/gauche/droite). La structure n°2 est composée de deux orientations (devant/derrière l'observateur).

Vous devez sélectionner les objets de la description (au choix, tous les objets ou uniquement ceux qui vous semblent pertinents) et les positionner dans la structure de votre choix (n°1 OU n°2). Vous préférerez un terme, par exemple **Edienne** pour les représenter plutôt qu'une icône.

DESCRIPTION n° 1 : "Je suis complètement perdu au milieu d'un environnement très vallonné. Je me situe sur un sentier qui longe d'un côté un château assez éloigné de ma position, et de l'autre un petit étang. Le château qui est composé d'un mur d'enceinte et d'un petit donjon est réellement majestueux. Il y a juste en face de moi une petite vallée avec le château sur sa gauche, et à l'horizon, je distingue une chaîne de montagnes. Juste derrière moi, il y a donc l'étang, puis une large prairie derrière, et au loin une forêt dense"

La description **DESCRIPTION n° 1** vous paraît-elle suffisante ? Comment avez-vous sélectionné la structure n°1 ou n°2 ? Quelles précisions auriez-vous souhaité obtenir de la part de l'observateur ?

.....

DESCRIPTION n° 2 : "Il n'y a pas grand chose autour de moi. Je suis sur un sentier qui longe la mer. A environ 500 mètres derrière moi, il y a un bâtiment qui ressemble à un sémaphore. Ce sémaphore est entouré de quelques maisons blanches. Sur ma gauche, c'est la mer ! Je distingue au loin une balise, peut être une cardinale mais je n'en suis pas du tout sûr."

La description **DESCRIPTION n° 2** vous paraît-elle suffisante ? Comment avez-vous sélectionné la structure n°1 ou n°2 ? Quelles précisions auriez-vous souhaité obtenir de la part de l'observateur ?

.....

.....

.....

.....

DESCRIPTION n° 3 : "Je suis dans une zone montagneuse à deux pas d'une prairie. Au bout de cette prairie, il y a une habitation, ou peut-être est-ce une ferme car je distingue aussi un grand hangar juste à côté. A l'horizon, on voit très clairement une chaîne de montagne. Une ligne à haute tension traverse un champ situé à gauche de l'habitation. Sur ma droite, il y a un bosquet et derrière moi, il y a une route qui monte. "

La description **DESCRIPTION n° 3** vous paraît-elle suffisante ? Comment avez-vous sélectionné la structure n°1 ou n°2 ? Quelles précisions auriez-vous souhaité obtenir de la part de l'observateur ?

.....

.....

.....

.....

Visualisez le prototype **EXPERIMENTATION n°2** mis à disposition à l'URL <http://experimentation.yaou.org/> (une version récente de Java est nécessaire). Le prototype charge une structure composée d'entités, de relations spatiales et de phrases. Essayez de modifier l'extension spatiale d'une entité (en sélectionnant sa bordure) puis son positionnement.

Cette opération vous paraît-elle intuitive ? ☐ OUI ☐ NON

Le prototype proposé vous permet de créer des phrases qui sont elles-même composées d'entités. Les relations spatiales lient deux entités entre elles. Enfin, la carte peut être segmentée par 2 ou 4 cones directionnels.

Avez-vous eu des difficultés à ajouter une entité ? ☐ OUI ☐ NON

Avez-vous eu des difficultés à ajouter une relation entre deux entités ? ☐ OUI ☐ NON

Commentaire général sur le prototype :

.....

.....

.....

.....

.....

Figure B.0 – Protocole de validation du modèle de carte conceptuelle

B.2 Résultats préliminaires

B.2.1 Description 1

« **Description 1** : Je suis complètement perdu au milieu d'un environnement très vallonné. Je me situe sur un sentier qui longe d'un côté un château assez éloigné de ma position, et de l'autre un petit étang. Le château qui est composé d'un mur d'enceinte et d'un petit donjon est réellement majestueux. Il y a juste en face de moi une petite vallée avec le château sur sa gauche, et à l'horizon, je distingue une chaîne de montagnes. Juste derrière moi, il y a donc l'étang, puis une large prairie derrière, et au loin une forêt dense. »

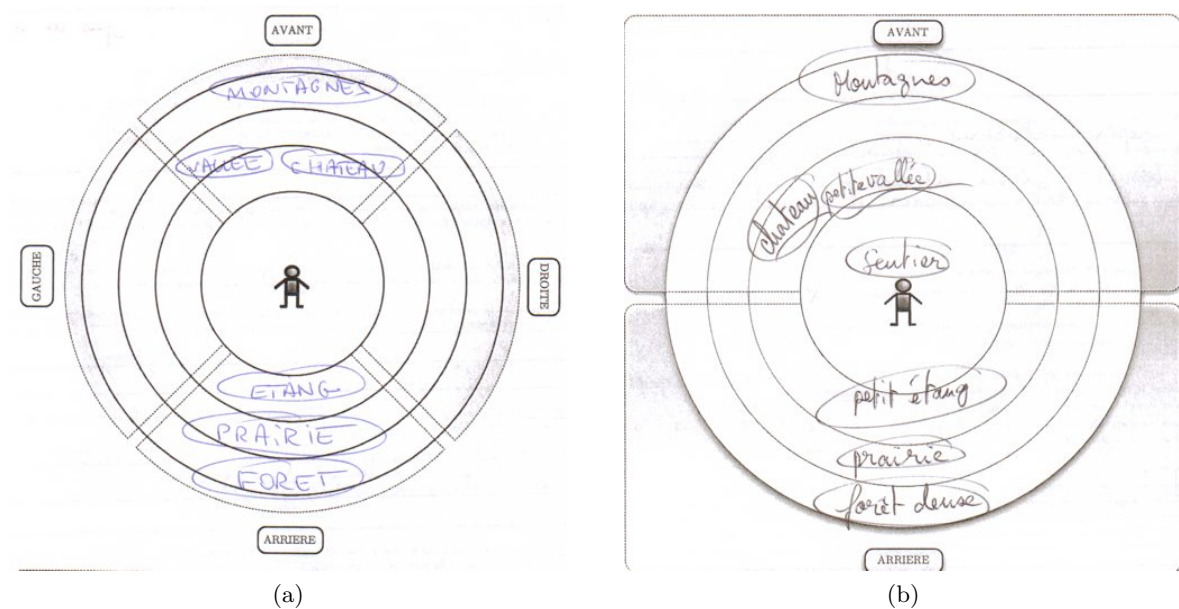


Figure B.1 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 1

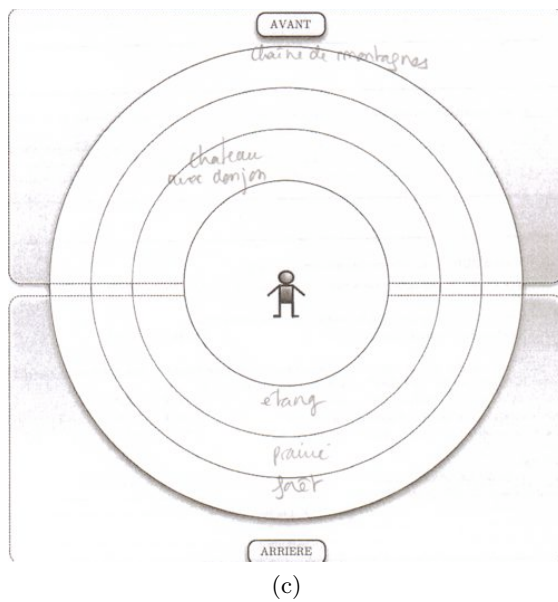


Figure B.1 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 1

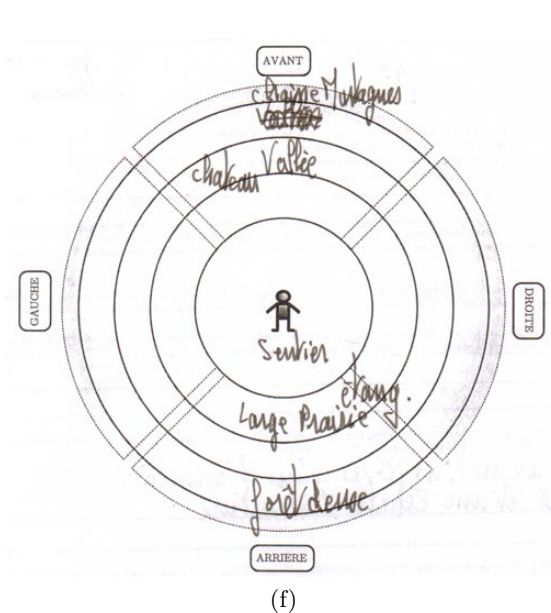
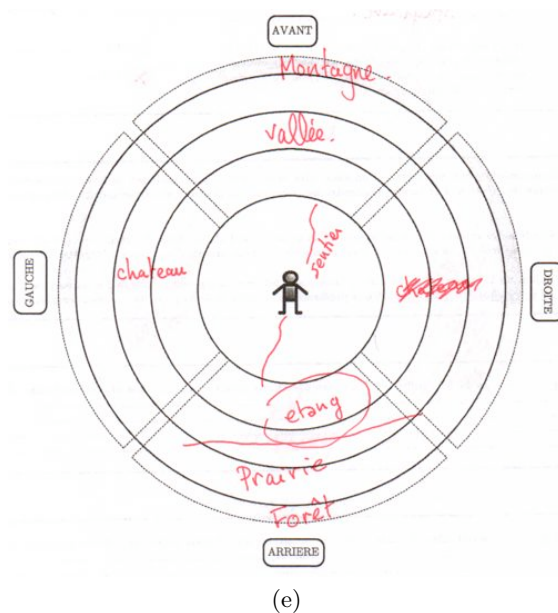


Figure B.1 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 1

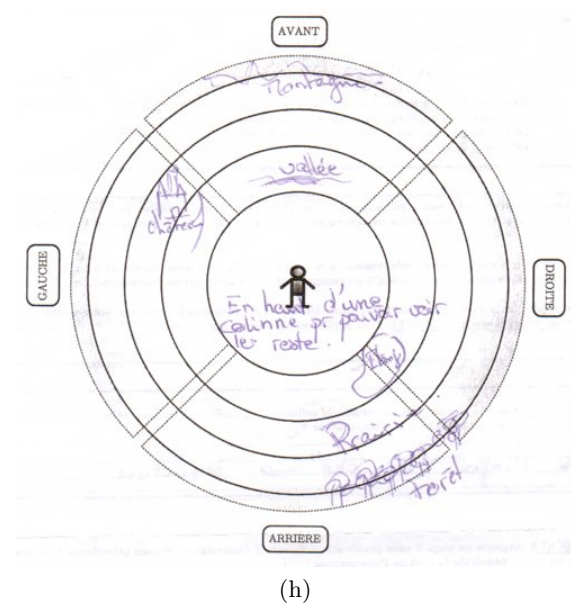
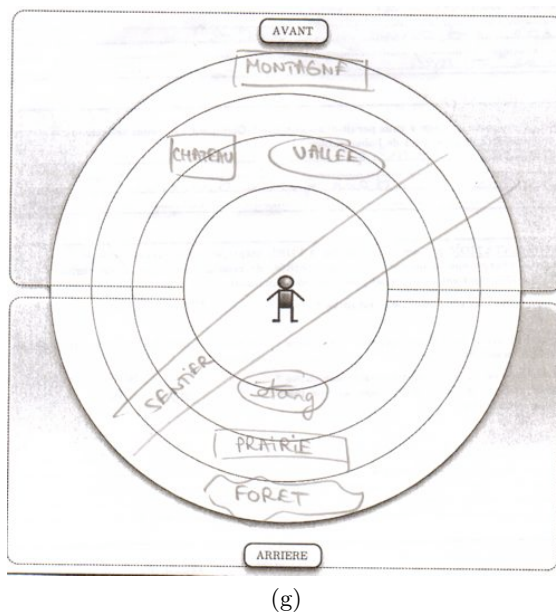


Figure B.1 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 1

B.2.2 Description 2

« **Description 2** : Il n'y a pas grand chose autour de moi. Je suis sur un sentier qui longe la mer. À environ 500 mètres derrière moi, il y a un bâtiment qui ressemble à un sémaphore. Ce sémaphore est entouré de quelques maisons blanches. Sur ma gauche, c'est la mer ! Je distingue au loin une balise, peut être une cardinale mais je n'en suis pas du tout sûr. »

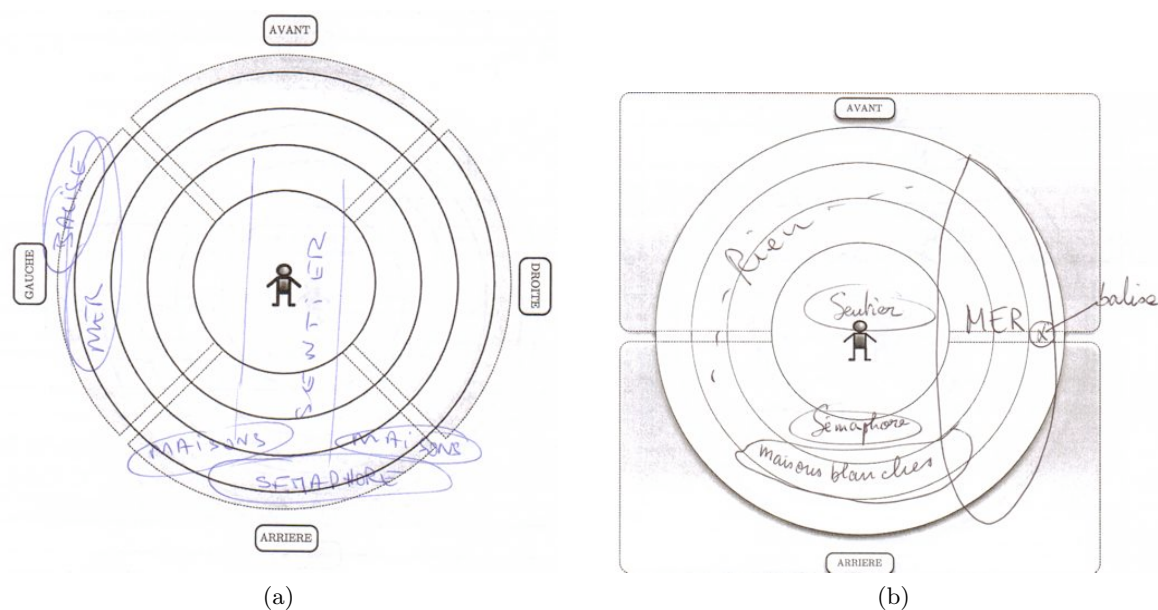


Figure B.2 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 2

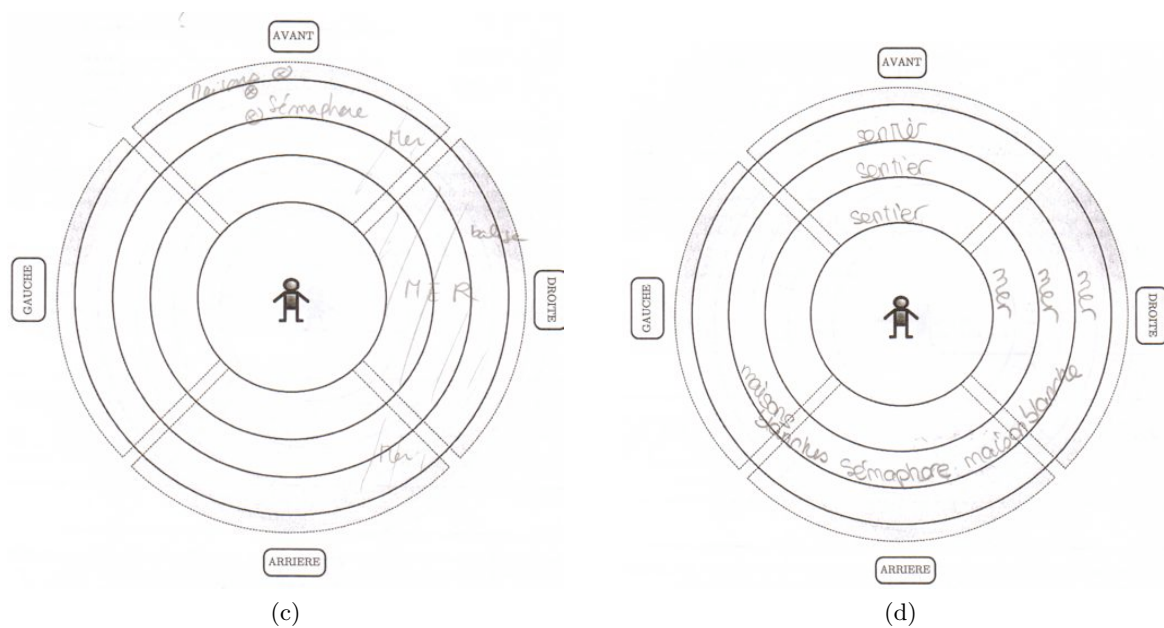


Figure B.2 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 2

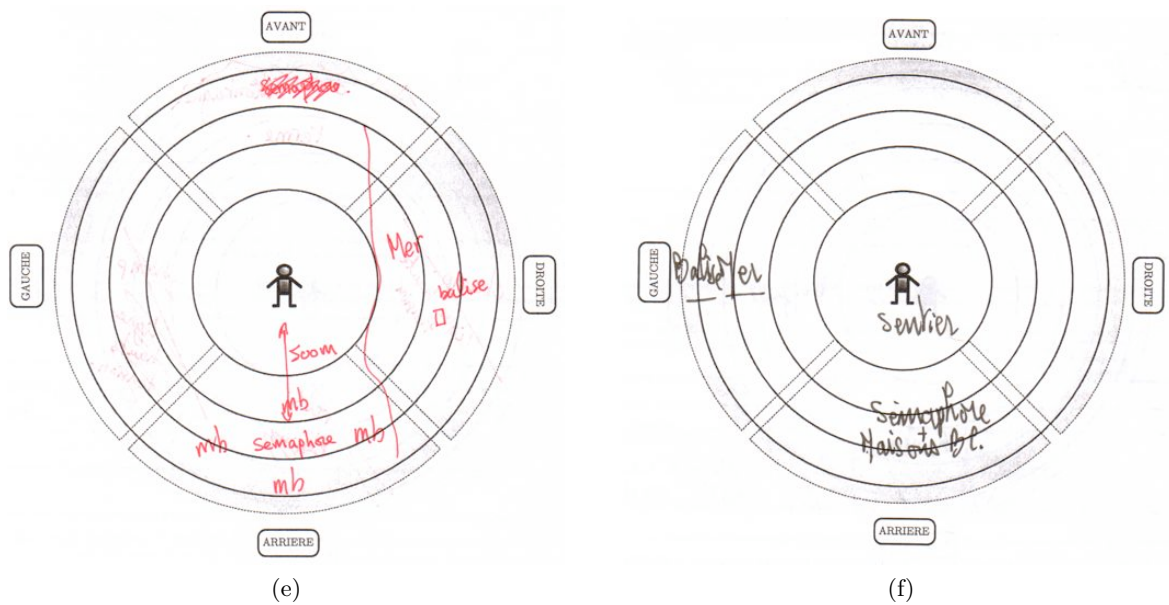


Figure B.2 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 2

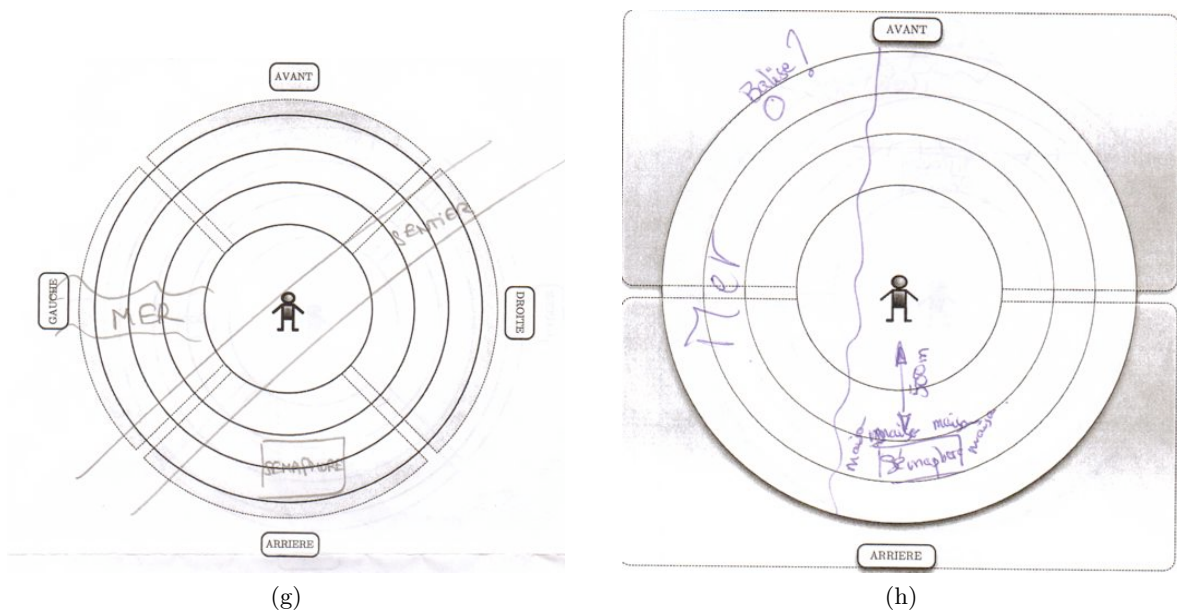


Figure B.2 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 2

B.2.3 Description 3

« **Description 3** : Je suis dans une zone montagneuse à deux pas d'une prairie. Au bout de cette prairie, il y a une habitation, ou peut-être est-ce une ferme car je distingue aussi un grand hangar juste à côté. À l'horizon, on voit très clairement une chaîne de montagne. Une ligne à haute tension traverse un champ situé à gauche de l'habitation. Sur ma droite, il y a un bosquet et derrière moi, il y a une route qui monte. »

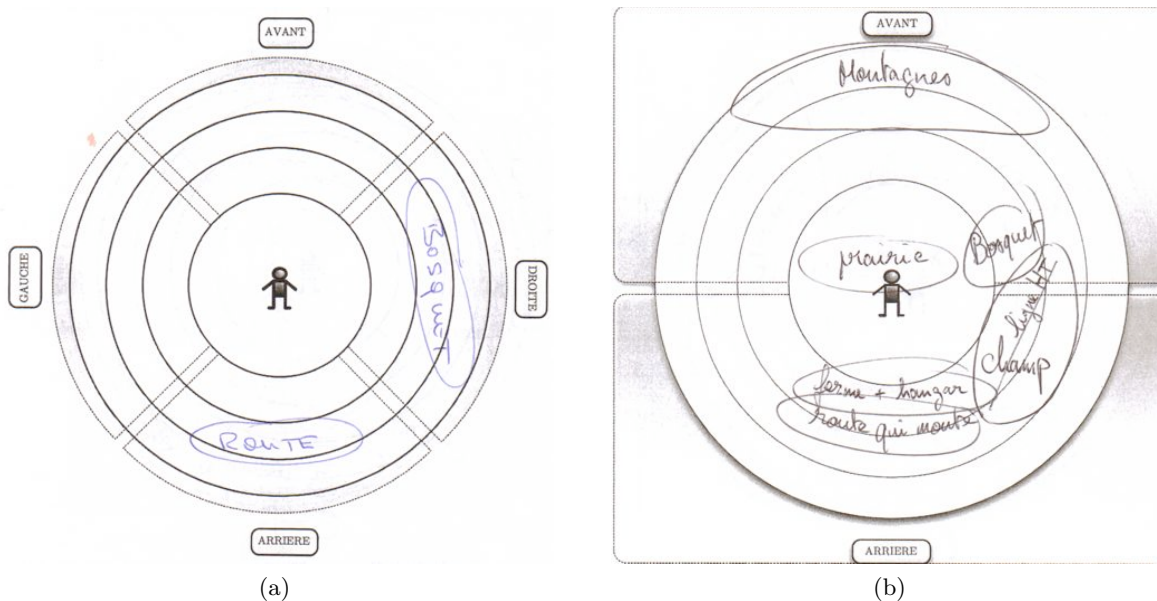


Figure B.3 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 3

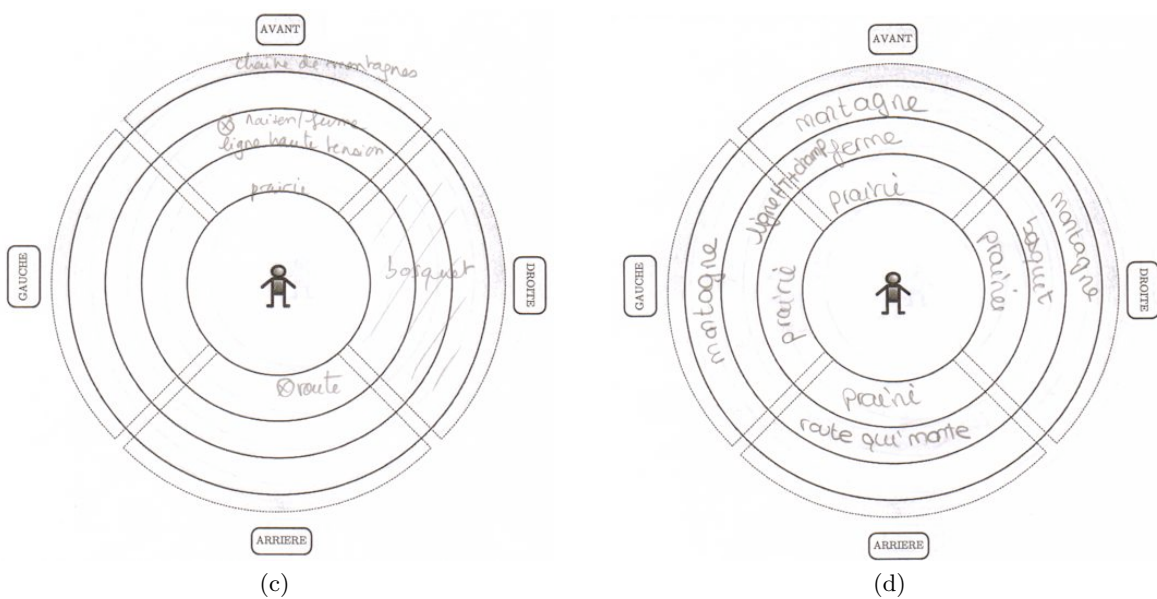


Figure B.3 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 3

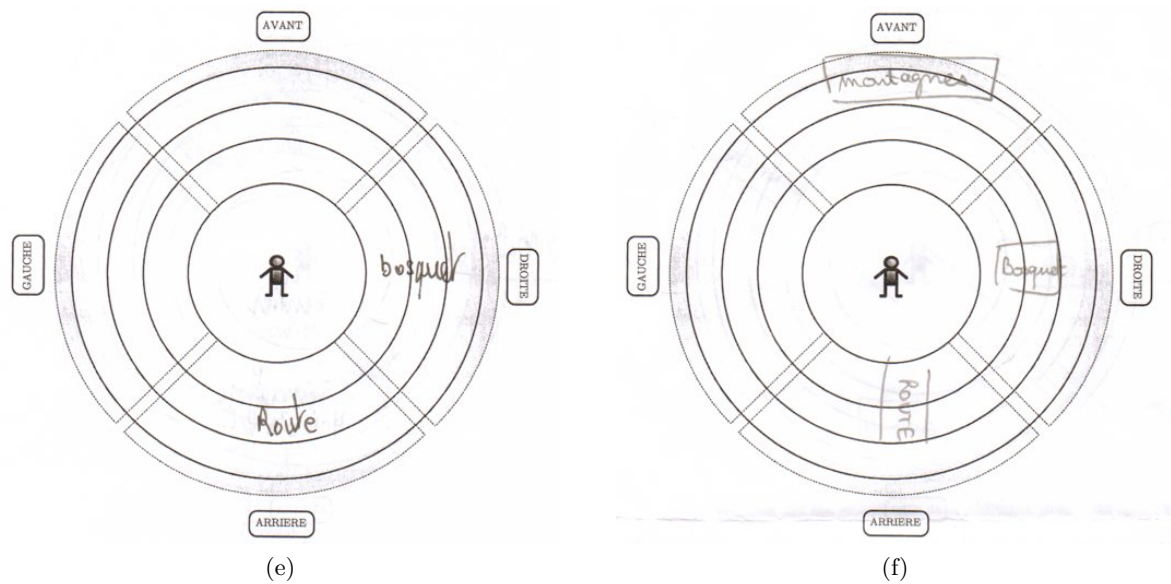


Figure B.3 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 3

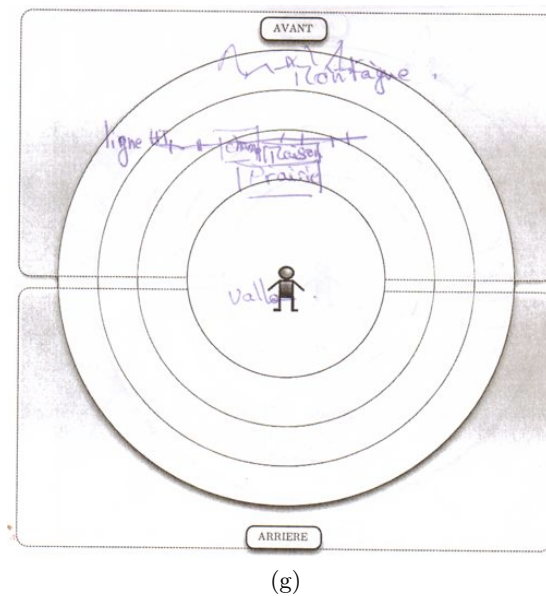


Figure B.3 – Représentations de la configuration spatiale exprimée par la description 3

Bibliographie

- [Allen, 1983] Allen, J. (1983). *Maintaining knowledge about temporal intervals*. Communications of the ACM, 26(11) :832–843.
- [Appleyard, 1970] Appleyard, D. (1970). *Styles and methods of structuring a city*. Environment And Behavior, 2(1) :100–118.
- [Aussenac-Gilles et Mothe, 2004] Aussenac-Gilles, N. et Mothe, J. (2004). *Ontologies as background knowledge to explore document collections*. In Actes de la Conférence sur la Recherche d’Information Assistée par Ordinateur, pages 129–142.
- [Bachimont, 2000] Bachimont, B. (2000). *Ingénierie des Connaissances, Évolutions Récentes et Nouveaux Défis, chapter Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d’ontologies en Ingénierie des connaissances*. Eyrolles.
- [Baird, 1970] Baird, J. C. (1970). *Psychophysical Analysis of Visual Space*. International series of monographs in experimental psychology. Pergamon Press.
- [Bera, 2004] Bera, R. (2004). *L’adjacence Relative : Une Étude Contextuelle de l’Influence de l’Environnement Spatial Dans l’Appréhension de la Notion de Proximité*. PhD thesis, Université de Rennes I.
- [Bertin, 1967] Bertin, J. (1967). *Sémiologie Graphique*. Mouton Gauthier-Villars.
- [Biebow et Szulman, 2000] Biebow, B. et Szulman, S. (2000). *Terminae : Une approche terminologique pour la construction d’ontologies du domaine à partir de textes*. Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, 2 :81–90.
- [Biedermann, 1987] Biedermann, I. (1987). *Recognition-by-components : A theory of human image understanding*. Psychological Review, 94(2).
- [Blaser, 2000] Blaser, A. D. (2000). *A study of people’s sketching habits in GIS*. Spatial Cognition and Computation, 2 :393–419.
- [Bourigault et al., 2002] Bourigault, D., Aussenac-Gilles, N., et Charlet, J. (2002). *Construction de ressources terminologiques ou ontologiques à partir de textes : un cadre unificateur pour trois études de cas*. Revue d’Intelligence Artificielle, 10 :1–10.
- [Bourigault et al., 2005] Bourigault, D., Fabre, C., Frérot, C., Jacques, M., et Ozdowska, S. (2005). *Syntex, analyseur syntaxique de corpus*. In Actes des 12^{èmes} Journées sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles.
- [Brosset, 2008] Brosset, D. (2008). *Description d’Itinéraire en Milieu Naturel : Modèle Intégré de Description Verbale et de Représentation Spatiale au Sein des SIG*. PhD thesis, Université de Rennes I.

- [Brosset et al., 2007] Brosset, D., Claramunt, C., et Saux, E. (2007). A location and action-based model for route descriptions. In Fonseca, F., Rodrigues, M. A., et Levashkin, S., editors, 2nd International Conference on Geospatial Semantics, volume 4853 of LNCS, pages 146–159. Springer Verlag.
- [Brunet, 1980] Brunet, R. (1980). La composition des modèles dans l'analyse spatiale. L'Espace Géographique : Régions, Environnement, Aménagement, 9(4) :253–265.
- [Caduff et Timpf, 2008] Caduff, D. et Timpf, S. (2008). On the assessment of landmark salience for human navigation. Cognitive Processing, 9(4) :249–267.
- [Carlson, 2008] Carlson, L. A. (2008). On the "whats" and "hows" of "where" : The role of salience in spatial descriptions. In Freksa, C., Newcombe, N. S., Gärdénfors, P., et Wölfl, S., editors, Spatial Cognition VI. Learning, Reasoning, and Talking about Space, volume 5248 of LNCS, pages 4–6. Springer Heidelberg.
- [Ceyte, 2006] Ceyte, H. (2006). Perception Visuelle de l'Espace Égocentré : Contribution Différenciée des Informations Sensorielles à la Localisation et l'Orientation du Plan Médian Corporel. PhD thesis, Université de Nancy.
- [Chai et Qu, 2005] Chai, J. Y. et Qu, S. (2005). A salience driven approach to robust input interpretation in multimodal conversational systems. In Human Language Technology Conference, pages 217 – 224.
- [Champenois, 2009] Champenois, C. (2009). Conception d'une scène environnementale à partir de sa description textuelle. Technical report, Institut de Recherche de l'École navale.
- [Charlet et al., 2000] Charlet, J., Zacklad, M., Kassel, G., et Bourigault, D., editors (2000). Ingénierie des Connaissances : Recherches et Perspectives. Eyrolles, ingénierie des connaissances : évolutions récentes et nouveaux défis edition.
- [Chen, 1976] Chen, P. (1976). The entity-relationship model. Toward a unified view of data. ACM Transactions on Database Systems, 1(1) :9–36.
- [Chevriaux, 2008] Chevriaux, Y. (2008). Une Approche Qualitative Spatiale Pour une Description Sémantique de Reliefs. PhD thesis, Université de Rennes I.
- [Claramunt et Mainguenaud, 1996] Claramunt, C. et Mainguenaud, M. (1996). A spatial data model for navigation knowledge. In Kraak, M. et Molenaar, M., editors, Proceedings of Spatial Data Handling, pages 767–784. Taylor & Francis.
- [Clark, 1973] Clark, H. H. (1973). Space, time, semantics and the child. Cognitive Development and the Acquisition of Language.
- [Clementini et al., 1993] Clementini, E., Di Felice, P., et van Oosterom, P. (1993). A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. Large Spatial Databases, 692 :277–295.
- [Colin et al., 1998] Colin, C., Desmontils, E., Martin, J.-Y., et Mounier, J.-P. (1998). Working modes with a declarative modeler. Special Issue On Graphics Research and Education on the World Wide Web, pages 1875–1886.
- [Cornell et Hill, 2005] Cornell, E. H. et Hill, K. A. (2005). Children and their Environments : Learning, Using, and Designing Spaces, chapter The problem of lost children, pages 26–41. Cambridge University Press.
- [Couclelis, 1992] Couclelis, H. (1992). People manipulate objects (but cultivate fields) : Beyond the raster-vector debate in GIS. In Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space, volume 639 of LNCS, pages 65–77.

- [Couclelis et al., 1987] Couclelis, H., Golledge, R. G., Gale, N., et Tobler, W. (1987). *Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition*. Journal of Environmental Psychology, 7(2) :99–122.
- [Dale et Reiter, 1995] Dale, R. et Reiter, E. (1995). *Computational interpretations of the gricean maxims in the generation of referring expressions*. Cognitive Science : A Multidisciplinary Journal, 19(2) :233–263.
- [Dara-Abrams, 2008] Dara-Abrams, D. (2008). *Cognitive surveying : A framework for mobile data collection, analysis and visualization of spatial knowledge and navigation practices*. Spatial Cognition VI. Learning, Reasoning and Talking about Space, 5248 :138–153.
- [De Floriani et Magillo, 2003] De Floriani, L. et Magillo, P. (2003). *Algorithms for visibility computation on terrains : a survey*. Environment and Planning B (Planning and Design), 30(5) :709 – 728.
- [De Floriani et al., 1994] De Floriani, L., Marzano, P., et Puppo, E. (1994). *Line-of-sight communication on terrain models*. International Journal of Geographic Information Systems, 8(4) :329–342.
- [Deleuze et Guattari, 1980] Deleuze, G. et Guattari, F. (1980). *Mille Plateaux. Critique*. Éditions de Minuit.
- [Denis, 1996] Denis, M. (1996). *Models of Visuospatial Cognition, chapter Imagery and the description of spatial configurations. Counterpoints*. Oxford University Press.
- [Denis et al., 1999] Denis, M., Pazzaglia, F., Cornoldi, C., et Bertolo, L. (1999). *Spatial discourse and navigation : An analysis of route directions in the city of Venice*. Applied Cognitive Psychology, 13(2) :145–174.
- [Denis et Zimmere, 1992] Denis, M. et Zimmere, M. (1992). *Analog properties of cognitive maps constructed from verbal descriptions*. Psychological Research, 54(4) :286–298.
- [Descartes, 1646] Descartes, R. (1646). *Lettre au marquis de Newcastle*. Oeuvres et lettres.
- [Desmontils, 2000] Desmontils, E. (2000). *Expressing constraint satisfaction problems in declarative modeling using natural language and fuzzy sets*. Computers and Graphics, 4(24) :555–568.
- [Dohmen, 1995] Dohmen, M. (1995). *A survey of constraint satisfaction techniques for geometric modeling*. Computers and Graphics, 19(6) :831–845.
- [Dong, 2005] Dong, T. (2005). *SNAPVis and SPANVis : Ontologies for recognizing variable vista spatial environments*. In Carbonell, J. G. et Siekmann, J., editors, Spatial Cognition IV. Reasoning, Action and Interaction, volume 3343 of LNCS, pages 344–365. Springer Heidelberg.
- [Donikian et Hégron, 1995] Donikian, S. et Hégron, G. (1995). *Constraint management in a declarative design method for 3d scene sketch modeling*. Principles and Practice of Constraint Programming, pages 427–443.
- [Duckham et al., 2010] Duckham, M., Winter, S., et Robinson, M. (2010). *Including landmarks in routing instructions*. Journal of Location Based Services, 4(1) :28–52.
- [Edmonds, 1993] Edmonds, P. (1993). *A computational model of collaboration on reference in direction-giving dialogues*. Master's thesis, University of Toronto.
- [Egenhofer, 1989] Egenhofer, M. (1989). *A formal definition of binary topological relationships*. Lecture Notes in Computer Science, 367 :457–472.

- [Egenhofer et Rodríguez, 1999] Egenhofer, M. J. et Rodríguez, M. A. (1999). *Relation algebras over containers and surfaces : An ontological study of a room space*. Spatial Cognition and Computation, 1(2) :155–180.
- [Ehrich et Kosler, 1983] Ehrich, V. et Kosler, C. (1983). *Discourse organization and sentence form : The structure of room descriptions in dutch*. Discourse Processes, 6(2) :169–195.
- [Fauconnier, 1984] Fauconnier, G. (1984). *Espaces Mentaux : Aspects de la Construction du Sens dans les Langues Naturelles*. Éditions de Minuit.
- [Ferguson, 2008] Ferguson, D. (2008). *GIS for wilderness search and rescue*. In Proceedings of ESRI Federal User Conference.
- [Ferguson et Hegarty, 1994] Ferguson, E. L. et Hegarty, M. (1994). *Properties of cognitive maps constructed from texts*. Memory & Cognition, 22(4) :455–473.
- [Fisher, 1996] Fisher, P. F. (1996). *Extending the applicability of viewsheds in landscape planning*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62(11) :1297–1302.
- [Fogliaroni et al., 2009] Fogliaroni, P., Wallgrün, J. O., Clementini, E., Tarquini, F., et Wolter, D. (2009). *A qualitative approach to localization and navigation based on visibility information*. In Heidelberg, S. B. ., editor, COSIT'09 : International Conference on Spatial Information Theory, volume 5756, pages 312–329.
- [Fonseca et al., 2002] Fonseca, F., Egenhofer, M., Agouris, P., et Camara, G. (2002). *Using ontologies for integrated geographic information systems*. Transaction in GIS, 6(3).
- [Fonseca, 2001] Fonseca, F. T. (2001). *Ontology-Driven Geographic Information Systems*. PhD thesis, University of Maine.
- [Foos, 1980] Foos, P. W. (1980). *Constructing cognitive maps from sentences*. Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory, 6(1) :25–38.
- [Fraisie, 1953] Fraisse, P. (1953). *La perception comme processus d'adaptation : l'évolution des recherches récentes*. L'année psychologique, 53(2) :443–461.
- [Frank, 1992] Frank, A. U. (1992). *Qualitative spatial reasoning about distances and directions in geographic space*. Journal of Visual Languages And Computing, 3(4) :343–371.
- [Frank, 1998] Frank, A. U. (1998). *Formal models for cognition – taxonomy of spatial location description and frames of reference*. Spatial Cognition : An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge, pages 293–312.
- [Frank et Raubal, 1998] Frank, A. U. et Raubal, M. (1998). *Formal specification of image schemata – a step towards interoperability in geographic information systems*. Spatial Cognition and Computation, 1(1) :67–101.
- [Franklin, 1996] Franklin, N. (1996). *The Construction of Cognitive Maps*, volume 32 of GeoJournal Library, chapter *Language as a Means of Constructing and Conveying Cognitive Maps*, pages 275–295. Springer Netherlands.
- [Franklin et al., 1995] Franklin, N., Henkel, L., et Zangas, T. (1995). *Parsing surrounding space into regions*. Memory & Cognition, 23(4) :397–407.
- [Freksa, 1992] Freksa, C. (1992). *Using orientation information for qualitative spatial reasoning*. In Frank, A. U., Campari, I., et Formentini, U., editors, *From Space to Territory : Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning on Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space*, volume 639 of LNCS, pages 162–178. Springer Heidelberg.

- [Freundschuh et Egenhofer, 1997] Freundschuh, S. et Egenhofer, M. (1997). *Human conceptions of spaces : Implications for geographic information systems*. *Transactions in GIS*, 2(4) :361–375.
- [Gaildrat, 2003] Gaildrat, V. (2003). *Modélisation déclarative d'environnements virtuels : Création de scènes et de formes complexes par l'énoncé de propriétés et l'emploi d'interactions gestuelles*. *Habilitation à diriger les recherches, Université Paul Sabatier*.
- [Gibson, 1977] Gibson, J. (1977). *The theory of affordances*. *Perceiving, Acting and Knowing : Toward an Ecological Psychology*, pages 67–82.
- [Gibson, 1979] Gibson, J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. *Lawrence Erlbaum Associates Inc, US*.
- [Gogel, 1963] Gogel, W. C. (1963). *The visual perception of size and distance*. *Vision Research*, 3(3–4) :101–120.
- [Golledge, 1978] Golledge, R. (1978). *Representing, interpreting and using cognized environments*. *Papers in Regional Science*, 41(1) :168–204.
- [Golledge, 1991] Golledge, R. G. (1991). *Environment, Cognition and Action : An Integrated Approach*, chapter *Cognition of Physical and Built Environments*, pages 35–61. *Tommy Garling and Gary W. Evans*.
- [Granö, 1929] Granö, J. (1929). *Reine Geographie*. *Number 2 in 202. Acta Geographica*. *Tr. as Pure Geography, reprinted in English from Johns Hopkins Press in 1997*.
- [Grenon et Smith, 2004] Grenon, P. et Smith, B. (2004). *SNAP and SPAN : Towards dynamic spatial ontology*. *Spatial Cognition and Computation*, 4(1) :69–103.
- [Grice, 1975] Grice, H. (1975). *Logic and conversation*. *Syntax and Semantics*, 3(S 41) :58.
- [Gruber, 1954] Gruber, H. E. (1954). *The relation of perceived size to perceived distance*. *The American Journal of Psychology*, 67(3) :411–426.
- [Gruber, 1993] Gruber, T. (1993). *A translation approach to portable ontology specifications*. *Knowledge Acquisition*, 5(2) :199–220.
- [Guarino, 1998] Guarino, N. (1998). *Formal ontology in information systems*. In Guarino, N., editor, *Proceedings of FOIS'98, volume 46, pages 3–15, Trento, Italy*. *IOS Press*.
- [Guesgen, 1989] Guesgen, H. W. (1989). *Spatial reasoning based on Allen's temporal logic*. *Technical report, International Computer Science Institute*.
- [Guillaume, 1979] Guillaume, P. (1979). *La Psychologie de la Forme*. *Champs Flammarion Sciences*. *Flammarion*.
- [Hajicová, 1993] Hajicová, E. (1993). *Issues of Sentence Structure and Discourse Patterns, volume 2 of Theoretical and Computational Linguistics*. *Charles University Press, Prague, Czech Republic*.
- [Hegel, 1807] Hegel, G. W. F. (1807). *Phénoménologie de l'Esprit*. *Joseph Anton Goebhardt*.
- [Hendricks et al., 2003] Hendricks, M. D., Egenhofer, M. J., et Hornsby, K. (2003). *Structuring a wayfinder's dynamic space-time environment*. In *COSIT'03 : Conference on Spatial Information Theory, volume 2825, pages 75–92*.
- [Hernández, 1991] Hernández, D. (1991). *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographical Space*, chapter *Relative representation of spatial knowledge : The 2-D case*, pages 373–385. *Kluwer Academic Publishers*.

- [Hernandez, 1994] Hernandez, D. (1994). Qualitative Representation of Spatial Knowledge. *LNAI. Springer Heidelberg*.
- [Hernandez, 2005] Hernandez, N. (2005). Ontologies de Domaine Pour la Modélisation du Contexte en Recherche d'Information. *PhD thesis, Université Paul Sabatier*.
- [Herskovits, 1986] Herskovits, A. (1986). Language and Spatial Cognition : An Interdisciplinary Study of the Prepositions in English. *Cambridge University Press*.
- [Heth et Cornell, 2006] Heth, C. D. et Cornell, E. H. (2006). Applied Spatial Cognition : From Research to Cognitive Technology, *chapter A Geographic Information System for Managing Search for Lost Persons. Lawrence Erlbaum Associates*.
- [Hirtle et Jonides, 1985] Hirtle, S. et Jonides, J. (1985). Evidence of hierarchies in cognitive maps. *Memory & Cognition*, 13(3) :208–217.
- [Horchani et al., 2007] Horchani, M., Nigay, L., et Panaget, F. (2007). A platform for output dialogic strategies in natural multi-modal dialogue systems. In *International Conference on Intelligent User Interfaces*, pages 206–215.
- [Hume, 1740] Hume, D. (1739–1740). A Treatise of Human Nature. *Selby-Bigge (Edition of 1888)*.
- [Institut Géographique National, 2008] Institut Géographique National (2008). *BD TOPO : version 2. Descriptif de contenu, Institut Géographique National*.
- [Jackson, 2009] Jackson, R. E. (2009). Individual differences in distance perception. *Proceedings of the Royal Society*, 276 :1665–1669.
- [Johnson, 1987] Johnson, M. (1987). The Body in the Mind : The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason. *University of Chicago Press*.
- [Kant, 1781] Kant, E. (1781). Critique de la Raison Pure. *J. F. Hartknoch*.
- [Kaplan, 1979] Kaplan, S. (1979). Perception and landscape : Conceptions and misconceptions. In *Isner, G. H. et Smardon, R. C., editors, Proceedings of Our National Landscape : A Conference on Applied Techniques for Analysis and Management of the Visual Resource*, pages 241–248, *Berkeley, CA*.
- [Kilpatrick et Ittelson, 1953] Kilpatrick, F. P. et Ittelson, W. H. (1953). The size-distance invariance hypothesis. *Psychological Review*, 60(4) :223–231.
- [Kleinberg, 1998] Kleinberg, J. (1998). Authoritative sources in a hyperlinked environment. In *Karloff, H., editor, 9th ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, pages 668 – 677. *ACM Press*.
- [Klippel, 2003] Klippel, A. (2003). Wayfinding Choremes. Conceptualizing Wayfinding and Route Direction Elements. *PhD thesis, Universität Bremen*.
- [Kowalski, 2009] Kowalski, J.-M. (2009). Thalassographein : Mesure, Représentation et Description des Espaces Maritimes en Grèce Ancienne. *PhD thesis, Université de Nice Sophia-Antipolis*.
- [Kuhn et Frank, 1991] Kuhn, W. et Frank, A. U. (1991). A formalization of metaphors and image-schemas in user interfaces. *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, 63.
- [Kuipers, 1978] Kuipers, B. (1978). Modeling spatial knowledge. *Cognitive Science*, 2(2) :129–153.

- [Kuipers, 1982] Kuipers, B. (1982). The "map in the head" metaphor. *Environment and Behavior*, 14(2) :202–220.
- [Kwaiter, 1998] Kwaiter, G. (1998). Modélisation Déclarative de Scènes : Étude et Réalisation de Solveurs de Contraintes. *PhD thesis, Université Paul Sabatier*.
- [La Greca, 2005] La Greca, R. (2005). Approche Déclarative de la Modélisation de Surfaces. *PhD thesis, Université de Méditerranée*.
- [Lakoff et Johnson, 1980] Lakoff, G. et Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live by*. University of Chicago.
- [Landragin, 2003] Landragin, F. (2003). La saillance comme point de départ pour l'interprétation et la génération. In *Journée d'étude de l'Association pour le Traitement Automatique des Langues*.
- [Landragin, 2004] Landragin, F. (2004). Dialogue homme-machine multimodal. *Hermès-Lavoisier*.
- [Landragin, 2005a] Landragin, F. (2005a). Modélisation de la saillance visuelle et linguistique. In *Actes du Sixième Colloque des Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives*.
- [Landragin, 2005b] Landragin, F. (2005b). Traitement automatique de la saillance. In *Actes de la Douzième Conférence sur le Traitement Automatique des Langues*, pages 263–272.
- [Lappin et Leass, 1994] Lappin, S. et Leass, H. J. (1994). An algorithm for pronominal anaphora resolution. *Computational Linguistics*, 20(4) :535 – 561.
- [Lassila et McGuinness, 2001] Lassila, O. et McGuinness, D. (2001). The role of frame-based representation on the semantic web. *Linköping Electronic Articles in Computer and Information Science*, 6(5).
- [Laurence et Margolis, 1999] Laurence, S. et Margolis, E. (1999). Concepts : Core Readings, chapter *Concepts and Cognitive Science*, pages 3–82. The MIT Press.
- [Laurini et al., 2006] Laurini, R., Milleret-Raffort, F., et Lopez, K. (2006). A primer of geographic databases based on chorems. In *Proceedings of OTM Workshops 2006, volume 4278*, pages 1693–1702.
- [Le Ber et al., 2007] Le Ber, F., Ligozat, G., et Papini, O. (2007). *Raisonnement Sur Le Temps et l'Espace*. Lavoisier.
- [Le Roux, 2003] Le Roux, O. (2003). Modélisation Déclarative d'Environnements Virtuels : Contribution à l'Étude des Techniques de Génération par Contraintes. *PhD thesis, Université Paul Sabatier*.
- [Lee, 1968] Lee, J. (1968). *Models and techniques for urban planning*. Technical report, Cornell Aeronautical Laboratory Inc., New York.
- [Lee, 1991] Lee, J. (1991). Analyses of visibility sites on topographic surfaces. *International Journal of Geographic Information Systems*, 5 :413–429.
- [Levelt, 1982] Levelt, W. (1982). Linearization in describing spatial networks. *Processes, Beliefs, and Questions. Essays on Formal Semantics of Natural Language and Natural Language Processing*, pages 199–220.
- [Levelt, 1996] Levelt, W. (1996). Perspective taking and ellipsis in spatial descriptions. *Language and space*, pages 77–107.
- [Levinson, 1996] Levinson, S. (1996). Frames of reference and Molyneux's question : cross-linguistic evidence. *Language and Space*, pages 109–169.

- [Ligozat, 2004] Ligozat, G. (2004). *Composing cardinal direction relations*. Artificial Intelligence, 152(2) :143–171.
- [Lucas et al., 1990] Lucas, M., Martin, D., Martin, P., et Plemenos, D. (1990). *Le projet ExploFormes : Quelques pas vers la modélisation déclarative de formes*. Bigre, 67 :35–49.
- [Lynch, 1960] Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. MIT Press, Cambridge.
- [Mainwaring et al., 2003] Mainwaring, S. D., Tversky, B., Ohgishi, M., et Schiano, D. J. (2003). *Descriptions of simple spatial scenes in English and Japanese*. Spatial Cognition and Computation, 3(1) :3–42.
- [Mark, 1989a] Mark, D. M. (1989a). *Cognitive image-schemata for geographic information : Relations to user views and GIS interfaces*. In Proceedings of the GIS/LIS '89 conference, pages 551–560.
- [Mark, 1989b] Mark, D. M. (1989b). *Languages of spatial relations : Researchable questions & NCGIA research agenda*. Technical Report 89-2A, NCGIA Initiative Specialist Meeting, Santa Barbara.
- [Mark et al., 1999] Mark, D. M., Freksa, C., Hirtle, S. C., Lloyd, R., et Tversky, B. (1999). *Cognitive models of geographical space*. International Journal of Geographical Information Science, 13(8) :747–774.
- [Mark et Turk, 2003] Mark, D. M. et Turk, A. G. (2003). *Landscape categories in Yindjibarndi : Ontology, environment and language*. In Montello, D. R., editor, COSIT'03 : Conference on Spatial Information Theory, volume 2825 of LNCS, pages 28–45. Springer Heidelberg.
- [Marr et Nishihara, 1978] Marr, D. et Nishihara, H. K. (1978). *Representation and recognition of the spatial organization of three dimensional shapes*. In Proceedings of the Royal Society of London, pages 269–294.
- [Masolo et al., 2003] Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, N., et Oltramari, A. (2003). *Wonderweb deliverable d17*. Technical Report D17, Laboratory For Applied Ontology, Italy.
- [Maya, 2001] Maya, V. (2001). *Accès aux bases de données géographiques en langage naturel. Application aux descriptions d'itinéraires*. PhD thesis, Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur.
- [McNamara, 1986] McNamara, T. P. (1986). *Mental representations of spatial relations*. Cognitive Psychology, 18 :87–121.
- [Meitner, 2004] Meitner, M. (2004). *Scenic beauty of river views in the Grand Canyon : Relating perceptual judgments to locations*. Landscape and Urban Planning, 68(1) :3–13.
- [Minsky, 1975] Minsky, M. (1975). *A framework for representing knowledge*. The Psychology of Computer Vision.
- [Miyamoto et al., 2006] Miyamoto, Y., Nisbett, R. E., et Masuda, T. (2006). *Culture and the physical environment : Holistic versus analytic perceptual affordances*. Psychological Science, 17(2) :113–119.
- [Montello, 1993] Montello, D. (1993). *Scale and multiple psychologies of space*. In Frank, A. U. et Campari, I., editors, Spatial Information Theory : A Theoretical Basis for GIS, volume 716 of LNCS, pages 312–321. Springer Heidelberg.

- [Montello, 1997] Montello, D. (1997). *The perception and cognition of environmental distance : Direct sources of information*. In Hirtle, S. C. et Frank, A. U., editors, COSIT'97 : Conference on Spatial Information Theory, volume 1329 of LNCS, pages 297–311. Springer Heidelberg.
- [Montello, 2005] Montello, D. R. (2005). *Cognition of geographic information*. A Research Agenda for Geographic Information Science, pages 61–91.
- [Mukerjee, 1990] Mukerjee, A. (1990). *A representation for modeling functional knowledge in geometric structures*. In Ramani, S., Chandrasekar, R., et Anjaneyulu, K. S. R., editors, Knowledge Based Computer Systems, LNCS, pages 192–202. Springer Heidelberg.
- [Norman et al., 2005] Norman, J. F., Crabtree, C. E., Clayton, A. M., et Norman, H. F. (2005). *The perception of distances and spatial relationships in natural outdoor environments*. Perception, 34(11) :1315–1324.
- [Parent et al., 2006] Parent, C., Spaccapietra, S., et Zimányi, E. (2006). *Conceptual Modeling for Traditional and Spatio-temporal Applications : The MADS Approach*. Springer-Verlag.
- [Parent et al., 1997] Parent, C., Spaccapietra, S., Zimanyi, E., Donini, P., Plazanet, C., Vangenot, C., Rognon, N., Pouliot, J., et Crausaz, P.-A. (1997). *MADS : Un modèle conceptuel pour des applications spatio-temporelles*. Revue Internationale de Géomatique, 7(3–4) :317–352.
- [Park, 1967] Park, R. E. (1967). *On Social Control and Collective Behavior*. University of Chicago Press.
- [Pattabhiraman, 1992] Pattabhiraman, T. (1992). *Aspects of Saliency in Natural Language Generation*. PhD thesis, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada.
- [Petit et al., 2008] Petit, M., Ray, C., et Claramunt, C. (2008). *An adaptive interaction architecture for collaborative GIS*. Cartographic and Geographic Information Science, 35(2) :91–102.
- [Peuquet et Ci-Xiang, 1987] Peuquet, D. J. et Ci-Xiang, Z. (1987). *An algorithm to determine the directional relationship between arbitrarily-shaped polygons in the plane*. Pattern Recognition, 20(1) :65–74.
- [Piaget et Inhelder, 1948] Piaget, J. et Inhelder, B. (1948). *La Représentation de l'Espace chez l'Enfant*. Bibliothèque de philosophie contemporaine. Presses Universitaires de France.
- [Portugali, 1996] Portugali, J. (1996). *The Construction of Cognitive Maps*. Computer Science. Springer Netherlands.
- [Quillian, 1968] Quillian, R. (1968). *Semantic Information Processing, chapter Semantic Memory*, pages 227–270. The MIT Press.
- [Quine, 1981] Quine, W. V. O. (1981). *Theories and Things, chapter Five Milestones of Empiricism*, pages 67–72. Harvard University Press.
- [Roche, 2005] Roche, C. (2005). *Terminologie et ontologie*. Revue Langages, 157 :48–62.
- [Rodríguez et Egenhofer, 1997] Rodríguez, M. A. et Egenhofer, M. J. (1997). *Image-schemata-based spatial inferences : The container-surface algebra*. Spatial Information Theory. A Theoretical Basis for GIS, 1329 :35–52.
- [Salton et Buckley, 1987] Salton, G. et Buckley, C. (1987). *Term weighting approaches in automatic text retrieval*. Information Processing and Management, 24(5) :513 – 523.

- [Saux et al., 2004] Saux, E., Thibaud, R., Li, K.-J., et Kim, M.-H. (2004). *A new approach for a topographic feature-based characterization of digital elevation data*. In 12th Annual ACM International Workshop on Geographic Information Systems, pages 73–81.
- [Schoenberg, 2009] Schoenberg, T. (2009). *Differences and Similarities in Perception of Landscape in Photographs*. VDM Verlag.
- [Schwering et Wang, 2010] Schwering, A. et Wang, J. (2010). *Sketchmapia – a framework for qualitative mapping of sketch maps and metric maps*. In 20th Anniversary Meeting on Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space.
- [Shafer et Richards, 1974] Shafer, E. et Richards, T. (1974). *A comparison of viewer reactions to outdoor scenes and photographs of those scenes*. In Canter, D. et Lee, T., editors, *Psychology and the Built Environment*, pages 71–79. John Wiley.
- [Shuttleworth, 1980] Shuttleworth, S. (1980). *The use of photographs as an environment presentation medium in landscape studies*. *Journal of Environmental Management*, 11(1) :61–76.
- [Simonnet et al., 2009] Simonnet, M., Jacobson, D., Vieilledent, S., et Tisseau, J. (2009). *Seatouch : A haptic and auditory maritime environment for non visual cognitive mapping of blind sailors*. In Claramunt, C., Denis, M., Hornsby, K. S., et Ligozat, G., editors, *COSIT’09 : International Conference on Spatial Information Theory*, volume 5756 of LNCS, pages 212–226.
- [Singh, 2001] Singh, M. (2001). *Part-based representations of visual shape and implications for visual cognition*. *Advances in Psychology*, 130 :401–459.
- [Swardon et Palmer, 1986] Swardon, R. C. et Palmer, J. F. (1986). *Foundations for Visual Project Analysis*. Wiley and Sons, Inc.
- [Smith et Mark, 2001] Smith, B. et Mark, D. (2001). *Geographical categories : An ontological investigation*. *International Journal of Geographical Information Science*, 15(7) :591–612.
- [Smith et Mark, 2003] Smith, B. et Mark, D. M. (2003). *Do mountains exist ? towards an ontology of landforms*. *Environment and Planning B (Planning and Design)*, 30(3) :411–427.
- [Smith et Varzi, 1997] Smith, B. et Varzi, A. (1997). *Fiat and bona fide boundaries : Towards an ontology of spatially extended objects*. In Hirtle, S. C. et Frank, A. U., editors, *COSIT’97 : Conference on Spatial Information Theory*, volume 1329 of LNCS, pages 103–119. Springer Heidelberg.
- [Sorrows et Hirtle, 1999] Sorrows, M. E. et Hirtle, S. C. (1999). *The nature of landmarks for real and electronic spaces*. In Freksa, C. et Mark, D. M., editors, *COSIT’99 : Conference on Spatial Information Theory*, LNCS, pages 37–50. Springer Heidelberg.
- [Sowa, 1999] Sowa, J. F. (1999). *Knowledge Representation : Logical, Philosophical, and Computational Foundations*. Course Technology Inc.
- [Spärck, 1972] Spärck, K. (1972). *A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval*. *Journal of Documentation*, 28(1) :11–21.
- [Spinoza, 1677] Spinoza, B. (1677). *L’Éthique*. Garnier frères.
- [Szulman et al., 2002] Szulman, S., Biebow, B., et Aussenac-Gilles, N. (2002). *Structuration de terminologies à l’aide d’outils de TAL avec Terminae*. *Traitement automatique des langues*, 43(1) :103–128.

- [Talmy, 1983] Talmy, L. (1983). *How language structures space*. Spatial orientation : Theory, research and application, pages 225–282.
- [Tarr et Bulthoff, 1995] Tarr, M. J. et Bulthoff, H. H. (1995). *Is human object recognition better described by geon structural descriptions or by multiple views ? comment on Biederman and Gerhardstien*. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 21 :1494–1505.
- [Taylor et Tversky, 1992] Taylor, H. A. et Tversky, B. (1992). *Spatial mental models derived from survey and route descriptions*. Journal of Memory and Language, 31(2) :261–292.
- [Taylor et Tversky, 1996] Taylor, H. A. et Tversky, B. (1996). *Perspective in spatial descriptions*. Journal of Memory and Language, 35(3) :371–391.
- [Timpf, 2002] Timpf, S. (2002). *Ontologies of wayfinding : A traveler’s perspective*. Networks and Spatial Economics, 2(1) :9–33.
- [Tolman, 1948] Tolman, E. (1948). *Cognitive maps in rats and man*. Psychological Review, 55(4) :189–208.
- [Travis et al., 1975] Travis, M. R., Elsner, G. H., Iverson, W. D., et Johnson, C. G. (1975). *VIEWIT : Computation of seen areas, slope, and aspect for land-use planning*. Technical Report GTR-PSW-011, Berkeley, CA : Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- [Tversky, 1991] Tversky, B. (1991). *Spatial mental models*. The Psychology of Learning and Motivation, 27 :109–145.
- [Tversky, 1993] Tversky, B. (1993). *Cognitive maps, cognitive collages and spatial mental models*. In Frank, A. U. et Campari, I., editors, COSIT’93 : Conference on Spatial Information Theory, volume 716 of LNCS, pages 14–24. Springer Heidelberg.
- [Tversky, 2005] Tversky, B. (2005). *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking, chapter Functional significance of visuospatial representations*. Cambridge University Press.
- [Tversky et al., 1999] Tversky, B., Lee, P., et Mainwaring, S. (1999). *Why do speakers mix perspectives ?* Spatial Cognition and Computation, 1(4) :399–412.
- [Ushold et Gruninger, 1996] Ushold, M. et Gruninger, M. (1996). *Ontology : Principles, methods and applications*. Knowledge Engineering Review, 11(2) :93–126.
- [van Heijst et al., 1997] van Heijst, G., Schreiber, A. T., et Wielinga, B. J. (1997). *Using explicit ontologies in KBS development*. International Journal of Human-Computer Studies, 46(2–3) :183–292.
- [Vandeloise, 1986] Vandeloise, C. (1986). *L’espace en Français*. Éditions du Seuil.
- [Varela, 1988] Varela, F. J. (1988). *Invitation aux Sciences Cognitives*. Éditions du Seuil.
- [Vettraino-Soulard, 1993] Vettraino-Soulard, M. C. (1993). *Lire Une Image*. Armand Colin.
- [Vieu, 1991] Vieu, L. (1991). *Sémantique des Relations Spatiales et Inférences Spatio-Temporelles : Une Contribution à l’Étude des Structures Formelles de l’Espace en Langage Naturel*. PhD thesis, Université Paul Sabatier.
- [Weger, 1999] Weger, G. (1999). *Cartographie : Sémiologie Graphique et Conception Cartographique, volume 1*. École Nationale des Sciences Géographiques.

- [Weiss et al., 2003] Weiss, E., Kemmler, G., Deisenhammer, E., Fleischhacker, W., et Delazer, M. (2003). *Sex differences in cognitive functions*. Personality and Individual Differences, 35(4) :863–875.
- [Winter, 2003] Winter, S. (2003). *Route adaptive selection of salient feature*. In Kuhn, W., M.F. Worboys, et Timpf, S., editors, COSIT'03 : Conference on Spatial Information Theory, volume 2825, pages 349–361. Springer Heidelberg.
- [Winter et Wu, 2009] Winter, S. et Wu, Y. (2009). *Intelligent spatial communication*. Research Trends in Geographic Information Science, pages 235–250.
- [Wittgenstein, 2001] Wittgenstein, L. J. J. (2001). *Tractatus-Logico-philosophicus*. Gallimard.
- [Wolfson et al., 2009] Wolfson, O., Agrawal, D., et Lu, C.-T., editors (2009). *Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, New York, NY, USA. ACM Press.
- [Wu et Winter, 2008] Wu, Y. et Winter, S. (2008). *Communicating with navigation systems about places*. In Hölscher, C., editor, Spatial Cognition VI. Learning, Reasoning, and Talking about Space.
- [Wuersch, 2003] Wuersch, M. (2003). *Perceptual Sketch Interpretation*. PhD thesis, University of Maine.
- [Zha, 2002] Zha, H. (2002). *Generic summarization and keyphrase extraction using mutual reinforcement principle and sentence clustering*. In Järvelin, K., Beaulieu, M., Baeza-Yates, R., et Myaeng, S. H., editors, 25th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pages 113–120, New York, NY, USA. ACM Press.

Curriculum vitæ

Jean-Marie Le Yaouanc

Doctorant en Informatique à l'Université de Bretagne Occidentale, Assistant d'Enseignement et de Recherche à l'École Navale



Mail : [prénom]@yaou.org
Web : <http://www.yaou.org/>

Cursus universitaire, diplômes

2005-2006	Master Recherche Informatique spécialité Logiciel et Méthodes formelles, Université de Bretagne Occidentale, Brest. Mention : AB (13,33/20).
2004-2005	Master Informatique du Logiciel Université de Bretagne Occidentale, Brest. Mention : AB (13,35/20). <i>Classement : 4/38.</i>
2003-2004	Licence Informatique Université de Bretagne Occidentale, Brest.
2002-2003	Études à l'École Nationale Supérieure des Sciences Appliquées et de Technologie (22).
1999-2002	Classe Préparatoire aux Grandes Écoles au lycée de Kérichen (29) option PT.
1999	Baccalauréat , série S.

Activités de Recherche

Depuis Dec 2009	Membre du projet <i>Procore</i> , partenariat entre l'Institut de Recherche de l'École navale et le <i>Department of Land Surveying & Geo-Informatics</i> de la <i>Hong Kong Polytechnic University</i> , <i>Appariement de modèles numériques de terrain à des résolutions et granularités variables.</i>
Septembre 2006 – Oct 2010	Thèse de doctorat à l'École navale, sous la direction de Christophe Claramunt et Éric Saux. <i>Formalisation d'une scène environnementale à partir d'une description verbale. Application à la géolocalisation.</i> Ce travail apporte une réponse au paradoxe lié à l'utilisation de systèmes d'information qui manipulent des données quantitatives, alors que la perception spatiale et son expression par le langage naturel sont par définition absentes de toute formalisation et éloignées de toute précision métrique. Contrat de 4 ans.
Fév – Août 2006	Stage de Master Recherche réalisé au département informatique de Télécom-Bretagne, sous la direction de Serge Garlatti et Yvon Kermarrec. <i>Moteurs de composition pour les systèmes d'information adaptatifs et sémantiques.</i> Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet Systèmes d'Information Adaptatifs et Sémantiques (SIAS) regroupant deux équipes de l'Institut Télécom. Un <i>trader</i> manipulant des services web associés à une ontologie est réalisé et intégré à un moteur de composition de documents.
Janv – Fév 2006	Étude bibliographique réalisée au laboratoire LISyC de l'Université de Brest, sous la direction de Lionel Marcé. <i>Modélisation formelle d'un corpus juridique simple.</i> Une approche formelle du code de la route fondée sur plusieurs logiques et en s'aidant des outils du Web Sémantique est proposée.

Publications

Tableau récapitulatif des publications :

Publications	Nombre
Articles dans des revues internationales avec comité de lecture	1
Articles dans des conférences internationales avec comité de lecture	3
Communications orales dans des conférences internationales et nationales	3
Rapports de recherche	2

Publications avec comité de lecture :

- [LSC08] Jean-Marie Le Yaouanc, Éric Saux, and Christophe Claramunt. A semantic and language-based model of landscape scenes. In Mario Piattini Il-Yeol Song, editor, *ER 2008 Workshops (acceptance ratio : 40%)*, volume 5232 of *LNCs*, pages 334–343. Springer-Verlag, 2008.
- [LSC09] Jean-Marie Le Yaouanc, Éric Saux, and Christophe Claramunt. A salience-based approach for the modeling of landscape descriptions. In Divyakant Agrawal, Chang-Tien Lu, and Ouri Wolfson, editors, *Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (acceptance ratio : 42%)*, pages 396–399. ACM Press, 2009.
- [LSC10a] Jean-Marie Le Yaouanc, Éric Saux, and Christophe Claramunt. A semantic and language-based representation of an environmental scene. *GeoInformatica (Impact factor : 1.098)*, 14(3) :333–352, 2010.
- [LSC10b] Jean-Marie Le Yaouanc, Éric Saux, and Christophe Claramunt. A visibility and spatial constraint-based approach for geopositioning. In *Proceedings of the 6th International Conference on Geographic Information Science (acceptance ratio : 25%)*, volume 6292 of *LNCs*, pages 145–159. Springer Heidelberg, September 2010.

Activités d'enseignement

Le contrat d'Assistant d'Enseignement et de Recherche permet de réaliser environ 150 heures d'enseignement par an et de présenter une thèse de doctorat en 4 ans.

Détail des activités d'enseignement :

- **Architecture des systèmes informatiques** : l'architecture générale de l'ordinateur et son système d'exploitation sont illustrés par des travaux dirigés abordant les principes liés au codage binaire, aux circuits logiques et aux systèmes d'exploitation Windows et Linux.
- **Réseau et sécurité** : le fonctionnement des réseaux est illustré par une présentation des protocoles utilisés sur l'Internet. Les étudiants sont sensibilisés aux attaques et failles existantes au sein des réseaux. Enfin, les mécanismes de cryptographie utilisables pour protéger l'information sont mis en pratique.
- **Programmation et algorithmique** : l'apprentissage de méthodes permettant de décomposer un problème en un ensemble de tâches exprimées dans un langage formel (algorithmique) est exposé. Dans un deuxième temps, l'initiation d'un langage de programmation (C) est suggéré afin de résoudre le problème.
- **Programmation avancée** : les travaux pratiques en langage C permettent d'acquérir différentes méthodes de programmation (itérative, récursive) et des outils de gestion des fichiers de données. Les pointeurs et d'autres structures de stockage plus complexes telles que les listes chaînées ou les arbres sont étudiées.
- **Langage objet** : cette introduction au langage Java met en place les réflexes de base de la *pensée objet* tels que les concepts de classe et d'instance mais également les types abstraits.
- **Systèmes embarqués et distribués** : les principes de concurrence, synchronisation, systèmes temps réel ou des services web sont introduits et une application pratique est proposée par la programmation d'un Lego Mindstorm.
- **Sciences de l'information géographique** : les aspects théoriques des SIG sont complétés par la pratique d'un logiciel (ArcGIS) où plusieurs scénarios de traitement de données géographiques sont analysés et expérimentés.
- **Bureautique** : ce cours est une introduction aux logiciels dédiés au traitement de texte, aux tableaux et aux présentations.

Tableau récapitulatif :

Enseignements	2006–2007	2007–2008	2008–2009	2009–2010	Qualité	Niveau
Architecture des Systèmes informatiques	16h	16h	16h	16h	TD	École d'ingénieur 1ère année
Réseau et sécurité	16h	16h	16h	16h	TD	École d'ingénieur 1ère année
Programmation et algorithmique	11h				TD	École d'ingénieur 2ème année
Programmation avancée	16h				TD	École d'ingénieur 1ère année
Langage objet		16h	16h	18h	TD	École d'ingénieur 2ème année
Systèmes embarqués et distribués	21h	6h	35h	40h	Cours/TD	École d'ingénieur 2ème année
Sciences de l'information géographique	27h	41h	28h	28h	Cours/TD	École d'ingénieur 2ème année
Bureautique		33h	11h		Cours/TD	Débutant
Encadrement de projets d'élèves	48h	24h	16h			École d'ingénieur 1ère et 2ème année
Total / année	155h	152h	138h	118h		
Total			563h			

Supports de cours :

- Introduction aux Sciences de l'Information Géographique.
- Analyse spatiale : de la théorie à la pratique.
- Vers la programmation d'une machine autonome (support du cours de systèmes embarqués).
- Introduction au Web Semantique et aux Ontologies.

Encadrement de stages

2010	Co-encadrement de Yann MOREAU, étudiant en Licence 3 de l'IUP Ingénierie Informatique de Brest. <i>Détection d'entités topographiques sur un modèle numérique de terrain.</i>
2009	Co-encadrement de Clément CHAMPENOIS, étudiant en Licence 3 Informatique de l'Université de Bretagne Occidentale. <i>Conception d'une scène environnementale à partir de sa description textuelle.</i>
2008	Co-encadrement de Maël FRAYER, étudiant en Licence 3 de l'IUP Ingénierie Informatique de Brest. <i>Modèle qualitatif bidimensionnel du positionnement d'entités topologiques.</i>

Activités Institutionnelles et Collectives

2008–2009	Membre du comité local d'organisation de la conférence internationale <i>Conference on Spatial Information Theory</i> (COSIT'09) : gestion du budget, des hébergements, du transport, du site internet de la conférence, de l'accueil des participants.
Depuis 2008	Membre du Conseil d'Administration des Ressources Informatiques (C.A.R.I) de l'Université de Bretagne Occidentale.
2008–2010	Reviewer pour la conférence MajecSTIC (Manifestation des Jeunes Chercheurs en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication).
2008	Participation à un groupe de travail pour l'optimisation du site internet de l'Ecole navale.
2006–2007	Organisation de rencontres mensuelles dans la région de Brest autour du CMS SPIP, Système de Publication Pour Internet.

Expériences Professionnelles

2005	Conception et réalisation du site Internet de la ville de Trébeurden : détermination des besoins, rédaction d'un cahier des charges, formation des auteurs du site, rédaction d'une documentation adaptée.
2004	Mise en œuvre et réalisation du site Intranet du Comité d'Établissement d'ALCATEL-CIT Lannion. Formation des webmestres et administrateurs.
Août 2003	Stage ouvrier à ALCATEL-CIT Lannion pour la mise en forme et la gestion d'une base de données.

Compétences Informatiques

Programmation	Java , PHP, MySQL, C, C++, ...
Publication	HTML, XHTML, CSS, Flux RSS et Atom.
Mise en page	HTML, L ^A T _E X, MS-Word, MS-Powerpoint, ...
Systèmes	Mac OS, Linux (Ubuntu), Windows.

Informations additionnelles

Langues	FRANÇAIS (langue maternelle), ANGLAIS (lu, écrit et parlé. Score au TOEIC : 800/990), ESPAGNOL (quelques notions)
Loisirs	Sport (voile sur J80 et croiseur), photographie, lecture et musique.
Activités annexes	Webmaster de sites Internet.

