

# Reconstruction topologique de complexes architecturaux à partir de plans numériques

S. HORNA – G. DAMIAND – D. MENEVEAUX – Y. BERTRAND

Laboratoire SIC - Université de Poitiers

{horna,damiand,meneveaux,bertrand}@sic.univ-poitiers.fr

## Résumé

*Cet article présente une nouvelle méthode de reconstruction d'un modèle topologique représentant des bâtiments à partir de données existantes. A long terme, notre objectif est de produire une description 3D à partir de plans d'architectes 2D (numériques mais non numérisés). Le modèle topologique déduit peut servir à éditer les modèles 2D/3D, en utilisant des opérations classiques de modélisation (arrondis, extrusions, etc.). Notre méthode se déroule de la manière suivante. Dans un premier temps, les arêtes décrivant la géométrie du plan donné sont traitées pour supprimer les arêtes confondues et gérer les intersections. La seconde partie de l'algorithme consiste à associer une structure topologique à la géométrie pour déduire toutes les relations d'incidence et d'adjacence entre les arêtes. Une étape de finalisation est rendue possible grâce à une série d'opérations offerte à l'utilisateur pour traiter les cas ambigus et corriger les plans. Aux étapes les plus coûteuses, une structure accélératrice est placée dans la scène pour réduire les temps de calcul.*

**Mots-clés :** Modélisation géométrique, topologie, architecture, cartes généralisées

## 1 Introduction

Plusieurs logiciels permettent de modéliser en deux ou trois dimensions des plans de complexes architecturaux. En fonction des applications, des informations variées sont contenues dans les données numériques (référence du bâtiment, taille des pièces, etc.). Différents domaines d'études nécessitent de scènes architecturales pour leurs applications (simulation de propagation d'ondes, thermique, acoustique, etc). Par ailleurs, il est souvent nécessaire de reconstruire des modèles 3D existants. La construction de telles scènes est un travail fastidieux et la génération de ces complexes architecturaux doit être la plus automatique possible.

Dans la majorité des cas, seule la géométrie des scènes est contenue dans les données. La plupart des modélisateurs ne mettent pas à disposition la structure topologique qu'ils emploient. Malheureusement, une description géométrique n'est pas suffisante pour exploiter un modèle pour un certain nombre d'algorithmes (simulation thermique, simulation d'éclairage, etc.). Dans de nombreux cas, les relations d'incidence et d'adjacence entre les différents objets de la scène sont nécessaires. D'une part, un modèle valide du point de vue topologique peut être édité avec un modélisateur et utilisé comme support pour de nombreux algorithmes de visualisation. D'autre part, la sémantique est utilisée pour connaître la nature d'une pièce (couloir, bureau, sanitaire, etc.) ou pour identifier les matériaux employés à la construction du bâtiment.

Notre méthode est dédiée à la reconstruction de modèle topologique 3D représentant des bâtiments existants. Le modèle topologique associé à la scène est déduit automatiquement. Pour cela, lors d'une première étape, nous contrôlons et corrigeons les incohérences géométriques de la scène. Ensuite nous cherchons les relations d'adjacence entre les arêtes pour reconstruire les faces de la scène. Des opérations sont mises à la disposition de l'utilisateur pour la gestion des cas particuliers. Enfin, une extrusion en 3D dirigée par l'utilisateur peut être réalisée pour représenter le bâtiment en trois dimensions.

Malgré la taille des données nécessaires pour représenter le modèle topologique, celui-ci permet de faciliter l'édition de la scène en fournissant une représentation logique des subdivisions de l'espace (relation d'incidence et d'adjacence). Nous souhaitons utiliser cette information supplémentaire pour tester et contrôler les opérations effectuées par l'utilisateur.

Dans cet article, nos contributions concernent les points suivants :

- reconstruction géométrique de plans numériques non numérisés ;
- reconstruction topologique 2D de plan de bâtiments ;
- extrusion en 3D de plans numériques non numérisés.

Dans la section 2, nous expliquons notre choix des cartes généralisées pour ce travail et nous décrivons le modèle de 3-G-Carte sur lequel repose notre travail. La méthode utilisée pour reconstruire la géométrie de la scène et retrouver la topologie correspondante est détaillée dans la section 3. La section 4 décrit l’extrusion en 3D utilisée. La section 5 présente une optimisation qui utilise une grille régulière et nous exposons quelques temps de traitements obtenus lors de l’utilisation de notre application.

## 2 Etat de l’art

La construction architecturale 3D est un sujet souvent abordé dans la littérature scientifique. Différentes sources de données sont étudiées comme des photographies aériennes ou des plans 2D numérisés.

La section recherche de l’Institut de Géographie Nationale (IGN) a fait plusieurs travaux sur la reconstruction de scènes urbaines en 3D. En particulier, le laboratoire MATIS propose une méthode d’élévation de la scène 2D à partir de photos aériennes ou satellitaires. L’objectif est d’obtenir un logiciel capable de modéliser automatiquement un environnement urbain complexe à très grande échelle et de créer ainsi une bibliothèque de bâtiments en trois dimensions [FF03].

C.Ah-Soon a proposé une étude de plans 2D numérisés permettant la reconstruction en trois dimension [ASD98]. La méthode proposée permet d’analyser la géométrie intérieure d’un bâtiment ainsi que le placement des ouvertures dans celui-ci (portes, fenêtres, etc). La reconnaissance est basée sur la détection des symboles verticaux et horizontaux.

Ces différents travaux existant permettent une reconstruction géométrique des bâtiments en trois dimensions, mais la reconstruction du modèle topologique représentant le bâtiment n’est jamais mise en oeuvre.

Nous souhaitons représenter des bâtiments correspondant à des modèles topologiques 3D. Ces modèles sont composés de sommets, d’arêtes et de faces. Plusieurs modèles topologiques ont déjà été proposés dans la littérature avec différents types de subdivisions de l’espace. On trouve par exemple des structures à base de graphes d’adjacentes ([Bri93]), des modèles 2D/3D basés sur les arêtes ([Bau75, GS85, Wei86]) ou des modèles de dimensions supérieures ([Bri93, Lie94]).

Les objets que nous souhaitons représenter sont des bâtiments composés de volumes (planchers, murs, salles, etc). Chaque volume étant un objet 3D orientable. Dans [Lie91], il est montré que les modèles définis pour représenter les topologies 3D sont comparables aux cartes 3D (pour les modèles orientables sans bord) ou aux cartes généralisées 3D (pour les modèles orientables ou non orientables, avec ou sans bords). Bien que les cartes généralisées 3D soient un peu plus coûteuses que les cartes 3D en termes de représentation en mémoire, ce modèle a été choisi parce qu’il permet de représenter des objets avec des bords explicites facilitant le développement des opérations. De plus, les cartes généralisées sont définies de manière homogène dans n’importe quelle dimension.

Nous choisissons les cartes généralisées définies dans [Lie94] pour les raisons suivantes :

- elles représentent des subdivisions de l’espace 3D ;
- elles sont définies d’une manière homogène : un type simple d’éléments de base en 2D et 3D. Ceci simplifie la définition formelle de beaucoup d’opérations ;
- de nombreuses opérations sont déjà définies (comme la fusion des cellules [DL03]).

Les cartes généralisées permettent de modéliser des objets géométriques subdivisés en cellules (sommets, arête, face, etc.) reliées entre elles par des relations d’adjacence et d’incidence. Cette structure fait partie des modèles de représentation par les bords<sup>1</sup>. Les cartes généralisées permettent de représenter les objets sur lesquels nous travaillons : des subdivisions de  $\mathbb{R}^3$ . Les définitions qui suivent sont tirées de [Lie91].

---

<sup>1</sup>En Anglais, Boudary Representation (B-rep).

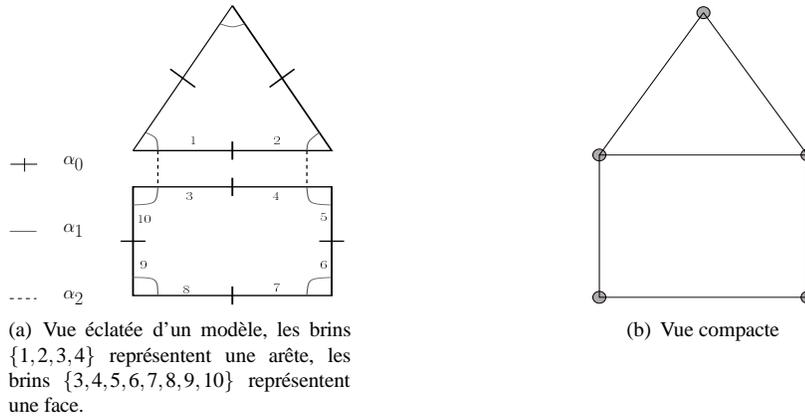


FIG. 1 – Représentation d'un objet 2D avec les cartes généralisées

**Définition 1 (Cartes généralisées de dimension  $n$ )** Une carte généralisée de dimension  $n \geq 0$  (ou  $n$ -G-carte) est une algèbre  $G = (B, \alpha_0, \dots, \alpha_n)$ , où :

- $B$  est un ensemble de brins ;
- $\alpha_0, \dots, \alpha_n$  sont des involutions sur  $B$  ;
- $\alpha_i \alpha_j$  est<sup>2</sup> une involution pour tout  $i, j$  tels que  $0 \leq i < i + 2 \leq j \leq n$ .

À partir des éléments de base appelés brins et des applications  $\alpha$  définies sur ces brins, les cartes généralisées représentent les cellules composant les objets et leurs relations de bords. La  $i$ -cellule associée à un brin  $b$  donné, est formée de l'ensemble des brins obtenus par composition des involutions  $\alpha_j, j \neq i$  (figure 1). De manière générale, toute composition d'involution est appelée orbite et est notée  $\langle \alpha_k, \dots, \alpha_p \rangle$ . Pour des informations complètes le lecteur peut se référer à [Lie94]

Le degré d'une cellule de dimension  $i$  correspond au nombre de cellules distinctes de dimension  $i + 1$  qui lui sont incidentes.

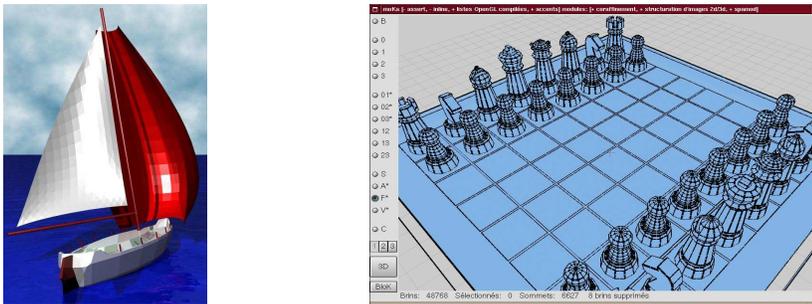


FIG. 2 – Modèle construit avec le modelleur MOKA.

Sur la base de cette représentation, le laboratoire a défini un noyau contenant toutes les opérations de base. MOKA est un modelleur géométrique 3D à base topologique. Il permet, la création et la manipulation d'objet 3D à l'aide de nombreuses opérations. L'originalité de ce modelleur concerne son noyau qui est à base de cartes généralisées 3D.

Le noyau du modelleur comporte de nombreuses opérations de bas niveau (couture de brin, parcours de carte, etc.). Suite à différents travaux développés au laboratoire, plusieurs modules ont été ajoutés à cette

<sup>2</sup>Si  $\beta$  et  $\gamma$  sont des applications de  $E \rightarrow E$ , nous notons  $\beta\gamma$  la composition  $\gamma \circ \beta$ , et  $b\beta\gamma$  l'application de cette composition à un élément  $b$  de  $E$ .

plate-forme (géologie, modélisation 3D, etc.). Nous avons donc à disposition une boîte à outil stable qui nous permet d'utiliser les cartes généralisées directement.

Le modèle topologique des cartes généralisées est employé dans plusieurs domaines d'application. Par exemple, le corafinement d'objet 3D pour l'étude des couches géologiques, la simulation de propagation d'ondes, la simulation d'éclairage dans une structure hiérarchique [FMH05].

De nombreux travaux développés au laboratoire utilisent la structure des cartes généralisées. Nous souhaitons que les scènes 3D générées par notre application puissent être directement réutilisées par plusieurs outils mis à disposition au SIC (simulation d'éclairage [FMH05], propagation d'ondes, etc.).

## 3 Reconstruction 2D

### 3.1 Présentation générale de l'algorithme

À partir de différents fichiers source contenant des plans en deux dimensions, notre application reconstruit une géométrie valide et reconstruit un modèle topologique. L'algorithme est décomposé en deux grandes parties.

La première partie concerne une étape de contrôle et modification géométrique. Après extraction de toutes les informations disponibles dans les données de départ, l'ensemble non ordonné des segments obtenus doit être contrôlé et éventuellement modifié pour corriger les problèmes géométriques. Pour cela, une première étape consiste à détecter et supprimer les arêtes confondues présentes dans le plan original. Ensuite toutes les intersections sont recherchées, et les segments sont découpés. Tous les croisements entre les arêtes sont ainsi supprimés.

La seconde partie concerne la reconstruction topologique de la scène. Le but de cette phase est de coudre entre eux les segments pour former des faces. Pour cela, dans un premier temps, seuls les sommets de degré inférieur ou égal à deux sont cousus, car il n'y a qu'une seule possibilité de couture. Les autres sommets sont traités à l'aide d'un tri angulaire sur les segments autour des sommets. Les arêtes sont cousues selon cet ordre. La reconstruction topologique automatique de la scène est terminée lorsque tous les sommets ont été traités.

Afin de finaliser la reconstruction topologique de la scène, nous proposons plusieurs opérations semi-automatiques. Celles-ci permettent à l'utilisateur de finaliser la topologie de la scène et de reconstruire les éléments qui n'ont pas pu l'être automatiquement (murs trop éloignés, informations manquantes, etc.).

L'algorithme général de la reconstruction est donc le suivant :

1. extraction des informations à partir du fichier source ;
2. reconstruction géométrique :
  - suppression des arêtes confondues ;
  - découpage des arêtes lors d'intersections ;
3. reconstruction topologique :
  - traitement des sommets de degré un et deux ;
  - interclassement des autres sommets (degré  $\geq 3$ ) ;
4. finalisation semi-automatique ;
5. extrusion pour construire le modèle 3D.

### 3.2 Reconstruction géométrique

Le milieu de l'architecture utilise plusieurs logiciels de conception assistée par ordinateur (comme Auto-Cad qui semble être l'un des plus répandus dans ce domaine d'application). Les fichiers générés peuvent être sous différents formats notamment *DWG* et *DXF* qui sont les plus couramment utilisés. Notre premier travail est d'extraire les informations géométriques contenues dans le fichier source. Les informations stockées sont définies par des balises prédéfinies, nous pouvons donc retrouver les figures

géométriques de base utilisées lors de la conception du fichier (les segments, les cercles ou arc de cercle, les polygones).



FIG. 3 – Différents cas d'utilisation de la valeur  $\epsilon$ .

Lors de la conception du plan, le dessinateur ne contrôle pas les incohérences géométriques. Souvent l'ensemble des segments peut comporter de nombreuses erreurs (segments disjoints, superposition d'arêtes, etc.). Après avoir retrouvé toutes les données géométriques, nous souhaitons contrôler le plan et le corriger si nécessaire afin de prévenir plusieurs problèmes lors de la reconstruction topologique. Pour cela nous avons défini un seuil d'erreur  $\epsilon$  fixée à un millimètre. Cette valeur minimale est utilisée dans tous les calculs géométriques, par exemple lors du calcul permettant de tester si deux arêtes sont confondues, ou pour trouver toutes les arêtes autour d'un même sommet (figure 3).

### 3.2.1 Recherche des arêtes confondues

Nous considérons que deux arêtes sont confondues si droites correspondantes sont parallèles, si elles possèdent la même ordonnée à l'origine et si au moins une des extrémités de l'une est comprise dans l'autre. Dans le cas général, on distingue deux cas : l'inclusion (figure 4) et la superposition (figure 5) de deux segments.



FIG. 4 – Si  $A'B'$  est inclus dans  $AB$ , alors  $A'B'$  est supprimé.

Dans le cas de l'inclusion, nous décidons que l'arête incluse doit être supprimée (figure 4). En effet, la suppression de cette arête n'entraîne pas de perte d'information. Si l'arête supprimée correspond à un élément précis, celui-ci est reconstruit automatiquement dans la suite de l'algorithme.



FIG. 5 – L'une des deux arêtes est mise à jour pour supprimer la superposition.

Dans le second cas, l'extrémité de l'une des deux arêtes doit être modifiée afin que les deux segments soient placés bout à bout. Pour cela, il suffit de fixer l'extrémité d'une des deux arêtes pour qu'elle reçoive les coordonnées de l'autre arête (figure 5).

### 3.2.2 Calcul d'intersection et découpage

Pour respecter les contraintes fixées par les cartes généralisées, toutes les arêtes doivent se croiser uniquement sur des sommets. Les arêtes sont donc traitées deux à deux afin de détecter si elles se croisent ou non. Si une intersection est trouvée, un sommet est ajouté au point d'intersection.

Plus précisément, si une intersection au point  $i$  est détectée sur un segment  $[AB]$ , le segment  $[AB]$  est modifié afin qu'il corresponde au segment  $[Ai]$ , et un nouveau segment est créé pour représenter le segment  $[iB]$ . Ainsi, aucun élément n'est supprimé et aucune couture n'est modifiée.

Il existe deux types d'intersection : l'intersection franche où les deux segments doivent être modifiés, et le cas où l'intersection à l'intérieur d'un segment déjà existant.

Dans le cas d'une intersection franche en un point  $i$ , des modifications doivent être effectuées sur les deux arêtes concernées. Celles-ci sont mises à jour et deux arêtes supplémentaires sont créées. Quatre arêtes incidentes au sommet  $i$  sont obtenues (figure 6).

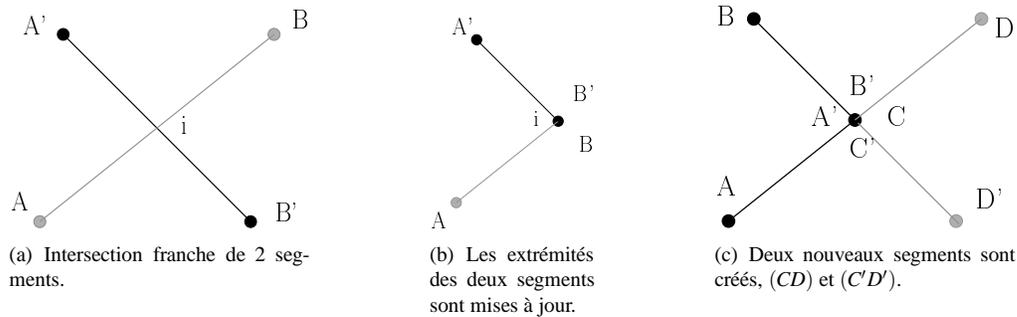


FIG. 6 – Traitement d'une intersection franche, les deux arêtes sont modifiées, et deux nouvelles arêtes incidentes au point d'intersection sont créées.

De même dans le deuxième cas, si  $i$  est l'une des extrémités de l'une des arêtes, celle-ci n'a pas besoin d'être modifiée et seule l'arête intersectée est mise à jour. Trois arêtes incidentes au sommet  $i$  sont obtenues (figure 7).

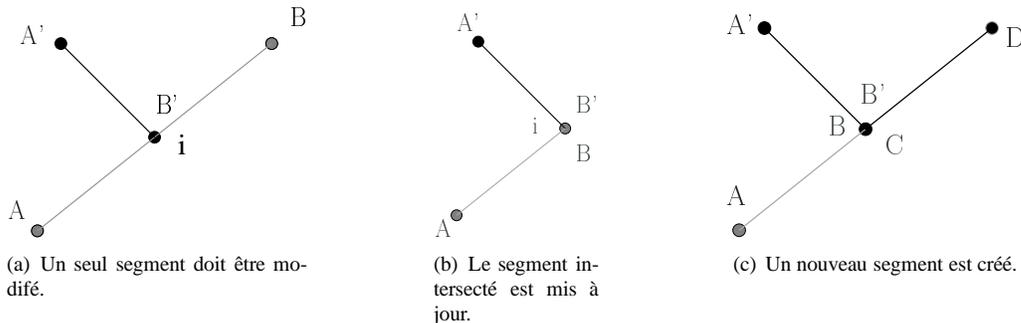


FIG. 7 – Traitement d'une intersection, un seul segment est modifié, un nouveau segment incident au point d'intersection est créé,  $(CD)$ .

### 3.3 Reconstruction topologique

La géométrie étant contrôlée et corrigée, l'ensemble des segments est valide pour reconstruire la topologie. Comme nous travaillons en deux dimensions, la G-Card reconstruite doit pour chaque élément de base avoir les liaisons  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  correctement mises à jour. Nous souhaitons ainsi retrouver toutes les relations d'adjacences entre les sommets, les arêtes et les faces.

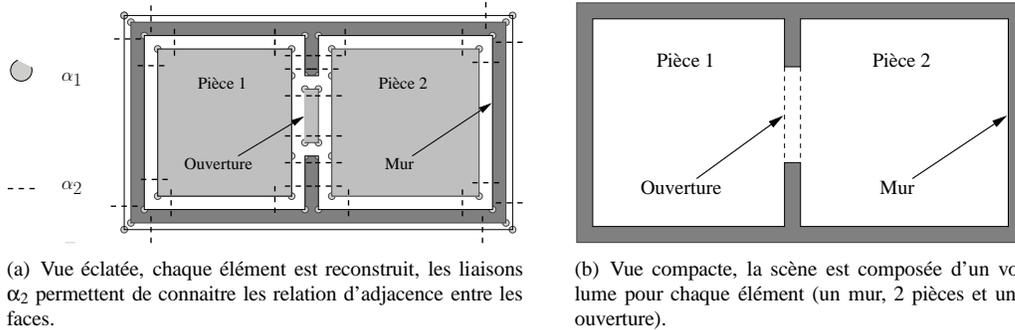


FIG. 8 – Modèle topologique complètement reconstruit.

Notre objectif est de construire un modèle topologique dont toutes les relations d'adjacences sont connues (figure 8). Tous les objets doivent être fermés et respecter les contraintes de cartes généralisés. Chaque arête est incidente à deux faces, les arêtes sont dédoublées pour créer des cellules fermées. Lors de la création des arêtes, les liaisons  $\alpha_0$  et  $\alpha_2$  sont directement affectées. La suite de l'algorithme consiste à coudre les liaisons  $\alpha_1$ , et former les faces contenues dans la scène.

#### 3.3.1 Création et orientation des arêtes

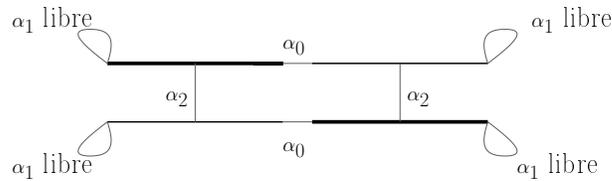


FIG. 9 – Création d'une arête, les brins dont la marque d'orientation est à *vrai* sont en gras.

Lors de l'import du plan dans MOKA, chaque arête est directement créée composée de quatre brins. Les liaisons  $\alpha_0$  et  $\alpha_2$  sont directement cousues (figure 9). Les liaisons  $\alpha_1$  sont laissées libres, nous les traitons dans la suite du programme.

Pour reconstruire correctement les faces contenues dans la scène, nous devons différencier les brins des arêtes. Pour cela, un marquage des brins est effectué pour indiquer l'orientation de l'arête (marquage par valeur booléenne), tel que pour un brin  $b$  marqué *vrai*, tous ses voisins par les involutions  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  ou  $\alpha_2$  sont marqués *faux* (et réciproquement). Cela permet d'orienter toute la carte généralisée de manière cohérente.

Toutes les opérations géométriques citées dans la section précédente tiennent compte de ces propriétés de topologie et d'orientation (notamment lors de la suppression et l'insertion de sommets).

#### 3.3.2 Reconstruction/couture des sommets de degré 1 et 2

Pour chaque sommet, nous comptons le nombre d'arêtes qui lui sont incidentes. Si une seule arête est incidente au sommet, celui-ci est de degré 1. Les liaisons  $\alpha_1$  de l'extrémité de l'arête sont liées entre elles

(figure 10a). Si exactement deux arêtes sont incidentes au sommet, elles sont liées par  $\alpha_1$  en respectant les contraintes d'orientation fixées (figure 10b). Si plus de deux arêtes sont incidentes au sommet, celui-ci est ignoré, le traitement est réalisé plus tard dans l'algorithme.



FIG. 10 – Coutures autour de sommet de degré 1 et 2, il n'y a pas d'ambiguïté sur les coutures  $\alpha_1$ .

La couture de tous les sommets de degré inférieur ou égal à deux permet de réduire le nombre de sommets restant à traiter et donc de réduire également le nombre de liaisons  $\alpha_1$  libres

### 3.3.3 Interclassement

À ce stade de l'algorithme, seules les arêtes incidentes à des sommets de degré supérieur à deux n'ont pas été traitées. Pour chaque sommet de degré strictement supérieur à deux, les arêtes sont stockées. Le premier brin choisi est désigné comme *référent* et les autres segments sont classés en fonction de l'angle qui les sépare du *référent*. Pour chaque segment trouvé, seuls les brins dont la marque d'orientation est à *vrai* sont stockés. L'algorithme est donc le suivant :

1. recherche d'une arête non liée via  $\alpha_1$ , elle est désignée par  $R$  ;
2. recherche de toutes les arêtes libres via  $\alpha_1$  et de même extrémité que  $R$  ;
3. les arêtes sont triées en fonction de l'angle formé avec  $R$  ;
4. les brins dont la marque d'orientation est marqué sont liés avec les brins non marqués de l'arête suivante

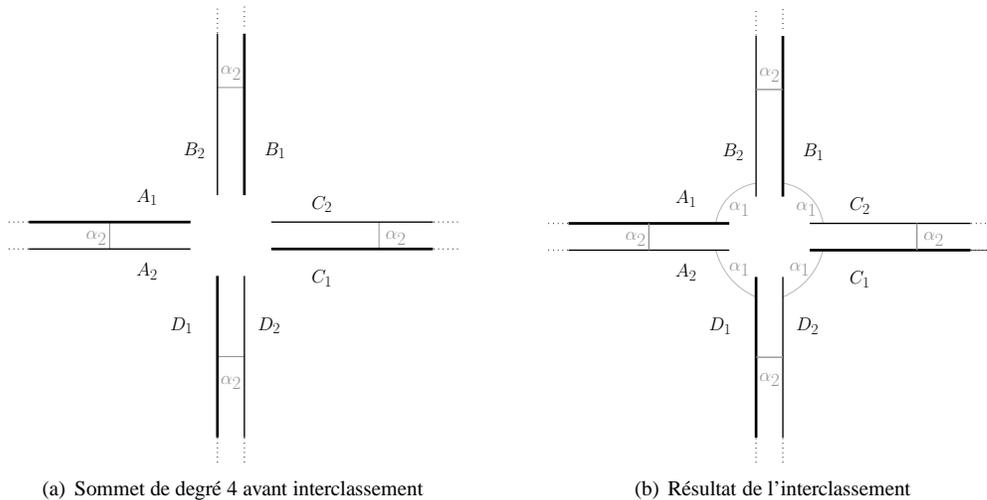


FIG. 11 – Lors d'un interclassement, les demi-arêtes sont cousues deux à deux en fonction de leur placement autour du sommet, chaque brin marqué est cousu à un brin non-marqué.

Dans l'exemple présenté sur la figure 11, soient  $A_1$  et  $A_2$  les deux brins  $\alpha_1$  libres situés à l'extrémité de l'arête  $R$ . Les arêtes  $B, C$  et  $D$  sont trouvées, car elle ont une extrémité égale à celle du sommet traité (à  $\epsilon$  près). Les brins stockés sont  $A_1, B_1, C_1$  et  $D_1$  et sont classés en fonction de l'angle qu'ils forment avec  $A$ . Ensuite les brins sont liés deux à deux tel que le brin courant soit lié via  $\alpha_1$  avec le brin du segment suivant dont la marque d'orientation est à *faux*. C'est-à-dire que  $A_1$  est lié à  $B_2, B_1$  avec  $C_2$ , etc. De plus, le dernier brin est cousu au premier brin dont la marque d'orientation est à *faux* afin de fermer la boucle. L'intégralité de la topologie du sommet est ainsi reconstruite.

### 3.4 Présentation des opérations de couture/suppression

Un maximum d'incohérences géométriques sont supprimées lors du traitement automatique du plan. Toutefois, d'autres problèmes peuvent ne pas être résolus. Ces problèmes sont pour la plupart représentés par des arêtes dont au moins un sommet est de degré 1. Ces sommets sont traités pendant la reconstruction topologique automatique de la scène, les liaisons  $\alpha_1$  de ces brins sont reconstruites telles que pour un brin  $b$  on a  $\alpha_1(b) = \alpha_2(b)$ . Ces arêtes sont désignées comme arêtes *pendantes*.

Pour finaliser le plan et réduire le nombre d'arêtes pendantes, nous avons développé plusieurs opérations semi-automatiques permettant à l'utilisateur d'éditer le modèle. Deux opérations de haut niveau sont mises à la disposition de l'utilisateur : la couture et la suppression. Ces opérations sont semi-automatiques car des heuristiques sont utilisées afin d'essayer de résoudre automatiquement les problèmes.

#### 3.4.1 Couture

L'opération de couture permet de joindre des segments dont l'intersection n'a pas été détectée automatiquement (en raison d'une distance supérieure à  $\epsilon$ ). Pour être réalisée, nous avons défini une opération de couture de base pour deux arêtes, dont l'une est *pendante*. Cette opération de base est ensuite utilisée dans des opérations de couture de plus haut niveau qui sont désignées en fonction de la sélection effectuée par l'utilisateur. Les opérations de couture de haut niveau prennent en paramètre deux ensembles de segments. Le premier est composé d'arêtes pendantes, le second contient les arêtes susceptibles d'être reliés par les arêtes pendantes. En fonction de la sélection de l'utilisateur, les opérations de couture plus ou moins complexes sont employées.

##### Opération de base

L'opération de base est la couture de deux arêtes. Cette méthode est utilisée par la suite par toutes les autres opérations de couture de plus haut niveau. Lorsque l'utilisateur souhaite coudre deux arêtes avec cette opération, il doit sélectionner uniquement les deux segments et appliquer l'opération de couture. Toutes les contraintes sont ainsi levées et la couture des deux segments concernés est effectuée. La seule contrainte fixée est que l'une des deux arêtes sélectionnée doit être *pendantes*.

Lors de la couture de deux arêtes, nous étudions leurs positions par rapport au point d'intersection des deux droites correspondantes aux deux segments. Le segment courant peut soit être prolongé (figure 12a), soit être intersecté (figure 12b), soit être atteint sur une extrémité (figure 12c). En fonction de la position des deux segments, les modifications nécessaires sont appliquées.

Si une intersection est détectée, un sommet est inséré sur l'arête intersectée (figure 13b), et un interclassement est appliqué sur le nouveau sommet créé (figure 14b). Si un sommet de degré 2 est créé au point d'intersection, les deux arêtes sont cousues tout en respectant les contraintes topologiques citées dans la section précédente (notamment concernant l'orientation). Si le point d'intersection trouvé se situe sur un sommet d'une autre arête déjà existante (figure 13c), les liaisons  $\alpha_1$  de ce sommet sont détruites, et un nouvel interclassement est effectué sur le sommet concerné (figure 14c).

De manière générale, cette opération est rarement utilisée. Elle n'est appliquée que dans quelques cas où la couture à réaliser est directement souhaitée par le dessinateur, par exemple si les deux segments sont éloignés, ou bien si la couture doit être faite suite à d'autres modifications apportées au plan (notamment suite à la suppression d'une arête).

Cette opération de base étant définie, nous l'utilisons dans plusieurs opérations de plus haut niveau. En fonction de la sélection de l'utilisateur, des heuristiques permettent de déterminer quelle opération de couture doit être utilisées. Nous pouvons distinguer trois opérations, (i) l'utilisateur souhaite coudre toutes les arêtes pendantes du plan, (ii) l'utilisateur sélectionne deux ensembles d'arêtes (dont l'un constitué uniquement d'arêtes pendantes), (iii) l'utilisateur sélectionne un seul ensemble d'arêtes quelconques.

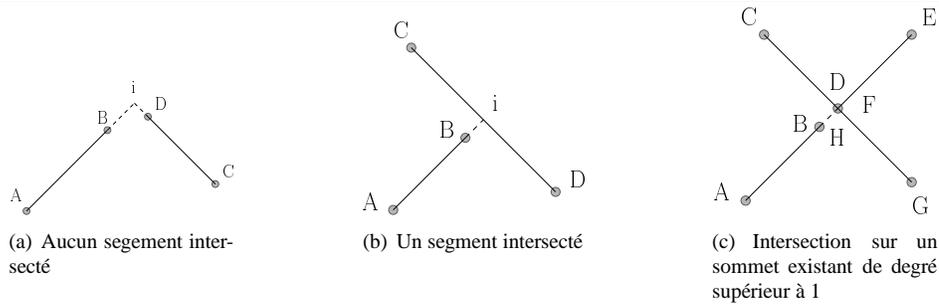


FIG. 12 – La couture de deux arêtes peut être utilisée dans 3 cas.

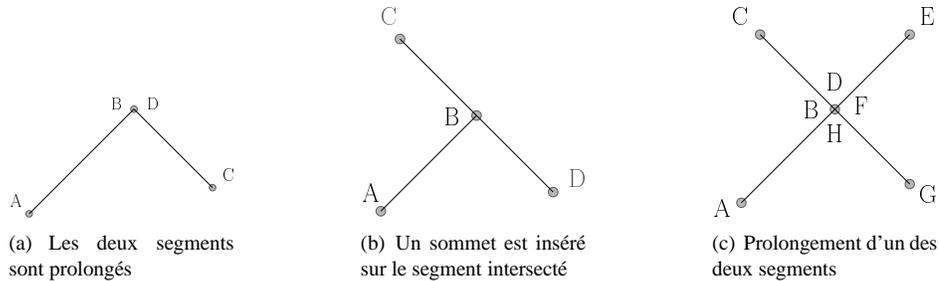


FIG. 13 – Modification géométrique.

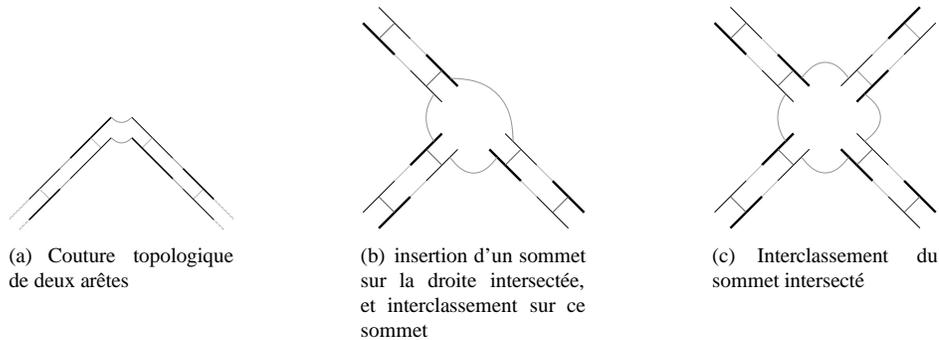


FIG. 14 – Reconstruction topologique

### Couture des arêtes pendantes sur tout le plan

Dans ce cas, l'utilisateur sélectionne uniquement les arêtes pendantes qu'il souhaite traiter automatiquement. Ici, pour chaque segment sélectionné, le programme recherche l'intersection avec l'arête la plus proche dans tout le plan. Les deux arêtes sont ensuite cousues avec l'opération de base.

Toutefois, cette méthode étant quasi automatique, il arrive souvent que des coutures non souhaitées soient réalisées. Par exemple, le prolongement d'une arête pendante peut créer une arête qui traverse tout le plan. Pour que le nombre d'erreurs soit minimal, nous avons fixé une distance maximum de prolongation. En décidant que les droites séparées par une distance supérieure à cinquante centimètres ne doivent pas être cousues, le nombre de mauvaises coutures est ainsi fortement réduit. Cette méthode n'est que très peu dirigée par l'utilisateur, il est préférable de ne pas sélectionner des arêtes dont la solution peut être ambiguë à l'oeil nu. En revanche, elle peut être utilisée dès la fin de la reconstruction topologique automatique, afin de supprimer un maximum d'arêtes pendantes.

Pour faciliter l'utilisation de cette méthode, une sélection automatique de toutes les arêtes pendantes du plan est mise à la disposition de l'utilisateur.

### Couture de deux ensembles définis par l'utilisateur

La recherche des intersections dans tout le plan peut être un travail couteux en temps si le plan est complexe, dans certain cas l'utilisateur peut vouloir limiter la recherche. Pour cela il peut sélectionner l'ensemble des arêtes pendantes qu'il souhaite traiter, puis sélectionner l'ensemble des droites *réceptrices* dans lesquelles il souhaite que le programme recherche les coutures réalisables. Ainsi pour chaque arête pendante sélectionnée, l'application recherche l'arête contenue dans le deuxième ensemble dont l'intersection des deux droites support est la plus proche. La reconstruction topologique est alors effectuée pour ces deux groupes de segments.

L'utilisateur peut également sélectionner un seul ensemble d'arêtes. À partir de cette sélection, les arêtes pendantes sont trouvées (d'après la propriété : pour un brin  $b$ , si  $\alpha_1(b)=\alpha_2(b)$  alors l'arête est pendante) pour former le premier ensemble. Le second ensemble reste identique à la sélection.

Bien que cette méthode soit semi-automatique, elle permet de reconstruire plusieurs liaisons rapidement. Il faut tout de même que l'utilisateur prenne garde à effectuer une sélection judicieuse des deux ensembles.

### 3.4.2 Suppression

La suppression d'une arête entraîne la suppression des quatre brins qui la compose. Pour que la topologie reste valide, les liaisons  $\alpha_1$  aux extrémités de l'arête supprimée doivent être mises à jour (figure 15b). Suite à une telle suppression, les sommets aux extrémités de l'arête peuvent être de degré 2. Si ces deux segments sont collinéaires, le sommet devient inutile. Pour simplifier le plan, les deux segments sont fusionnés en supprimant le sommet de degré 2 (figure 15c). Pour la définition générale des opérations de suppression, se référer à [DL03].

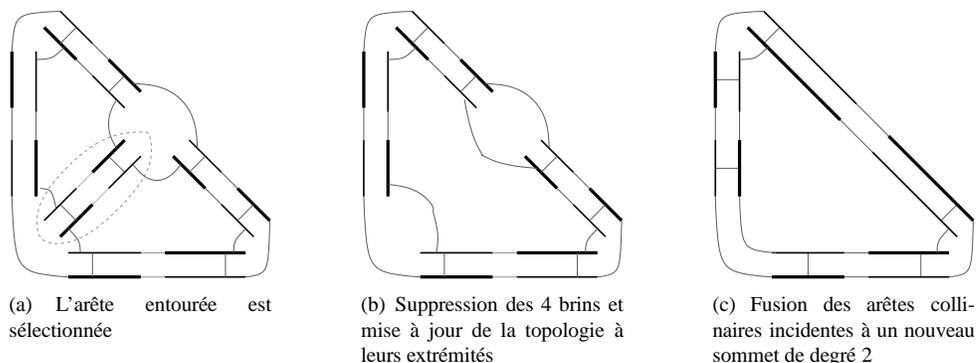


FIG. 15 – Suppression d'une arête en maintenant les liaisons topologiques et en simplifiant le modèle lorsque c'est possible.

L'utilisateur peut également appliquer l'opération sur une sélection. La méthode est appliquée sur chacune des arêtes sélectionnées, toutes les arêtes sont supprimées de manière simultanée.

## 4 Extension à la 3D

A partir du plan 2D reconstruit automatiquement, nous souhaitons construire le modèle 3D correspondant. Pour cela, nous utilisons l'opération d'extrusion déjà présente dans MOKA. La topologie de la scène 3D est directement construite lors de l'opération d'extrusion. Les objets de dimension 3 sont créés à partir des faces reconstruites automatiquement par notre application. L'opération d'extrusion peut être appliquée soit à une partie de plan sélectionnée par l'utilisateur, soit à la totalité du plan.

Par la suite nous souhaitons appliquer une méthode qui permet de traiter automatiquement les éléments en fonction de leur nature. Pour cela, nous devons connaître la sémantique des objets, soit en trouvant l'information dans le fichier source, soit en laissant l'utilisateur désigner des groupes d'objets avec un

outil de sélection plus complexe. Ainsi, nous pouvons appliquer une extrusion spécifique pour des objets tels que les escaliers ou les portes.

Les modeleurs couramment employés en modélisation utilisent des calques lors de la conception des modèles. Ils permettent d'ordonner les informations en classant par exemple les données par nature (un calque pour les murs, un autre pour les portes, etc.). Dans un premier temps, nous récupérons toutes les informations géométriques de la scène, mais nous souhaitons également retrouver la nature des objets. Ces informations sémantiques peuvent permettre d'appliquer des traitements différents en fonction des objets. Malheureusement, les calques sont souvent définis de manière hasardeuse. La difficulté du travail est de mettre au point un système permettant d'interpréter correctement les données et d'extraire du fichier les informations utiles.

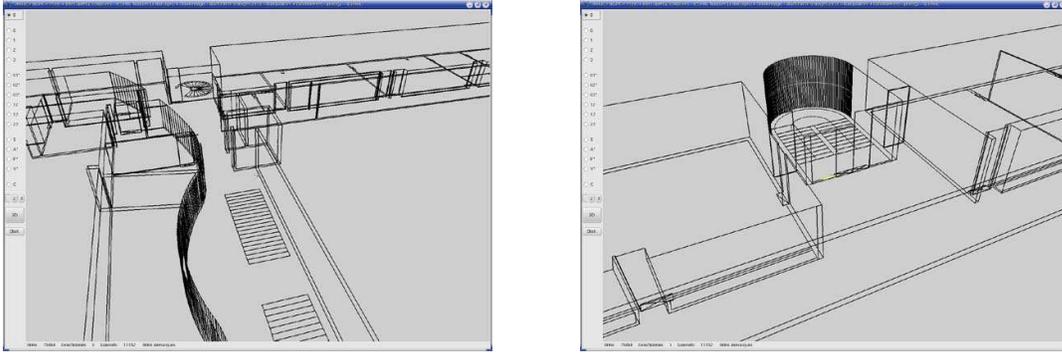


FIG. 16 – Résultat de l'extrusion en 3D

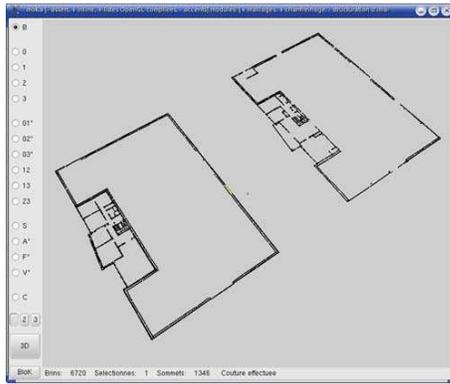
## 5 Optimisation et Résultats

### 5.1 Structure accélératrice

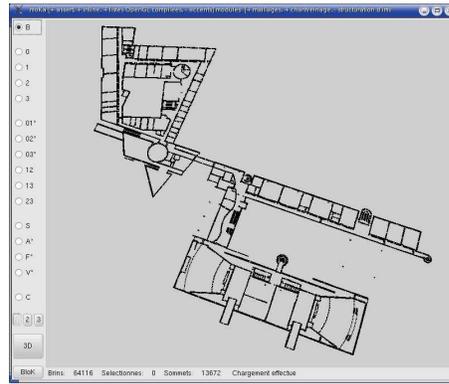
Lors de la reconstruction des plans, il est nécessaire d'effectuer plusieurs parcours de la G-Carte. De nombreuses opérations nécessitent des tests à effectuer sur les brins deux à deux. Par exemple pour la suppression des arêtes confondues, chaque arête de la scène doit être comparée à toutes les autres arêtes du plan. De la même manière, lors de la recherche des sommets à coudre, chaque sommet doit être comparé à tous les autres.

L'emploi d'une structure accélératrice simple permet de réduire fortement ces temps de traitement. Nous avons choisi de développer une grille régulière, basée sur la taille du plan. Ce type de structure est simple à mettre en place et minimise suffisamment les temps de traitement dans notre cas d'utilisation. Chaque case de la grille a pour dimension un mètre de côté, et le plan est découpé en fonction de sa taille. Chacune des cases possède un pointeur sur la liste des segments qui la traversent. Ainsi, pour chaque segment, les tests ne sont effectués que sur les segments de son voisinage proche. Bien que la complexité dans une case reste de l'ordre de  $O(n^2)$ , la complexité totale de l'algorithme est réduite. Dans le pire des cas, tous les segments du plan sont contenus dans une case, et la complexité revient à  $O(n^2)$ . Mais ce cas est rare puisqu'il correspond à un plan d'un mètre de côté.

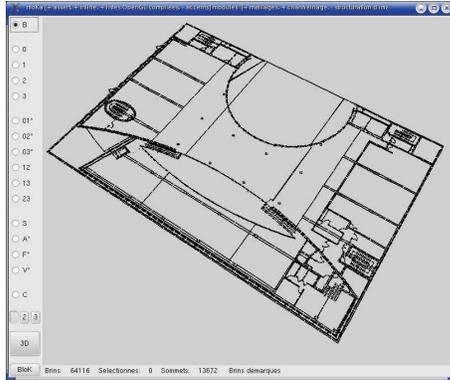
Nous pouvons distinguer deux types d'utilisation de la grille. Tout d'abord, lors du calcul d'intersections ou de la recherche des arêtes confondues, nous avons besoin de connaître les cases de la grille régulière qui sont traversées par le segment. La grille peut également être utilisée pour des traitements locaux (sur les extrémités des segments). Les cases de cette deuxième grille ne contiennent donc que les segments dont les extrémités sont contenues dans la case. Elle est utilisée lors des opérations de couture de la reconstruction topologique (essentiellement pour la recherche des sommets).



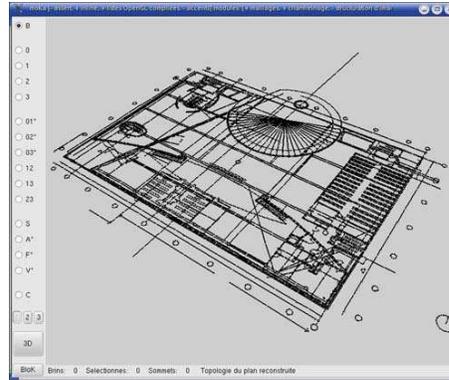
(a) plan1 composé de 899 segments



(b) plan2 composé de 8050 segments



(c) plan3 composé de 8120 segments



(d) plan4 composé de 11972 segments

FIG. 17 – Plans de bâtiment reconstruit.

## 5.2 Reconstruction géométrique

Le tableau 1 montre les temps d'exécution pour la reconstruction géométrique. Ces temps de traitement sont suffisants pour permettre une utilisation agréable de l'application sans être gêné par des temps d'attente trop importants. Le temps d'exécution pour ces opérations peut être encore amélioré en optimisant l'utilisation de la grille régulière. En effet, la complexité de l'algorithme dans chacune des cases de la grille reste en  $O(n^2)$ . Cette complexité n'est pas handicapante tant que la répartition des segments dans la scène reste homogène.

plan	nombre d'arêtes	arêtes confondues supprimées	intersection détectée
plan1	899	53 en 0,18s	679 en 1,51s
plan2	8050	49 en 2.6s	1888 en 6.7s
plan3	8120	360 en 2,8s	1753 en 9,3s
plan4	11972	442 en 5s	2985 en 51s

TAB. 1 – Statistique correspondant à l'étape de reconstruction géométrique.

## 5.3 Reconstruction topologique

La majeure partie de la topologie de la scène est reconstruite automatiquement (plus de 95% des liaisons  $\alpha_1$  sont cousues). Les cas non résolus sont dûs pour la plupart à des problèmes géométriques. Ces erreurs sont souvent contenues dans le fichier source. Le temps de traitement de la topologie représente la majeure partie du temps d'exécution de l'application (tableau : 2). Ce temps de calcul est difficilement prévisible, car il dépend de la répartition des sommets dans la scène.

plan	nombre d'arêtes	couture des sommets degré 2	interclassement	arêtes pendantes restantes
plan1	899	525 en 0.2s	2179 en 0.2s	151
plan2	8050	5923 en 2,2s	8856 en 13,7s	213
plan3	8120	2867 en 3,5s	7083 en 9,4s	318
plan4	11972	4987 en 7s	11147 en 29s	636

TAB. 2 – Statistique correspondant à l'étape de reconstruction topologique.

plan	nombre d'arêtes	temps de traitement
plan1	899	1,7s
plan2	8050	26s
plan3	8120	25s
plan4	11972	1min 32s

TAB. 3 – Temps d'exécution total en fonction du nombre de segment dans la scène.

## 5.4 Opérations

Pour finaliser le plan avant une éventuelle extrusion en trois dimensions, l'utilisateur dispose d'opérations pour reconstruire et corriger les dernières erreurs restantes sur le plan. En fonction de la sélection que l'utilisateur fait, une opération plus ou moins rapide est appliquée (dans le cas de la couture par exemple).

plan traité	nombre d'arêtes	résultats
plan1	151	139 en 5,3s
plan2	213	202 en 1min 58s
plan3	318	256 en 50s
plan4	636	545 en 3min 55s

TAB. 4 – Temps de traitement pour l'opération de couture de toutes les arêtes pendantes du plan.

Les temps de calcul dépendent de la répartition des arêtes dans le plan. Dans le plan3, les segments sont répartis uniformément, tandis que sur le plan2, de nombreux espaces sont vides. Dans un plan plus compact, les données contenues dans chacune des cases de la structure accélératrice sont plus nombreuses, le traitement d'une case est donc plus long.

## 6 Conclusion

Notre travail a pour objectif de reconstruire automatiquement un modèle topologique représentant un bâtiment. La mise en oeuvre d'une telle application implique plusieurs difficultés. Tout d'abord, un maximum d'informations doivent être extraites de fichiers d'origine. Ensuite, la géométrie du plan doit être étudiée afin de supprimer les incohérences géométriques susceptibles de générer des erreurs et de provoquer des redondances d'information. Pour reconstruire le modèle topologique, les sommets de la scène doivent être traité un à un pour former des volumes cohérents correspondant à la géométrie contenue dans le fichier source.

Nous proposons de traiter dans un premier temps la géométrie de la scène en corrigeant un maximum d'incohérences géométriques. Pour cela nous supprimons les arêtes confondues et nous traitons les intersections entre les segments du plan. Dans une seconde étape, le modèle topologique de la scène est construit, tout d'abord les cas simples des sommets de degré 1 et 2 sont traités, puis un algorithme d'interclassement permet de retrouver les liaisons  $\alpha_1$  restantes. L'utilisateur peut finaliser le plan en utilisant des opérations de couture est de suppression qui sont mises à sa disposition.

Nous souhaitons par la suite améliorer notre méthode en utilisant au maximum les informations topologiques, cela nous permettrait de limiter l'utilisation de la géométrie de la scène lors de la reconstruction. Nous souhaitons également utiliser les informations sémantiques contenues dans le fichier de départ pour appliquer une extrusion 3D intelligente qui sera effectuée en fonction de la nature des objets (mur, escaliers, portes, etc.).

Après obtention d'un modèle topologique 3D valide et complet, nous souhaitons ajouter une structure hiérarchique à notre modèle. Cette structure permettra d'utiliser les scènes générées dans des algorithmes de simulation complexes qui utilisent la hiérarchisation des scènes 3D pour obtenir des temps de traitement plus rapides.

## Références

- [ASD98] C. Ah-Soon and Ph. Dosch. Analyse de plans architecturaux. In *Actes du 11e Congrès de Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'98), Clermont-Ferrand (France)*, volume 3, pages 113–122, January 1998.
- [Bau75] Bruce Baumgart. A polyhedron representation for computer vision. In *AFIPS Nat. Conf. Proc. 44*, pages 589–596, 1975.
- [Bri93] Erik Brisson. Representing geometric structures in d dimensions : topology and order. *Discrete & Computational Geometry*, 9 :387–426, 1993.
- [DL03] G. Damiand and P. Lienhardt. Removal and contraction for n-dimensional generalized maps. In *Discrete Geometry for Computer Imagery*, number 2886 in Lecture Notes in Computer Science, pages 408–419, Naples, Italy, november 2003.
- [FF03] Grégoire Maillat Nicolas Papanoditis Marc Deseilligny et Frank Tailandier Frank Fuchs, Hassan Jibrini. Trois approches pour la reconstruction automatique de modèle 3-d de bâtiments en imagerie aérienne haute résolution. *Bulletin d'information de l'IGN n73 (2002/2003)*, pages 17–26, 2003.
- [FMH05] D. Fradin, D. Meneveaux, and S. Horna. Out-of-core photon-mapping for large buildings. In *Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering EGSR 2005, Konstanz, Germany, Juin 2005*.
- [GS85] Lionidas Guibas and Jorge Stolfi. Primitives for the manipulation of general subdivisions and the computation of voronoï diagrams. *Transactions on Graphics*, 4(2) :131–139, 1985.
- [Lie91] P. Lienhardt. Topological models for boundary representation : a comparison with n-dimensional generalized maps. *Computer-Aided Design*, 23(1) :59–82, 1991.
- [Lie94] Pascal Lienhardt. N-dimensional generalized combinatorial maps and cellular quasi-manifolds. *International Journal of Computational Geometry & Applications*, 4(3) :275–324, 1994.
- [Wei86] Kevin Weiler. The radial-edge data structure : a topological representation for non-manifold geometry boundary modeling. In *Proc. IFIP WG 5.2 Working Conference, Rensselaerville, USA*, 1986.