



HAL
open science

Extraction et exploitation de l'information spatiale dans les modèles de sélection d'action

Carl-Johan Jorgensen

► **To cite this version:**

Carl-Johan Jorgensen. Extraction et exploitation de l'information spatiale dans les modèles de sélection d'action. Synthèse d'image et réalité virtuelle [cs.GR]. 2011. dumas-00636436

HAL Id: dumas-00636436

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00636436>

Submitted on 27 Oct 2011

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.

Stage de Master 2 Recherche
Rapport de Stage

Extraction et exploitation de l'information spatiale dans les modèles de sélection d'action

Carl-Johan Jorgensen

Stage effectué avec
Fabrice Lamarche
au sein de l'équipe
MimeTIC - IRISA

2 juin 2011

Résumé

De nombreux domaines font intervenir des humanoïdes autonomes évoluant au sein d'environnements virtuels. Dans un but de réalisme ou de simulation, de nombreux travaux visent à doter ces humanoïdes de comportements de navigation crédibles. Les environnements virtuels purement géométriques sont insuffisants pour permettre le raisonnement spatial, et il existe donc un besoin d'extraire automatiquement une représentation plus adaptée de ces environnements. De plus, la navigation humaine dépend d'un compromis entre un grand nombre de critères pour ce qui est de la détermination d'objectifs et de la planification de chemin. Nous proposons une méthode originale permettant d'extraire une représentation structurée porteuse d'information d'un environnement à partir de sa géométrie, ainsi qu'un modèle de raisonnement spatial se basant sur cette représentation.

Table des matières

1	État de l'Art	5
1.1	Représentation du monde et planification de chemin : une vision géométrique . . .	5
1.1.1	Les cartes de cheminement	6
1.1.2	Subdivision spatiale	7
1.2	Extraction d'informations à partir de l'analyse géométrique	9
1.2.1	Graphes topologiques hiérarchiques	9
1.2.2	Adjonction d'informations déduites directement de la géométrie	10
1.2.3	Environnements informés	10
2	Extraction d'information pertinente d'une base géométrique 3D	13
2.1	Hypothèses de travail sur les bases géométriques	13
2.2	Découpage de l'environnement en zones pertinentes	14
2.2.1	Découpage en zones couvertes et non couvertes	15
2.2.2	Découpage en étages	16
2.2.3	Découpage en pièces	17
2.2.4	Différenciation des zones extérieures couvertes et intérieures.	20
2.3	Génération d'un graphe topologique informé	21
2.3.1	Graphe topologique hiérarchique	21
2.3.2	Étiquetage du graphe topologique par de l'information extraite de la géométrie	23
3	Raisonnement Spatial sur l'environnement	26
3.1	Adéquation d'une zone à une requête	27
3.1.1	Les critères de sélection	27
3.1.2	Fonction de coût	28
3.2	Utilisation de la fonction de coût pour le raisonnement spatial	29
3.2.1	Sélection de zone	29
3.2.2	Sélection de chemin	30
4	Résultats	32

Introduction

A l'heure actuelle, de nombreux domaines tels que les jeux vidéo, les jeux sérieux, les effets spéciaux ou encore des applications de formation, font intervenir des humanoïdes autonomes évoluant au sein d'environnements virtuels. Dans un but de réalisme ou de simulation, de nombreux travaux visent à doter ces humanoïdes de comportements crédibles.

Des comportements humains, un des plus souvent utilisé concerne la navigation dans l'environnement. En effet, un grand nombre des interactions avec des objets de l'environnement nécessitent d'abord un déplacement jusqu'à cet objet. Ainsi, l'obtention d'une scène réaliste passe en grande partie par la crédibilité des déplacements des humanoïdes la peuplant. Le comportement de navigation d'un humain dépend de nombreux paramètres lui étant propres, comme ses objectifs, son état d'esprit (pressé, détendu, inquiet...) ou ses habitudes, mais aussi d'un grand nombre d'informations extraites de manière naturelle et inconsciente de l'environnement. En effet, une personne identifie naturellement dans son environnement des zones telles que les bâtiments et les espaces extérieurs, qu'elle décompose et organise en étages, escaliers, couloirs et pièces, afin de planifier un chemin à travers celui-ci.

Même si des modélisateurs spécialisés permettent de créer des environnements où chaque élément est identifié, les environnements virtuels se limitent très souvent à une information purement géométrique (ensemble des polygones situés dans l'espace), qu'ils résultent d'une capture automatique par un scanner 3D ou d'une modélisation réalisée à l'aide d'un modélisateur classique. Ces environnements purement géométriques ne sont pas exploitables pour le raisonnement spatial. Il existe donc un besoin d'offrir une représentation plus adaptée de l'environnement virtuel, porteuse d'information, pour permettre la navigation crédible des humanoïdes qui le peuplent.

Un humain se déplaçant dans son environnement doit prendre en compte un grand nombre de paramètres pour déterminer sa destination et planifier un chemin y menant. Par exemple, une personne surprise par une averse alors qu'elle se déplace en extérieur cherchera à déterminer la zone abritée la plus facile d'accès, et décidera ensuite du chemin à emprunter l'exposant le moins longtemps possible à la pluie. Ces deux décisions relèvent d'un compromis entre un certain nombre de critères hétérogènes tels que des valeurs numériques ou des informations sur la nature des zones. Afin de rendre la navigation des humanoïdes virtuels plus crédible, il existe un besoin de simuler ce compromis par un mécanisme de raisonnement spatial multi-critères.

Nous proposons une représentation des environnement plus adaptée au raisonnement spatial. Nous déterminons ensuite quelles informations qualitatives, quantitatives et sémantiques peuvent être extraites de manière automatique sur la base de la géométrie de cet environnement pour ajouter de l'information à notre représentation. Enfin, nous proposons un modèle de raisonnement spatial multi-critères prenant en compte ces informations afin d'améliorer la crédibilité de la navigation des humanoïdes virtuels évoluant dans cet environnement.

Tout d'abord, nous présenterons un état de l'art des méthodes de planification de chemin existantes, et des modèles d'environnements informés présentés dans d'autres travaux. Ensuite, nous décrirons une méthode originale permettant d'extraire une représentation structurée porteuse d'information d'un environnement à partir de sa géométrie, en nous focalisant sur les environnements intérieurs. Puis nous proposerons un modèle permettant de sélectionner une destination et de planifier un chemin y menant en fonction de critères multiples en se basant sur cette représentation. Enfin, nous exposerons par des exemples les résultats concrets obtenus par l'application de ces méthodes.

Chapitre 1

État de l'Art

Introduction

Une certain nombre de méthodes de représentation des environnements pour la planification de chemin ont été proposées [3]. Une partie d'entre elles S'intéressent uniquement à la géométrie de l'environnement, alors que d'autres se basent sur des environnements informés pour obtenir des comportement de navigation plus crédibles.

1.1 Représentation du monde et planification de chemin : une vision géométrique

Le domaine de la planification de chemin a été très étudié dans le domaine de la robotique où le raisonnement spatial est crucial pour la navigation des robots autonomes [8] . Ces approches sont utilisées et étendues dans le domaine de l'animation comportementale. Elles consistent à calculer un trajet permettant de relier une position source à une position destination selon des critères comme le plus court chemin ou la minimisation de l'énergie nécessaire au déplacement (principalement en robotique).

Les environnements virtuels dans lesquels les humanoïdes évoluent sont représentés par des bases géométriques 3D. Étant donné le faible degré de structuration de ces bases géométriques, il est nécessaire de proposer des représentations intermédiaires plus adaptées à la planification de chemin.

Il existe plusieurs méthodes de représentation géométrique des environnements virtuels pour la planification de chemin, mais nous décrirons ici les deux approches principales : les cartes de cheminement et la subdivision spatiales.

1.1.1 Les cartes de cheminement

Cette approche consiste à décrire l'espace navigable comme un ensemble de chemins standardisés (rectilignes ou non) reliant des positions mutuellement atteignables du monde. Ces chemins formeront un réseau permettant de calculer une suite de chemins reliant deux de ces points, si cela est possible. Il existe différentes techniques appartenant à cette approche [7], dont voici trois exemples répandus :

- Dans la méthode des **cartes de cheminement probabilistes**, les positions de navigation sont générées aléatoirement, puis reliés deux à deux par des lignes droites si le déplacement est possible sans collision. Cette technique crée un un graphe reliant différentes positions et capturant la connectivité de l'espace navigable. Cependant, son aspect probabiliste n'assure pas qu'elle trouve tous les passages possibles.
- La méthode des **graphes de visibilité** utilise les sommets des polygones décrivant les obstacles comme points de navigation et les relie deux à deux si il sont mutuellement visibles. Cette méthode est efficace pour trouver l'ensemble des passages existants et assure de trouver les plus court chemins entre les point de navigation, mais elle trouve ses limites dans les espaces ouverts peuplés d'obstacles ponctuels où chaque point risque d'avoir une visibilité sur beaucoup d'autres points.
- Les **diagrammes de Voronoï généralisés** créent une carte de cheminement maximisant la distance aux obstacles. Cela permet de détecter tous les passages possible et de maximiser la sécurité des déplacements tout en limitant le nombre de chemins existants.

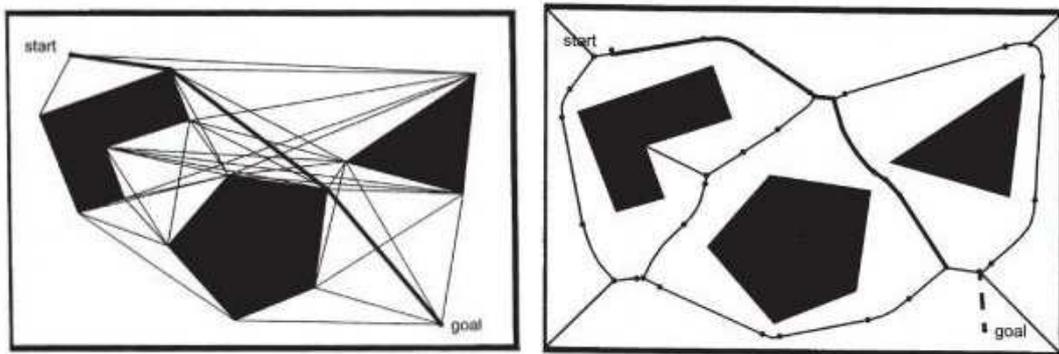


FIGURE 1.1 – Comparatif entre un graphe de visibilité (à gauche) et un diagramme de Voronoï généralisé (à droite).

Ces méthodes permettent de décrire l'environnement sous la forme d'un ensemble de chemins, mais ne permettent pas d'identifier explicitement des zones navigables dans celui-ci.

1.1.2 Subdivision spatiale

L'approche dite de subdivision spatiale, représente l'environnement sous la forme de cellules interconnectées. La planification de chemin consistera alors à identifier les zones à traverser pour atteindre le but. Deux familles de méthodes peuvent être distinguées : les décompositions approchées et les décompositions exactes.

Décomposition approchée

La décomposition approchée consiste à découper l'espace en cellules de forme prédéfinie, que l'on séparera entre cellules navigables (sans aucun obstacles) et non-navigables (comportant, même partiellement, un obstacle).

Dans le cas d'une **grille régulière**, ces cellules forment une grille à mailles carrées, toutes de même taille. La qualité de la subdivision dépendra fortement de la taille des cellules utilisées. Si elle est importante, de grosses zones risquent d'être considérées comme non navigables malgré le fait qu'elles ne sont que très partiellement recouvertes par un obstacle. Si elle est faible, de vastes zones vides seront découpées inutilement en un grand nombre de cellules, augmentant par la suite le coût des recherches de chemin.

Dans le cas d'une **grille hiérarchique**, l'impact des problèmes évoqués ci-dessus est amoindri en décomposant l'environnement en zones plus ou moins grandes en fonction de la précision désirée. Cela est fait par intermédiaire d'un quad-tree, c'est à dire d'un arbre de cellules dont les feuilles contenant des obstacles sont décomposées récursivement en quatre sous-cellules jusqu'à obtenir une approximation jugée suffisante de la forme des obstacles.

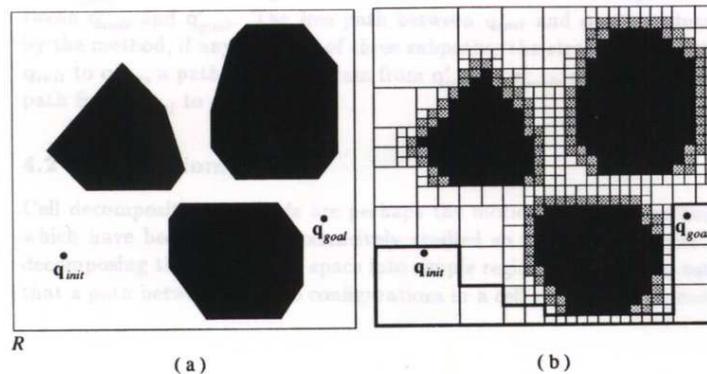


FIGURE 1.2 – Décomposition approchée par une grille hiérarchique.

Cette famille de méthodes permet une division rapide et facile à parcourir de l'environnement, car basée sur des cellules de forme connue stockées dans des structures simples (tableaux, arbres). Elles présentent malgré tout un caractère approximatif; une bordure d'obstacle placée en biais ne pourra qu'être représentée comme un escalier, quel que soit le niveau de précision atteint.

Décomposition exacte

La décomposition exacte consiste à décomposer l'espace navigable en cellules dont l'union représente exactement l'ensemble de cet espace.

Pour ce faire, une triangulation de Delaunay contrainte [8] peut être utilisée [10], [11], [4]. Les bordures de triangles peuvent alors être de deux types : les arêtes contraintes, qui correspondent aux limites d'un obstacle, et les non-contraintes, qui sont dues à la méthode de triangulation. Sur cette base, un processus de détermination des goulets d'étranglement a été proposé [4], ce qui apporte une information, primordiale pour la navigation, sur les passages qui seront empruntables ou non en fonction de la taille de l'humanoïde

Dans certains cas, un second traitement est effectué [11], [4], regroupant des triangles connexes en cellules convexes, tout en conservant les informations importantes relatives aux goulets d'étranglement. Récemment, cette méthode a été étendue à la décomposition exacte d'environnements 3D [6].

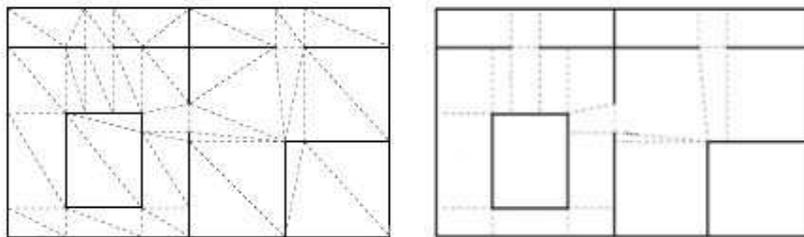


FIGURE 1.3 – Triangulation de Delaunay Contrainte et son optimisation en cellules convexes [4].

La structure obtenue à l'issue de ce traitement est plus complexe que celle fournie par les méthodes de décomposition approchée, mais elle permet de représenter l'espace navigable de manière exacte, quelle que soit sa forme, ce qui permet d'extraire de l'information numérique sur les dimensions de cet espace (taille des cellules convexes, largeur des goulets d'étranglement...) de manière précise.

Les méthodes des cartes de cheminement permettent de trouver des chemins optimaux sur des critères bien précis (chemin le plus court, chemin minimisant la dépense d'énergie), ce qui est essentiel pour des domaines comme la robotique, mais qui se montrera trop limité pour générer des comportements crédibles : un humain, pour aller de chez lui à la boulangerie, ne passera jamais par la maison de son voisin même s'il s'agit du chemin le plus court. Les méthodes de subdivision spatiale nous intéressent plus dans le cadre de notre travail, car elles permettent d'identifier des zones auxquelles de l'information pourra être adjoindre par la suite. Les méthodes

de subdivision exacte par triangulation de Delaunay contrainte semblent les plus adaptées, car elles nous permettront d'extraire des informations numériques précises du modèle.

1.2 Extraction d'informations à partir de l'analyse géométrique

Sur la base des représentations des environnements, nous nous intéressons à la possibilité de synthétiser différentes formes d'informations utiles à la navigation.

1.2.1 Graphes topologiques hiérarchiques

En se basant sur la subdivision exacte en cellules convexe, une vision topologique des environnements à été proposée [11], [4]. Un graphe topologique peut être extrait de ce découpage. Chaque nœud représente une zone et chaque chemin une connexité entre ces zones. Ce graphe n'est qu'une représentation différente de la géométrie utilisée précédemment, mais elle permet néanmoins une abstraction plus importante.

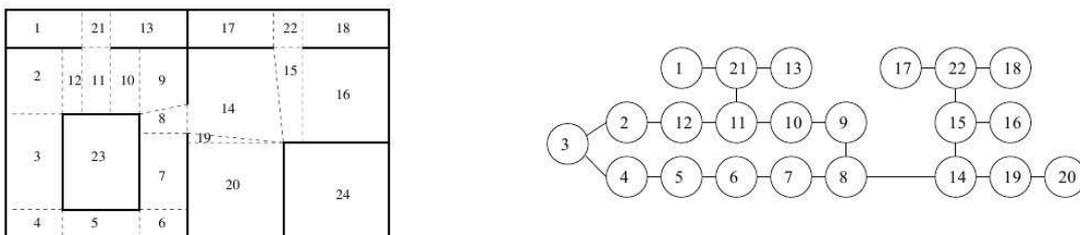


FIGURE 1.4 – Subdivision exacte d'un environnement et graphe topologique associé [4].

Un niveau d'information supérieur peut être apporté au graphe topologique par l'association d'un ensemble de données aux nœuds [11]. Une partie de ces informations sont quantitatives, comme le chemin le plus court permettant de traverser cette zone ou la largeur minimale du chemin à emprunter. Le reste des informations sont, elles, qualitatives : par exemple, à chaque nœuds est attribué un label « cul de sac » si il n'est connecté que par un chemin au reste du graphe, « couloir » si il est connecté par deux chemins et carrefour si il est connecté par trois chemins ou plus (par exemple, dans la figure 1.4, (1) est un cul de sac, (2) est un couloir et (11) est un carrefour.)

Sur la base de cet étiquetage, des algorithmes d'abstraction guidés par la topologie ont été proposés [11], consistant à générer 3 graphes ordonnés hiérarchiquement à partir du graphe d'origine. La première couche est formée de la subdivision de base alors que les deux couches supérieures résultent de deux groupement successifs effectués sur celle subdivision. Cela génère trois vues de l'environnement comportant un nombre de plus en plus petit de zones de plus en plus vastes, qui, à chaque niveau, englobent plusieurs zones de la couche inférieure.

Cette modélisation a plusieurs avantages : elle permet tout d'abord de diminuer la quantité de calculs à effectuer lors d'une planification de chemin. En effet, celle-ci cherchera d'abord un chemin dans les zones de la couche la plus haute, avant de détailler le chemin dans les couches de granularité inférieure, et n'aura donc pas besoin de prendre en compte le découpage plus détaillé des zones par lesquelles il ne passe pas. L'algorithme utilisé pourra aussi ne pas prendre en compte les noeuds étiquetés comme des « cul de sac » si il ne contiennent pas la destination recherchée. De plus, cette vision apporte une première ébauche de niveaux d'abstraction de l'environnement, permettant des ébauches de comportements rationnels (favoriser les zones ouvrant sur plusieurs possibilités, éviter les cul-de sacs...).

1.2.2 Adjonction d'informations déduites directement de la géométrie

Des études tendent à montrer que la forme de l'environnement a un impact sur le comportement des humains. Par exemple, la navigation est en partie dépendante de l'espace visible [2] : dans un lieu inconnu, un humain préférera emprunter des chemins dégagés offrant le plus de ligne de vue possible sur son environnement.

Sur la base de ce constat, une méthode a été proposée [2], permettant d'extraire de l'information quantitative ayant un sens pour la navigation à partir d'isoviste (ensemble de l'espace visible d'un point donné). Celle-ci consiste à générer des isovistes à partir de points organisés en une grille régulière sur tout l'environnement, puis à calculer pour tous ses point, à partir des relations d'intervisibilité avec les autres points, des propriétés comme le coefficient de clustering, qui nous informe sur l'espace utile visible d'un certain point.

Couplée à des connaissances sur la cognition humaine, certaines informations directement extraites de la géométrie prennent un sens pour le comportement des humanoïdes virtuels.

1.2.3 Environnements informés

La nature des zones de navigation (trottoir, passage piéton etc....) influe sur le comportement humain. Pour pouvoir prendre en compte cette influence, la notion d'environnement informé a été introduite [12], [5], [9].

L'idée principale d'un environnement informé est d'ajouter manuellement des informations sémantiques portant sur la nature des zones à la structure représentant le monde. Cela peut se faire à travers un arbre [9] ayant pour racine l'ensemble du monde considéré (par exemple, la ville) en descendant vers des sous-ensembles (rues, bâtiments...) pour arriver, aux feuilles, à des unités indivisibles (trottoir, arrêt de bus...). Cela peut aussi être fait en étiquetant directement le graphe topologique [5]. Des comportement de navigation spécifiques à la nature des zones peuvent être définis, en les mixant avec des méthodes de planification de chemin classiques [5] (un humain pressé favorisera parfois les itinéraires les plus courts même si ils ne respectent pas les règles de circulation.)

Les environnements informés permettent donc, utilisés avec des modèles décisionnels adaptés, de simuler des comportements de navigation crédibles chez des humanoïdes virtuels, mais nécessitent un étiquetage manuel, très fastidieux, des éléments du monde 3D.

L'abstraction topologique tend à montrer qu'il est possible d'abstraire de manière pertinente la géométrie sur la base d'une subdivision spatiale exacte. Cependant cette abstraction joue principalement sur la nature des relations entre zones. Elle ne prend pas en compte les dimensions de l'environnement, son aspect tri-dimensionnel ni la nature de ces zones. Les isovists tendent à montrer que l'information géométrique (ici, la visibilité) influe sur le comportement. Ce qui veut dire que l'on ne peut pas totalement s'abstraire de cette dernière. Les environnements informés sont intéressants dans leur façon de caractériser la nature des zones de l'environnement, mais l'étiquetage de ces zones doit être fait manuellement. Est-il possible de pousser l'analyse de la géométrie et de la topologie pour automatiser une grande partie de ces traitements ?

Conclusion

Des méthodes de planification de chemin se basant uniquement sur la géométrie de l'environnement existent, mais le manque d'information sémantique nuit à la crédibilité de ces chemins. L'utilisation d'environnements informés a été proposée dans le but d'augmenter le réalisme du comportement par la prise en compte de la sémantique associée aux zones de navigation. Cependant l'information manuelle de ces environnements peut s'avérer longue et fastidieuse. Notre travail consiste donc à proposer une solution permettant l'extraction automatique de zones de navigation sur la base d'une géométrie 3D, ainsi que de l'étiquetage de ces zones par de l'information pertinente sans intervention manuelle nécessaire.

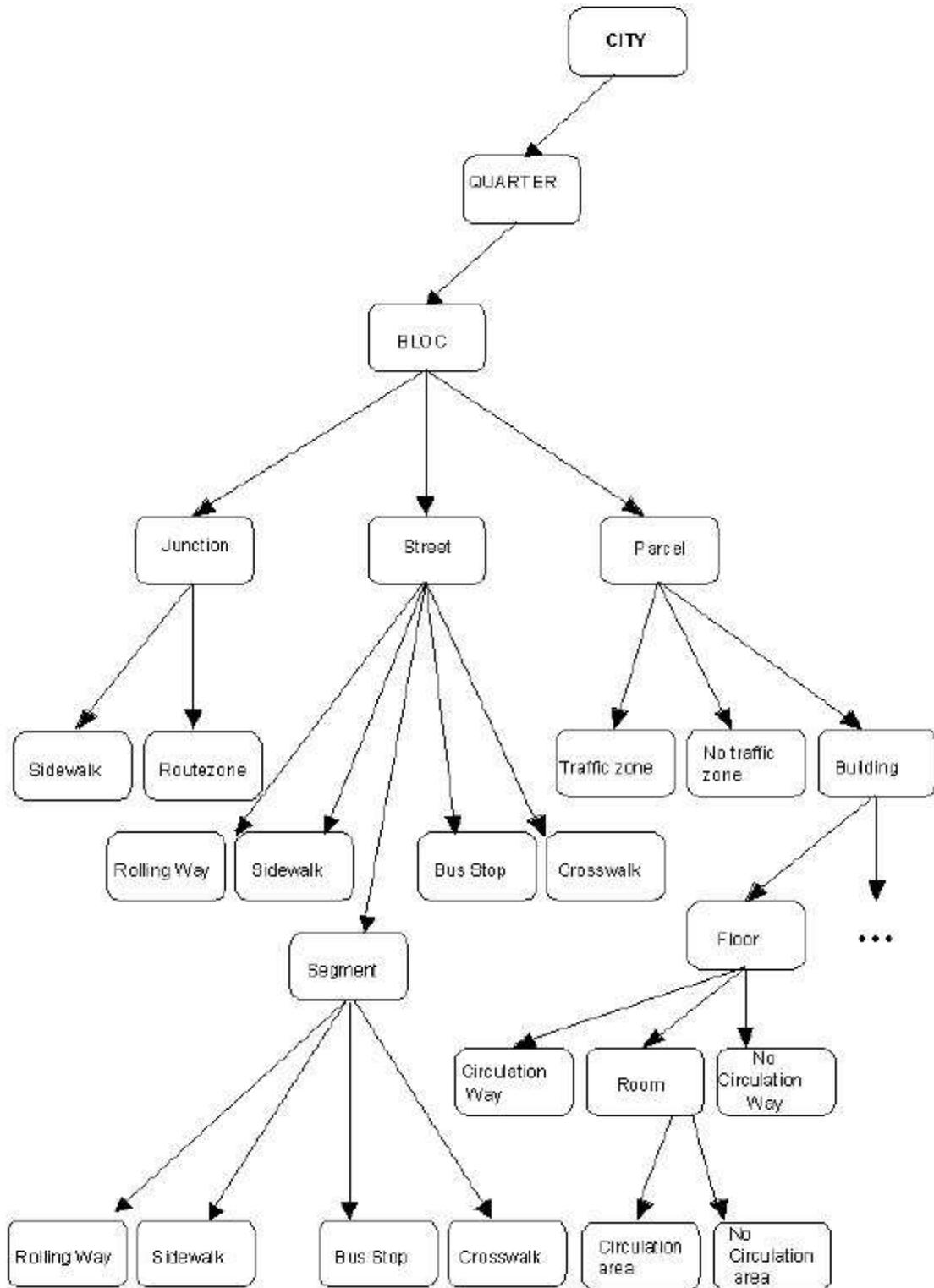


FIGURE 1.5 – Exemple de structuration d’un environnement informé [1].

Chapitre 2

Extraction d'information pertinente d'une base géométrique 3D

Introduction

Les représentations purement géométriques d'environnements virtuels étant constituées de polygones non organisés, ils ne sont pas adaptés au peuplement par des humanoïdes virtuels sans organisation préalable. Nous proposons donc une structuration de ces environnements identifiant des zones porteuses de sens : intérieurs, étages, escaliers, pièces, ainsi que nous l'effectuons naturellement et inconsciemment dans notre vie de tous les jours. Cette structuration nous permettra de simuler des comportements plus crédibles chez des humanoïdes virtuels.

Après avoir formulé les hypothèses de travail sur les environnements géométriques que nous traiterons, nous exposerons une méthode originale de découpage automatique de l'environnement en zones porteuses de sens, puis nous étudierons les différents types d'informations pouvant être ajoutés à ces zones de manière à permettre des mécanismes de raisonnement spatial.

2.1 Hypothèses de travail sur les bases géométriques

Les environnements que nous traiterons dans la suite cet exposé seront considérés comme des géométries statiques représentant essentiellement des environnements intérieurs dépourvus de meubles et répondant à des critères architecturaux réalistes. Elles seront représentées comme des ensembles désorganisés de triangles.

La première étape du traitement consiste à utiliser TopoPlan (voir détails du fonctionnement en [6]) afin d'extraire une représentation 3D des zones navigables de l'environnement. Le processus utilisé consiste en une succession d'étapes, dont un exemple simple est montré dans la Figure 2.1. Dans un premier temps, les triangles formant l'environnement (Fig 2.1-1) sont projetés sur le plan XY (le sol) (Fig 2.1-2), produisant un ensemble de segments 2D (Fig 2.1-3) sur lequel est

appliqué une triangulation de Delaunay contrainte (Fig 2.1-4), formant un ensemble de cellules triangulaires 2D. Une propriété importante de cette décomposition est que chaque triangle de l'environnement se projette exactement sur une ou plusieurs de ces cellules 2D, permettant de calculer une subdivision prismatique en associant à chaque cellule 2D un ensemble de cellules 3D dont la projection est exactement cette cellule (Fig 2.1-5). Une analyse de cette subdivision prismatique permet d'avoir accès aux informations de connectivité et de superposition entre ces cellules 3D, ainsi qu'à la nature des bordures des cellules (segments libres, obstacles ou bordures de marches).

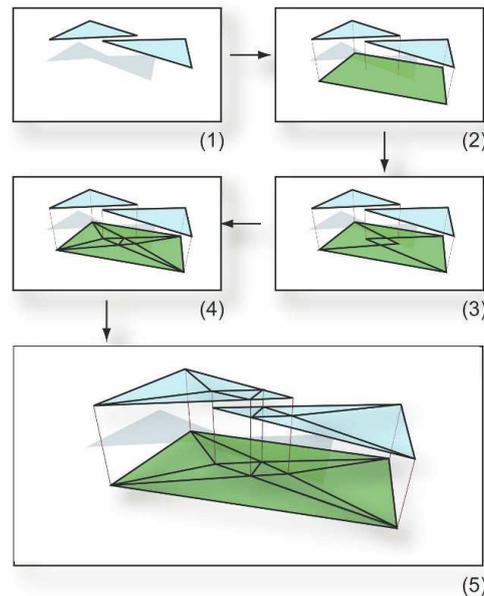


FIGURE 2.1 – Processus d'extraction de la subdivision prismatique [4]

Les cellules 3D de la subdivision prismatique peuvent être réunies en zones connexes, lesquelles peuvent, si elles ne se superposent pas à elles-mêmes, être transformées en "cartes topologiques". Ces cartes topologiques, dont un exemple est donné dans la Figure 2.2-d, sont des cartes 2D, obtenues par la projection des zones 3D sur le plan X-Y (Fig 2.2-a), auxquelles ont été appliqué une triangulation de Delaunay contrainte (Fig 2.2-b) avec adjonction d'information relative aux goulets d'étranglement (Fig 2.2-c). La partition des géométries ainsi obtenue présente comme propriétés intéressantes le fait que les sommet des cellules sont forcément portées par un obstacle, et que leurs côtés sont donc soit de obstacles, soit des passages entre deux obstacles. Cette carte topologique fournit elle aussi les information sur la connectivité entre cellules, ainsi que les informations sur la nature des bordures de cellules.

2.2 Découpage de l'environnement en zones pertinentes

Une personne se déplaçant dans un environnement identifie naturellement dans celui-ci des zones porteuses de sens, telles que les différents bâtiments qui l'entourent et les étages, escaliers ou pièces qui composent ceux-cis. Dans un premier temps, notre attention s'est donc focalisée

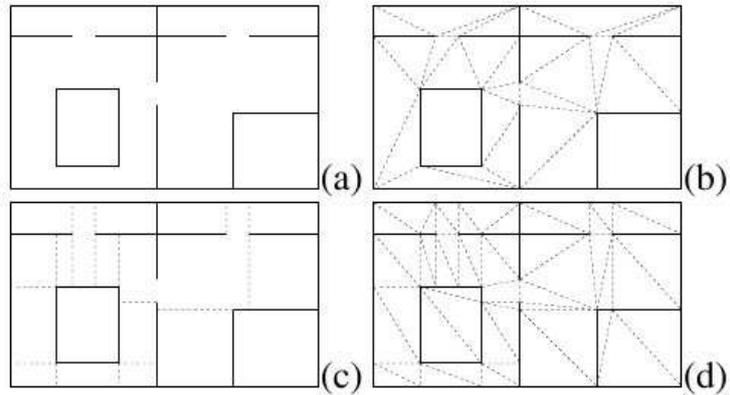


FIGURE 2.2 – Processus de génération d’une carte topologique [6]

sur la découpe de la représentation géométrique de l’environnement en zones pertinentes. Pour illustrer ce traitement, nous utiliserons un exemple simple de bâtiment à deux étages pourvu d’un escalier, d’un balcon et d’arcades (voir Figure 2.3) dont la subdivision prismatique générée par TopoPlan est illustrée par la Figure 2.4

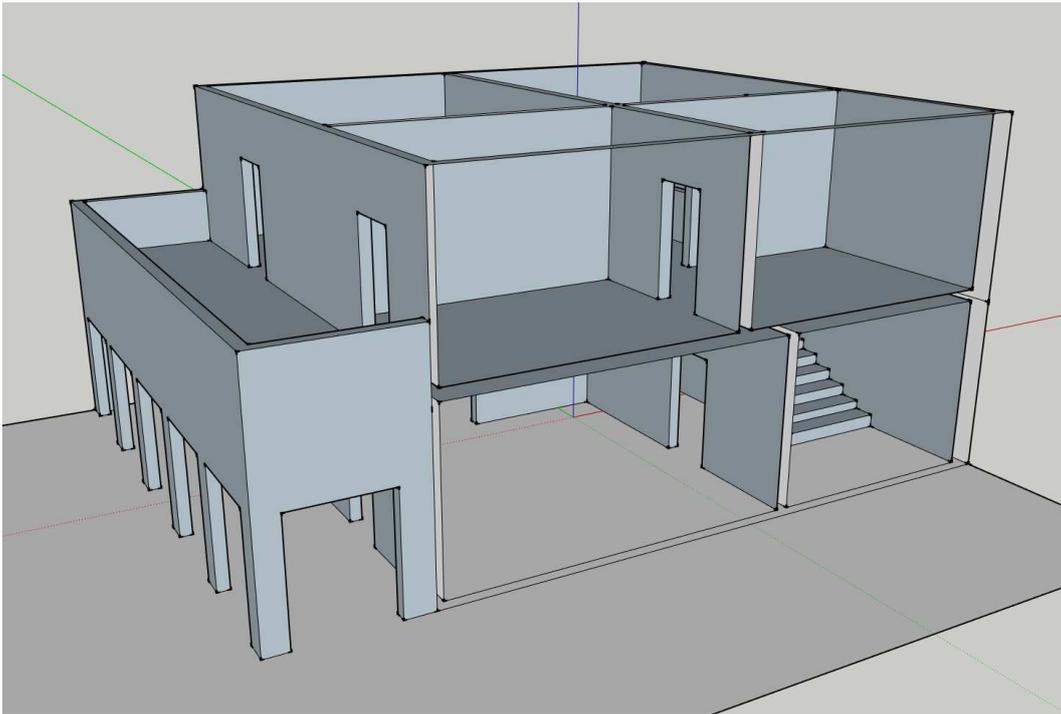


FIGURE 2.3 – Exemple d’environnement simple, (le toit et la paroi avant ont été masqués pour plus de lisibilité)

2.2.1 Découpage en zones couvertes et non couvertes

Dans un premier temps, nous différencions les environnements couverts et non couverts. En effet, cette différenciation nous permet d’extraire les différents bâtiments ou abris de la scène

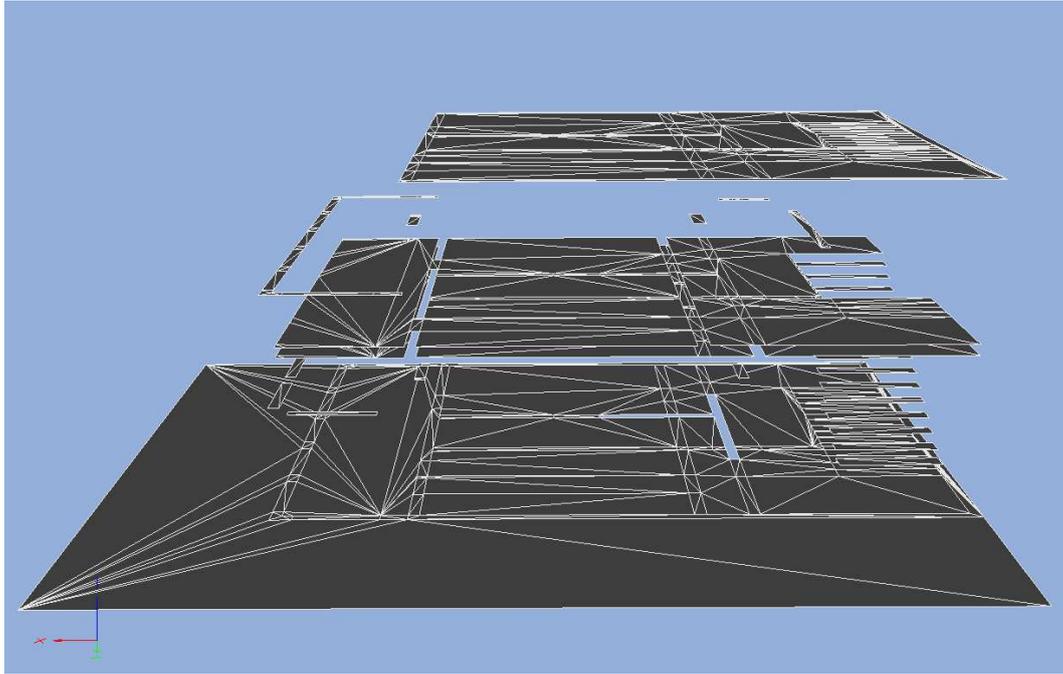


FIGURE 2.4 – Subdivision prismatique de l'exemple générée par TopoPlan

et une personne passe le plus souvent d'un bâtiment à un autre en passant par l'extérieur sans traverser d'autres bâtiments en chemin. A ce niveau du traitement, il est encore difficile de qualifier exactement les zones intérieures, mais il est par contre aisé de déterminer les zones couvertes, pouvant être des bâtiments, mais aussi des abris comme des arrêts de bus ou des dessous de ponts.

Cette première étape de découpage est réalisée grâce à l'algorithme suivant :

1. Pour chaque cellule de la subdivision prismatique, vérification de la présence d'une autre cellule superposée.
 - Si oui, étiquetage de la cellule comme "couverte"
 - Si non, étiquetage de la cellule comme "non couverte"
2. Regroupement en zones des cellules connexes de même nature.

La Figure 2.5 illustre le résultat de cet algorithme sur notre exemple.

2.2.2 Découpage en étages

Au sein d'un bâtiment, une personne commence par identifier les différents étages et les moyens de passer de l'un à l'autre. Cette notion d'étages et de passages entre étages (essentiellement les escaliers, dans un environnement statique) est donc une première découpe pertinente des environnements couverts. L'information sur la nature des bordures de cellules étant fournie dans la subdivision prismatique, une façon de procéder consiste à découper toutes les zones couvertes aux bordures de marche, afin d'obtenir un ensemble de zones étant soit des étages

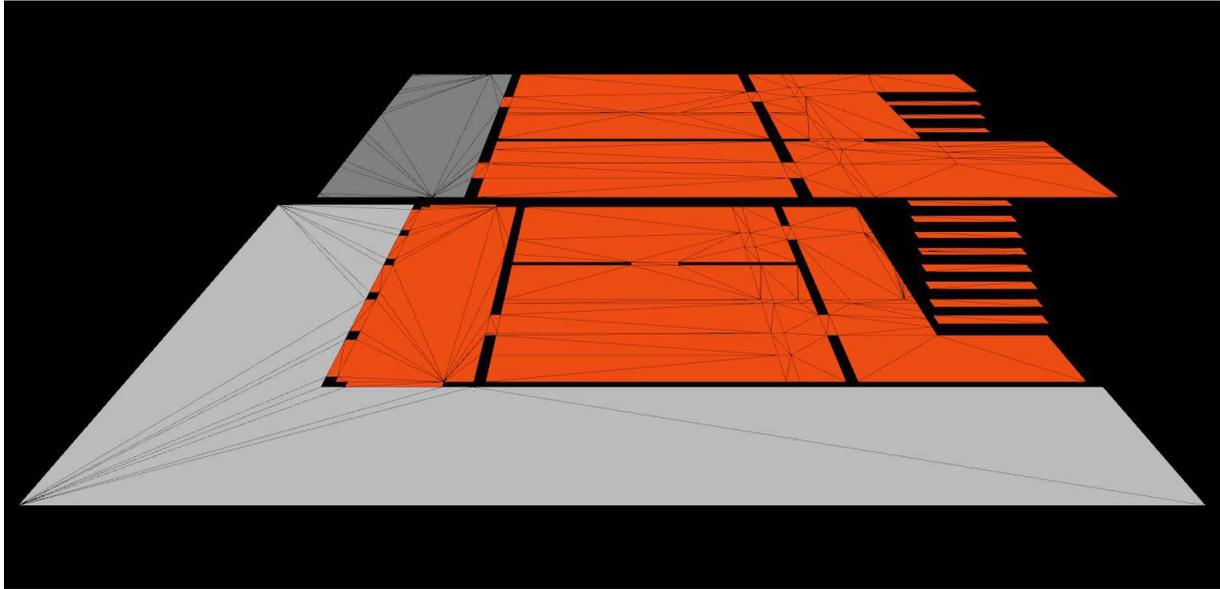


FIGURE 2.5 – Découpage en zones couvertes / non couvertes de l’environnement exemple (rouge : couvert, gris : non couvert)

soit des marches d’escalier. Dans un second temps, les marches connexes seront réunies en zones ”escaliers”, passages entre les étages. Le même traitement, appliqué aux zones non couvertes, aura pour effet de séparer les trottoirs, terre-pleins et escaliers extérieurs. L’algorithme utilisé est le suivant :

- Pour chaque zone couverte ou non-couverte identifiées dans le traitement précédent :
 1. Réunion des cellules connexes de la subdivision prismatique dont le côté commun n’est ni une marche ni un obstacle.
 2. Qualification des zones ”marches” selon deux critères, aux valeurs déterminées :
 - Surface de la zone inférieure à un seuil fixé par l’utilisateur.
 - Proportion de la longueur de la bordures de la zone à être de nature ”bordures de marche” supérieure à un seuil fixé par l’utilisateur.
 3. Réunion des zones ”marches” connexes en zones ”escaliers”

La Figure 2.6 nous montre le résultat de l’application de ce traitement à notre exemple, pour des valeurs de seuil de $3m^2$ pour la surface et 50 % pour la proportion de bordure de marche.

2.2.3 Découpage en pièces

Au sein d’un étage, une personne organise naturellement son environnement en utilisant les notions de pièces et de couloirs. Ces notions reposent sur un ensemble de critères allant de la topologie de ces zones à leur fonction ou apparence. Étant limités dans notre cas aux informations de nature géométrique, nous avons choisi de considérer les pièces comme des zones ouvertes de grande taille séparées entre elles par des portes. Ces portes étant elles-mêmes de petites zones étroites, bordées par des goulets d’étranglement et ayant une hauteur sous plafond plus faible

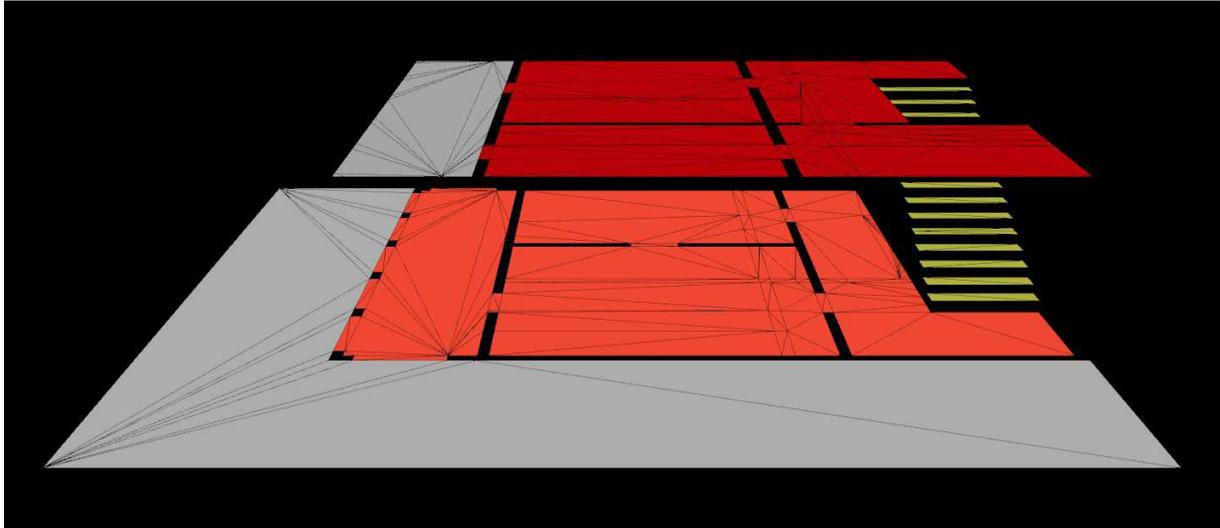


FIGURE 2.6 – Découpage en étages et escaliers de l’environnement exemple (rouge : étages, jaune : escaliers, gris : non couvert)

que celle des pièces. Une solution consiste donc à qualifier des zones de "portes", puis à découper nos étages en fonction de celles-ci.

Dans un premier temps, une carte topologique 2D est générée grâce à TopoPlan à partir de chaque zone 3D "étage". Sur la base de cette carte topologique, une découpe des étages en zones convexes séparées par des goulets d’étranglement est effectuée. Elle identifie des zones étant soit des portes, soit des portions de pièces. Ce traitement est aussi appliqué aux zones extérieures, permettant une découpe plus fine des environnements extérieurs, parfois complexes. Cette découpe est réalisée grâce à l’algorithme suivant :

- Pour tous les côtés de type "segment libre" partagés par deux cellules de la carte topologique 2D, par ordre de longueur décroissante :
 - Si ce côté est le plus long des côtés non-contraints des deux zones le partageant, et que l’union de ces deux zones est convexe, réunion de ces deux zones.
 - Sinon, ne rien faire.

Une illustration de cette découpe appliquée à notre exemple est présentée dans la Figure 2.7

Dans un second temps, les zones convexes ainsi déterminées sont séparées en deux ensembles : les portes et les portions de pièces. Cette séparation se fait par l’intermédiaire d’une fonction de vraisemblance tendant à qualifier les portes. Cette fonction de vraisemblance correspond à un produit de valeurs numériques calculée à partir de la géométrie des zones, qui tendent à être plus importantes dans le cas des portes que dans celui des portions de pièces. Notons $Surf(x)$ la surface d’une zone x , $Haut(x)$ la hauteur moyenne du plafond d’une zone x , $Vois(x)$ l’ensemble des zones voisines d’une zone x , $Long(x)$ la longueur d’un segment x et $Clib(x)$ l’ensemble des côtés d’une zone x de type "segment libre". Les critères utilisés dans la fonction, que nous

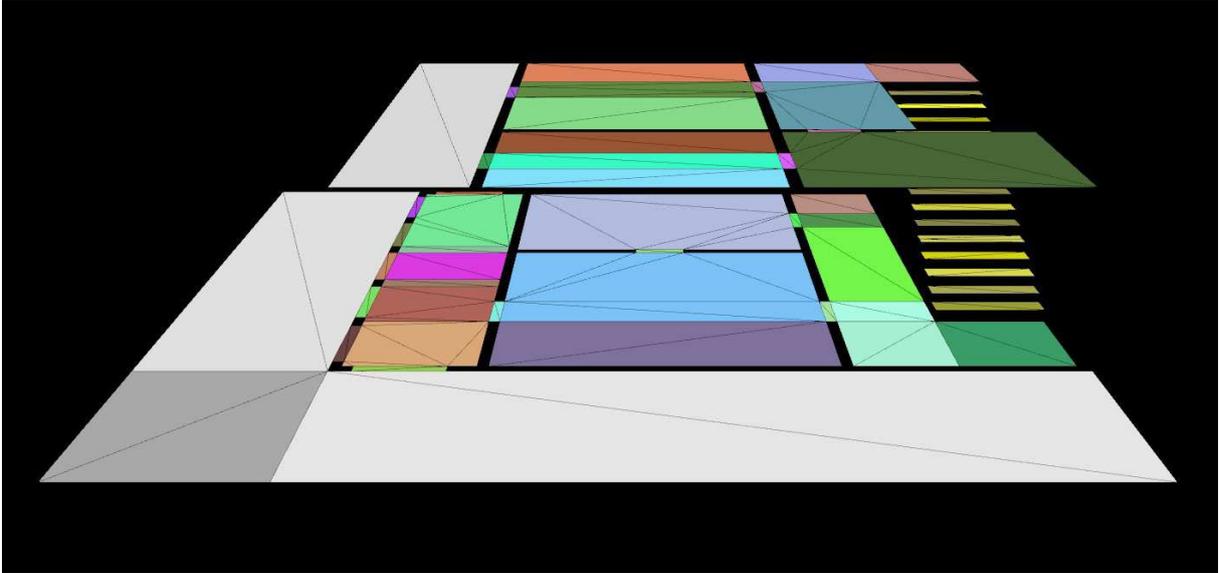


FIGURE 2.7 – Découpage en zones convexes séparées par des goulets d'étranglement de l'environnement exemple

cherchons à maximiser pour le cas des portes, sont les suivants :

- $C_1(x) = \frac{\sum_{z \in \text{Vois}(x)} (\text{Surf}(z))}{\text{Surf}(x)}$ (une porte est une petite zone séparant plusieurs grandes zones)
- $C_2(x) = \sum_{z \in \text{Vois}(x)} (\| \text{Haut}(z) - \text{Haut}(x) \|)$ (la hauteur de plafond d'une porte est généralement bien inférieure à la hauteur du plafond des pièces voisines)
- $C_3(x) = \frac{1}{\sum_{c \in \text{Clib}(x)} (\text{Long}(c))}$ (une porte est généralement bordée de goulets d'étranglements étroits.)

La fonction de vraisemblance est alors définie comme suit :

$$v(x) = C_1(x) * (1 + C_2(x)) * C_3(x)$$

(on ajoute 1 au critère C_2 pour qu'une valeur nulle n'exclue pas pour autant la zone considérée)

Les critères pris en compte étant généralement maximisés dans le cas des zones "portes", le produit de ces critères rendra des valeurs significativement plus importantes pour les zones cumulant plusieurs de ces caractéristiques. Les zones ayant une valeur de vraisemblance supérieure à la moyenne sont donc qualifiées de portes, puis l'on réunit les zones connexes qui n'en sont pas, que l'on qualifie de "pièces". Le choix de la moyenne comme séparateur est justifié au vu de la répartition des valeurs de vraisemblance (voir Figure 2.8, illustrant cette répartition pour le rez-de-chaussé et l'étage de notre bâtiment exemple). En effet, les zones "portes" étant en nombre minoritaire et rendant des valeurs de vraisemblance nettement supérieures aux zones "portions de pièces", nous obtenons une répartition comportant un grand nombre de valeurs très faibles et quelques valeurs plus importantes. L'utilisation de la moyenne de ces valeur comme séparateur

tend donc à couper notre ensemble juste après le bloc de valeurs faibles, isolant bien les valeurs plus importantes. La Figure 2.9 montre le résultat de ce traitement sur notre exemple.

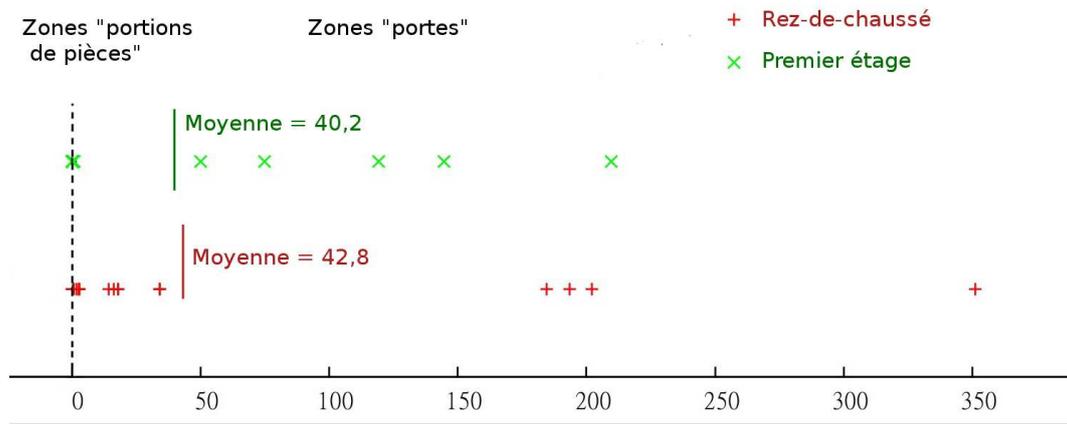


FIGURE 2.8 – répartition des valeurs de vraisemblance des zones couvertes de l'environnement exemple

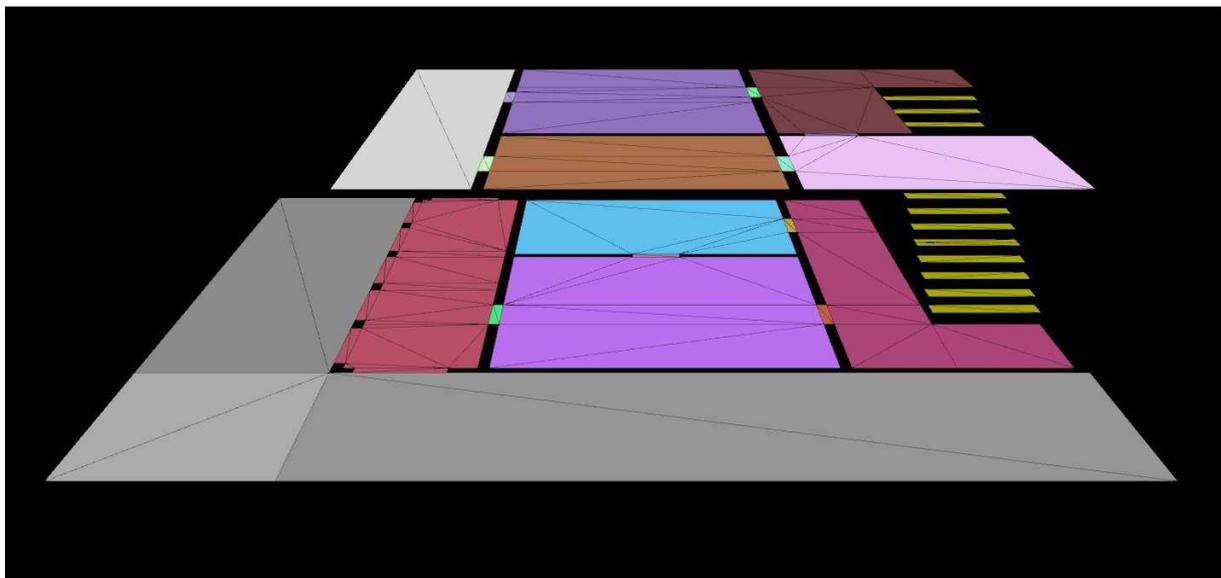


FIGURE 2.9 – Découpage en pièces et portes de exemple

2.2.4 Différenciation des zones extérieures couvertes et intérieures.

Grâce à la séparation en pièces des environnements intérieurs, il est maintenant possible de raffiner la découpe en zones couvertes et non couvertes en une découpe en zones extérieures (jardins, routes...), extérieures couvertes (porches, abris-bus, dessous de ponts...) et intérieures (pièces, couloirs). Cette différenciation entre environnements extérieurs couverts et environnements intérieurs est pertinente, car un être humain ne se comporte pas de la même manière dans ces deux types d'environnements. Par exemple, une personne se déplaçant par temps pluvieux ou très ensoleillé tendra à utiliser au maximum les zones couvertes pour se déplacer, sans

pour autant passer par des bâtiments inconnus.

Nous considérons que les zones extérieures couvertes se démarquent des zones intérieures par une plus grande aire de contact avec les zones extérieures. Cette découpe est donc réalisée en calculant la proportion de la bordures des pièces et portes à être du type "segment libre" et à être partagé par des zones qualifiées d'extérieures, couvertes ou non, puis à séparer ces zones en comparant cette valeur calculée à un seuil fixé par l'utilisateur. Ce traitement devra être réalisé plusieurs fois, jusqu'à stabilisation du système, car, si dans un cas comparable à notre exemple, une zone est séparée de l'extérieur par des arcades mais que celles-ci étaient identifiées comme des portes, celles-ci seraient détectées comme "extérieures couvertes" au premier passage, mais pas la zone considérée, qui ne sera détectée qu'au second passage. On peut voir illustré dans la Figure 2.10, le résultat ce traitement appliqué à notre exemple avec une valeur de seuil de 25 %.

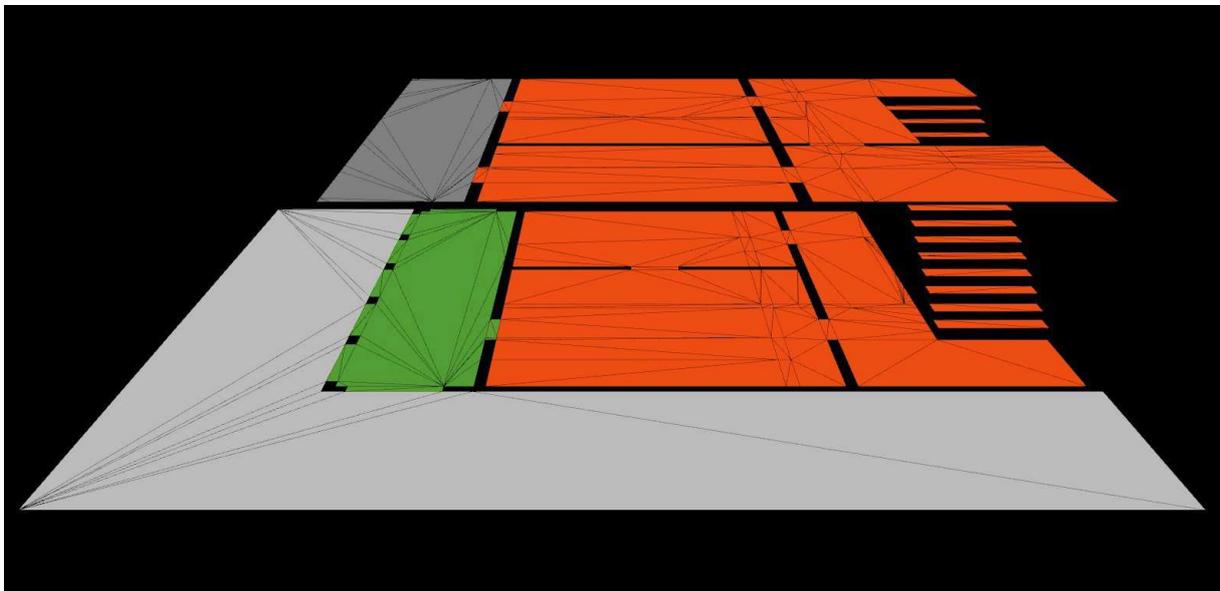


FIGURE 2.10 – Extraction des zones extérieures couvertes de la découpe en zones couvertes ou non (rouge : intérieur, vert : extérieur couvert, gris : extérieur)

2.3 Génération d'un graphe topologique informé

Des zones pertinentes ayant été identifiées dans l'environnement (bâtiments, étages, pièces ...), une organisation hiérarchique de celles-ci est effectuée, en les regroupant en fonction de critères tels que l'appartenance au même bâtiment ou au même étage, afin d'extraire une structure propice au raisonnement spatial.

2.3.1 Graphe topologique hiérarchique

A partir de la succession de découpes exposée précédemment, nous proposons un graphe topologique hiérarchique à cinq niveau.

- Niveau 0 : ensemble de l'environnement.
- Niveau 1 : séparation en zones extérieures, extérieures couvertes et intérieures.
- Niveau 2 : séparation des zones intérieures en étages reliés par des escaliers
- Niveau 3 : séparation des zones intérieures en pièces et portes.
- Niveau 4 : découpage de l'ensemble de l'environnement en zones connexes séparées par des goulets d'étranglement : portes, portions de pièces, marches d'escaliers et portions de zones extérieures.

la Figure 2.11 illustre cette représentation en graphe topologique hiérarchique pour notre exemple.

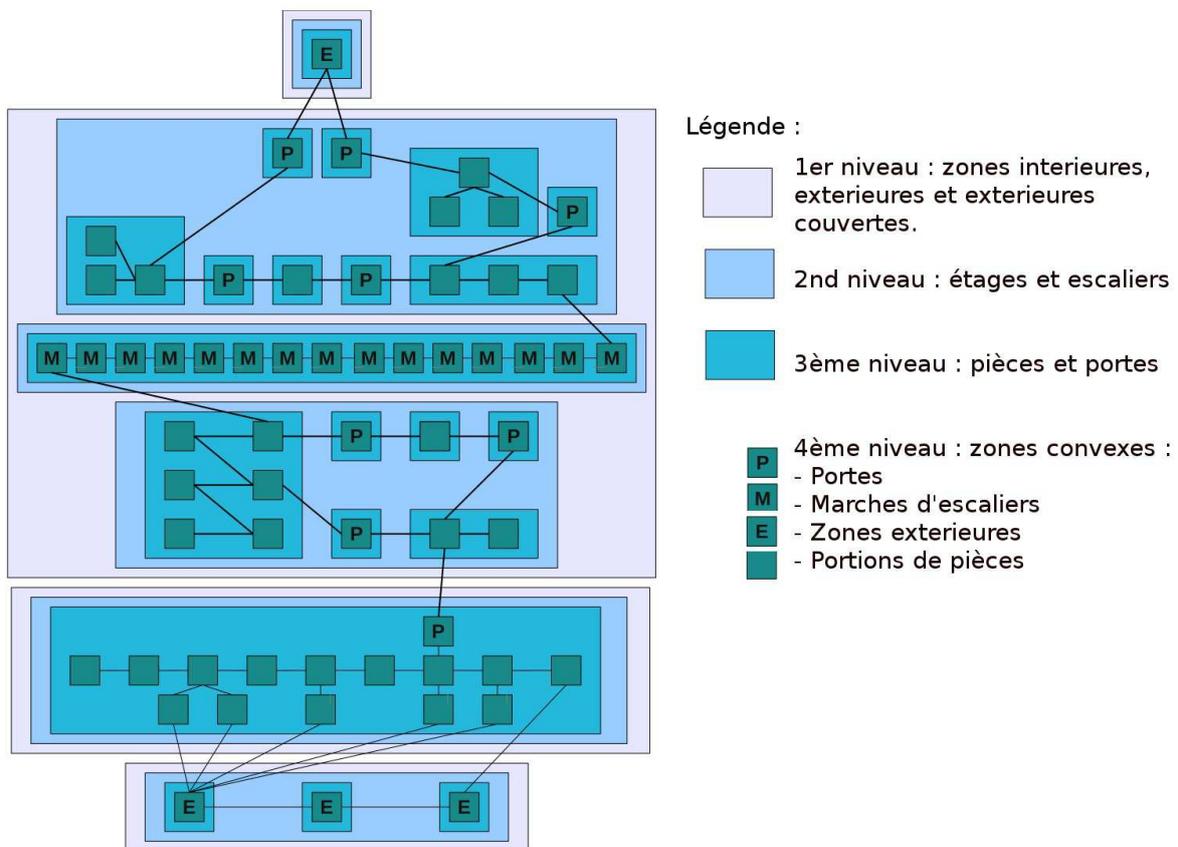


FIGURE 2.11 – Illustration du graphe topologique réalisé sur la base de la découpe de notre environnement exemple (pour une question de lisibilité, seules les arcs entre les zones de niveau 4 ont été représentées)

Chaque niveau hiérarchique de ce graphe consiste en un réseau où les nœuds représentent des zones et les arcs l'accessibilité entre ces zones. Chaque nœud d'une couche hiérarchique est un sous-nœud d'un et un seul nœud de la couche directement supérieure, et possède lui-même au moins un sous-nœud de la couche directement inférieure. Il s'agit donc d'une structure arborescence où chaque nœud est l'union de ses nœuds fils.

Cette représentation hiérarchique présente plusieurs caractéristiques intéressantes. D'une part, elle permet de regrouper des zones selon des critères tels que l'appartenance à un même bâtiment ou à un même étage. D'autre part, elle permet de fixer une base de réflexion spatiale hiérarchique, dans laquelle les zones de haut niveau (bâtiments, étages) seront prises en compte avant de raffiner le raisonnement aux sous-zones (pièces, zones convexes).

2.3.2 Étiquetage du graphe topologique par de l'information extraite de la géométrie

Le graphe topologique offre une base adaptée au raisonnement spatial, mais manque d'information pertinente pour la navigation. Il est donc nécessaire de qualifier les différentes zones en leur ajoutant des informations topologiques, quantitatives et qualitatives. Nous nous intéressons particulièrement aux informations utiles au raisonnement spatial et pouvant être extraites automatiquement de la géométrie de l'environnement.

Information topologique et méréologique

Le graphe topologique contient l'information de connexité entre zone. On peut étiqueter les zones en fonction de l'arité de ces connexités, comme présenté en [11] : les culs de sac d'arité 1, les couloirs d'arité 2 et les carrefours, d'arité supérieure à 2. Cette notion permet d'une part de corriger des erreurs ayant pu être commises lors du découpage en pièces (par exemple, une zone "cul de sac" ayant été qualifiée de porte n'a pas de sens) et de plus permettront de trouver une sémantique aux pièces découpées (en effet, dans une maison, une zone "carrefour" a de fortes probabilités d'être un couloir).

Le graphe topologique permet de plus d'extraire de l'information de type méréologique relative à l'inclusion entre zones (une pièce est incluse dans un étage qui est lui-même inclus dans un bâtiment). Il est possible, en analysant la géométrie des zones, d'y ajouter une information sur la superposition entre zones, partielle ou totale (par exemple, un étage peut être exactement superposé à l'étage inférieur, et une pièce partiellement superposée à une autre. La combinaison de ces informations permet d'identifier des zones, par exemple, une zone extérieure couverte "cul de sac", connexe à un étage et superposée à une autre zone extérieure connexe est probablement un balcon.

Information quantitative

Une première mesure quantitative essentielle à la planification de chemin demeure la distance entre les zones, qui reste un critère très important de choix de chemin. Là encore, la hiérarchisation de l'environnement se montre utile : au sein de chaque zone de Niveau 4, nous calculons la distance entre les côtés non contraints de la bordure, 2 à 2 (voir Figure 2.12). La nature convexe de ces zones nous assure que ces distances sont réalistes, sans être tout à fait représentative du trajet réel d'un être humain. Ensuite, dans les couches supérieures, la distance

d'une "sortie" à l'autre de la zone correspond à la somme des distances nécessaires pour traverser toutes les zones de la couche inférieure. Cette notion est particulièrement intéressante dans la vue en "pièces", où elle correspond à la distance porte à porte au sein des différentes pièces.

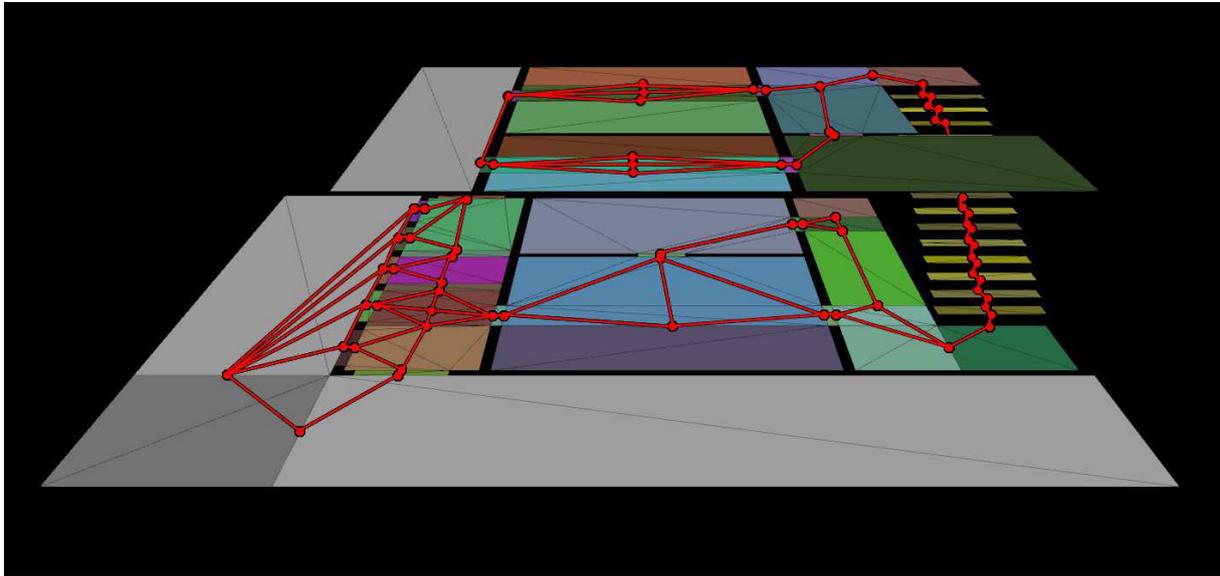


FIGURE 2.12 – Chemins extraits à partir des zones de niveau 4

D'autres informations quantitatives, comme la surface des zones, leur altitude ou la hauteur sous plafond présentent un intérêt pour ce qui est de la qualification sémantique des zones et la planification de chemin (une "pièce" de $2m^2$ sera plus probablement un placard qu'une réelle pièce de vie).

Déduction d'information sémantique sur les zones

Sur la base de ces informations tirées directement de la géométrie, et en utilisant nos connaissances de l'architecture et de l'urbanisme, il est possible de déduire de l'information sémantique sur la nature des zones, ainsi, une zone extérieure navigable superposée à une zone extérieure couverte sera sans doute un pont, une zone intérieure constituée d'un grand nombre d'étage pourra être qualifiée d'immeuble, et une pièce connexe à plus de deux portes sera probablement un couloir.

L'étiquetage des nœuds du graphe topologique hiérarchique par ces informations tend à l'approcher de la notion d'environnement informé, même si certaines informations sémantiques ne peuvent être déduites sans l'aide d'informations supplémentaire. (Il est, par exemple, très compliqué de discerner une cuisine d'une chambre à partir de la seule géométrie de la pièce.)

Conclusion

Sur la base d'un environnement purement géométrique, nous avons donc exposé une méthode permettant de le représenter par un graphe topologique hiérarchique reflétant une vision plus abstraite de l'environnement, pertinente du point de vue de la représentation que s'en ferait un personne. Nous avons ensuite montré qu'il est possible, à partir d'informations extraites de la géométrie de l'environnement, de déduire de l'information sur la nature, et donc la fonction des zones considérées. Nous avons donc pu extraire de la représentation purement géométrique de l'environnement une représentation plus abstraite, porteuse d'information, sur laquelle un raisonnement spatial sera possible, afin de permettre une navigation plus crédible d'humains virtuels dans cet environnement.

Chapitre 3

Raisonnement Spatial sur l'environnement

Introduction

La navigation d'humains dans leur environnement est soumise à un ensemble de contraintes plus ou moins importantes (temps de parcours, code de la route, règles sociales...) qui influent sur le trajet choisi : un itinéraire est déterminé, tendant à trouver le compromis le plus satisfaisant entre toutes ces contraintes, par exemple, un individu se déplaçant d'un lieu à un autre aura tendance à ne pas traverser de bâtiments et à n'utiliser que les rues, même si ce trajet est moins performant.

Deux types de tâches se distinguent dans ce mécanisme. D'une part, il existe une tâche consistant à déterminer une destination cible dans l'environnement en fonction d'un ensemble de critères (par exemple, un individu surpris par la pluie cherchera à déterminer la zone abritée la plus proche). D'autre part, il existe une tâche consistant à déterminer le meilleur chemin reliant la position de départ et la destination, en fonction d'un autre ensemble de critères (par exemple, un individu devant aller d'un bâtiment à un autre un jour de pluie cherchera le chemin minimisant la distance à parcourir dans des zones non abritées).

La structuration de l'information en une représentation plus abstraite de l'environnement permet de considérer de nombreux critères, qui peuvent être de nature très différentes les uns des autres (nature des zones, informations quantitatives...)

Notre objectif est donc de proposer un mécanisme de raisonnement spatial permettant de simuler les tâches de sélection de destination et de planification de chemin en fonction d'une requête comportant des critères multiples et hétérogènes sur ces deux tâches.

3.1 Adéquation d'une zone à une requête

Le plus souvent, il n'existe pas dans l'environnement considéré de "zone idéale" qui respectent tous les critères de la requête, il est donc nécessaire de pouvoir trouver une zone dont les caractéristiques sont un bon compromis entre tous ces critères. Dans un premier temps, en s'appuyant sur le graphe topologique étiqueté, il s'agit donc de mesurer l'adéquation des zones de l'environnement aux critères fournis par la requête. Dans le cas de l'exemple de l'individu cherchant à s'abriter de la pluie, ces critères étant le fait que la zone est couverte et que la distance de cette zone est minimale.

Cela peut être réalisé en utilisant une fonction de coût, représentant la distance entre les caractéristiques de la zone considérée et les caractéristiques idéales contenues dans la requête (dans le cas de notre exemple, les caractéristiques idéales étant que la zone soit couverte et à une distance nulle). Plus la fonction de coût rend un petit résultat pour une zone donnée, plus cette zone est proche de la zone idéale, pour laquelle la fonction rendrait 0. Cette fonction de coût sera appliquée aux zones de niveau 4 (zones convexes séparée par des goulets d'étranglement) afin d'avoir l'estimation la plus fine possible, mais pourra utiliser l'information contenue dans les zones des autres niveaux (par exemple, on peut chercher une zone appartenant à une pièce qui soit la plus grande possible)

3.1.1 Les critères de sélection

Les critères pris en compte pour la sélection d'une zone destination ou pour la planification d'un chemin sont variés, allant de valeurs numériques à maximiser, minimiser ou approcher à des contraintes sur la nature de cette zone. Pour pouvoir estimer l'adéquation entre une zone et une requête, il faut donc être capables de valuer l'adéquation d'une caractéristique de zone à un critère de la requête. de plus, de manière à pouvoir intégrer ces valeurs au sein d'une même fonction, il est nécessaire de normaliser toutes ces notions sur une échelle numérique comparable.

Pour ce faire, à chaque type de critère pris en compte par le modèle (information sur la nature des zones, valeurs numériques à maximiser, minimiser, approcher ou comparer à un seuil) doit être associé une fonction de normalisation rendant, pour toute valeur possible de ce critère, une unique valeur numérique comprise entre 0 et 1, approchant de 0 pour la valeur désirée.

Critères portant sur la nature des zones : Certains critères portent sur la nature des zones considérées, ou sur la nature de zones reliées à celles-ci par des relations topologiques (zones voisines, englobantes, superposées...). Ces critères peuvent être rapportés à des tests booléens (la zone est couverte, la zone appartient à un couloir...). La fonction de normalisation consiste à rendre 0 si le critère est satisfait, 1 sinon (voir Figure 3.1-a).

Valeurs numériques à comparer à un seuil : Des critères peuvent consister à comparer une valeur numérique à un seuil fixé par l'utilisateur (par exemple, la requête peut stipuler qu'on

cherche un zone d'altitude supérieure à 5 m). Dans ce cas, encore, le critère peut être rapporté à un test booléen. La fonction de normalisation consiste à rendre 0 si le critère est bien supérieur (ou inférieur, selon le cas) au seuil fixé, 1 sinon (voir Figure 3.1-b et 3.1-c).

Maximisation ou minimisation d'une valeur numérique Certains critères consistent à maximiser ou à minimiser un une valeur numérique (Par exemple , la zone doit appartenir à la plus grande pièce possible). Dans ce cas, on comparera la valeur du critère pour la zone considérée à la valeur maximale rendue pour ce critère dans l'ensemble des zones de l'environnement. La fonction de normalisation pour toute zone x de l'environnement E est de la forme : $val_{norm}(x) = \frac{val(x)}{\max(\forall z \in E, val(z))}$ pour un critère à minimiser (voir Figure 3.1-d) et $val_{norm}(x) = 1 - \frac{val(x)}{\max(\forall z \in E, val(z))}$ pour une valeur à maximiser (voir Figure 3.1-e).

Valeurs numériques à approcher Dans certains cas, une requête peut nécessiter d'approcher une certaine valeur, fournie par l'utilisateur, pour une caractéristique numérique donnée (par exemple, si il faut que la zone ait une hauteur de plafond proche de 3 m). Dans ce cas, la fonction de normalisation utilisée est de la forme, pour toute zone x : $val_{norm}(x) = \exp(\left(\frac{-val(x)}{p}\right)^2)$, où p est la précision désirée par l'utilisateur (plus p est important, plus la fonction tolérera de distance à la valeur désirée.) (voir Figure 3.1-f)

3.1.2 Fonction de coût

Le plus souvent, il n'existera pas de zone dans l'environnement correspondant exactement aux critères idéaux formulés dans la requête. Il faut donc déterminer quelles zones approchent au mieux cet état "idéale" en effectuant des compromis entre ces critères. Cependant, ces critères ne sont souvent pas d'importance équivalente. Par exemple, dans le cas de l'individu surpris par la pluie, il est plus important que la zone à atteindre soit abritée qu'elle soit proche. Il est nécessaire que la fonction de coût prenne en compte ce fait. Nous utiliserons donc, pour chaque critère, un poids, fixé par l'utilisateur (par exemple, 1 = peu important, 2 = important, 5 = fondamental).

Nous proposons une fonction de coût à minimiser, qui permet de mesurer l'adéquation d'une zone à une requête comprenant des critères multiples, tout en permettant de donner plus d'importance à certain d'entre eux. Cette fonction rend, pour pour toute zone x , le coût $Cout(x)$ en fonction de la valeur normalisée $Val_{norm}(c, x)$ et du poids $Poids(c, x)$ de chaque critère c :

$$Cout(x) = \sum_c (Val_{norm}(c, x) * Poids(c, x))$$

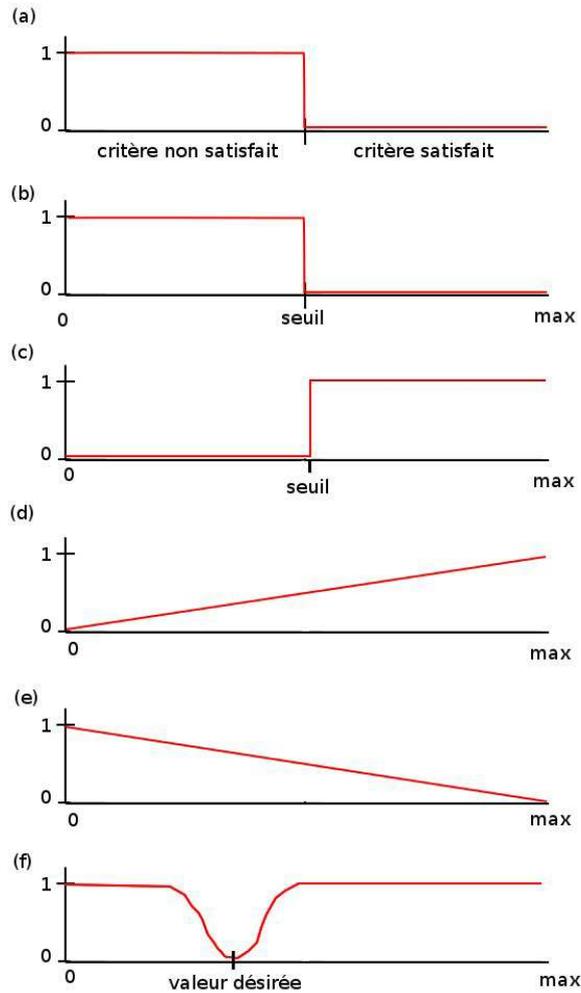


FIGURE 3.1 – Fonctions de normalisation pour les critères portant sur la nature des zones (a) et sur les valeurs numériques devant être plus importantes qu’un seuil (b), moins importantes qu’un seuil (c), minimale (d), maximale (e) ou proche d’une valeur donnée (f)

3.2 Utilisation de la fonction de coût pour le raisonnement spatial

Nous avons proposé une fonction de coût permettant de mesurer l’adéquation d’une zone à une requête. Nous utilisons cette fonction dans la gestion de deux typologies de requêtes de raisonnement spatial que sont la sélection d’une zone destination et la planification d’un chemin vers cette zone en fonction de critères multiples.

3.2.1 Sélection de zone

La première tâche que nous souhaitons effectuer est celle de sélection d’une zone destination en fonction d’un ensemble de critères (dans notre exemple, trouver la zone couverte la plus proche). Pour cela, la méthode consiste à appliquer la fonction de coût à toutes les zones de niveau 4 du graphe topologique, puis à sélectionner celle pour laquelle cette fonction rend le résultat le plus

faible.

Pour gérer la notion de distance à une zone, nous utilisons l'information de distance entre zones calculée dans le graphe topologique. Le chemin le plus court entre cette zone et la position de départ est estimé par un algorithme de parcours de graphe de type A* pour lequel nous utilisons la distance à vol d'oiseau comme heuristique.

3.2.2 Sélection de chemin

Dans un second temps, une zone ayant été désignée comme destination, une seconde tâche consiste à déterminer le chemin optimal pour s'y rendre en prenant en compte les critères de sélection de chemin contenus dans la requête (dans notre exemple, se rendre d'un bâtiment à un autre en favorisant les zones couvertes). Ce chemin s'exprime comme un ensemble de sous-chemins reliant deux à deux les côtés libres des zones de niveau 4 du graphe topologique et reliant la zone d'origine à la zone destination. Les critères de la requête s'appliquent aux zones traversées au cours du parcours, en tenant compte de la longueur des sous-chemins à parcourir dans ces zones. En effet, l'information de distance parcourue demeure primordiale dans la navigation humaine (entre deux chemins aux contraintes équivalentes, un individu choisira préférentiellement le chemin le plus court).

Pour représenter la notion de coût d'un chemin en tenant en compte de sa longueur, nous appliquons la fonction de coût à chaque zone de niveau 4 du graphe topologique pour les critères de sélection de chemin fournis par la requête. Ensuite, la valeur de chaque sous-chemin de chaque zone est calculée en pondérant le coût de la zone par la longueur du sous-chemin. La fonction de coût évaluant un chemin complet s'exprime alors, pour un chemin C composé de sous-chemins sc_x passant par les zones x parcourues sur une distance $Long(sc_x)$ en fonction de la valeur pondérée $Val(x, c)$ et du Poids $Poids(x, c)$ de chaque critère c :

$$Cout_C = \sum_{sc_x \in C} (Long(sc_x) \sum_c ((Val(x, c) * Poids(x, c))))$$

Cette fonction étant linéaire, elle permet d'affirmer que tout chemin optimal est la somme des sous-chemins optimaux. Il est donc possible de calculer le chemin optimal grâce à l'algorithme de Dijkstra appliqué à partir de la position de départ en minimisant le coût du chemin. Ici, nous n'utilisons pas d'algorithme de type A* à cause de la difficulté à déterminer une heuristique fiable.

Là encore, il est possible de profiter de la nature hiérarchique de la représentation de l'environnement pour, si la nature des critères le permet, calculer d'abord le meilleur chemin à travers les zones de niveau 1, pour n'affiner ensuite que celles empruntées. (par exemple, dans le cas du chemin devant favoriser les zones couvertes, si une première passe sur les zones de niveau 1

trouve un chemin ne passant que par des zones couvertes, on pourra ne considérer que celles-ci en affinant le processus aux sous-zones).

Il est souvent raisonnable de vouloir sélectionner une zone destination non seulement en fonction des critères de sélection, mais aussi des chemins y menant, par exemple, si la pluie se faisant plus forte, il faut chercher une zone intérieure pour s'abriter, en passant au maximum par des zones couvertes. Pour simuler cela, il faut intégrer à la fonction de coût d'une zone le coût du meilleur chemin y menant. Cela implique de calculer le meilleur chemin pour l'ensemble des zones, mais il suffit ensuite de pondérer, en les multipliant, le coût "brut" d'une zone par le coût du meilleur chemin y menant pour obtenir le coût pondéré de cette zone, qui servira à la sélection.

Conclusion

Nous proposons donc, en nous basant sur la représentation topologique hiérarchique étiquetée de l'environnement, une fonction de coût permettant de mesurer l'adéquation d'une zones à une requête comportant un ensemble de critères pouvant porter à la fois sur la nature des zones (bâtiment, étage, pièce, couloir, porte, abris...) ou sur des caractéristiques quantitatives de ces zones (surface, hauteur de plafond, longueurs de chemins). Nous avons de plus proposé deux méthodes de raisonnement spatial exploitant cette fonction de coût, permettant d'une part de sélectionner une zone en fonction d'un certain nombre de critères et d'autre part de planifier un chemin reliant une zone à une autres en fonction d'un ensemble de critères différend.

La qualité des résultats fournis par cette méthode dépendent beaucoup du choix des fonctions de normalisation des critères, ainsi que de l'attribution de poids à ces critères, mais peut fournir une simulation convaincante des compromis effectués par un être humain au cours de sa navigation. Une idée pour affiner ces méthodes serait l'exploitation des techniques de la logique floue pour les fonctions de normalisation des critères, qui permettrait de représenter de manière plus réaliste l'impact des critères sur le raisonnement spatial.

Chapitre 4

Résultats

Nous avons appliqué notre méthode de découpe des environnements en zones pertinentes à un exemple plus complexe (voir Figure 4.1), comportant une église, un couloir de bureaux, une maison à un étage ayant une topologie complexe (portes de hauteur et de largeur différentes, obstacles, toit en pente) et une route.

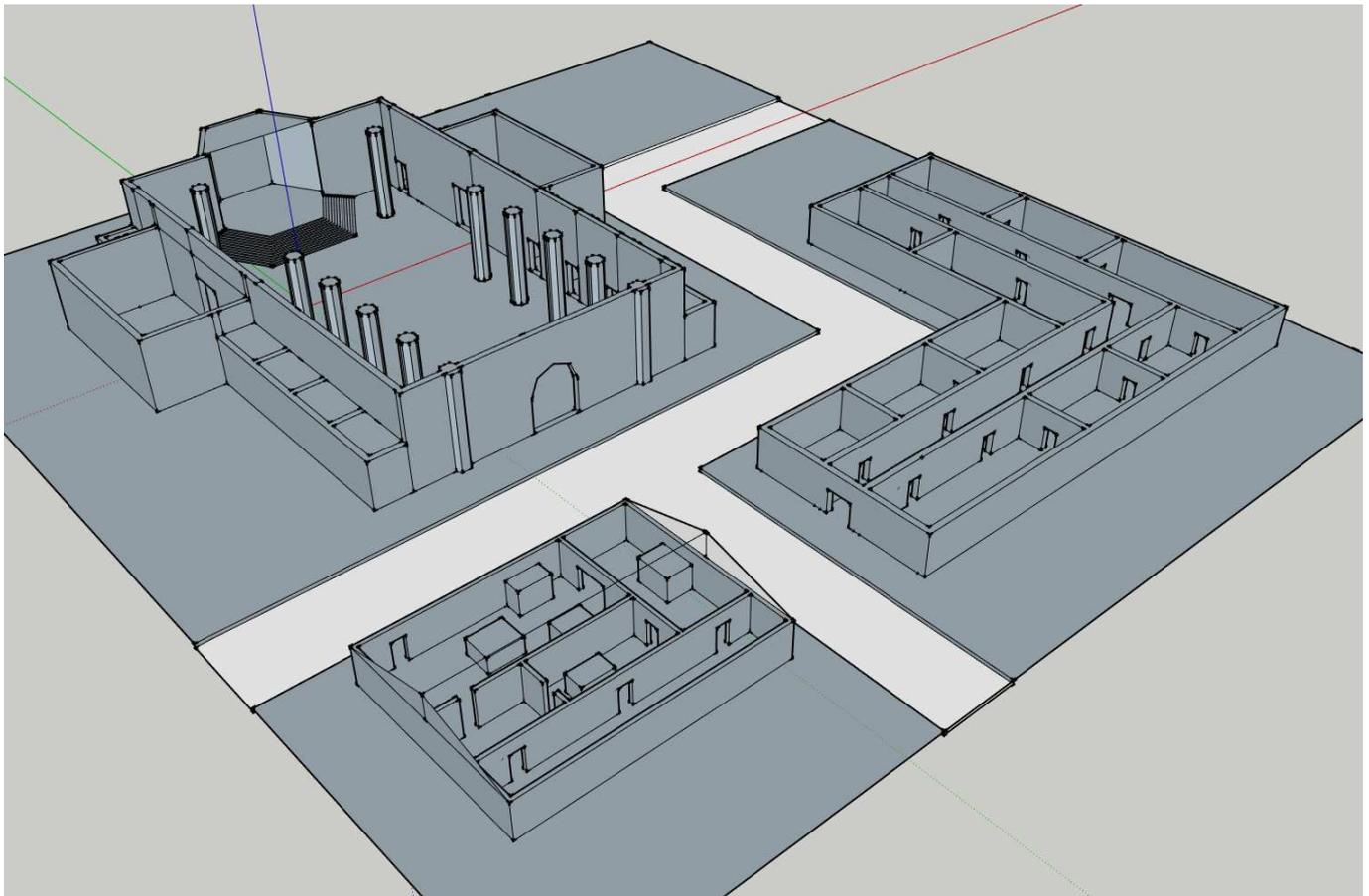


FIGURE 4.1 – Environnement plus complexe. les toits ont été masqués pour plus de lisibilité.

La Figure 4.2 montre le résultat de la décomposition en étages de cet environnement. On remarque que les escaliers de l'église ont été détectés, malgré leur forme inhabituelle, et que la route a bien été différenciée du reste de l'environnement extérieur.

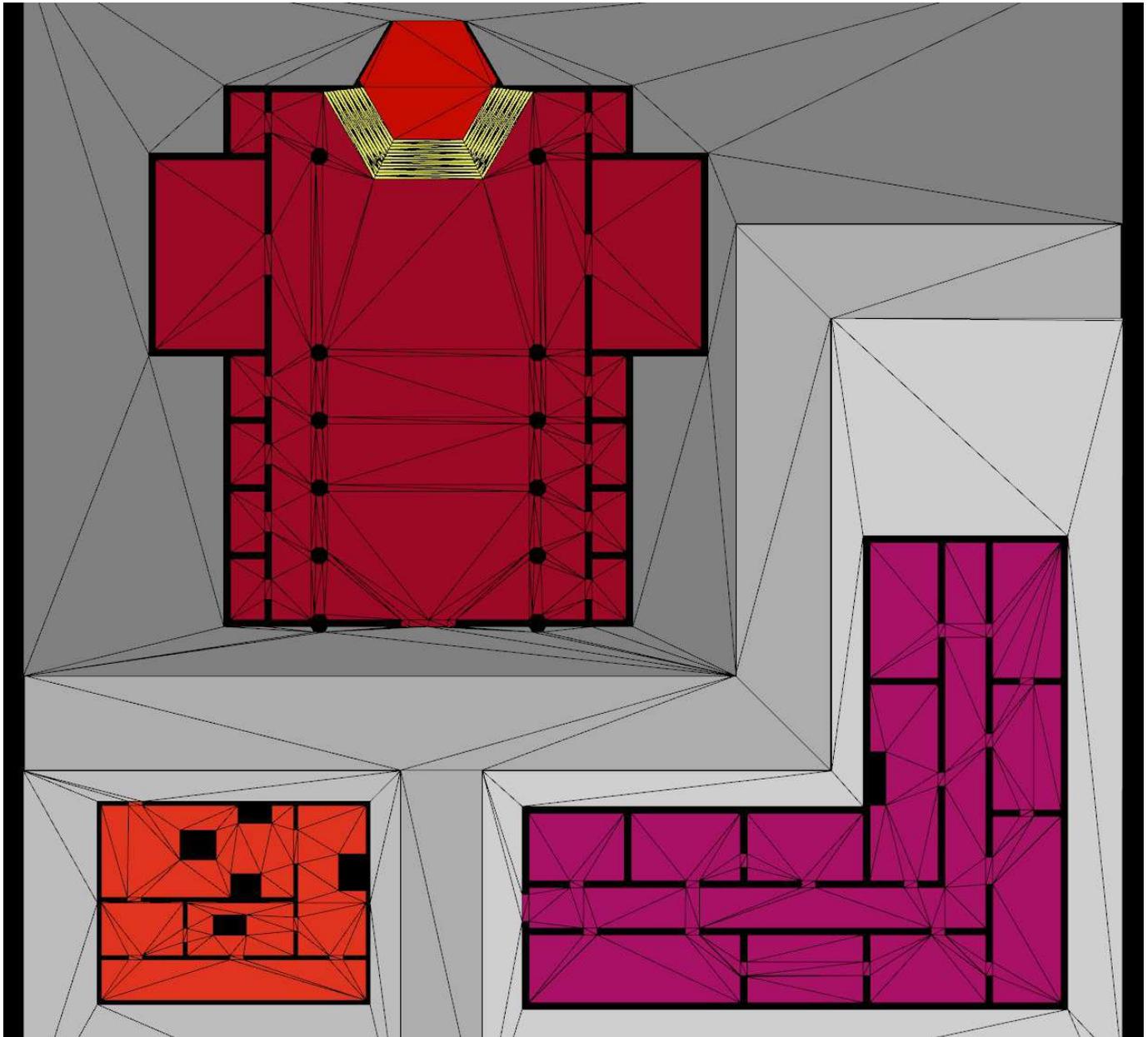


FIGURE 4.2 – Découpe en étage de l'environnement plus complexe

La Figure 4.3 montre la décomposition en pièces de notre environnement. On remarque que cette décomposition se fait bien dans les trois bâtiments considérés, malgré leurs éléments "parasites" (colonnes, obstacles....)

Ces exemples montrent que notre méthode s'adapte bien à des environnements très variés, et qu'elle est robuste aux parasites éventuels qui y sont présents.

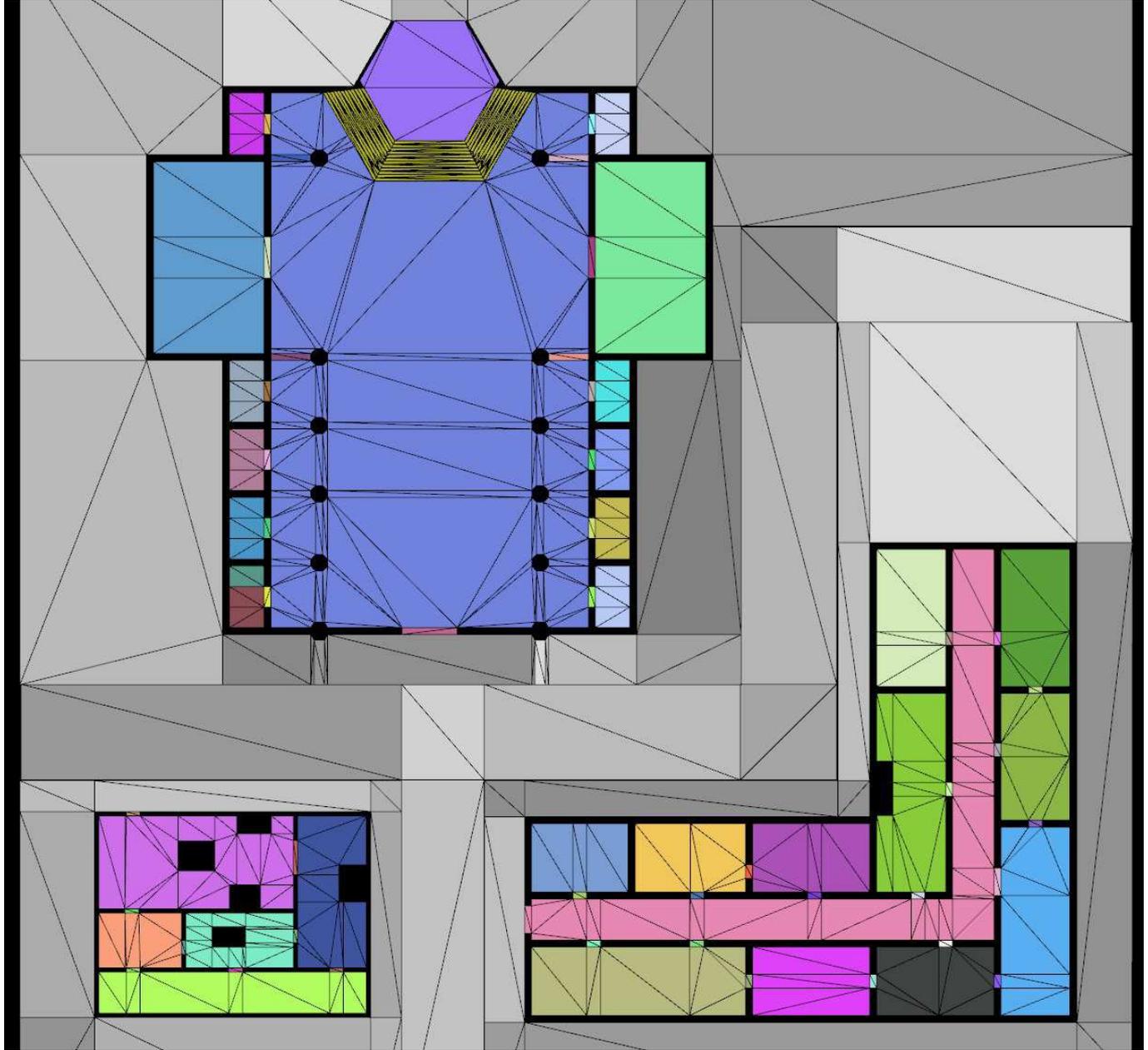


FIGURE 4.3 – Découpe en étage de l'environnement plus complexe

Conclusion

Nous avons proposé une méthode originale permettant d'extraire d'une base géométrique 3D, une représentation de l'environnement plus abstraite sous la forme d'un graphe topologique hiérarchique présentant un découpage pertinent en zones porteuses d'information. Cette méthode, qui s'intéresse essentiellement aux environnements intérieurs, donne de bons résultats pour une grande variété de situations, et s'avère robuste.

Nous avons, de plus, proposé un modèle de planification de chemin se basant sur cette représentation de l'environnement, qui permet de résoudre deux problématiques de raisonnement spatial : la sélection de zones et la planification de chemins en fonction de critères multiples et hétérogènes. Ces méthodes tendent à simuler de manière crédible les compromis réalisés par un être humain au cours de son déplacement entre la minimisation de la longueur du parcours et les différentes contraintes extérieures (code de la route, contraintes sociales...).

Néanmoins, ces méthodes se basent sur des à-priori forts sur l'environnement (absence de meubles, pauvreté de détails) et une étape de pré-traitement préalable des bases 3D serait à envisager pour analyser des scènes plus complexes (par exemple, lors de scans 3D automatiques). Des informations supplémentaires pourrait venir participer à l'équation de vraisemblance servant à la découpe des pièces, comme par exemple des informations d'intervisibilité entre zones, et qui pourraient la rendre plus robuste. Cette information pourrait de plus s'ajouter à l'information étiquetant les zones pour en enrichir le contenu. La technique que nous avons proposé ne peut pas extraire autant d'information que lors d'un étiquetage manuel. Elle peut cependant être utilisée pour aider les utilisateurs dans ce processus d'information manuel en extrayant automatiquement les zones pertinentes et en fournissant une base d'information.

Bibliographie

- [1] S.M. Hazarika A.G. Cohn. "qualitative spatial representation and reasoning : An overview". *Fundamenta Informaticae*, 46 :1–29, 2001.
- [2] David O’Sullivan Alasdair Turner, Maria Doxa. "from isovists to visibility graphs : a methodology for the analysis of architectural space". *Planning and Design*, 28 :103–121, 2001.
- [3] Stéphane Donikian. "modélisation, contrôle et animation d’agents virtuels autonomes évoluant dans des environnements informés et structurés". *Habilitation à Diriger des Recherches*, 2004.
- [4] Stéphane Donikian Fabrice Lamarche. "crowd of virtual humans : a new approach for real time navigation in complex and structured environements". *EUROGRAPHICS*, 23(3), 2004.
- [5] Stéphane Donikian Gwenola Thomas. "modelling virtual cities dedicated to behavioural animation". *EUROGRAPHICS*, 2000.
- [6] Fabrice Lamarche. "topoplan : a topological path planner for real time human navigation under floor and ceiling constraints". *EUROGRAPHICS*, 28(2), 2009.
- [7] J.C. Latombe. "robot motion planning.". *Kluwer Academic Publishers, Boston, MA*, 1991.
- [8] Steven M. LaValle. "planning algorithms.". *Cambridge University Press*, 2006.
- [9] Daniel Thalmann Nathalie Farene, Ronan Boulic. "informed environnement dedicated to the simulation of virtual humans in urban context". *EUROGRAPHICS*, 18(3), 1999.
- [10] Bernard Moulin Sébastien Paris, Medhi Mekni. "informed virtual geographic environments : an accurate topological approach". *2009 International Conference on Advanced Geographic Information Systems & Web Services*, 2009.
- [11] Stéphane Donikian Sébastien Paris. "environnemental abstraction and path planning techniques for realistic crowd simulation".
- [12] Romain Thomas. "modèle de carte cognitive et de mémoire spatiales : application à la navigation du piéton en environnement urbain". *PhD*, 2005.