



IGN
LABORATOIRE MATIS
2/4 Avenue Pasteur
94165 Saint Mandé Cedex

BAPTISTE MOUGEL
I.U.P.G.I

Option *Image Numérique*
Année 03/04

RAPPORT DE STAGE

Reconstruction 3D des bâtiments à partir de données laser Toposys©



Enseignant tuteur : M.Grave
Maître de stage : G.Maillet & D.Flamanc



INSTITUT UNIVERSITAIRE PROFESSIONNALISÉ
GÉNIE MATHÉMATIQUE ET INFORMATIQUE

LA ROCHELLE

Remerciements

Je tiens à remercier ici toutes les personnes qui ont contribuées à rendre mon stage intéressant et formateur.

En premier lieu, mes remerciements vont à Monsieur Grégoire Maillet et Monsieur David Flamanc, chercheurs au laboratoire MATIS, pour avoir bien voulu être mes maîtres de stage pour le projet qui m'a été confié. Qui par leurs conseils, remarques et critiques ont contribué à l'avancement de mon travail et à l'amélioration de mes connaissances.

Je remercie aussi :

Monsieur Franck Taillandier, chercheur au laboratoire MATIS, pour ses conseils avisés dans de multiples domaines comme la modélisation du problème sous forme de graphe ou l'extraction de contours.

Monsieur Didier Boldo, Directeur du laboratoire MATIS, pour avoir partagé avec moi ses connaissances en statistique et mathématiques, plus précisément dans le domaine des Moindres Carrés dont il m'a permis d'optimiser mon code.

Monsieur François Boyero pour la très précieuse aide logistique qu'il m'a apportée tout au long du stage ainsi que pour sa bonne humeur.

Monsieur Olivier De Joinville, chercheur à la direction technique et Monsieur Frédéric Bretar, chercheur au laboratoire MATIS, pour avoir partagé avec moi leurs connaissances sur les lasers aéroportés.

Monsieur Michel Grave professeur de l'université de La Rochelle, pour avoir bien voulu être mon tuteur, et m'avoir suivi pendant mon stage.

Je terminerai par toutes les autres personnes du laboratoire MATIS qui par leur bonne humeur ont rendu mon séjour au laboratoire agréable et constructif.

Résumé

Ce stage de fin d'étude réalisé à l'Institut Géographique National au sein du laboratoire MATIS a pour but la reconstruction de bâtiments à partir de données laser.

Les modèles 3D urbains (et en particulier ceux des bâtiments) sont une modélisation du monde réel. Ils intéressent de nombreux domaines, comme les opérateurs téléphoniques pour la simulation de propagation des ondes. De plus, ces modèles permettent de faire des simulations de prévention des risques comme la simulation d'inondation ou d'avalanche (mais bien d'autres domaines utilisent les modèles 3D urbains).

Aujourd'hui il existe deux technologies qui permettent de faire des modèles 3D. Tout d'abord les images aériennes et ensuite le laser aéroporté qui est une technologie émergente (une dizaine d'années). La particularité de l'approche développée est de travailler sur les profils de points 3D caractéristiques de certains lasers.

Pour ce stage, nous utiliserons un jeu de données acquis par un vol sur la ville d'Amiens. Ce vol a été réalisé par la société TopoSys pour l'IGN. La stratégie adoptée est de rester au plus proche des points acquis lors du vol, cela le plus long temps (on veut faire l'interpolation le plus tardivement dans la chaîne), mais d'utiliser la géométrie d'acquisition pour effectuer cette reconstruction. Et ainsi, scinder le problème en sous-problème. Ceux-ci permettant d'obtenir un résultat plus proche de la réalité.

Un Modèle Numérique d'Élévation (MNE)¹ de type facettes vectoriel 3D dense est obtenu en sortie.

Mots clé : Géométrie 3D , Laser, Reconstruction de bâtiment, programmation C++, TopoSys , ...

¹MNE : Modèle Numérique d'Élévation, représentation maillée de la surface topographique, c'est à dire de l'ensemble des objets vus depuis les airs

Abstract

This end of study training period is carried out in the MATIS laboratory of the Institut National Géographique of France (IGN). The topic is the automatic 3D building reconstruction from aerial laser data.

Potential applications for these 3D city models move from electromagnetic propagation for telecommunication to more demanding simulations for acoustic, urban planning, virtual or augmented reality, floods and avalanches simulation.

Today the two main technologies which allow to produce 3D city models at a reasonable cost are aerial photographs and aerial laser which is a more recent technology. The main idea of the present work is to make the most of the specific profile geometry of some laser instruments.

In this work the dataset are point clouds which come from a flight on Amiens city. This flight has been carried out by the german company TopoSys©. The reconstruction strategy is to stay close to the initial point profiles as long as possible and interpolate at the end of the treatment line (local to global).

The model result is a 3D vectorial Digital Elevation Model (DEM).

Key Word : 3D Geometry , Laser, 3D building reconstruction, C++ programming, TopoSys©

, ...

Table des matières

I	Introduction	4
II	L'IGN	6
1	Présentation Général de l'IGN	7
1.1	L'Institut Géographique National	7
1.2	Les Corps de métiers à l'IGN	7
1.3	Les missions de l'IGN	7
1.4	Techniques employées	8
1.5	Fiche Signalétique	9
1.6	Historique	9
1.7	Situation Géographique	10
1.8	Quelques produits de l'IGN	12
1.8.1	La base de données topographique (BdTopo©)	13
1.8.2	La base de données orthophotographique (BdOrtho©)	13
1.8.3	La base de données cartographique (BdCarto©)	13
1.8.4	la base de données GéoRoutes©	13
2	La Recherche à l'IGN	14
2.1	La Recherche à l'IGN	14
2.2	Le Laboratoire Matis	14
III	Le Sujet du Stage	16
1	Contexte	17
1.1	Les Modèles 3D Urbains	17
1.1.1	Définition	17
1.1.2	Les applications des Modèles 3D Urbains	18
1.1.3	Production des modèles 3D urbains	18
2	Objectif	21
3	État de l'art	23
4	Présentation des données Laser	25
4.1	Fonctionnement	25
4.1.1	Principe général	25
4.1.2	Trajectoire du vol	27

4.2	Caractéristiques de l'instrument TopoSys©	27
4.3	le vol test	29
4.4	Les fichiers de données	30
5	Les Moyens	31
5.1	"Le Noyau" Librairie Développé au laboratoire MATIS	31
5.2	Le Moteur de rendu 3D	32
IV	Étude du problème	33
1	La Stratégie Globale	34
2	Présentation de la chaîne	36
2.1	Segmentation de chacune des fibres	36
2.1.1	Problématique	36
2.1.2	Algorithmique	37
2.1.3	Problèmes rencontrés	37
	Outlayers dans les données laser	37
	la courbure de fibre	38
2.1.4	Évaluation et Résultat	42
2.2	Appariement inter-fibres	44
2.2.1	Problématique	44
2.2.2	Appariement entre groupe de point	44
2.2.3	Limite de la méthode d'appariement	45
2.2.4	Validation des polygones	46
	Planéité du polygone	46
	Taille du polygone	47
	Les Façades	47
2.2.5	Résultat	48
2.3	Fusion des polygones primaires	50
2.3.1	Problématique	50
2.3.2	Solution Proposée	50
	Première passe : les fusions sûres	51
	Deuxième passe : agrégations des petits groupes vers les grands groupes	52
	Troisième passe : agrégations des petits groupes entre eux	54
	Dernière passe : agrégations des petits groupes vers leurs voisins	54
2.3.3	Résultat de la fusion	54
2.4	Création d'un MNE vectoriel dense	55
2.4.1	Problématique	55
2.4.2	Algorithmique	55
3	Les Résultats Obtenus	59
V	Perspectives et Conclusion	64
1	Perspectives	65

2 Conclusion	68
Bibliographie	68
Liste des tableaux	70
Table des figures	71
VI Annexes	73
1 Le Glossaire	74
2 Référentiel	75
2.1 Les coordonnées géographiques.	75
2.2 Les coordonnées cartographiques.	75
2.3 Le système Lambert.	75
3 WxWindows	79
3.1 Qu'est ce que le wxWindows ?	79
3.2 Origine	79
4 Exemple de fichier laser ASCII	80
5 Petits outils développés	82
5.1 Outils créés pour faciliter le développement	82
5.1.1 la structure de scène Laser	82
5.2 outils de lecture de fichier de données	82
5.2.1 outil de conversion de format	82
5.2.2 système de sauvegarde des scènes laser	83
6 Le soft développé	84
6.1 Menu général	84
6.2 Menu fichier	85
6.3 Menu segment	86
6.4 Menu plan	87
6.5 Menu densification	88
6.6 Menu affichage	90
6.7 Menu export	92
7 Quelques applications des Modèles 3D	93

Première partie

Introduction

Dans le cadre de ma formation à l'IUP de Génie Informatique de La Rochelle, j'ai dû effectuer un stage en entreprise. Celui-ci s'est déroulé en collaboration avec le laboratoire MATIS , du 1 mars au 18 juillet 2004 soit 20 semaines.

Je désire travailler dans le domaine de l'image numérique. Et notamment dans la modélisation 3D. Il me semblait intéressant de faire mon stage dans une entreprise pouvant me permettre d'acquérir une expérience dans ce domaine. C'est pourquoi, j'ai candidaté au laboratoire MATIS .

En effet, ce laboratoire situé a Saint Mandé (94165) dépend de l'Institut Géographique National (IGN). Ce laboratoire emploie une vingtaine de personnes qui travaillent dans le domaine de l'analyse et du traitement des images, spécifiquement concernant les applications cartographiques.

J'ai effectué mon stage sous la responsabilité de Gregoire Maillet et David Flamanc, chercheurs au laboratoire MATIS . Ceux-ci m'ont demandé de travailler sur la reconstruction 3D de bâtiments à partir de données laser.

Dans la suite de mon rapport je vous présenterais l'IGN, la démarche et les solutions utilisées pour résoudre mon sujet de stage tout en justifiant mes choix. Enfin j'apporterai une conclusion sur mon stage.

Deuxième partie

L'IGN

Chapitre 1

Présentation Général de l'IGN

1.1 L'Institut Géographique National

L'Institut Géographique National (IGN), fut crée en 1940. C'est un établissement public, à caractère administratif et commercial, sous la tutelle du Ministère de l'équipement, du logement et des transports.

Cet établissement regroupe plus de 2000 personnes réparties dans divers sites : Paris, Toulouse, St-Mandé, Creil, et 15 agences commerciales régionales. Le budget de fonctionnement est de 130 000 000 €, assumé à hauteur de 50% par l'état et les 50% restant sont financés par la vente de produits commerciaux.

1.2 Les Corps de métiers à l'IGN

L'Institut Géographique National(IGN) est un établissement d'état à caractère public. On y distingue quatre corps de métiers :

- Ensembles des cadres(fonctionnaires), Ingénieurs Topographes et Ingénieurs Géographes.
- Géomètres.
- Ouvriers d'état
- Fonctionnaires administratifs

1.3 Les missions de l'IGN

- Exécuter les travaux nécessaires à l'implantation et à l'entretien d'un réseau géodésique (Science de la mesure des dimensions et de la forme de la terre. La géodésie intervient en amont des travaux de cartographie. Des points de repère couvrent le territoire français, formant un canevas géodésique; leurs coordonnées (x,y,z) sont déterminées par triangulation ou grâce au GPS.) et de nivellement (Technique permettant de déterminer l'altitude de points caractéristiques) de précision.
- Accomplir des travaux relatifs à la télédétection aérienne et spatiale à caractère géographique, à la numérisation des données et à l'élaboration de cartes thématiques.

- Effectuer des recherches d'intérêt général (activité en liaison avec d'autres organismes scientifiques et techniques).
- Assurer la couverture photographique aérienne du territoire français (renouvelée tous les 5 ans).
- Établir, publier, diffuser et vendre des documents sous format graphique, photographique ou numérique et gérer la documentation liée à ces activités.
- Assurer le fonctionnement de l'ENSG (Ecole Nationale des Sciences Géographiques).

Le principal site de production est St-Mandé, avec une imprimerie intégrée permettant l'édition de 10 millions de cartes par ans.

1.4 Techniques employées

L'IGN utilise les techniques suivantes pour produire les cartes :

- La géodésie : a pour but de déterminer un ensemble de points de base sur l'ensemble du territoire. Ces points déterminés avec précision sont matérialisés par des bornes géodésiques. La cohérence sur l'ensemble du territoire est de l'ordre de 20 cm et la précision entre deux points de 30 cm.
- le nivellement : sert à déterminer un réseau de points en altitude. La cohérence sur l'ensemble du territoire est de l'ordre du décimètre.
- La restitution photogrammétrique : permet après la mise en place des photos aériennes de restituer les données.
- Le complètement terrain : a pour but de relever les détails non vus sur les photos (noms de villes, routes, présence d'un sentier dans les bois, etc. ...).
- La cartographie : permet de représenter les données restituées avec des conventions établies.

1.5 Fiche Signalétique

Raison sociale	IGN (Institut Géographique National)
Adresse	2/4 Avenue Pasteur
Code Postal	94165
Ville	Saint Mandé Cedex
Téléphone	01 43 98 80 00
Télécopie	01 43 98 85 81 (Fax du laboratoire MATIS)
E-mail	gregoire.maillet@ign.fr david.flamanc@ign.fr
Url	http ://www.ign.fr
Date de création	1940
Activité	Cartographie
Effectif	2000 Personnes
Dirigeant	Bertrand LÉVY
Directeur du laboratoire MATIS	Didier Boldo

1.6 Historique

Naissance en 1940 de l'Institut Géographique National, héritier du Service géographique des armées créé en 1887 par Napoléon.

En 1967, transformation en établissement public à caractère administratif placé sous la tutelle du ministère de l'Équipement des Transports et du Logement.

En 1976, Création de six unités autonomes "les services", chacun étant chargées d'une famille de produits et dispose des moyens nécessaires à ça production. Cette création a pour but de rendre l'appareil de production plus performant et plus rapide et ainsi réagir aux sollicitations du marché français et international

En 1981, le Ministre de tutelle déclare avoir l'intention de faire de l'IGN un "établissement public pilote, en pointe pour ses techniques" et propose au Gouvernement de créer une Commission Nationale de l'Information Géographique.

En 1985, Signature du premier contrat de plan qui clarifie les relations entre l'état et l'IGN, ce dernier étant reconnu par l'état comme un établissement de production capable de réussir sa modernisation et d'améliorer réellement sa productivité.

En 2004, Signature du quatrième contrat de plan avec le ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer.

1.7 Situation Géographique

- St-Mandé : 1100 personnes (établissement principal et mon lieu de stage).
- Service d'activité aérienne à Creil : photographie + développement.
- Service à Toulouse (IGN espace) : spécialisé sur l'imagerie satellite (Spatio cartes). L'IGN est partenaire de SPOT.
- Villefranche : antenne logistique.
- Ensemble de centres régionaux : diffuse les produits IGN et participe aux missions locales. Bordeaux, Nantes, Nancy et Lyon sont les 4 plus gros.
- Agence commerciale : Rennes, Nice...



FIG. 1.1 – Répartition des effectifs sur les différents sites l'IGN



FIG. 1.2 – Les Agences Commercial de l'IGN

1.8 Quelques produits de l'IGN

L'IGN fabrique et commercialise un certain nombre de produits :

- des cartes à petite échelle.
- des cartes thématiques.
- des orthophotographies.
- de la topographie et de la cartographie à l'étranger : domaine concurrentiel, mise en place de marché
- des prises de vues à la demande en France ou à l'étranger.
- des bases de données : l'IGN concentre son effort sur ma production et la mise en service des bases de données géographiques.

En effet, grâce au développement informatique et des systèmes d'information géographiques (SIG), les bases de données apparaissent comme étant la nouvelle forme d'informations géographiques, à partir desquelles des cartes à thèmes peuvent être établies en fonction des besoins. Plusieurs bases de données ont été ainsi définies et constituées :

1.8.1 La base de données topographique (BdTopo©)

Elle est issue de la saisie photogrammétrique de photo aérienne et de levées topographiques sur le terrain et décrit exhaustivement l'environnement : routes, voies ferrées, lignes de transport d'énergie, hydrographie, bâtiments, végétation, limites administratives et reliefs. Ainsi, elle permet la production de la carte de base au 1/25000, de plans réguliers au 1/10000, et de plans d'études au 1/5000.

La BdTopo© a une précision géométrique d'un mètre.

Les usages de la BdTopo© touchent des domaines aussi variés que la politique foncière, l'urbanisme, la gestion des réseaux, l'environnement ou la gestion des risques. Cette base de données géographique est actuellement l'enjeu stratégique de l'IGN. Les efforts de production se concentrent sur la réalisation de cette base de données.

1.8.2 La base de données orthophotographique (BdOrtho©)

Elle correspond à une mosaïque d'orthophotographies en couleur, rectifiées en projection Lambert II étendue ; une telle mosaïque couvre un département métropolitain. Elle permet de connaître pour n'importe quel pixel ses coordonnées en Lambert II étendu. (ceci permettant de l'utiliser pour des recalages (par exemple le cadastre))

1.8.3 La base de données cartographique (BdCarto©)

Elle décrit sous forme numérique l'ensemble du territoire national pour des échelles allant du 1/100000 au 1/250000. Les données sont réparties en huit thèmes : le réseau routier, le réseau ferré le réseau hydrographique, les franchissements (point d'intersection sans communication entre les différents réseaux), le réseau de transport d'électricité les régions géographiques, les bâtiments et équipement divers et les unités administratives.

Cette base de données présente une précision géométrique de 10 mètres qui varie selon les thèmes. Elle existe actuellement sur tout le territoire et est mise à jour régulièrement.

C'est une référence de localisation pour les applications d'aménagement du territoire, de gestion des infrastructures, etc

1.8.4 la base de données GéoRoutes©

Elle décrit le réseau routier ouvert à la circulation automobile uniquement en milieu urbain, seules les grandes villes sont couvertes. GéoRoutes© s'appuie sur l'information de la BdTopo© et des cartes au 1/25000, complétée par des renseignements utiles à la conduite : nom des voies, adresses postales aux carrefours, restrictions de circulation, etc.

Cette base de données vise les services gestionnaires du trafic routier, les services d'intervention et de secours, les gestionnaires de réseaux ou encore les sociétés de ramassage scolaire et même les automobilistes pour des systèmes de navigation embarquées.

Des bases de données plus spécialisées sont également produites par l'IGN. Elles trouvent des applications dans des domaines variés. En exemple, nous avons la BdAltimétrique©, la base de données routières nationale Routes500.

Chapitre 2

La Recherche à l'IGN

2.1 La Recherche à l'IGN

Les services de recherche, également situés à St-Mandé, regroupent 53 personnes (dont 46 chercheurs), et se divisent en 4 laboratoires :

Le LOEMI, laboratoire d'Opto-Electronique et de Micro-Informatique conduit les recherches relatives aux équipements optiques et électroniques (conception et production d'une caméra numérique).

Le COGIT, laboratoire Conception Objet et Généralisation de l'Information Topographique prend en charge les recherches relatives à la gestion, à l'exploitation et à la représentation de l'information géographique (modélisation, gestion des données, généralisation de l'information géographique, cartographie automatique).

Le LAREG, laboratoire de recherche en Géodésie travaille sur l'amélioration des systèmes de référence terrestre et les techniques de positionnement. Il participe notamment à l'établissement d'un système de référence mondial.

Le MATIS, laboratoire Méthodes d'Analyse et de Traitement d'Image pour la stéréorestitution. C'est au sein de ce derniers que j'ai effectué mon stage je ferai donc une présentation en détail de ce laboratoire (voir [2.2](#))

2.2 Le Laboratoire Matis

Les recherches poursuivies au MATIS portent sur l'interprétation de scènes, la reconnaissance et la restitution d'objets géographiques, ainsi que sur leur mise à jour. Elles comprennent l'évaluation des processus tant dans le domaine de la précision, de la fiabilité et de l'exhaustivité des résultats, que dans les domaines de la performance et de l'acceptabilité pour l'opérateur de production. Les recherches s'articulent actuellement autour de quelques thèmes principaux :

- l'extraction et restitution de bâtiments,

- la détection de changements pour la mise à jour de bases de données topographiques,
- l'évaluation de la qualité des données 3D,
- la radiométrie (Science qui a pour objet de déterminer la puissance du rayonnements électromagnétique dans le domaine du rayonnement optique (longueurs d'onde comprises entre 100 nm et 1000 nm environ)).
- les modèles numériques d'élévation et la corrélation automatique.
- la lecture automatique couplée des cartes et des images.

En outre, des études antérieures ont permis au MATIS d'acquérir des compétences sur les sujets tels que l'extraction et la restitution du réseau routier, ainsi que l'aérotriangulation, qui, expliqué simplement, permet de déterminer les paramètres d'orientation d'une photographie aérienne ainsi que les coordonnées des points mesurés dans un système de coordonnées spécifique.

Troisième partie

Le Sujet du Stage

Chapitre 1

Contexte

1.1 Les Modèles 3D Urbains

1.1.1 Définition

Dans notre contexte les modèles 3D sont une représentation 3D du terrain. Ils peuvent être de plusieurs formes : raster (MNS¹ ou MNT²) ou vecteur (TIN³, facettes, ou modèles complexes).

Dans le cadre de ce stage, les modèles 3D urbains qui nous intéressent sont des représentations vectorielles du terrain sous forme de facettes (la figure 1.1 est le produit que l'on souhaite obtenir à l'issue de la chaîne de traitement) .

¹MNS : Modèle Numérique de Surface décrivant le sol + le sursol(bâtiments, arbres, ...).

²MNT : Modèle Numérique de Terrain décrivant le sol seulement

³TIN : Triangulated Irregular Networks

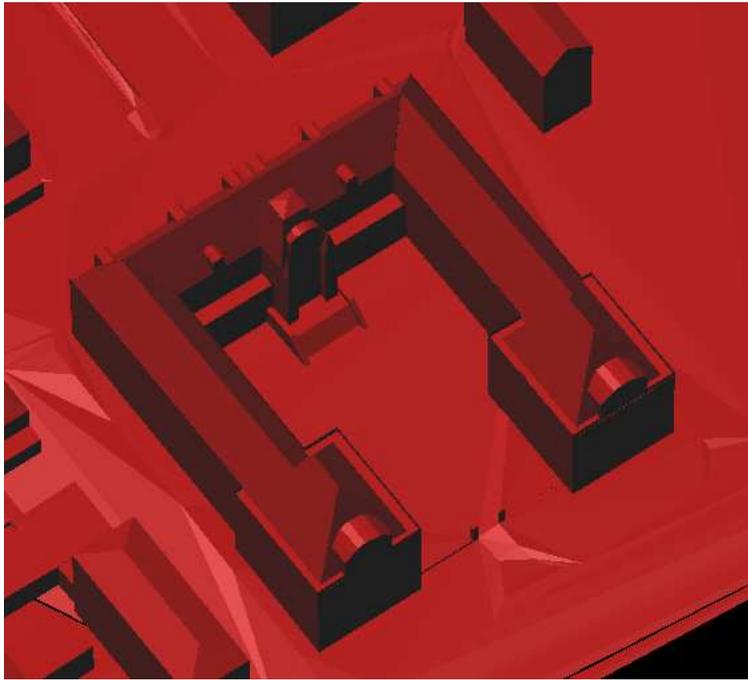


FIG. 1.1 – Modèle 3D Urbains

1.1.2 Les applications des Modèles 3D Urbains

Les Modèles 3D Urbains sont utilisés pour de nombreuses applications, en voici quelques une mais cette liste n'est pas exhaustive :

- **La simulation des risques** est un domaine où l'on utilise de plus en plus de modèles 3D urbains. En effet, ces modèles permettent de simuler l'écoulement de l'eau lors d'inondation ou encore simuler les effets d'une avalanche sur une ville de montagne. Et ainsi, fiabiliser l'établissement de cartes des zones à risque.
- **Couverture radio** : Ici les modèles 3D permettent aux opérateurs téléphoniques de faire un état des lieux de la couverture radio et ainsi optimiser leurs réseaux d'antennes.
- **Carte de bruit & de nuisance** sont deux domaines où l'on retrouve des modèles 3D. En effet, ils permettent d'établir des cartes de nuisances fiables. De plus, grâce à eux on peut connaître les effets de l'implantation ou la destruction d'un bâtiment, sur son environnement (perte de réception ou encore augmentation du bruit). Et ainsi, ils aident les urbanistes à prévenir les nuisances.

1.1.3 Production des modèles 3D urbains

De tels modèles peuvent être produits manuellement par photogrammétrie⁴ en utilisant la stéréoscopie⁵ sur des images aériennes. Durant les années 1970 et 1980, l'IGN

⁴photogrammétrie : Science qui regroupe les techniques qui permettent de mesurer la position, la forme et la dimension d'objet à partir d'une ou d'un ensemble d'images prises de différents points de vue.

⁵stéréoscopie : Procédé qui permet, par vision binoculaire, d'obtenir la sensation du relief d'un paysage observé à partir d'un couple d'images ou de photographies prises de points de vue différents.

a produit ce type de données (BD TRAPU cf figure 1.1). Mais cette production est très longue et coûteuse (utilisation d'appareil de stéréorestitution, personnel qualifié,...) et elle a donc été abandonnée.

Le laboratoire MATIS travaille depuis de nombreuses années sur la modélisation vectorielle 3D des bâtiments (Figure:1.2) ce qui constitue l'étape la plus importante pour la production automatique de ce type de base de données 3D urbaines.

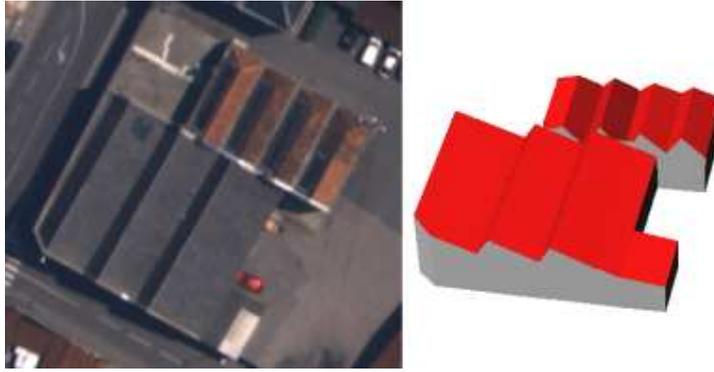


FIG. 1.2 – Reconstruction semi-automatique

L'approche couramment étudiée au laboratoire est l'utilisation d'images aériennes combinées à des algorithmes de stéréovision⁶ afin de reconstruire les bâtiments. Le problème de la stéréovision peut se résumer à la citation suivante :

"Étant donnée deux images d'une même scène obtenues simultanément de deux points de vue légèrement différents, est-il possible de reconstruire la scène en trois dimensions à partir de ces deux images ?"[Fau93]

D'un point de vue mathématique, les principes de la stéréoscopie sont bien connus depuis la naissance de la *photogrammétrie*⁷ cf note 4 à la fin du XIX^{ème} siècle. Si l'on connaît 2 points homologues i.e représentant la même partie de la scène sur deux images dont on connaît la position et l'orientation dans l'espace, on peut projeter ces deux points dans l'espace scène sous forme de faisceaux et ainsi retrouver par intersection de faisceaux le point 3D original.

En vision biologique, la perception du relief se fait naturellement. Le cerveau est capable d'analyser notre environnement, de trouver les homologues entre la vision de l'oeil droit et de l'oeil gauche et donc percevoir le relief grâce au léger décalage de ces deux points de vue.

En vision par ordinateur, la difficulté est de trouver ces points homologues. Car, si on peut facilement à l'oeil reconnaître le coin d'un même bâtiment sur 2 prises de vues différentes, le faire automatiquement est beaucoup plus problématique. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, la grande majorité des reconstructions 3D de bâtiments se fait toujours "à la main", c'est à dire qu'un opérateur saisit les points homologues sur un couple de photos. Comme on l'a déjà dit, ces reconstructions sont donc lentes et passablement coûteuses.

⁶stéréovision : Procédés utilisant le traitement d'images pour reconstruire automatiquement le relief.

En plus des travaux sur la stéréovision, une approche étudiée au laboratoire MATIS consiste à utiliser des données à balayage laser aéroporté (Figure:2.1). Ces balayages laser permettent de mesurer directement un nuage de points 3D. Ces balayages font appel à des technologies assez récentes, ils suscitent depuis plusieurs années un intérêt grandissant auprès de la communauté scientifique et métrologique mondiale. Durant ces dix dernières années, de nombreux travaux de recherche sur la modélisation 3D des bâtiments à partir de données Laser ont été réalisés [HB99], [Maa99] et [VS01]. C'est sur cette technologie que porte le stage.

Chapitre 2

Objectif

La plupart des algorithmes développés, pour la reconstruction de modèle 3D à partir de balayage laser, prennent en entrée un nuage de points 3D sans chercher à exploiter les spécificités de la géométrie de balayage. Pour l'instant, l'utilisation des spécificités de l'instrument concernant les profils de balayage est un domaine de recherche peu exploré.

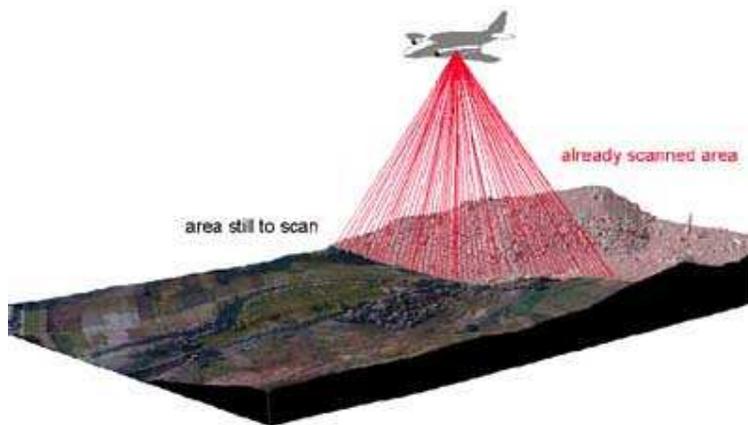


FIG. 2.1 – Laser aéroporté

L'objectif du stage est donc d'élaborer une chaîne de traitement qui permet de modéliser en 3D une scène urbaine à partir de données laser acquise avec un instrument à fibres optiques monté sur un avion.

L'idée de base du stage est de tirer au mieux partie de la trace particulière (fibres voir chapitre 4 à la page 25) des points 3D au sol. Une attention particulière sera portée sur l'évaluation de chacune des étapes et de l'ensemble de la chaîne.

Pour cela nous travaillerons sur les points 3D provenant de la trace au sol (Figure: 2.2) d'un laser embarqué sur un avion survolant la zone à reconstruire.

Nous devons donc rester le plus longtemps possible au plus proche des données acquise durant le vol laser (voir chapitre 4 à la page 25) puisque celles-ci sont très fiables. Ce qui nous permettra d'interpolation le plus tard possible.

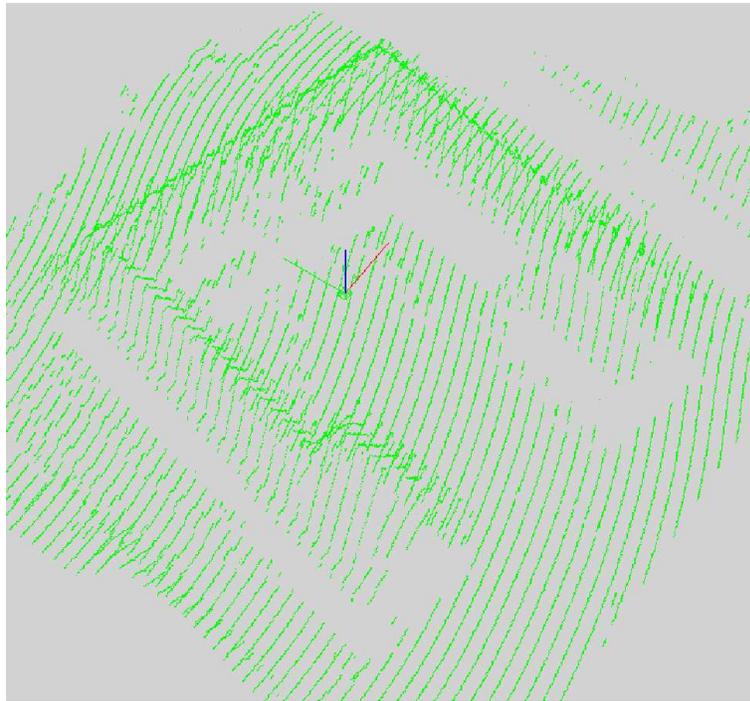


FIG. 2.2 – Profile laser de la mairie d'Amiens

Chapitre 3

État de l'art

Ici je vais vous présenter rapidement quelques approches déjà existantes pour la reconstruction 3D de bâtiments. Celles-ci peuvent se diviser en 2 grandes catégories en fonction des données utilisées :

- l'image aérienne(cf 1.1.3)
- le Laser

Il faut noter que ces 2 types de données peuvent être utilisées conjointement.

C'est à partir du début des années 70 que le levé laser aéroporté s'est réellement développé grâce à l'apparition de l'Airborne Profile Recorder (APR). Il a été remplacé par le Geodolite Laser Profiler qui, plus précis, permettait de mesurer l'altitude d'un point au sol avec une précision de 1m à 2000m d'altitude. Dans les années 80 ce sont les allemands qui ont mis au point des systèmes de laser profiler à grande fréquence d'acquisition ce qui permettait d'obtenir rapidement des coupes du terrain.

La technologie a encore fortement évolué ce qui a permis de passer d'une coupe linéaire du terrain à une véritable cartographie 3D du paysage. De nos jours les systèmes laser aéroportés offrent une acquisition rapide et précise de points 3D, en mesurant la distance entre un avion (ou un hélicoptère) et le sol.

Ils suscitent depuis quelques années un intérêt grandissant pour les applications les plus diverses impliquant différents corps de métier.

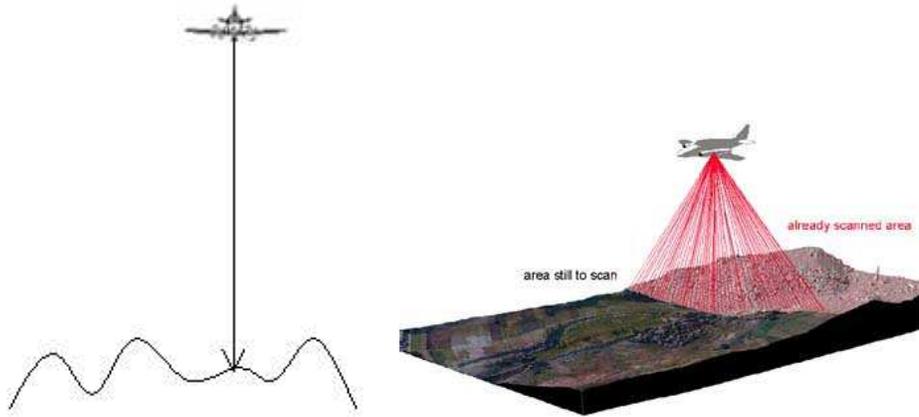


FIG. 3.1 – Laser profiler (à gauche), scan Laser (à droite).

Aujourd'hui la reconstruction 3D de bâtiments à partir de points laser est un domaine de recherche en cours d'exploration. Et celle-ci peut se faire généralement avec l'apport de données externes comme le cadastre.

Chapitre 4

Présentation des données Laser

4.1 Fonctionnement

4.1.1 Principe général

Le principe de fonctionnement des systèmes laser est simple[OdJ02] : une série d'impulsions est émise à très haute fréquence (jusqu'à 83KHz), puis est réfléchiée par le sol. La distance entre le sol et le vecteur aérien (avion ou hélicoptère) est ensuite évaluée en fonction de la mesure du temps de retour de l'impulsion qui est estimé à 10^{-10} seconde précise. Afin d'assurer une localisation spatiale précise de l'émetteur-récepteur laser, on utilise un système de positionnement composé d'un récepteur GPS embarqué et d'une centrale inertielle (INS). Il est fortement recommandé, en outre de disposer d'au moins une station GPS au sol, à proximité de la zone de vol (30km maximum), pour améliorer la précision du positionnement géographique du capteur (Figure:4.1). Ceci permet d'obtenir des points 3D au sol qui ont une bonne précision.

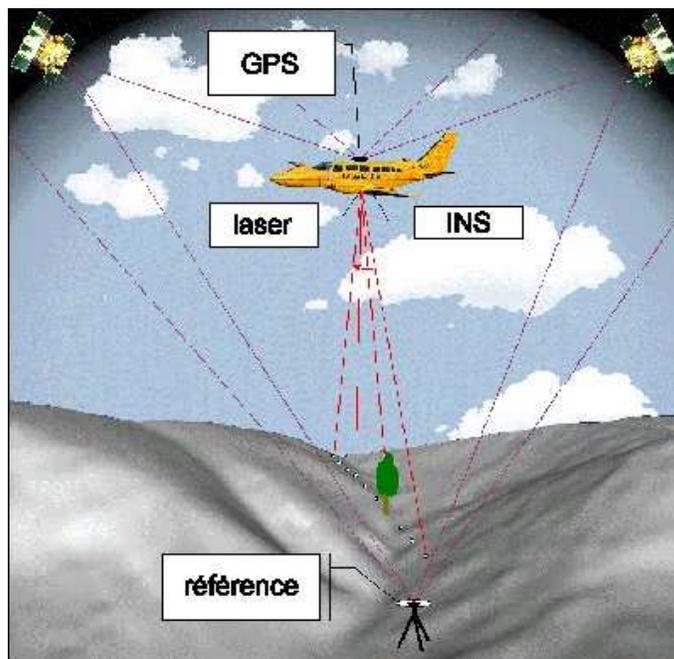


FIG. 4.1 – Principe d'acquisition des mesures laser

paramètres techniques	
fréquence des impulsions	Typiquement 10 à 30 KHz, jusqu'à 83 KHz.
Angle de balayage	Typiquement 10° à 45°, 75° maxi.
fréquence de balayage	Quelques dizaines de lignes par seconde.
Nombre d'échos enregistrés par impulsion émise	Jusqu'à 5 en milieu forestier.
fréquence d'acquisition des mesures GPS/INS	GPS : de 1 à 10Hz, INS : 50-200Hz.
Divergence du faisceau laser	De l'ordre de 0.5 mrad soit environ 10 cm au sol à 1000m.
paramètres de vol	
Hauteur de vol	De 100 jusqu'à 3000m, 6000m maxi
Vecteurs	hélicoptère ou avion.
densité des points	De 0,1 à 5 points par m ² .
Largeur de bande	Environ 580m pour un angle de balayage de 20 et une hauteur de vol de 800m. 2400m pour un angle de balayage de 45 et une hauteur de vol de 3000m.

TAB. 4.1 – Caractéristique d'une acquisition laser aéroporté

4.1.2 Trajectoire du vol

Des logiciels dédiés calculent la trajectoire en tenant compte des paramètres de vol (nombre de bandes, longueur et largeur de bandes, taux de recouvrement, position du GPS de référence). Afin de ne pas dérégler les appareils de mesure (par exemple l'INS), les bandes ne doivent pas être trop longues. De plus, on doit faire une bande transversale afin de ne pas propager les erreurs de recalage [Bur00] des bandes longitudinales.

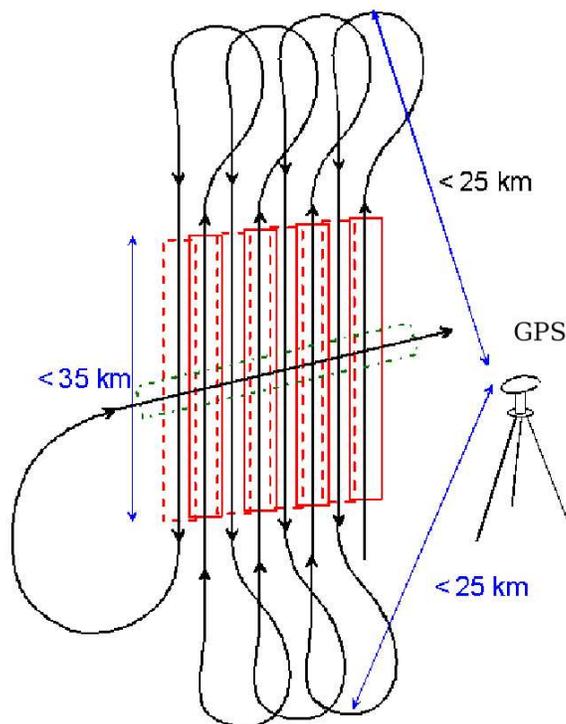


FIG. 4.2 – Trajectographie d'un vol laser

Remarque : Dans ce stage, nous travaillons directement sur les points 3D recalés dans un repère cartographique (cf Annexe 2 à la page 75)

4.2 Caractéristiques de l'instrument TopoSys©

Il est important de présenter les caractéristiques de l'instrument puisque le sujet du stage vise à exploiter au mieux les spécificités du système d'acquisition.

L'acquisition des données est effectuée par balayage du terrain. Pour effectuer celui-ci, plusieurs méthodes ont été mises au point par les différents constructeurs afin d'optimiser la densité et l'homogénéité des points 3D mesurés au sol. Le Tableau 4.1 décrit différents paramètres caractérisant les systèmes laser dans leur ensemble, et le tableau 4.2 décrit le système TopoSys© utilisé pour le stage.

Dans ce stage nous travaillerons sur le système faisceau de fibres (Figure: 4.2) adopté par la société allemande TopoSys©. Il se présente sous forme d'un pinceau de fibres

paramètres techniques	
fréquence des impulsions	83 KHz.
Angle de balayage	14.5° (± 7.25°)
fréquence de balayage	650 Hz
Nombre d'échos enregistrés par impulsion émise	2
fréquence d'acquisition des mesures GPS/INS	GPS : 2 Hz INS : ≤ 200 Hz
Divergence du faisceau laser	60 cm de diamètre autour du point d'impactes.
paramètres de vol	
Hauteur de vol	1005 m
Vecteur	avion
densité des points	7.5 par m ² .
Largeur de bande	Environ 230 m pour le maximum

TAB. 4.2 – Caractéristique d'une acquisition laser aéroporté TopoSys©

optiques contenant 128 fibres (127+1 fibre de référence qui sert à calibrer le système). Les impulsions laser sont distribuées à très haute fréquence (83 KHz) par un miroir rotatif. Ce système fournit une densité de points plus importante dans le sens de la trajectoire de l'avion que dans le sens perpendiculaire (environ 20cm le long de la trajectoire pour 1.2m à 1.8m perpendiculairement à celle-ci, et cela à une altitude de vol de 1000m).

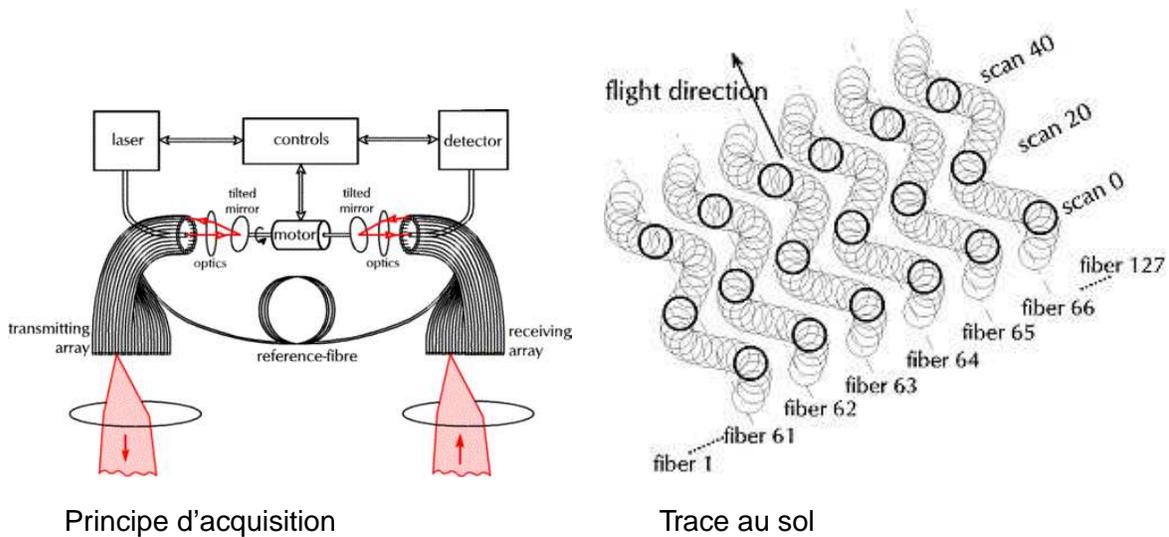


FIG. 4.3 – Principe du faisceau de fibres (TopoSys©)

4.3 le vol test

Pour mon stage j'utilise des données d'un vol laser au dessus de la ville d'Amiens que l'IGN a sous-traité auprès de la société allemande TopoSys© pour tester les performances du laser aéroporté en zone urbaine et péri urbaine. La ville d'Amiens a été choisie pour ce vol test car l'IGN possède un chantier complet d'images numériques sur la ville d'Amiens. Il était donc logique de faire ce vol-test sur la même zone afin de pouvoir valider les résultats.

Ce vol s'est déroulé dans des conditions climatiques très favorables, à savoir un temps sec et clair ce qui a permis d'obtenir un pourcentage très important d'échos fiables. De plus le vol ayant eu lieu en hiver, une grande majorité d'impulsions sur la végétation ont donc pu arriver jusqu'au sol.

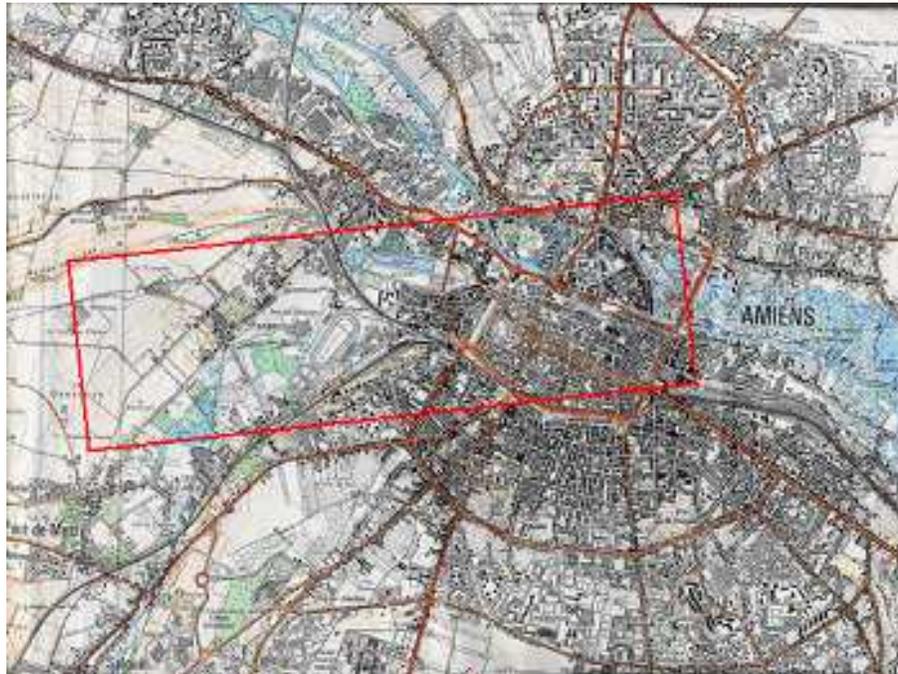


FIG. 4.4 – En rouge, la zone de survol laser sur Amiens

Caractéristiques techniques du vol

- 14 bandes longitudinales d'environ 250 mètres de large chacune et une de contrôle dans le sens transversal.
- GPS différentiel sur station de référence proche d'Amiens.
- densité : environ 4 à 5 points par m^2 par bande, jusqu'à 8 en zone de recouvrement.
- Altitude : 1000m / sol.
- Superficie : environ 10 km^2 .

4.4 Les fichiers de données

Les données laser que nous avons traitées se présentent sous la forme de fichier ASCII contenant un point 3D par ligne. Chaque ligne contient donc 3 nombres flottant :

1. coordonnée Y du point
2. coordonnée X du point
3. coordonnée Z du point

Le référentiel de toutes ces coordonnées est de type cartographique (cf Annexes 2). De plus, on sait que le fichier contient des blocs de 127 points (un point par fibre cf chapitre 4.2) placés comme ceci :

```

bloc 0   fibre 0   Y X Z
bloc 0   fibre 1   Y X Z
bloc 0           .   .
bloc 0           .   .
bloc 0           .   .
bloc 0   fibre 125 Y X Z
bloc 0   fibre 126 Y X Z
bloc 1   fibre 0   Y X Z
bloc 1   fibre 1   Y X Z
bloc 1           .   .
bloc 1           .   .
bloc 1           .   .
bloc 1   fibre 125 Y X Z
bloc 1   fibre 126 Y X Z
.         .         .
.         .         .
.         .         .

```

Exemple de contenu d'un fichier ASCII voire en Annexe 4.

Chapitre 5

Les Moyens

5.1 "Le Noyau" Librairie Développé au laboratoire MATIS

"Le Noyau" est une librairie de classe C++ qui regroupe les fonctions de base utilisées par l'ensemble du laboratoire MATIS . Aujourd'hui le noyau est en version 3. Il fonctionne à la fois sous système LINUX et WINDOWS néanmoins il faut que la machine soit équipée de wxwindows (cf Annexe 3) pour que "Le Noyau" fonctionne avec interface graphique. "Le Noyau" est divisé en 8 thèmes qui sont les suivants :

- Éléments de base : regroupe les éléments minimum pour utiliser correctement la librairie, plus quelques classes très basiques.
- Interface : regroupe les classes qui permettent de réaliser facilement l'interface graphique pour les applications du laboratoire MATIS .
- Lecture des fichiers : ensemble de classe ou de macro qui permet la lecture et l'écriture de fichiers par l'intermédiaire du noyau
- Images : regroupe les classes qui permettent la manipulation d'images
- Orientation : Ce thème est la bibliothèque de photogrammétrie du Laboratoire. Les prises de vues implémentées sont :
 - coniques
 - axonométriques
 - carto (type ortho image)
- Graphes : Cette sous-partie du "Noyau" est dédiée à la gestion de structures de graphes.
- Géométrie : regroupe les classes permettant la manipulation d'éléments géométriques (points 2D, points 3D, polygones, etc ...).
- Dessin : ensemble d'outils qui permet de dessiner dans des fenêtres.

5.2 Le Moteur de rendu 3D

Ce viewer 3 Dimensions et multi-plateforme fut développé par Jérôme Hummel lors de son stage de l'ESME SUDRIA (école d'ingénieur généraliste) en avril 2000, puis maintenu et développé par les membres du laboratoire MATIS . wx3d est basé sur OpenGL et permet à l'utilisateur d'afficher ses données sans manipulation direct des fonctions OpenGL mais par l'intermédiaire d'une structure simple à manipuler. Les structures de wx3d lui permette d'afficher les éléments suivants :

- Point
- Segment
- Polygone
- Polygone Texturé
- Cylindre
- Ellipsoïde

Quatrième partie

Étude du problème

Chapitre 1

La Stratégie Globale

Nous savons que le problème de reconstruction 3D à partir d'un nuage de points est difficile. Nous avons donc choisi d'adopter pour ce stage une stratégie qui consiste à réduire le problème en utilisant la géométrie de l'instrument d'acquisition.

Nous commencerons par travailler sur la fibre pour en tirer un maximum d'information puis l'on travaillera entre fibres voisines et enfin sur la scène entière.

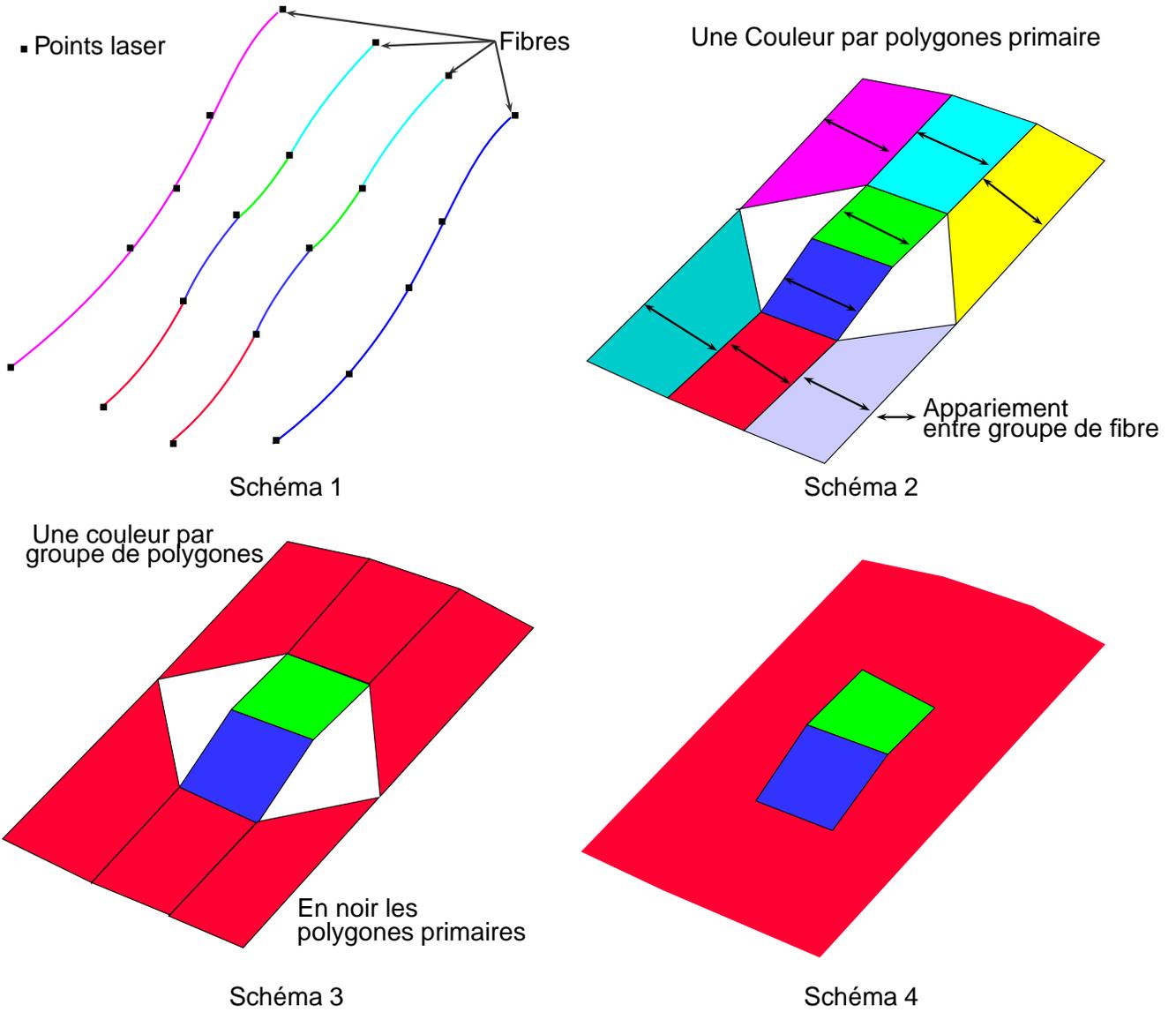
Cette manière de faire permet de scinder le problème en sous-problèmes. La progression logique est donc d'aller du "local" vers le "global".

La modélisation que nous avons adoptée pour le problème est un modèle 3D à facettes planes.

Les étapes clés par lesquelles nous devons passer sont les suivantes :

- Caricatures des fibres (cf tableau 1.1 schéma 1).
- Appariement inter-fibre (cf tableau 1.1 schéma 2).
- Fusion des polygones primaires (cf tableau 1.1 schéma 3).
- Création d'une MNE Facette vectorielle 3D Dense (cf tableau 1.1 schéma 4).

Chacune de ces étapes fera l'objet d'un chapitre, où elle sera présentée plus en détails si nécessaire.



TAB. 1.1 – Représentation schématique des 4 étapes

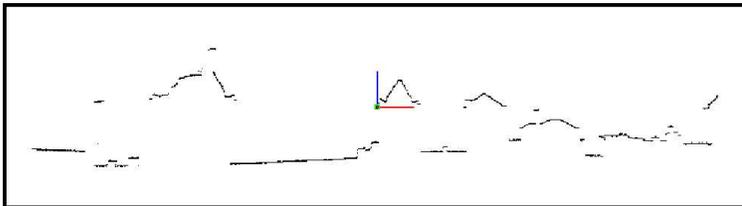
Chapitre 2

Présentation de la chaîne

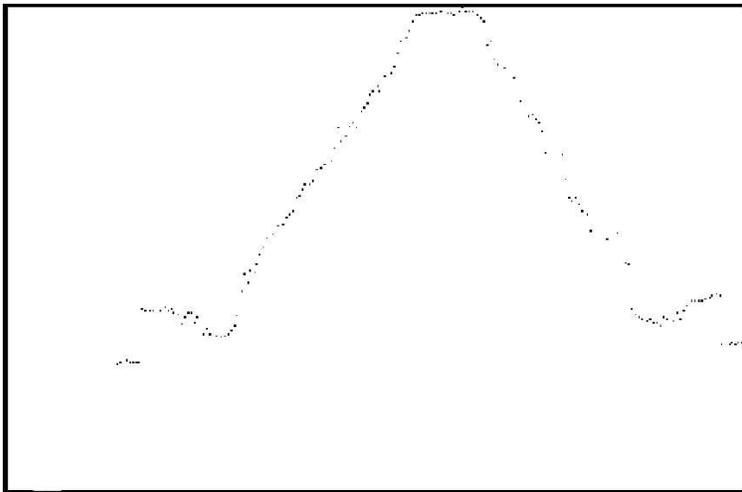
2.1 Segmentation de chacune des fibres

2.1.1 Problématique

Pour cette étape on limitera l'étude à une fibre mais les opérations réalisées pour cette fibre seront bien entendu faites pour chacune des 127 fibres.



Vue de tout les points d'une fibre.



Zoom sur les points d'une fibre.

FIG. 2.1 – Points 3D d'une même fibre.

Le but de cette étape est de modéliser la fibre de façon à ce qu'elle soit plus facile à manipuler dans les étapes suivantes. Notamment pour la recherche de plan 3D. En l'occurrence, on effectue une segmentation de la fibre. En d'autres termes on cherche à créer des groupes de points successifs. Ces groupes de points répondant à un critère de minimisation de distance à une droite.

Ainsi pour chaque groupe on peut faire correspondre un segment 3D estimé. Tout en sachant que pour chaque points du groupe la distance au segment est inférieur au seuil choisi par l'utilisateur.

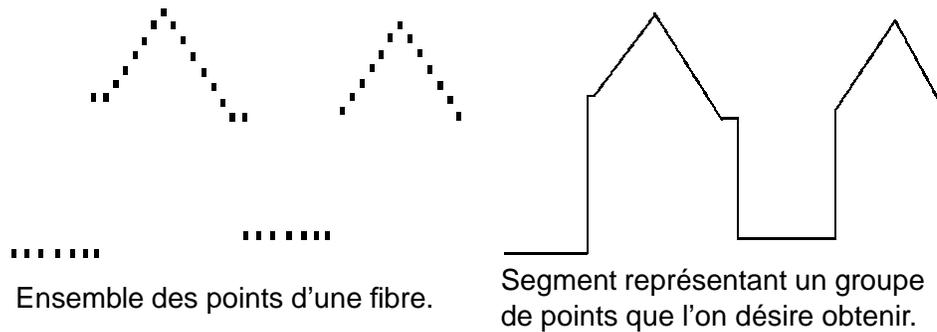


FIG. 2.2 – Principe de la Segmentation.

2.1.2 Algorithmique

La solution choisie pour résoudre ce problème est l'utilisation d'algorithmes de polygones à la corde.

En effet, ces algorithmes ont la propriété de créer un chaînage minimal(en fonction du seuil choisi) d'un ensemble de points. Nous avons implémenté deux algorithmes à la corde. Tout d'abord l'algorithme de la corde classique puis un algorithme de création de polygone par régression.

Pour l'algorithme de la corde classique on trace un segment entre les deux points situés aux extrémités. Puis on cherche parmi tous les points compris entre les deux extrémités celui qui est le plus éloigné du segment. Et si ce point est à une distance supérieure au seuil choisi, ce point coupe le segment en 2. Puis on réitère sur chacun des deux segments, tant que l'on trouve que le point le plus éloigné est à une distance supérieure au seuil choisi.

Pour l'algorithme de création de polygone par régression, on commence par tracer les segments entre tous les points voisins. Puis pour chaque point(n) on vérifie que lorsque l'on relie les points situés avant(n-1) et après(n+1) la distance de ce point au segment est inférieure à un seuil donné. Si c'est le cas on retire le point n. Et on effectue cette opération tant que l'on peut retirer un point de la chaîne.

2.1.3 Problèmes rencontrés

Au cours de cette étape 2 problèmes ont été rencontrés.

- les points corrompus (outlayers).
- la courbure de fibre.

Outlayers dans les données laser

Lors de cette étape il est apparu un problème lié à l'acquisition, en effet un certain nombre de points ont des valeurs totalement fausses. Ces points posent problème

puisqu'ils sont très éloignés de la scène et lorsque l'on passe un algorithme à la corde par ces points il crée des segments indésirés.

Ces points sont facilement détectables (puisqu'ils ont une ou plusieurs coordonnées qui a pour valeur zéro) mais il ne faut pas les supprimer, afin de garder l'information de position isochronique inter fibres.

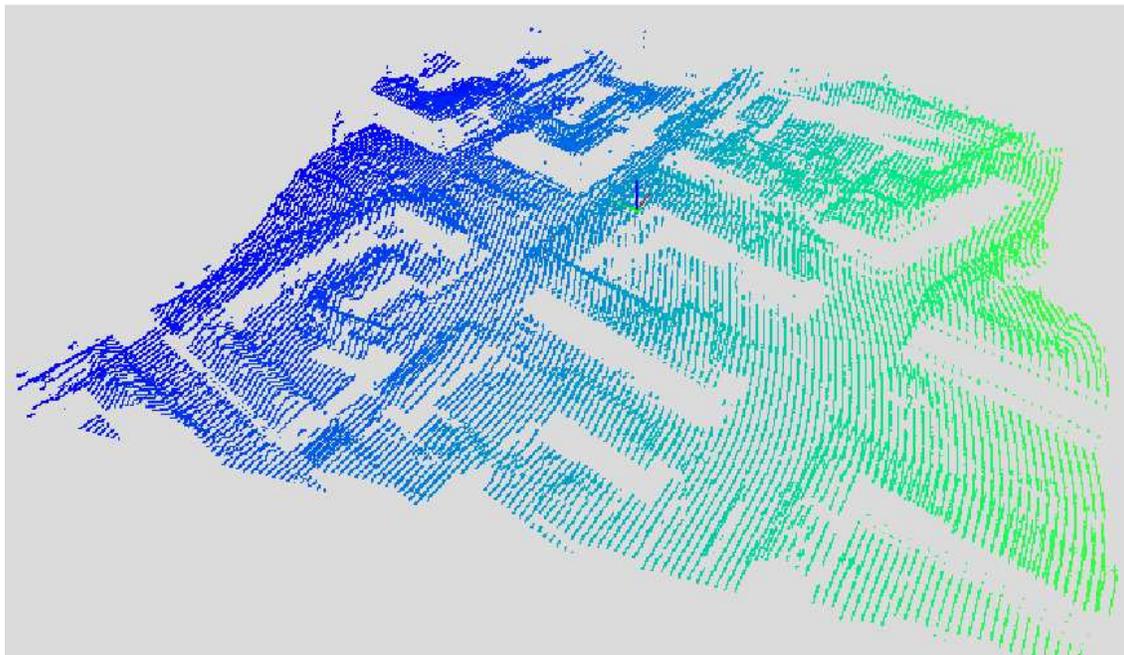
Nous avons donc remplacé tous les outliers par des points que j'ai appelés point null . Ces point null on pour propriété d'avoir leurs trois coordonnées identiques et avec une valeur de -999.

Ces points seront donc facilement identifiables et cela à n'importe quel étape du projet.

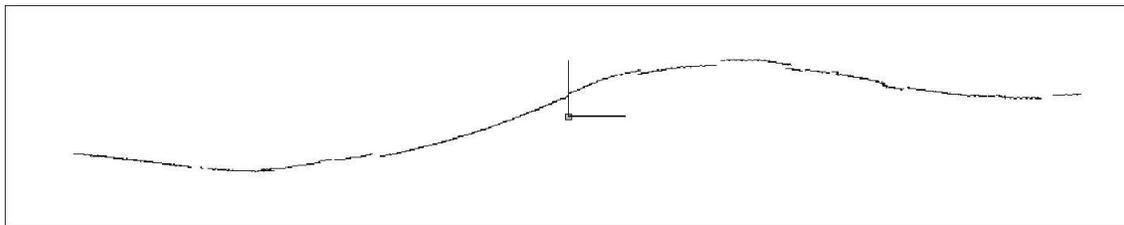
la courbure de fibre

Le deuxième problème rencontré est lié à la trajectoire de vol lors de l'acquisition et surtout au roulis de l'avion. En effet, la trajectoire de vol n'étant pas parfaitement rectiligne et l'avion étant soumis à un certain roulis, chaque fibre se rapproche plus d'une spline que d'une droite en planimétrie¹.

¹planimétrie : système géométrique dans lequel on n'utilise que les coordonnées x et y d'un points (Vue de dessus d'une scène)



scène



fibres vue de dessus(ou vue planimétrique)

FIG. 2.3 – Vue planimétrique.

Il s'avère que la courbure de fibre (cf figure 2.1.3) pose problème aux algorithmes à la corde 3D puisqu'ils créent des segments qui sont pour nous inutiles(voir figure 2.1.3).

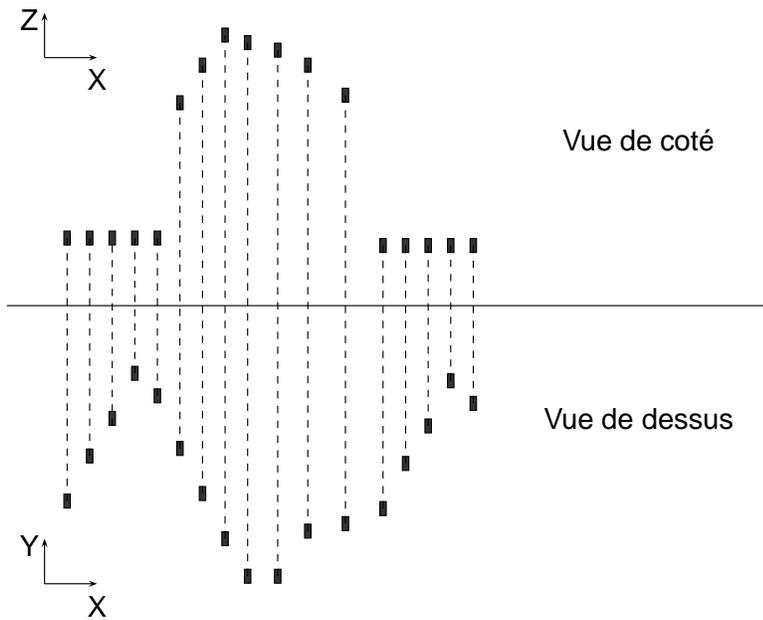


FIG. 2.4 – Points de départ.

Cette figure représente les points d'une fibre en vue de côté et en vue de dessus ces points nous serviront de base pour l'étude des algorithmes à la corde.

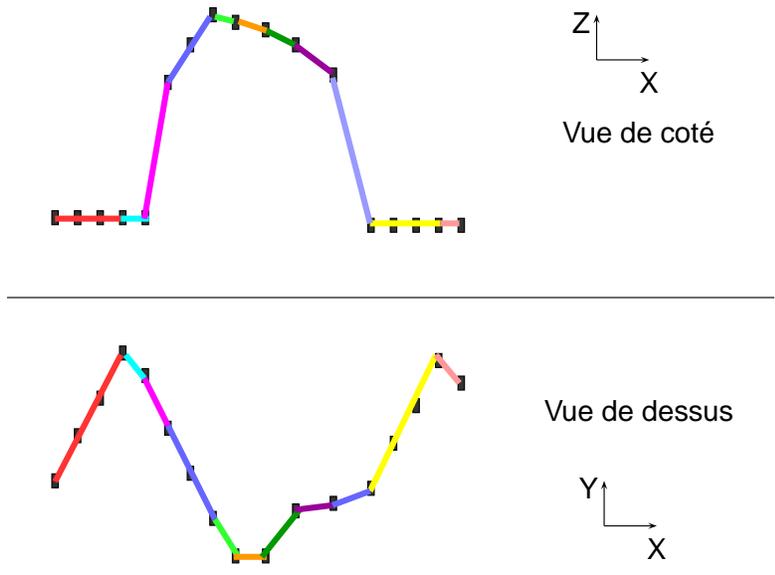


FIG. 2.5 – Résultat du passage d'une corde 3D .

On peut voir sur cette figure que cet algorithme fonctionne très bien mais que les groupes de points résultant ne forment pas les groupes qu'un opérateur aurait créés.

C'est pourquoi il s'avère que l'on doit faire une polygone 2D après avoir effectué une projection des points sur un repère Z,(XY) (Figure:2.1.3). Cette projection permet d'éliminer la composante planimétrique de la fibre du au roulis.

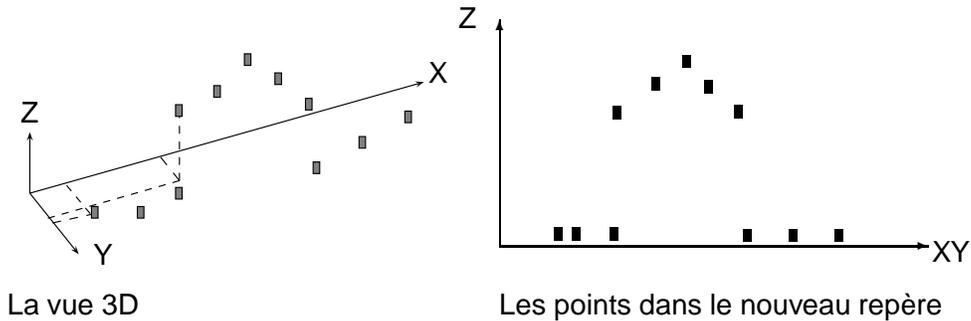


FIG. 2.6 – Projection des points dans le nouveau repère.

Après avoir effectué ce changement de repère on peut passer un algorithme à la corde 2D classique ou par régression. Et celui-ci nous donne les groupement de points attendues(cf figure 2.1.3).

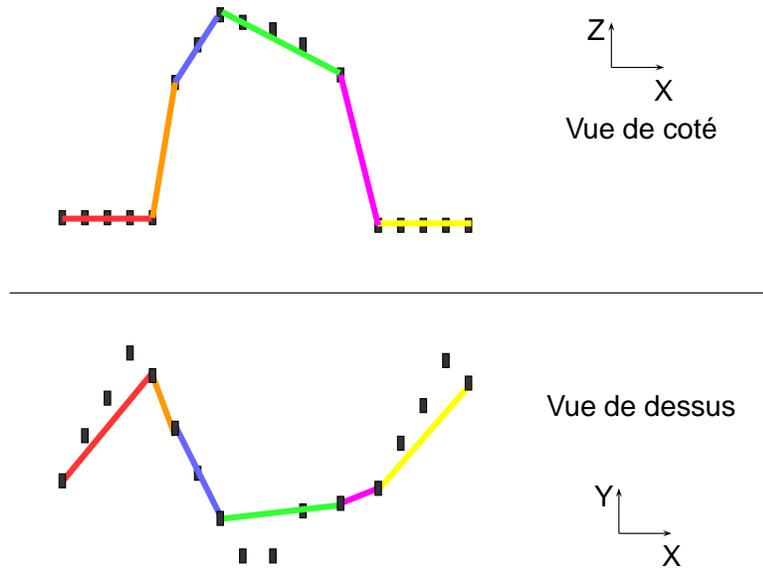


FIG. 2.7 – Points de départ.

Ici on peut voir que sur la vue de coté les points forment des groupes cohérents.

2.1.4 Évaluation et Résultat

Les deux méthodes ont des résultats presque similaires. Ceci parceque nous utilisons un seuil très faible pour faire le minimum de généralisation. Pour la suite du traitement j'ai choisie arbitrairement l'algorithme de la corde classique.

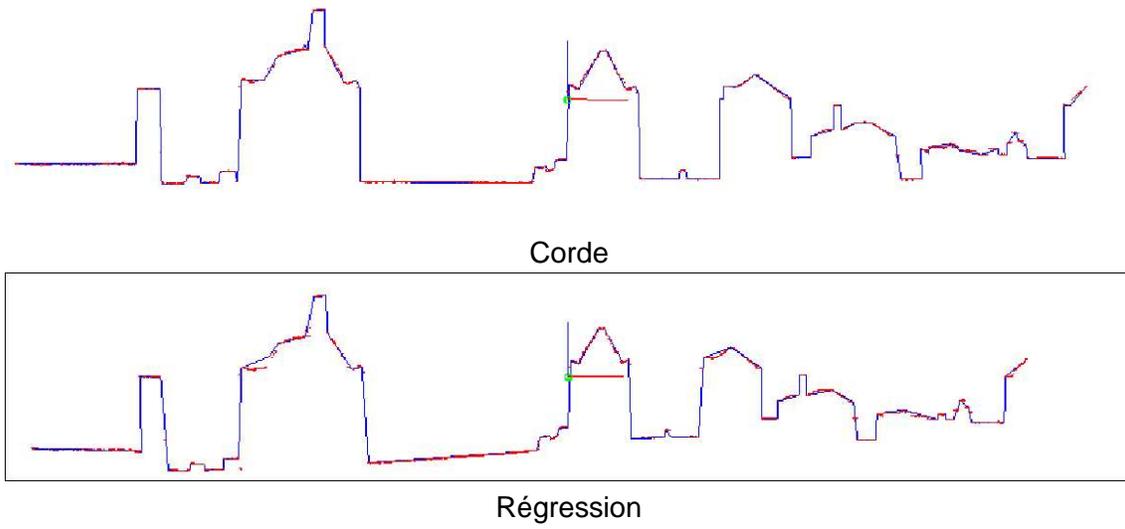


FIG. 2.8 – Comparaison des polygones

2.2 Appariement inter-fibres

2.2.1 Problématique

Cet appariement a pour but de trouver des plans entre 2 fibres voisines. Ce qui revient à effectuer un appariement de groupe² entre une fibre n et une fibre $n+1$. Et cela, pour créer un maximum de polygones 3D entre 2 fibres. De plus, les polygones 3D obtenus se doivent d'être plan. En effet, compte tenu des propriétés géométriques des objets à modéliser (des bâtiments) et du niveau de généralisation désiré, nous pouvons utiliser un ensemble de plan pour modéliser la scène.

La résolution de ce problème s'est effectuée en 2 étapes. Dans la première étape on recherche des hypothèses d'appariement. À priori le nombre de solution d'appariement possible est très grand il nous faut donc limiter le nombre de combinaisons pour cela nous avons décidé de limiter l'initialisation de l'appariement aux isochrones.

Puis on effectue plusieurs vérifications sur les hypothèses d'appariement afin de les valider ou non. Nous vérifions plusieurs critères sur le polygone créé par l'hypothèse. Ces critères sont les suivants : taille, planéité et verticalité.

Enfin, si l'hypothèse est valide nous créons un polygone entre les deux groupes de points liés par l'hypothèse d'appariement. Nous appellerons dans la suite du rapport les polygones ainsi créés des polygones primaires³.

2.2.2 Appariement entre groupe de point

Pour effectuer l'appariement nous avons choisie d'utiliser la propriété d'isochronie des points avec les points acquis en même temps (à 83KHz près cf [OdJ02]).

fibre 0	point 0	point 1	point n
fibre 1	point 0	point 1	point n
fibre .	point 0	point 1	point n
fibre .	point 0	point 1	point n
fibre .	point 0	point 1	point n
fibre 126	point 0	point 1	point n

Représentation de la modélisation d'une scène laser

Compte tenu de la forte densité de points le long de la fibre les probabilités que deux segments appartenant au même plan n'est pas de point en commun sur un de leur isochrone est très faible.

²Appariement de groupe : les groupes auxquels je fais référence sont les groupes de points obtenus dans l'étape de segmentation des fibres

³Polygones primaires : polygones créés lors de l'étape d'appariement inter-fibres voisines.

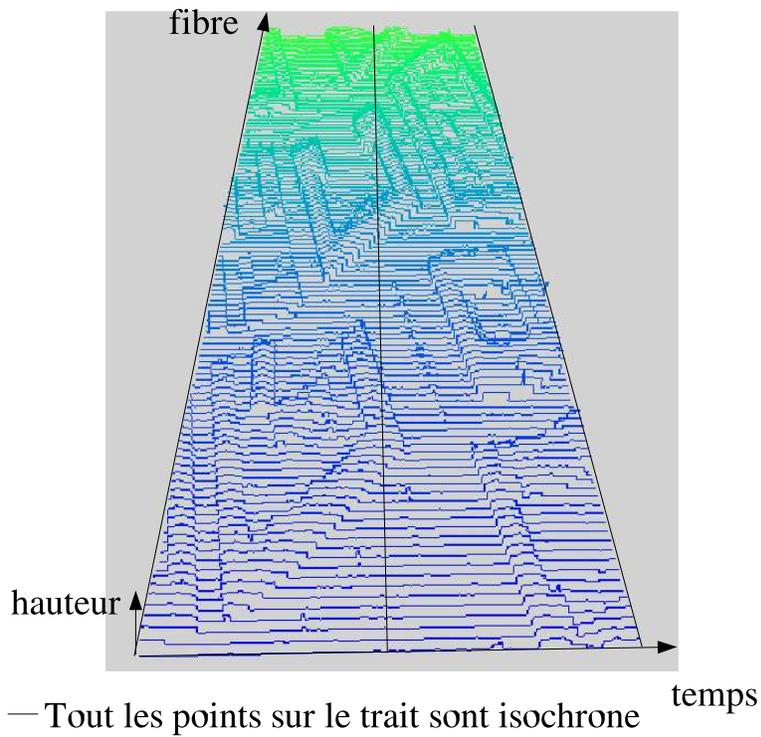


FIG. 2.9 – Représentation isochronique de la scène

Cette méthode n'est pas optimale mais à pour avantage d'être simple à mettre en place et reste efficace dans un grand nombre de cas.

2.2.3 Limite de la méthode d'appariement

Je vais vous présenter les limites de la méthode à partir d'un exemple tiré du jeu de donnée de la mairie d'Amiens(Figure:2.10).

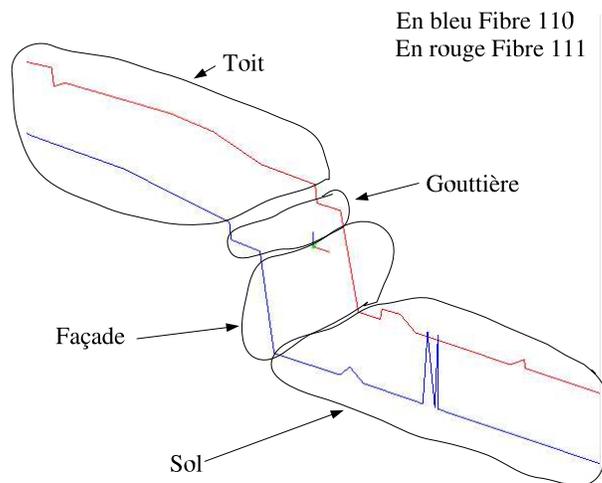


FIG. 2.10 – Vue 3D des 2 fibres

Comme vous pouvez voir sur la figure 2.10 on desire apparier les segments entourés ensemble, car ils forment une partie logique de la scène (Sol, Toit, Gouttière, ...). mais lorsque l'on passe en vue isochronique on s'aperçoit que les segments que l'on voudrait apparier n'ont pas d'isochrones communs (cf 2.11).

Par exemple le segment de gouttière de la fibre 110 ne s'apparie pas avec celui de la fibre 111 mais avec le toit qui lui est en isochronie avec ce segment.

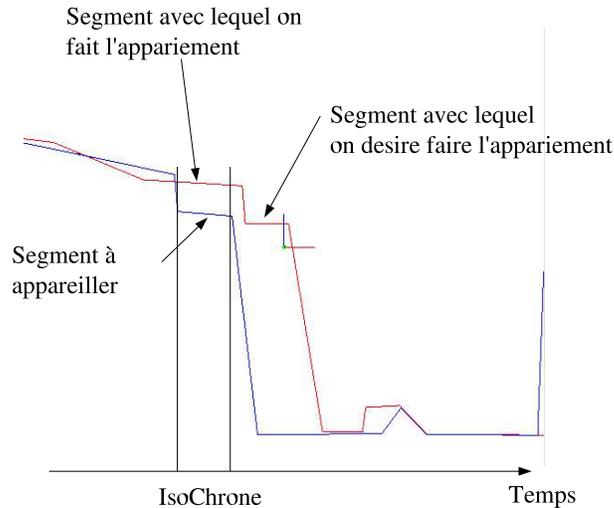


FIG. 2.11 – Cas où la méthode est mise en échec

On se rend compte que l'initialisation des hypothèses d'appariement sur un critère d'isochronisme, ne fonctionne pas dans tous les cas.

2.2.4 Validation des polygones

Dans cette partie plusieurs points sont à vérifier afin de valider ou non chaque polygone créée grâce à l'appariement. En effet, on veut que tous les polygones possèdent un plan unique au sein duquel tous les points peuvent être intégrés. De plus les polygones doivent être suffisamment grands pour être valides. Enfin si le polygone est assimilable à une façade il n'est pas valide. Seul les polygones répondant à ces trois conditions seront conservés pour la suite du traitement

Planéité du polygone

Pour vérifier si le polygone est un polygone plan nous avons effectué une estimation de plan et nous avons étudié les résidus de cette estimation. Nous vérifions si la moyenne de la somme de ces résidus est inférieure à un seuil donné. Si c'est le cas le polygone est valide sinon il est rejeté. Pour l'estimation nous avons testé les moindres carrés et les moindres L1. Compte tenu du fait que l'ensemble des points pour un polygone n'est pas très dispersé, l'estimation par moindres L1 n'est pas justifiée. C'est pourquoi dans la chaîne de traitement finale on utilisera les moindres carrés.

Taille du polygone

Afin d'augmenter la pertinence des informations, nous avons défini une zone de recouvrement minimal. C'est à dire que pour être valide un polygone doit avoir un certain nombre de paires de points isochroniques. En effet (voir chapitre 2.2.3 à la page 45) si la zone de recouvrement est faible on augmente la probabilité de faire une erreur d'appariement.

Ici compte tenu du degré de généralisation désiré on a choisi de prendre une zone de recouvrement minimal de 50 cm soit 5 paires de points isochroniques.

Les Façades

Un problème est apparu lors de cette étape au niveau de la jonction entre le sol et le haut du bâtiment (notamment les gouttières) voir (Figure:2.12). Ces polygones dits de façade sont gênants car ils ne sont pas réalistes (surtout figure de gauche 2.12).

Beaucoup de polygones façades sont le résultat d'appariement entre une bordure de toit et le sol et empêche l'élargissement des polygones du toit et du sol jusqu'à la limite entre le sol et le toit. De plus, nous estimons que cette information sera facilement retrouvable lors de l'étape de densification . C'est pourquoi, il nous faut supprimer ces polygones façades.

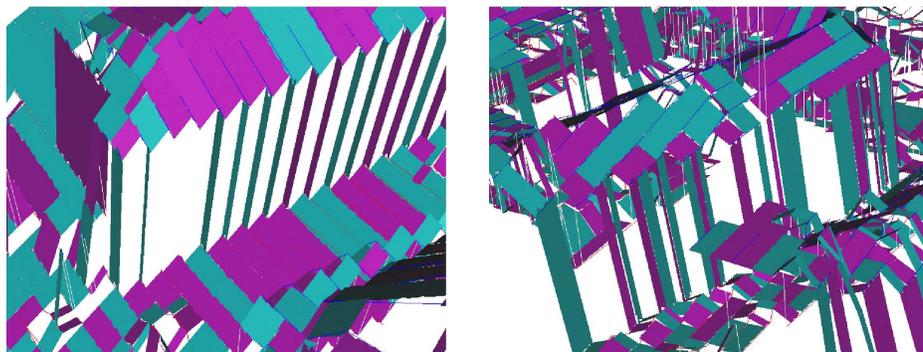


FIG. 2.12 – Exemples polygone crée entre de sol et le bord du toit.

Pour faire cette suppression nous avons choisi de vérifier l'angle d'incidence du polygone (voir figure 2.13). Ensuite on supprime tous les polygones qui ont un angle supérieur à 70° . En effet, compte tenu de la géométrie d'acquisition si la pente inter fibre et supérieur à 70° , les points inter fibre on une différence altimétrique comprise entre 3,29m et 4,94m. Nous sommes donc en présence d'une façade car il est rare que la pente d'un toit soit supérieure à 70° .

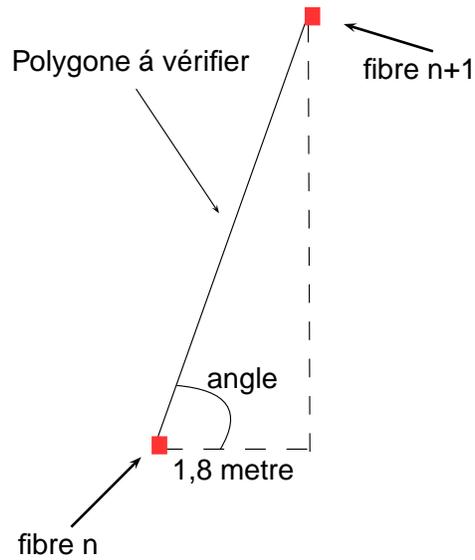


FIG. 2.13 – Angle inter fibre d'un polygone

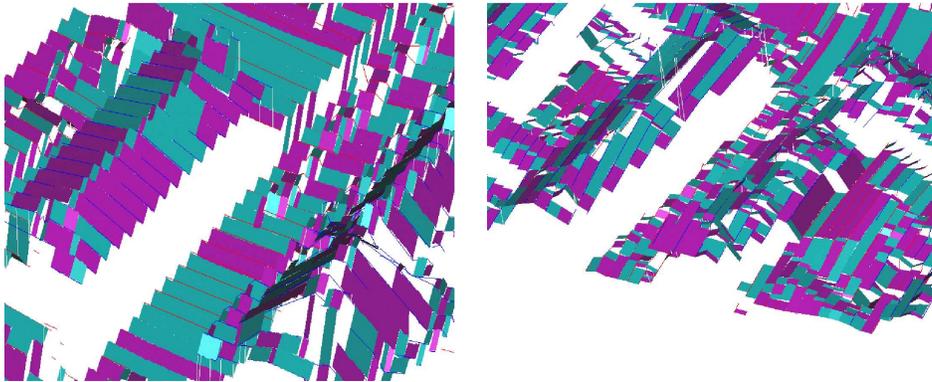
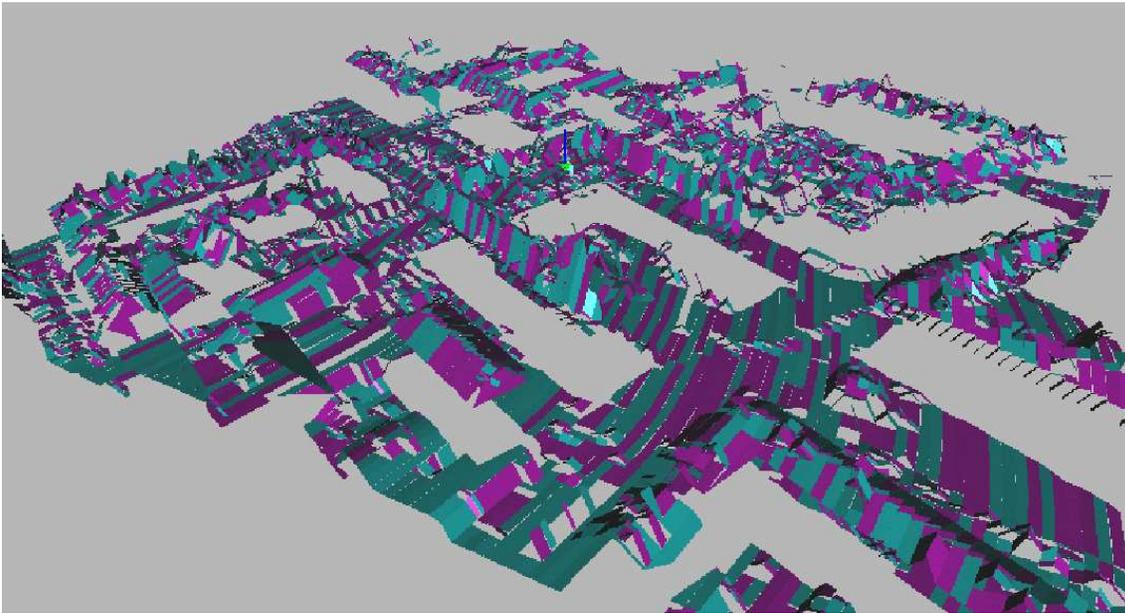


FIG. 2.14 – Résultat de la suppression de façade

2.2.5 Résultat

Le résultat de cette étape est un grand nombre de polygones primaires lien entre 2 fibres voisines(Figure:2.15).



On alterne les couleurs afin de faciliter la visualisation polygones primaires.

FIG. 2.15 – Résultat de l'appariement

Maintenant nous allons passer à l'étape de fusion de ces polygones dit polygones primaires.

2.3 Fusion des polygones primaires

2.3.1 Problématique

À ce stade du projet nous avons modélisé la scène sous la forme d'un groupe polygones primaires. Ceux-ci ont une taille réduite (1.8 m de largeur maximal voir figure 2.16).

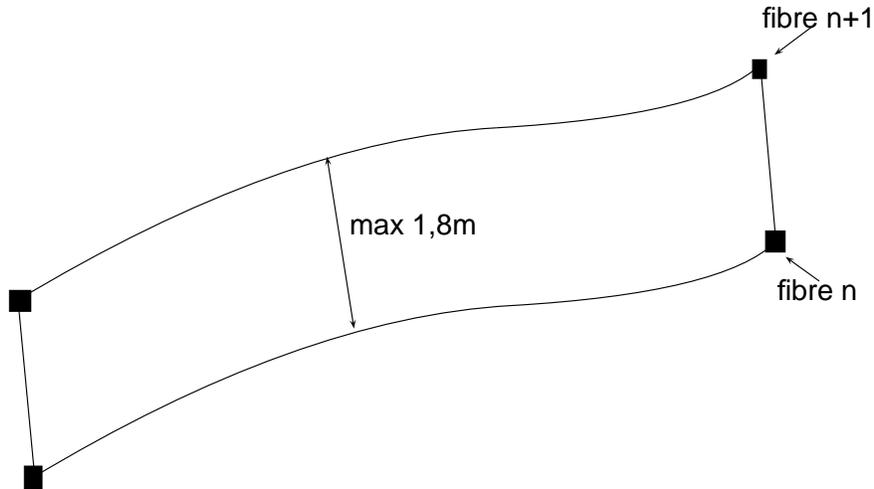


FIG. 2.16 – Représentation d'un polygone inter fibres voisine

On veut maintenant réduire le nombre de polygones tout en conservant l'information contenue dans les groupes de polygones primaires. C'est à dire que l'on désire agglomérer ces groupes de polygones.

2.3.2 Solution Proposée

Pour faire cette fusion nous allons construire un graphe relationnel (Figure: 2.17). Les noeuds de ce graphe (carrés bleus sur la figure 2.17) vont représenter les groupes de polygones primaires, et les arêtes (traits rouges sur la figure 2.17) représenteront les liens de voisinage entre ces groupes.

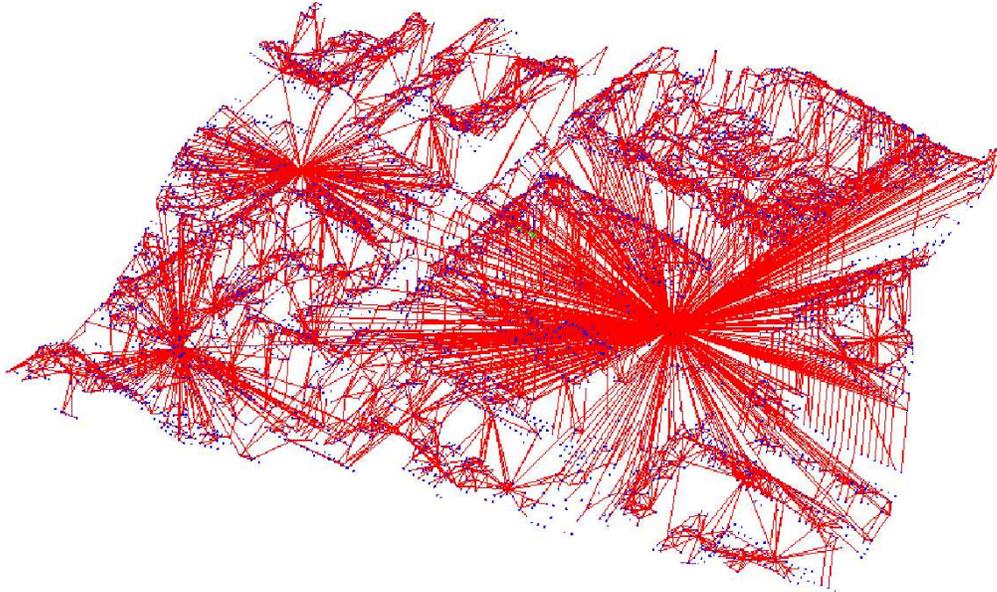


FIG. 2.17 – Graphes de voisinage de la mairie d'amiens

La fusion va se faire par agregation ascendante hierarchique. Pour faire cette agregation on donne un coût de fusion à chaque arête. On place tout ces coûts dans une queue de priorité. On effectue ensuite itérativement la fusion la moins coûteuse, tant qu'elle reste inférieure à un seuil. Après chaque fusion on met à jour le graphe (fusion des noeuds et mise à jour des voisinages) et la queue de priorité. Cet algorithme est utilisé plusieurs fois en changeant la façon d'estimer les coûts de fusion ainsi que le seuil. On effectue d'abord une première série de fusions avec un coût et un seuil très strict pour obtenir de grands regroupements fiables. On effectue ensuite plusieurs passes moins contraintes pour agglomérer les petits groupes restants.

Première passe : les fusions sûres

Le coût de fusion est calculé par pondération de deux critères : l'un mesurant une distance entre les deux groupes de polygones et l'autre mesurant la différence des orientations des vecteurs normaux des deux plans correspondants.

$$Coût = Distance * (1 + \alpha * Tangente)$$

A et B sont les ensembles de points des deux groupes de polygones

P_A et P_B sont les plans estimés pour les deux groupes de polygones

P_{AB} est le plan estimé pour la fusion des deux groupes de polygones

$$Distance = MAX(D_{A,P_{AB}}, D_{B,P_{AB}})$$

$D_{A,P_{AB}}$ = Distance moyenne entre les points de A et le plan P_{AB}

$D_{B,P_{AB}}$ = Distance moyenne entre les points de B et le plan P_{AB}

α =Paramètre de réglage de l'incidence de l'angle sur le résultat, ce paramètre est toujours resté fixé à 1

$$\text{Tangente} = \text{MAX}(\tan(\widehat{P_A, P_{AB}}), \tan(\widehat{P_B, P_{AB}}))$$

$\tan(\widehat{P_A, P_{AB}})$ =tangente de l'angle entre la normale du plan P_A et la normale du plan de fusion P_{AB}

$\tan(\widehat{P_B, P_{AB}})$ =tangente de l'angle entre la normale du plan P_B et la normale du plan de fusion P_{AB}

Pour l'estimation des plans nous avons utilisés les moindres carrés.

Cette première passe permet d'obtenir de grands groupes de polygones tout en restant très proche des polygones initiaux. Le tableau 2.1 montre les résultats obtenus avec différents seuils. Le seuil pour cette première passe a finalement été fixé de manière empirique à 0.4m.



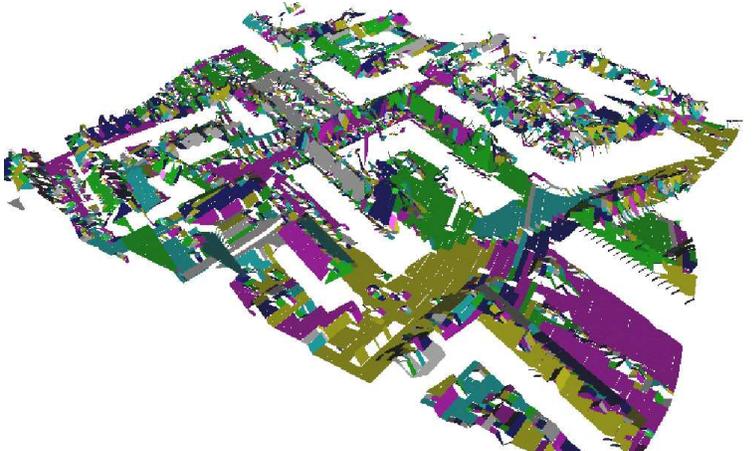
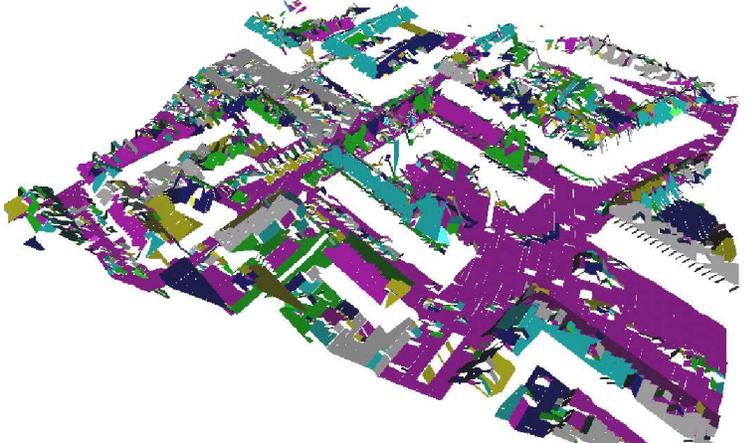
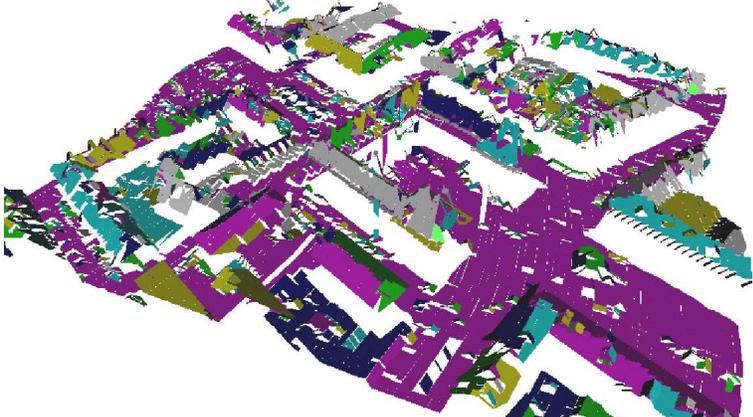
Résultat de la première passe de fusion avec un seuil de 0.4m.
En vert les grands polygones et en violet les petits polygones

FIG. 2.18 – Petit et Grand Polygones Avant finitions

Deuxième passe : agrégations des petits groupes vers les grands groupes

Une fois la première passe effectuée, un grand nombre de polygones (environ 90%) ont fusionnés et forment des polygones fiables puisqu'ils chevauchent plusieurs fibres. Mais il reste de nombreux groupements de polygones de petites tailles à fusionner.

Pour effectuer cette agrégation, on considère que les grands groupements de polygones peuvent absorber de petits groupements sans modifier leur plan associé. On relâche le seuil (on utilise un seuil de 1m à partir de cette passe et pour la suite des fusions), et le coût utilisé est le même qu'à la passe précédente. Néanmoins, le plan du groupement résultant de la fusion (P_{AB}) n'est pas réestimé : on conserve l'équation du plan du groupement absorbant.

Seuil de fusion (m)	image résultat	Nombre de polygones
0.1		5501
0.4		2591
0.8		1639

TAB. 2.1 – Comparatif des résultat de fusion

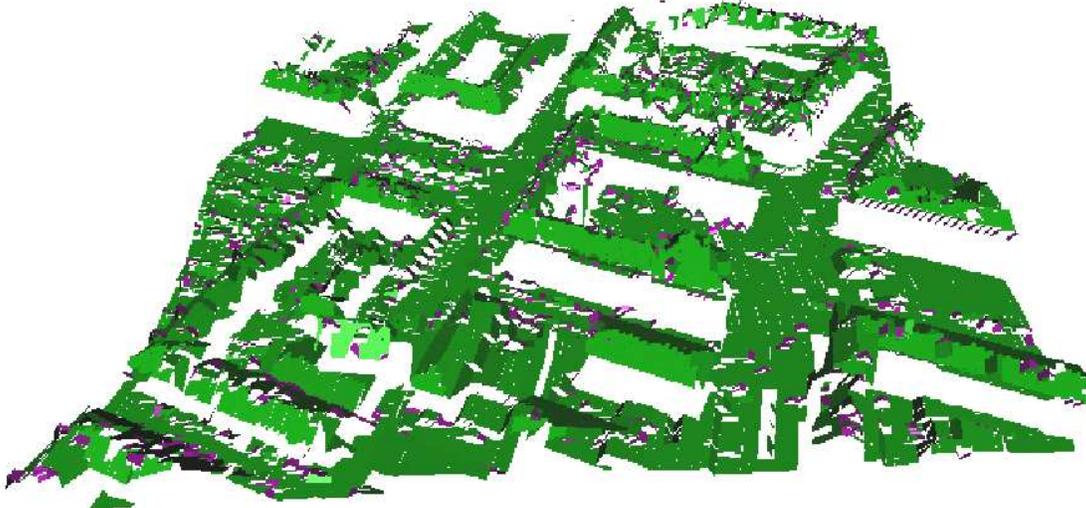
Troisième passe : agrégations des petits groupes entre eux

Dans les situations complexes, il reste à l'issue des deux passes précédentes des zones avec de nombreux petits groupements n'ayant pas pu fusionner. On effectue donc une étape de fusion réservée aux petits groupements de polygones. Pour cette étape, on relâche encore un peu le seuil, mais on modifie aussi légèrement le critère sur l'orientation des normales. Pour ne pas fusionner des groupements dont les orientations seraient trop différentes, on ajoute une comparaison entre les normales des deux plans initiaux en plus des comparaisons avec celle du plan fusion.

Dernière passe : agrégations des petits groupes vers leurs voisins

La passe précédente a permis d'agréger des petits groupements pour former des plus grandes zones. Une dernière passe est donc ajoutée pour pouvoir fusionner les petits groupements restants vers leurs voisins, qu'ils soient petits ou grands.

La figure 2.19 montre le résultat final après les 4 passes de fusions. On constate qu'il reste de petits groupements mais leur nombre est limité.



En vert les grands polygones et en violet les petit polygones

FIG. 2.19 – Petits et grands polygones après les 4 passes de fusion

2.3.3 Résultat de la fusion

À la fin de cette étape nous avons donc obtenu un MNE à facettes non dense. Nous disposons de groupes de polygones primaires (cf note de bas de page 3) associés à des plans, assimilables à des facettes. Mais ces facettes ne sont pas jointives en planimétrie. Il va donc falloir effectuer une densification en planimétrie de ce MNE et celle-ci fait l'objet de l'étape suivante.

2.4 Création d'un MNE vectoriel dense

2.4.1 Problématique

Jusqu'ici nous avons effectué une segmentation des fibres, puis un appariement inter-fibres et enfin nous avons produit une modélisation de la scène (MNE) par un ensemble de facettes planes. Cependant le modèle obtenu n'est pas dense.

C'est ce MNE que nous avons en entrée de cette étape. En effet, dans ce MNE il existe donc des zones de travail pour lesquelles nous n'avons pas d'information (cf (Figure:2.20) les zones noires ne contiennent pas d'information).

Or pour certaines applications un MNE complètement dense est nécessaire. Nous allons donc interpoler au mieux entre ces facettes pour densifier le modèle.

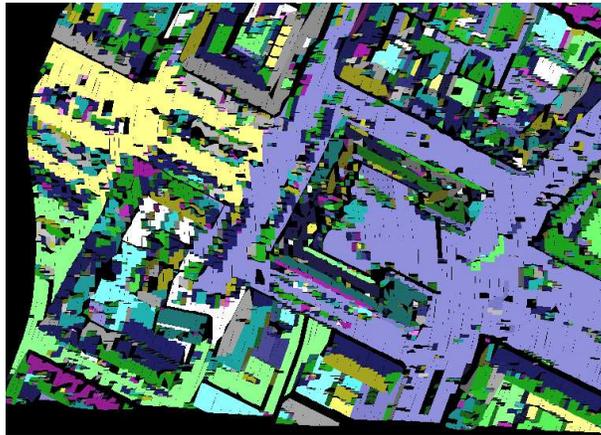


FIG. 2.20 – Vue planimétrique d'entrer

2.4.2 Algorithmique

L'agorithme développé pour résoudre ce problème se décompose en 3 temps :

1. Recupération des contours de chaqu'un des groupes de polygones primaires(cf note de bas de pages 3) :

En effet la scène est composée de plusieurs groupe de polygones primaires.

Mais l'information sur les points qui forment le contour de ce groupe polygone n'est pas présente de façon explicite (cf figure 2.21).

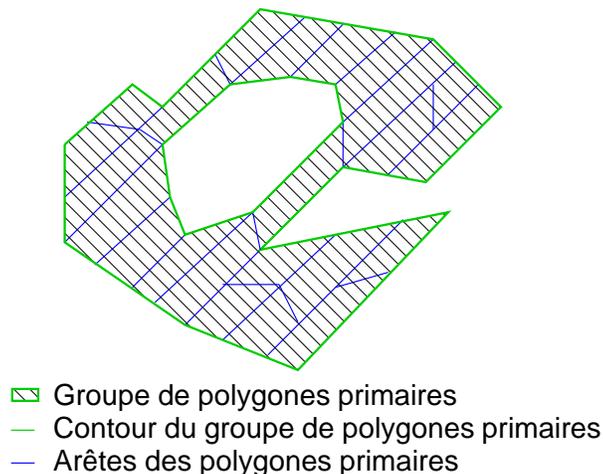


FIG. 2.21 – Exemple de groupe de polygone plan

Nous allons donc rechercher les points situés sur le bord du polygone qui forme les contours fermés et ordonnés. De plus, du fait de la présence de trous dans les polygones primaires, on peut obtenir plusieurs contours pour décrire ces trous. Pour cela nous avons procédé par fusion de polygones primaires et suppression des arêtes communes.

2. Construction d'un modèle dense à géométrie partagée

L'objectif est de créer un squelette dans l'espace inter polygones, afin d'étendre les polygones jusqu'à ce squelette frontière.

Tout d'abord, on doit supprimer les recouvrements de polygone. En effet compte tenu de la géométrie d'acquisition, de petits recouvrements sont possibles. Ces recouvrements poseraient de nombreux problèmes pour les étapes suivantes. Nous avons donc choisi de les supprimer.

Et pour réaliser cette opération on utilise la librairie GPC ⁴ qui affecte la zone de recouvrement à l'un des polygones. Ces zones de recouvrement sont petites, donc sans incidence sur le résultat global. On peut donc affecter arbitrairement la zone de recouvrement à l'un ou l'autre des polygones.

Ensuite, on effectue une triangulation de Delaunay de l'espace inter polygones. Cette triangulation est effectuée dans un espace 2D, car seules les coordonnées planimétriques des points nous intéressent. Et on construit le squelette frontière grâce aux milieux des arêtes des triangles créés par la triangulation (cf figure 2.22).

⁴GPC : General Polygon Clipping pour plus de détail voir : <http://www.cs.man.ac.uk/aig/staff/alan/software/gpc.html>

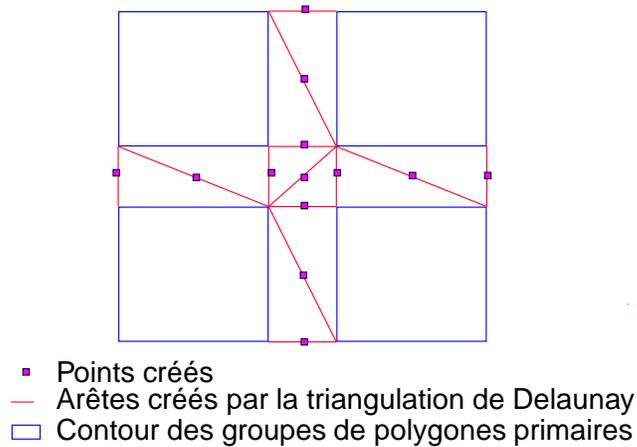


FIG. 2.22 – Résultat de la 1^{ère} triangulation

Plus précisément cette frontière est obtenue à l'aide d'une nouvelle triangulation de Delaunay et d'une fusion de tous les triangles rattachés à un groupement de polygones primaires(cf figure 2.23). Pour réaliser les triangulations on utilise la librairie Triangle de Jonathan Shewchuk ⁵.

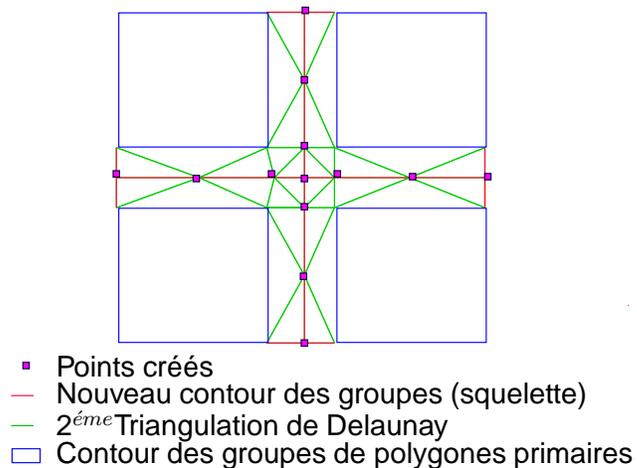


FIG. 2.23 – Résultat de la 2^{ème} triangulation

3. Finition

Dans cette dernière étape on désire améliorer le modèle obtenu et on souhaite retrouver les façades. Cette étape est encore en développement et sera finie pour la fin du stage le 18 juillet 2004. Donc je vais vous présenter la démarche que nous avons choisie de suivre pour réaliser cette étape.

Cette finition pourra être réalisé de la manière suivante :

⁵ <http://www.cs.berkeley.edu/~jrs/>

Pour chaque frontière entre deux plans on effectue une évaluation pour savoir si l'on est en présence d'une continuité ou d'une discontinuité entre les deux plans. Afin de réaliser cette évaluation nous allons utiliser l'idée suivante. Nous allons d'abord calculer la droite d'intersection entre les deux plans. Puis on calcule la distance médiane à cette droite et si elle est inférieure à un seuil donné on estime être en présence d'une continuité sinon il y a discontinuité.

Un fois, l'évaluation effectuée on applique un traitement sur la polygone frontière. Si on est en présence d'une discontinuité on doit recréer la façade. Cette opération est très simple et a été évalué sur un jeu test (cf figure 2.24).

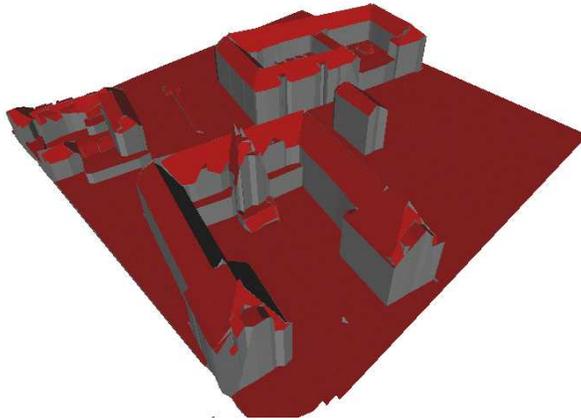


FIG. 2.24 – Évaluation de l'algorithme sur le jeu test.

On ramène tout les points de la polygone sur la droite d'intersection entre les deux plans liés par la polygone. Lorsque l'on ce trouve en présence d'une continuité.

Chapitre 3

Les Résultats Obtenus

Étant donné qu'il ne reste plus de 15 jours de stage les résultats obtenus ne sont pas définitifs. Néanmoins, je peux faire un premier bilan.

La machine utilisée pour les estimations de temps de calculs a les caractéristiques suivante :

Processeur	PIV 2,6 GHz
Ram	512 Mo
Système d'exploitation	Linux

TAB. 3.1 – Caractéristiques de la machine test

Pour commencer, en ce qui concerne la segmentation des fibres les résultats sont satisfaisants et l'algorithme est stable. Le temps pour réaliser cette partie est de 5,32 seconds pour une scène de 6.9 hectares, soit $0.77s/hectare$

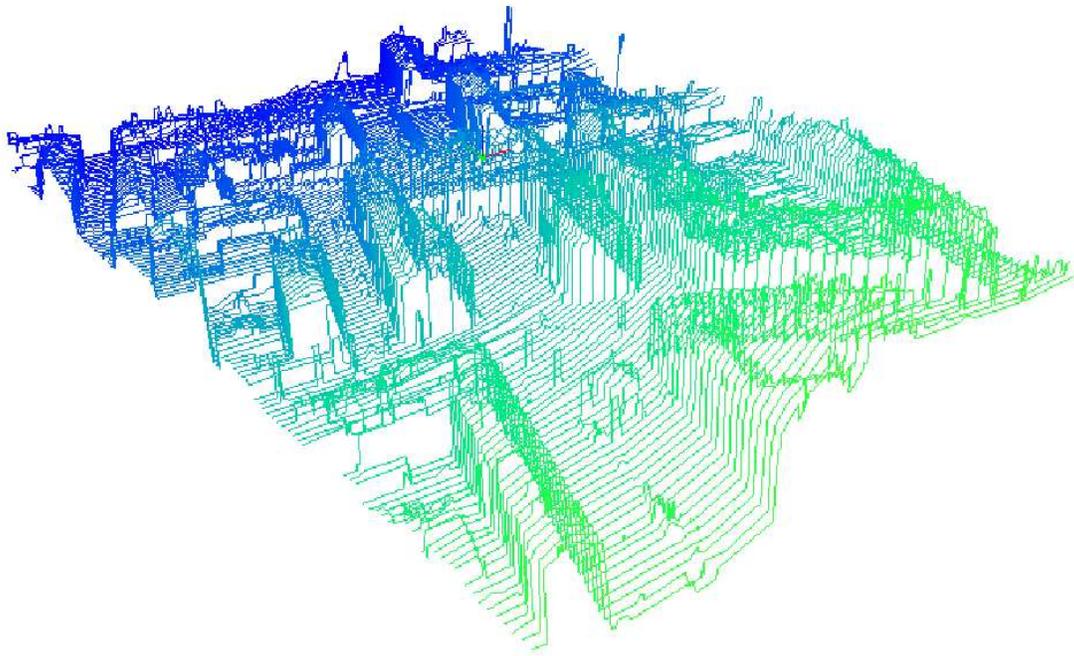


FIG. 3.1 – Résultat de la segmentation

Ensuite, pour l'appariement inter-fibres les choses sont plus compliquées. En effet, les résultats de la méthode sont bons, mais les hypothèses d'appariement et les critères de validation peuvent être pris en défaut. Notamment sur l'appariement de polygones dans lesquels on ne peut pas inscrire un cercle de 1.8m de rayon (Figure:3.2). Néanmoins cette méthode reste efficace et donne les résultat suivant 7,92 seconds pour une scène de 6.9 hectares soit $1.14s/hectare$

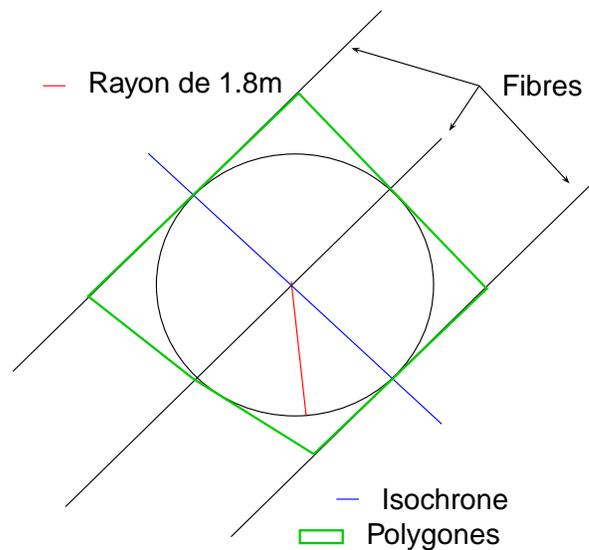


FIG. 3.2 – Cercle de rayon 1,8m inclut dans un polygones

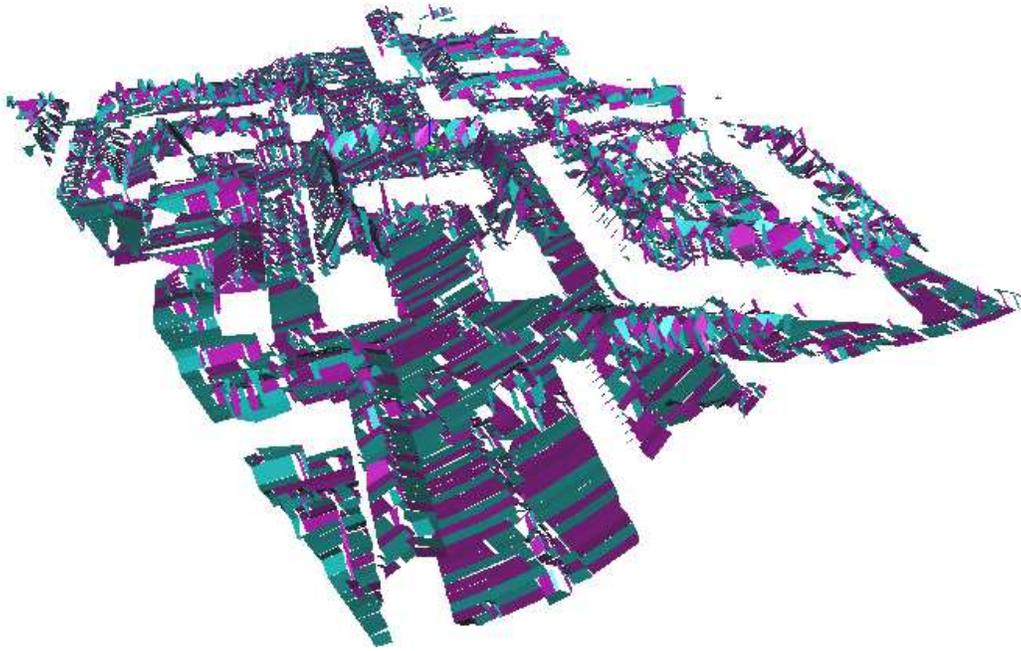


FIG. 3.3 – Résultat de l'appariement

La fusion est l'étape la plus longue. En effet, elle prend un peu moins de 5h pour une scène de 6.9 hectares soit moins d'une heure par hectare. Mais il faut savoir que le temps de reconstruction évolue de manière combinatoire en fonction de la taille de la zone à reconstruire. Sinon cette méthode donne de bons résultats mis à part quelques artefacts (Figure:3.4) dû à la modélisation par plan de la scène.

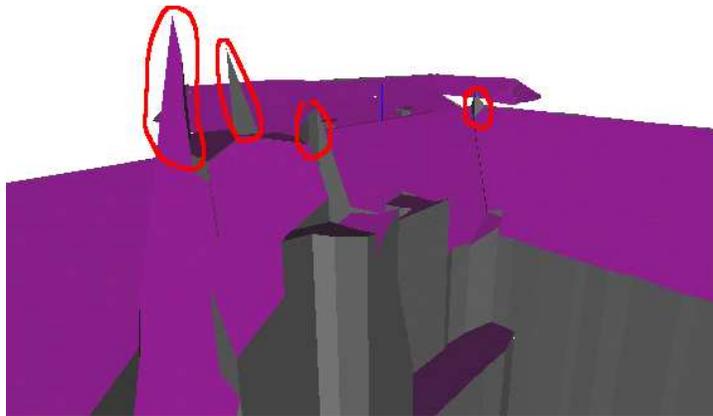


FIG. 3.4 – En rouge les artefacts

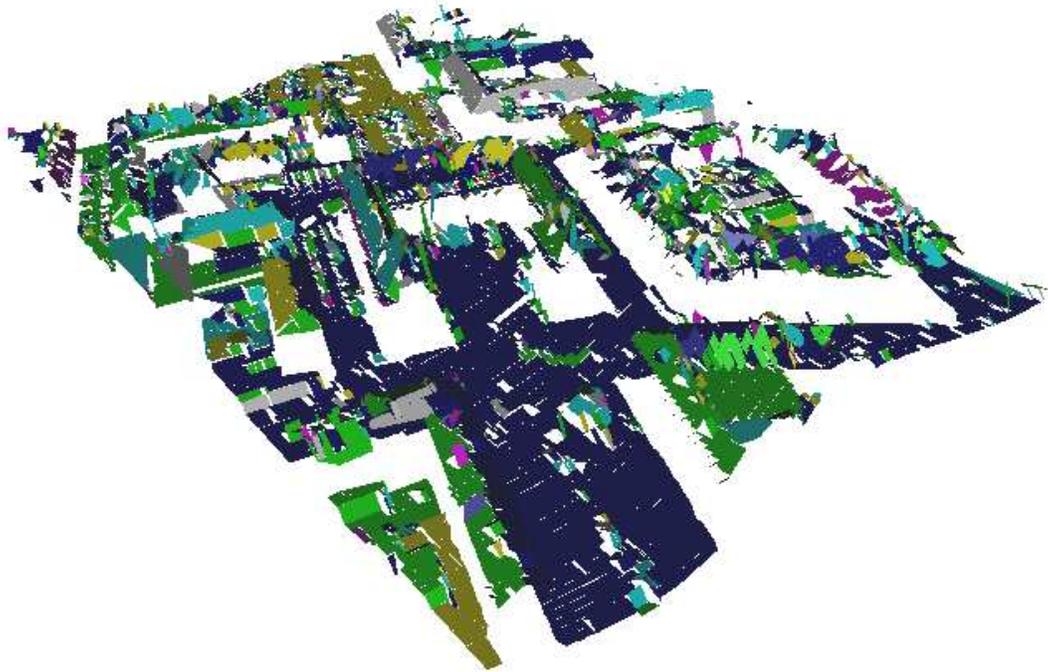
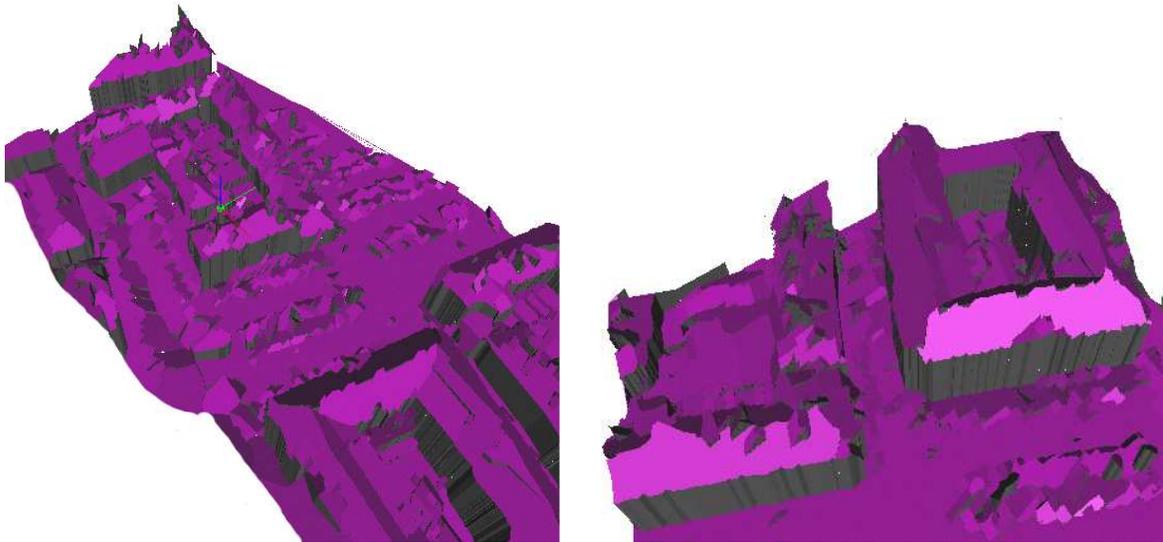


FIG. 3.5 – Résultat de la fusion

La dernière partie de densification du modèle est encore en cours de réalisation donc je ne peux pas correctement évaluer cet algorithme. Mais je pense qu'une fois fini il prendra un peu moins d'une heure pour traiter les 6.9 hectare de la scène. La figure 3.6 est le résultat de la densification sur un crop de la zone de la mairie.

FIG. 3.6 – 1^{er} Résultat de la densification

L'ensemble de la chaîne prendra donc environ 6h pour une scène de 6.9 hectares soit moins d'une heure à l'hectare.

Cinquième partie

Perspectives et Conclusion

Chapitre 1

Perspectives

Les perspectives de ce stage sont nombreuses, nous allons donc tenter de vous en présenter quelques une, en allant du court terme vers le long terme.

La première perspective est d'envisager une exploration complète des méthodes applicables pour la dernière partie (finition de la densification). Et notamment finir la correction géométrique.

A court terme, on pourrait aussi étudier les croisements de bandes (Figure:1.1). En effet lors du vol, l'avion peut passer plusieurs fois au dessus d'une même zone. Il peut donc être très intéressant d'intégrer ces données dans la chaîne afin de densifier l'information.

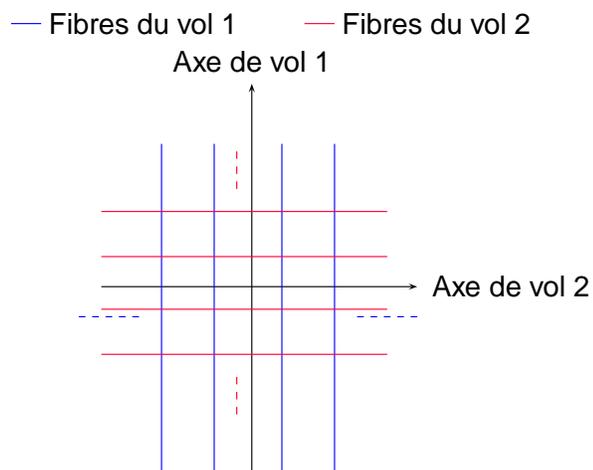


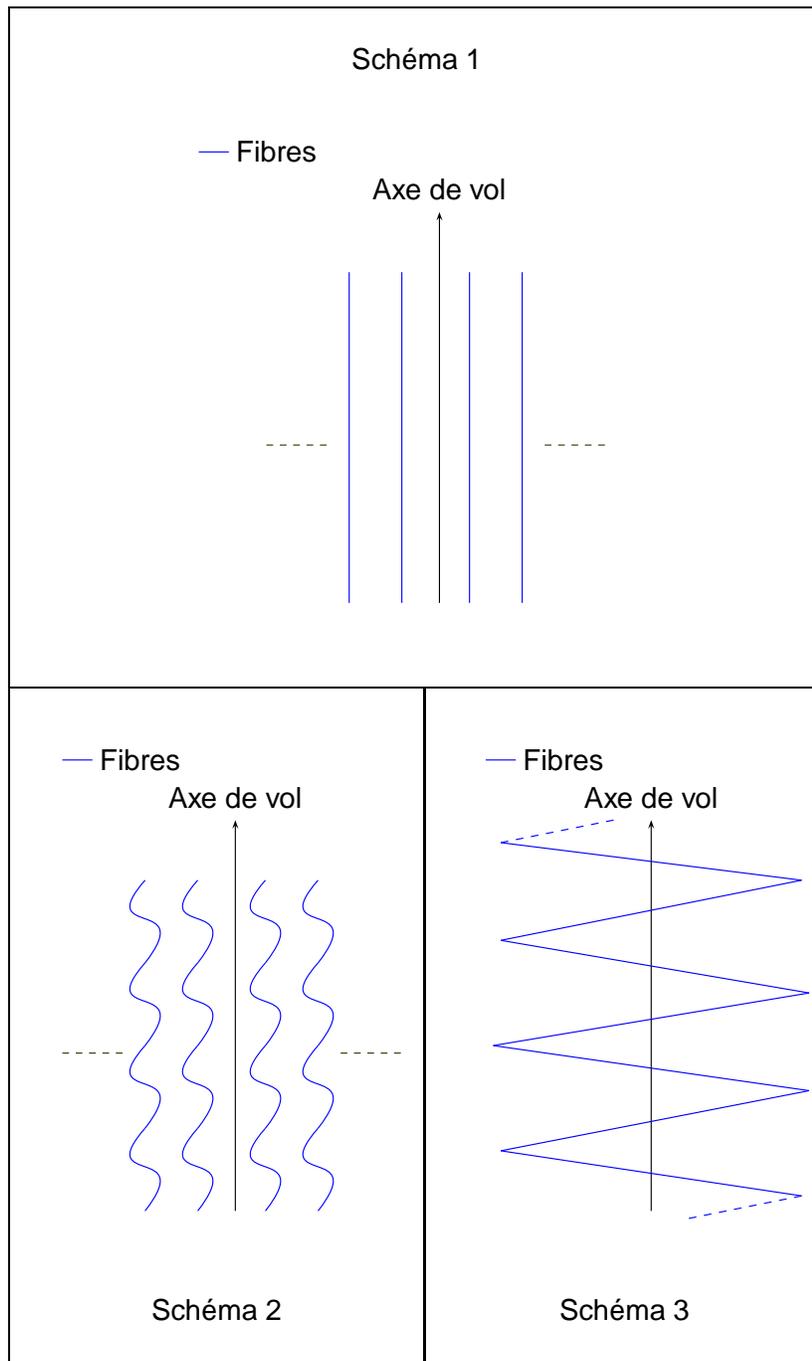
FIG. 1.1 – Croisement de bande

Ensuite on pourrait revoir la méthode d'appariement et notamment la limitation des hypothèses d'appariement par isochrone. En effet, cette méthode n'est pas fiable à 100 %.(voir chapitre 2.2.3 à la page 45)

À moyen terme la chaîne devrait être testée sur des jeux de synthèse plus élaborés, et cela afin de tester la sensibilité de la chaîne aux changements de paramètres d'acquisition comme le roulis ou l'altitude de vol de l'avion. Mais aussi afin d'évaluer sa sensibilité au bruit (GAUSSIEN, ...).

Ensuite, il serait très intéressant de tester la chaîne de traitement sur d'autres géométries d'acquisition comme celles présentées dans le tableau 1.1. Pour ma part, je pense que la chaîne est facilement utilisable sur les géométries du tableau 1.1 (Le schéma 1 représente une caricature de la géométrie utilisée durant le stage). Mais bien d'autres géométries d'acquisition existent et seront donc à tester.

Enfin, à long terme il sera nécessaire de faire l'adéquation entre ce MNE et les besoins des différentes applications. Et en particulier la reconstruction de bâtiments avec ou sans insertion du cadastre.



TAB. 1.1 – Géométrie d'acquisition

Chapitre 2

Conclusion

Cette conclusion se fera en deux temps tout d'abord je porterais une conclusion sur le thème du stage et ensuite je ferai une conclusion plus personnelle.

Tout d'abord il faut noter que les premiers résultats sont plutôt satisfaisants. En effet, les algorithmes produits pour ce stage donnent des résultats. Néanmoins il est dommage qu'une évaluation plus poussée n'est pas été faite. Car il est toujours intéressant de tester les algorithmes sur un maximum de jeux de données.

Mais cette évaluation et l'amélioration de la chaîne sera effectuée par la suite par Grégoire Maillet et David Flamanc dans le cadre de leurs recherches.

De plus, il faut noter que le problème de fusion des polygones primaires avait été sous estimé en début de stage. Cela explique que la dernière étape ne soit pas terminée.

Enfin d'un point de vue plus personnel ce stage a répondu à mes attentes. En effet, il m'a permis de me faire une expérience dans le domaine de l'imagerie 3D. De plus il m'a permis de d'améliorer les compétences que j'ai reçues à l'IUP et notamment dans les domaines de traitement et analyse d'images avec les méthodes d'appariement ou encore en synthèse d'images. Ce stage m'a aussi permis de d'acquérir des compétences le domaines des lasers et leurs applications, mais j'ai aussi pu acquérir de petites compétences dans le domaine de la cartographie.

Bibliographie

- [Bur00] H. Burman. Adjustment of laser scanner data for correction of orientation error. In *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol XXXIII*, pages Part B3. ,pp 125–132, Amsterdam, 2000. 27
- [Fau93] O. Faugeras. Three-dimensional computer vision. In *MIT Press*, Cambridge, 1993. 19
- [HB99] N. Haala and C. Brenner. Extraction of buildings and trees in urban environments. In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 54*, pages 130–137, 1999. 20
- [Maa99] HG. Maas. Fast determination of parametric house models from dense airborne laserscanner data. In *ISPRS Workshop on Mobile Mapping Technology*, 1999. 20
- [OdJ02] M. Roux O. de Joinville, B. Ferrand. Levé laser aéroporté : état de l'art, évaluation, traitement des données et comparaison avec des systèmes imageur. In *bulletin n° 166 de la SFPT*, pages 72–81, 2002. 25, 44
- [VS01] G. Vosselman and I. Suveg. Map based building reconstruction from laser data and images. In Basel : Birkhaeuser Verlag, editor, *Automatic Extraction of Man-Made objects from aerial and space images*, pages 231–239, Ascona, 2001. 20

Liste des tableaux

4.1	Caractéristique d'une acquisition laser aéroporté	26
4.2	Caractéristique d'une acquisition laser aéroporté TopoSys©	28
1.1	Représentation schématique des 4 étapes	35
2.1	Comparatif des résultat de fusion	53
3.1	Caractéristiques de la machine test	59
1.1	Géométrie d'acquisition	67

Table des figures

1.1 Répartition des effectifs sur les différent sites l'IGN	11
1.2 Les Agences Commercial de l'IGN	12
1.1 Modèle 3D Urbains	18
1.2 Reconstruction semi-automatique	19
2.1 Laser aéroporté	21
2.2 Profile laser de la mairie d'Amiens	22
3.1 Laser profiler (à gauche), scan Laser (à droite).	24
4.1 Principe d'acquisition des mesures laser	26
4.2 Trajectographie d'un vol laser	27
4.3 Principe du faisceau de fibres (TopoSys©)	28
4.4 En rouge, la zone de survol laser sur Amiens	29
2.1 Points 3D d'une même fibre.	36
2.2 Principe de la Segmentation.	37
2.3 Vue planimétrique.	39
2.4 Points de départ.	40
2.5 Résultat du passage d'une corde 3D	41
2.6 Projection des points dans le nouveau repère.	41
2.7 Points de départ.	42
2.8 Comparaison des polygones	43
2.9 Représentation isochronique de la scène	45
2.10 Vue 3D des 2 fibres	45
2.11 Cas ou la méthode est mise en échec	46
2.12 Exemples polygone crée entre de sol et le bord du toit.	47
2.13 Angle inter fibre d'un polygone	48
2.14 Résultat de la suppression de façade	48
2.15 Résultat de l'appariement	49
2.16 Représentation d'un polygone inter fibres voisine	50
2.17 Graphes de voisinage de la mairie d'amiens	51
2.18 Petit et Grand Polygones Avant finitions	52
2.19 Petits et grands polygones après les 4 passes de fusion	54
2.20 Vue planimétrique d'entrer	55
2.21 Exemple de groupe de polygone plan	56
2.22 Résultat de la 1 ^{ère} triangulation	57
2.23 Résultat de la 2 ^{ème} triangulation	57

2.24	Évaluation de l'algorithme sur le jeu test.	58
3.1	Résultat de la segmentation	60
3.2	Cercle de rayon 1,8m inclut dans un polygones	60
3.3	Résultat de l'appariement	61
3.4	En rouge les artefacts	61
3.5	Résultat de la fusion	62
3.6	1 ^{er} Résultat de la densification	62
1.1	Croisement de bande	65
2.1	Système de projection conique.	76
2.2	Délimitation des quatre zones Lambert.	77
6.1	Menu général.	84
6.2	Menu fichier.	85
6.3	Menu segment.	86
6.4	Menu plan.	87
6.5	Menu densification.	88
6.6	Menu affichage.	90
6.7	Menu export.	92
7.1	Coupe altimétrique laser en milieu forestier	93
7.2	Application du laser aéroporté pour le suivi des côtes (©TopoSys)	93
7.3	Relevé d'une ligne à haute tension (©TopoSys)	94

Sixième partie

Annexes

Chapitre 1

Le Glossaire

- Appariement de groupe : les groupes auquel je fait référence sont les groupes de points obtenues dans l'étape de segmentation des fibres, 44
- ENSG : Ecole Nationale des Sciences Géographiques, 8
- GPC : General Polygon Clipping pour plus de détail voir : <http://www.cs.man.ac.uk/aig/staff/alan/software/gpc.html>, 56
- IGN : Institut Géographique National, 7
- Librairie Triangle : Librairie de triangulation de Jonathan Shewchuk <http://www.cs.berkeley.edu/~jrs/>, 57
- MNS : Modèle Numérique de Surface décrivant le sol + le sursol(bâtiments, arbres, ...), 17
- MNT : Modèle Numérique de Terrain décrivant le sol seulement, 17
- Photogrammétrie : Science qui regroupe les techniques qui permettent de mesurer la position, la forme et la dimension d'objet à partir d'une ou d'un ensemble d'images prises de différents points de vue., 18
- Planimétrie : système géométrique dans lequel on n'utilise que les coordonnées x et y d'un points (Vue de dessus d'une scène), 38
- Point null : point outlayers, 38
- Polygones primaires : polygones créés lors de l'étape d'appariement inter-fibres voisines., 44
- Stéréoscopie : Procédé qui permet, par vision binoculaire, d'obtenir la sensation du relief d'un paysage observé à partir d'un couple d'images ou de photographies prises de points de vue différents., 18
- Stéréovision : Procédés utilisant le traitement d'images pour reconstruire automatiquement le relief., 19
- TIN : Triangulated Irregular Networks, 17

Chapitre 2

Référentiel

2.1 Les coordonnées géographiques.

Coordonnées angulaires définies par rapport à deux plans de référence : le premier étant le plan défini par l'axe de rotation de la terre et le méridien de référence, le second par le plan de l'équateur. Tout point du globe peut alors être connu par ses coordonnées géographiques : longitude et latitude.

2.2 Les coordonnées cartographiques.

Coordonnées cartésiennes définies par rapport à deux axes de référence positionnés sur une carte. Tout point du globe peut alors être connu par ses coordonnées cartographiques X,Y dans un système de projection et un système de coordonnées donné.

2.3 Le système Lambert.

Système de projection conique direct conforme défini en 1772 par Jean-Henri Lambert (1728-1777). Utilisé en France métropolitaine avec l'ellipsoïde Clarke 1880, comme référence pour tous les grands travaux cartographiques(Figure:2.1).

Le cône est tangent ou sécant à un parallèle que l'on appelle le parallèle origine ou isomètre central (de latitude j) Les méridiens sont représentés par des droites concourantes au pôle. Les parallèles sont représentés par des cercles concentriques au pôle.

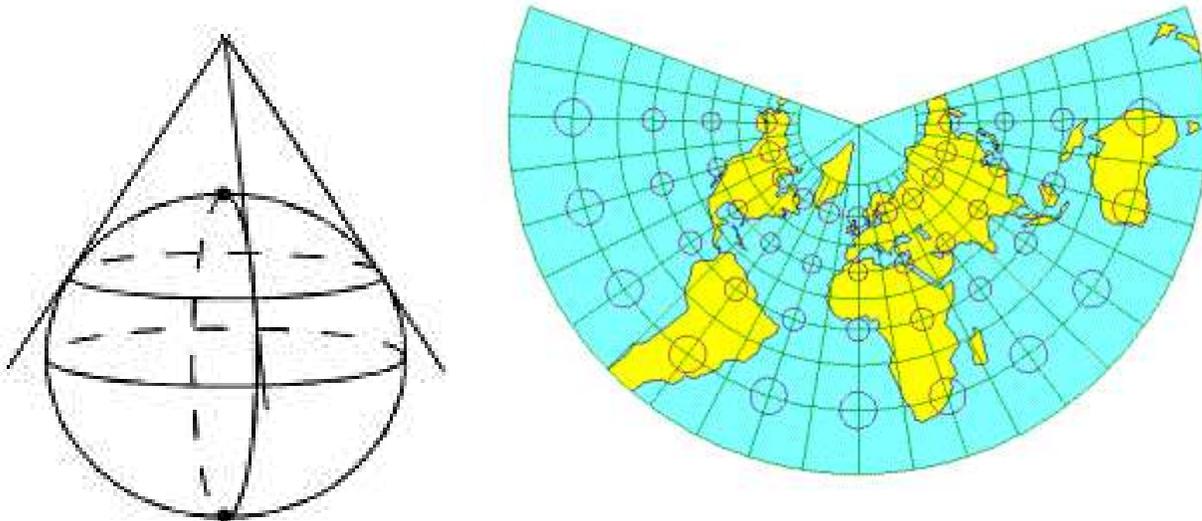


FIG. 2.1 – Système de projection conique.

Les longueurs sont de plus en plus dilatées au fur et à mesure que l'on s'éloigne du parallèle origine. C'est pour cela que la France a été fractionnée en 4 zones (dont la Corse). Ces projections sont associées au système géodésique NTF en France et sont appelées Lambert zone. (Figure: 2.2) En fait, pour atténuer les déformations, on utilise en France des cônes sécants à la sphère en 2 parallèles qui sont à des latitudes équidistantes du parallèle origine.

Il y a 4 cônes sécants à des latitudes différentes (parallèles origines) :

Zone Lambert	I	II	III	IV	II étendu
Zone application	53.5gr 57gr	50.5gr 53.5gr	47gr 50.5gr	Corse	France entière
Latitude origine	55gr 49°30'	52gr 46°48'	49gr 44°06'	46.85gr 42°09'54"	52gr 46°48'
Longitude origine	0gr Paris				
Parallèles automécoïques	48°35'54.682" 50°23'45.282"	45°53'56.108" 47°41'45.652"	43°11'57.449" 44°59'45.938"	41°33'37.396" 42°46'03.588"	45°53'56.108" 47°41'45.652"
X0 : False Easting	600 000 m	600 000 m	600 000 m	234.358 m	600 000 m
Y0 : False Northing	200 000 m	200 000 m	200 000 m	185 861.369 m	2 200 000 m

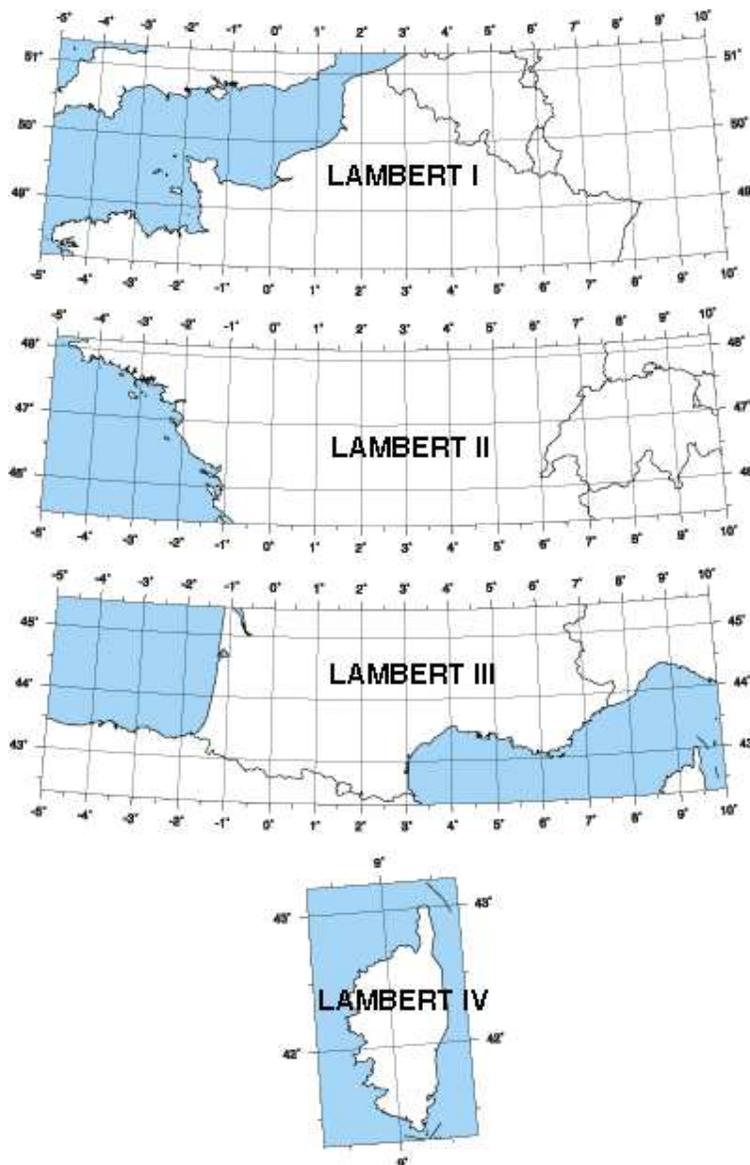


FIG. 2.2 – Délimitation des quatre zones Lambert.

Remarques :

- Pour des besoins de représentation globale et d'homogénéité des coordonnées en France, le Lambert II étendu a été créé : il s'agit de la zone Lambert II dont les limites kilométriques ont été élargie de façon à couvrir tout le territoire.
- Le Lambert 93 : c'est une nouvelle projection qui a été définie pour le nouveau système géodésique RGF93. C'est aujourd'hui la projection rendue légale en France depuis l'arrêté du 26 Décembre 2000.
Dans le cadre de ce stage, l'ensemble des données dont on dispose c'est à dire les images aériennes, les MNE , les MNT et le cadastre, peuvent se retrouver dans trois types très différents de coordonnées.
- Coordonnée de type MAP (POINTS CARTO) Coordonnées cartographiques dans le système de projection de Lambert.

- Coordonnée de type GROUND (POINTS TERRAIN) Coordonnées dans un repère euclidien local.
- Coordonnée de type PHOTO (POINTS IMAGES) Coordonnées images classiques.

Chapitre 3

WxWindows

3.1 Qu'est ce que le wxWindows ?

- Le wxWindows est un Framework ; c'est-à-dire qu'il est composé de deux choses :
- un ensemble de bibliothèques (une par GUI) qui permet d'écrire des applications facilement portables (linux, mac ...)
 - et un C++ API qui s'adapte à différents langages.

API= (Application Programming Interface) Interface de programmation de l'application
C++= le langage utilisé pour coder GUI= (Graphic User Interface) Interface graphique d'utilisateur il peut y avoir plusieurs GUI pour un seul système d'exploitation.

WxWindows n'est pas un logiciel de conversion, il permet à des applications d'être compilées et de fonctionner sur différents systèmes d'exploitation seulement avec des changements mineurs et un minimum d'efforts de programmation, car il utilise l'API native du GUI.

3.2 Origine

Tout commence en 1992, à Edinburgh, à l'Artificial Intelligence Applications Institute =AIAI .Julian SMART voulait réaliser un programme nécessitant de fonctionner aussi bien sous Windows que sous X-based Unix. Les outils de portages du commerce étaient beaucoup trop chers, alors il en fit un lui-même ! Peu à peu, wxWindows connu plusieurs améliorations et un succès grandissant, avec de plus en plus d'utilisateurs qui le trouvaient plus efficace que les outils de portage du commerce. En 1997, après une période de stagnation, Julian SMART et Markus HOLZEM repensèrent wxwindows avec un API qui soit assez flexible pour à peu près toutes les interfaces avec plus d'éléments graphiques et une meilleure utilisation du C++ Depuis wxWindows n'a pas cessé de s'améliorer grâce aux apports de chacun.

Pour plus de détail voir <http://www.wxwindows.org>

Chapitre 4

Exemple de fichier laser ASCII

Seules les 1^{ère} lignes d'un fichier ASCII figures ici. En effet, ces fichiers font plusieurs centaines de MégaOctets il n'est pas intéressant de montrer l'ensemble du fichier (beaucoup trop de pages).

Y X Z

Début du fichier ligne suivante...

244977.11	598868.21	45.83
244979.03	598868.08	45.85
244980.96	598867.94	46.05
244982.76	598867.82	45.08
244984.78	598867.66	46.05
244986.68	598867.53	45.95
244990.72	598867.23	47.98
244992.44	598867.12	46.39
244994.35	598866.98	46.42
244996.28	598866.84	46.64
244998.17	598866.71	46.53
245000.07	598866.57	46.55
245001.98	598866.43	46.61
245003.87	598866.30	46.54
245005.92	598866.14	48.12
245007.90	598865.99	49.03
245009.59	598865.89	46.87
245013.59	598865.59	49.14
245015.41	598865.46	48.42
245017.19	598865.34	47.05
245019.09	598865.21	47.16
245020.99	598865.07	47.26
245023.02	598864.91	49.09

Suite page suivante...

245024.92	598864.78	49.17
245026.75	598864.65	48.45
245028.55	598864.53	47.29
245030.44	598864.40	47.32
245032.33	598864.26	47.35
245034.21	598864.13	47.24
245036.23	598863.97	49.24
245038.11	598863.84	49.23
245039.98	598863.70	48.97
245041.88	598863.57	49.26
245043.87	598863.41	51.33
245045.85	598863.26	53.18
245049.65	598862.98	54.25
245051.51	598862.84	54.12
245053.33	598862.72	53.13
245055.16	598862.60	52.05
245056.84	598862.51	47.54
245058.69	598862.38	46.76
245060.57	598862.25	46.69
245062.46	598862.12	46.72
245064.34	598861.98	46.76
245066.26	598861.84	47.95
245068.12	598861.71	47.44
245070.02	598861.57	47.91
245071.95	598861.42	49.85
245073.83	598861.28	50.27
245075.71	598861.14	50.56
245077.59	598861.01	50.91
245079.46	598860.87	50.81
245081.34	598860.74	51.06
245083.21	598860.60	50.93
245085.07	598860.47	50.39
245086.94	598860.35	49.18
245088.79	598860.24	46.68
245090.68	598860.09	48.00
245092.56	598859.96	47.99
245094.43	598859.83	46.61

Chapitre 5

Petits outils développés

5.1 Outils créés pour faciliter le développement

J'ai réaliser plusieurs outils et classes sur lesquels mon stage se base. Ci dessous la liste des petits outils que j'ai réalisés au début du stage.

- la structure de scène Laser
- outils de lecture de fichier de données
- outil de conversion du référentiel MAP vers le référentiel GROUND
- système de sauvegarde des scènes laser

5.1.1 la structure de scène Laser

Pour ce stage nous travaillons sur des données laser. Pour faciliter la manipulation de ces données j'ai mis en place une structure de donnée basée sur deux classes :

- la classe "fibre" : qui est un ensemble de point 3D appartenant la même fibre.
- la classe "scenelaser" : qui est un ensemble de fibres (pour ce stage c'est un ensemble de 127 fibres).

5.2 outils de lecture de fichier de données

J'ai réaliser 2 outils de lecture. Ces 2 outils de lecture lisent le fichier de donnée et remplisse les structure de données (voir 5.1.1) Le premier permet de lire un fichier sur un nombre de pas d'acquisition définie. L'utilisateur entre le nombre de mètre a afficher(nous savons que 20cm sépare 2 points d'une même fibres). Le deuxièmes outils permet de faire un crop sur une zone dont on rentre les coordonnées planimétriques. En sortie de cette fonction nous avons un ensemble de "scenelaser".

5.2.1 outil de conversion de format

Cette outil permet de passer du MAP, qui est un repère euclidien et général à une large zone(3 zones sont définies pour la France cf Annexe 2), vers le repère GROUND, qui est un repère euclidien définie localement pour un chantier donnée. Ce passage nous permets d'utiliser la géométrie euclidienne sans induire d'erreurs. De plus, il nous permet de réduire la valeur des coordonnées utilisées et ainsi nous donne une plus forte stabilité numérique.

5.2.2 système de sauvegarde des scènes laser

Enfin, j'ai mis au point un système de sauvegarde des données afin de ne pas avoir à refaire toute la chaîne de traitement à chaque fois que l'on teste un algorithme. En effet, ce système me fut très utile puisque plusieurs traitements s'avèrent très longs. Par exemple le crop (chargement des données sur une zone précise) prend plusieurs minutes car la recherche se fait sur des fichiers de grande taille. Donc la mise en place de méthodes qui permettent la sauvegarde et l'ouverture de "scenelaser" est très importante. Il faut noter que ce système a évolué tout au long du stage afin de pouvoir sauvegarder et charger l'ensemble des données contenues dans une scène.

Chapitre 6

Le soft développé

Ici nous allons vous présenter les différentes possibilités offertes par le soft développé pour faciliter la validation de la chaîne.

6.1 Menu général

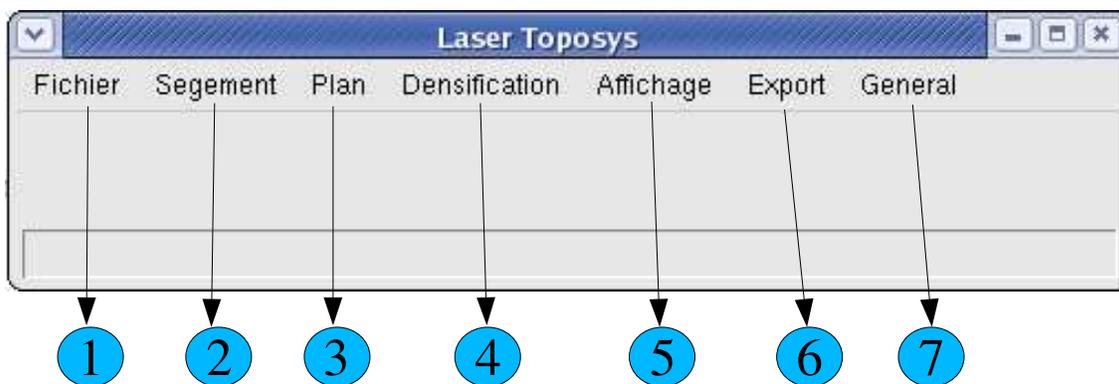


FIG. 6.1 – Menu général.

1. **Menu fichier** : Permet le chargement et la sauvegarde des données sous différents formats propriétaires. Mais aussi ce menu permet la manipulation du référentiel des données. Enfin il permet de lancer une partie ou la totalité de la chaîne.
2. **Menu segment** : Permet de lancer les opérations de segmentation.
3. **Menu plan** : Permet de lancer les opérations d'appariement et de fusion.
4. **Menu densification** : Permet de lancer les opérations de densification.
5. **Menu affichage** : Permet de lancer la création de fichier wx3d pour la visualtion des resultats.
6. **Menu export** : Permet l'export et l'import des données sous des formats autres.

6.2 Menu fichier

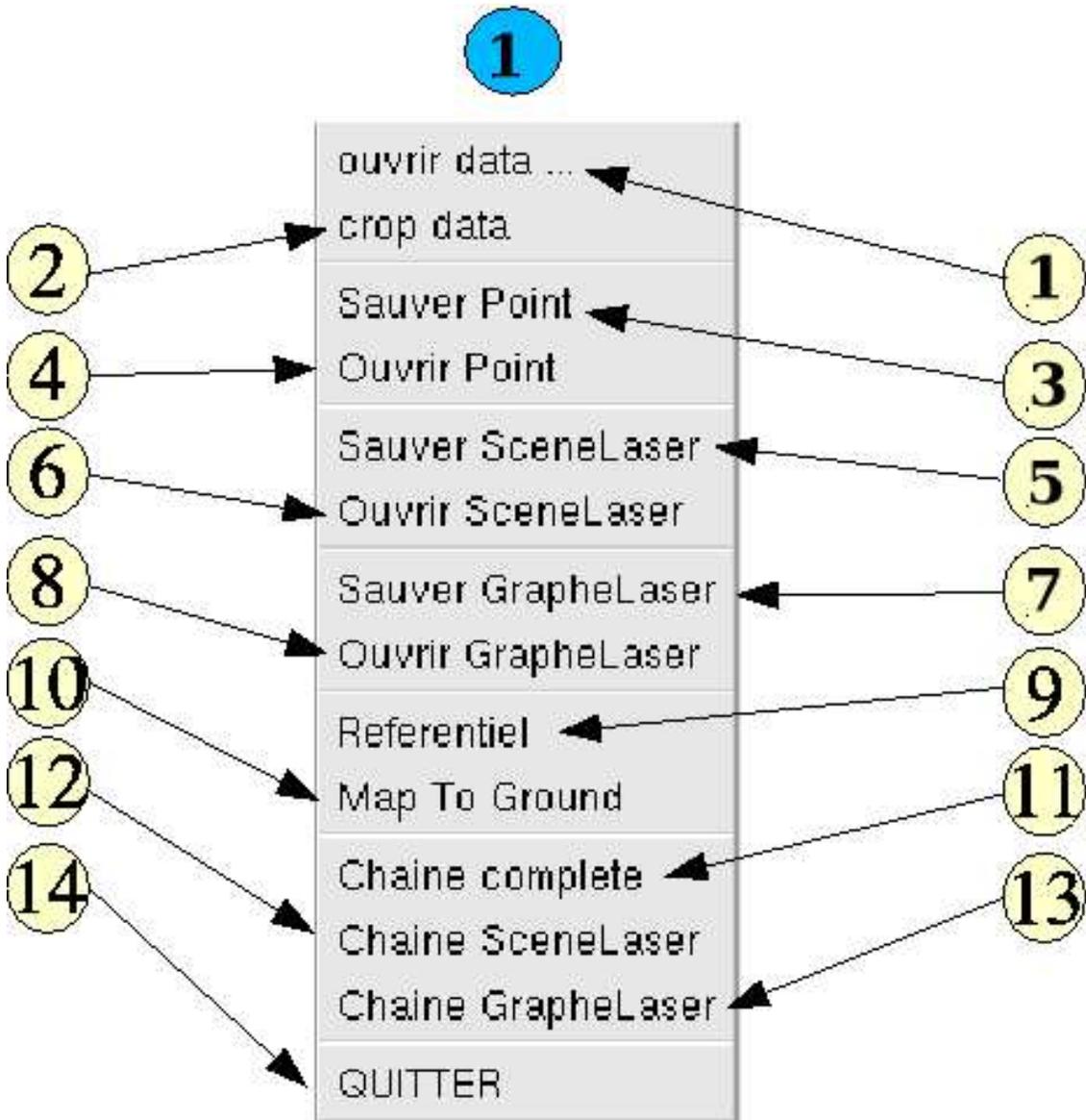


FIG. 6.2 – Menu fichier.

1. **Ouvrir data ...** : Permet le chargement d'un fichier de donnée laser sur n points. c'est à dire que l'on charge les n premiers points du fichier. (n exprimé en mètres avec 20 cm entre 2 points)
2. **Crop** : Permet de faire un crop sur une zone planimétrique donné. cette méthode founie en sortie des fichier de points. (1 par croisement de zones dans le fichier de donnée)
3. **Sauver Point** : Permet de sauver les points laser.(1 fichier par fibre est créé)
4. **Ouvrir Point** : Permet de charger les fichiers de points laser.

5. **Sauver SceneLaser** : Permet de sauver dans un fichier(*.sli) tous les éléments d'une "scenelaser".(points, groupe de points, polygones primaires, ...)
6. **Ouvrir SceneLaser** : Permet l'ouverture d'un fichier(*.sli) et effectue le chargement d'une "scenelaser".
7. **Sauver GrapheLaser** : Permet sauver dans un fichier(*.gli) tous les éléments d'un "graphelaser".(scenelaser, voisinage, ...)
8. **Ouvrir GrapheLaser** : Permet l'ouverture d'un fichier(*.gli) et effectue le chargement d'un "graphelaser".
9. **Referentiel** : Donne le référentiel utilisé par les données en mémoire.
10. **Map to Ground** : Permet de convertir les données de type MAP en type GROUND.
11. **Chaîne complete** : Permet le lancement de l'ensemble de la chaîne de traitement.

6.3 Menu segment

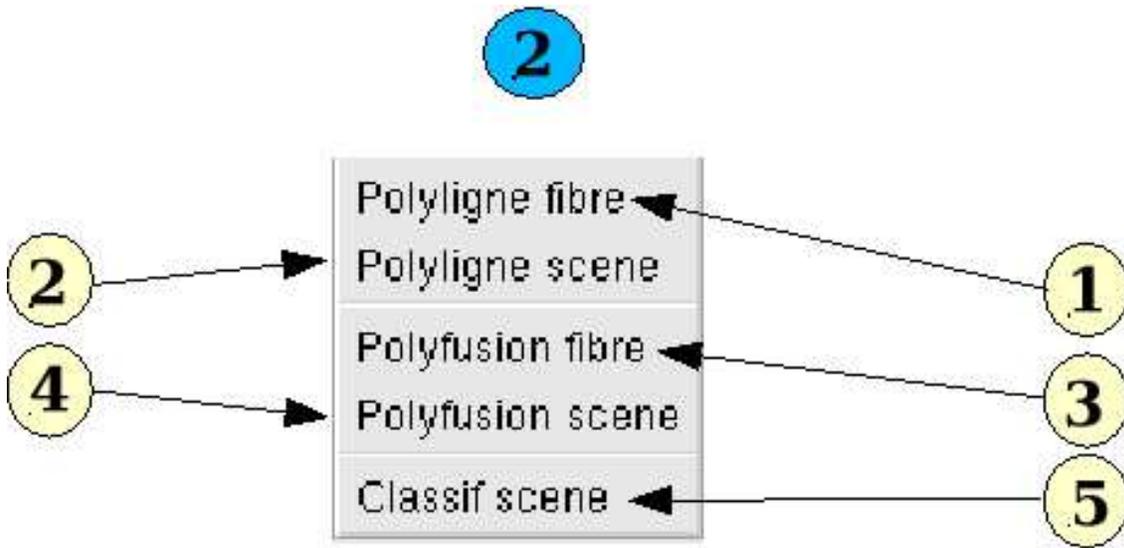


FIG. 6.3 – Menu segment.

1. **Polyligne fibre** : Permet le lancement de l'algorithme de polyligne à la corde sur une fibre n et avec un seuil choisi par l'utilisateur.
2. **Polyligne scene** : Permet le lancement de l'algorithme de polyligne à la corde sur toute la scène avec un seuil choisi par l'utilisateur.
3. **Polyfusion fibre** : Permet le lancement de l'algorithme de polyligne par régression sur une fibre n et avec un seuil choisi par l'utilisateur.
4. **Polyfusion scene** : Permet le lancement de l'algorithme de polyligne par régression sur toute la scène avec un seuil choisi par l'utilisateur.
5. **Classif scene** : Permet le lancement de l'algorithme qui classe les groupes de points dans trois groupes(toît, facade, sol). Cette fonction n'est pas utilisé dans la scène.

6.4 Menu plan

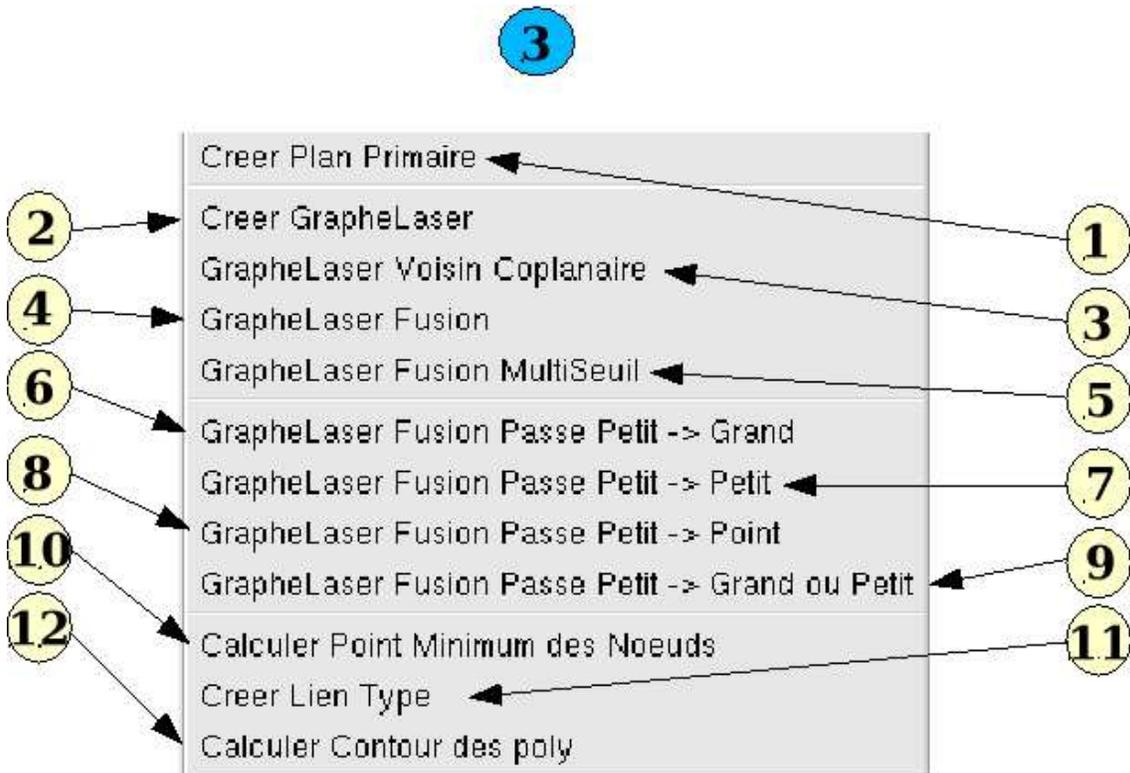


FIG. 6.4 – Menu plan.

1. **Creer Plan Primaire** Permet le lancement de l'algorithme qui crée les polygones primaires par appariement.
2. **Creer GrapheLaser** Permet de créer le graphe correspondant à la scène laser en mémoire.
3. **GrapheLaser Voisin Coplanaire** Permet le lancement de l'algorithme qui calcule le coût de fusion entre deux voisins. Et en même temps on crée la queue de priorité.
4. **GrapheLaser Fusion** Permet le lancement de l'algorithme de fusion des polygones primaires jusqu'au seuil choisi par l'utilisateur.
5. **GrapheLaser Fusion MultiSeui** Permet le lancement de l'algorithme de fusion des polygones primaires sur intervalle de seuil choisi par l'utilisateur.(Une sauvegarde est effectuée tous les pas sur l'intervalle choisi)
6. **GrapheLaser Fusion Passe Petit -> Grand** Permet le lancement de la passe de fusion petit vers grand.
7. **GrapheLaser Fusion Passe Petit -> Petit** Permet le lancement de la passe de fusion petit vers petit.

8. **GrapheLaser Fusion Passe Petit -> Point** Permet le lancement de la passe de fusion petit avec les points communs de ces voisins. Cette passe n'est pas utilisée dans la chaîne car ces résultats ne sont pas satisfaisants.
9. **GrapheLaser Fusion Passe Petit -> Grand ou Petit** Permet le lancement de la passe de fusion petit vers Grand ou Petit.
10. **Calculer Point Minimum des Noeuds** Permet le lancement d'un algorithme qui réduit le nombre de points de chaque groupe de polygones primaires. (N'est pas utilisé dans la chaîne)
11. **Creer Lien Type** Permet le lancement d'un algorithme qui définit pour chaque lien de voisinage si ce lien est une continuité ou une discontinuité.
12. **Calculer Contour des poly** Permet le lancement de l'algorithme qui effectue l'extraction du contour des groupes de polygones primaires

6.5 Menu densification

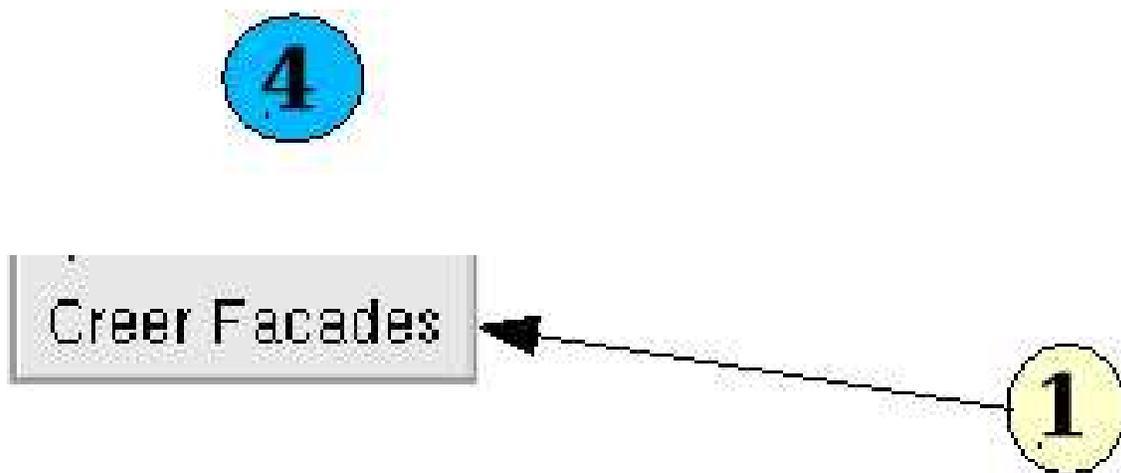


FIG. 6.5 – Menu densification.

1. **Dense** Permet le lancement de l'algorithme de descente des façades.

6.6 Menu affichage



FIG. 6.6 – Menu affichage.

1. **Creer wx3d pour une Fibre points** Permet de créer un fichier wx3d représentant les points de la fibre n.
2. **Creer wx3d monochrome points** Permet de créer un fichier wx3d représentant les points de la scène avec une seule couleur.
3. **Creer wx3d couleur points** Permet de créer un fichier wx3d représentant les points de la scène avec un couleur par fibre de la scène.
4. **Creer wx3d pour une Fibre segments** Permet de créer un fichier wx3d représentant les segments de la fibre n ;
5. **Creer wx3d couleur segments** Permet de créer un fichier wx3d représentant les segments de la scène avec une couleur par fibre de la scène.
6. **Creer wx3d monochrome segments** Permet de créer un fichier wx3d représentant les segments de la scène avec une seule couleur.
7. **Creer wx3d vue isochronique** Permet de créer un fichier wx3d représentant les segments de la scène en vue isochronique.
8. **Creer wx3d vue isochronique 2 fibres** Permet de créer un fichier wx3d représentant les segments de deux fibres voisines en vue isochronique.
9. **Creer wx3d Polygones Primaire plus Fibre** Permet de créer un fichier wx3d représentant les points, les segments et les polygones primaires de la scène.
10. **Creer wx3d Polygones Primaire** Permet de créer un fichier wx3d représentant les polygones primaires de la scène.
11. **Creer wx3d Polygones Primaire 2 fibre** Permet de créer un fichier wx3d représentant les points, les segments et les polygones primaires entre deux fibres voisines.
12. **Creer wx3d GrapheLaser** Permet de créer un fichier wx3d représentant le graphe associé à la scène.
13. **Creer wx3d Facette associer** Permet de créer un fichier wx3d représentant le resultat de la fusion (une facette par groupe de polygone) sur la scène.
14. **Creer wx3d Facette associer + GrapheLaser** Permet de créer un fichier wx3d représentant le resultat de la fusion (une facette par groupe de polygone) sur la scène, plus le graphe associé.
15. **Creer wx3d groupe de poly + GrapheLaser** Permet de créer un fichier wx3d représentant le resultat de la fusion ou tous les polygones primaires sont affichés en projection sur le plan de leur groupes, plus le graphe associé.
16. **Creer wx3d des Grand poly seul** Permet de créer un fichier wx3d représentant que les grands groupes de polygones primaires.
17. **Creer wx3d des Grand et petit poly** Permet de créer un fichier wx3d représentant que les grands groupes de polygones primaires d'une couleur et les petits d'une autre.
18. **Creer wx3d des petit** Permet de créer un fichier wx3d représentant le petit groupes de polygones primaires n et ces voisins.
19. **Creer wx3d Poly plus Voisin** Permet de créer un fichier wx3d représentant du groupes de polygones primaires n et ces voisins.

20. **Créer wx3d Facette + graphe DC** Permet de créer un fichier wx3d représentant le resultat de la fusion (une facette par groupe de polygone) sur la scène, plus un graphe qui représente la continuité ou la discontinuité entre voisins.
21. **Créer wx3d Arete du plus grand** Permet de créer un fichier wx3d représentant le contour du plus grand groupe de polygones primaires.
22. **Créer wx3d Arete Num** Permet de créer un fichier wx3d représentant le contour du groupe de polygones primaires n.
23. **Créer wx3d Arete de la scene** Permet de créer un fichier wx3d représentant le contour de tous les groupes de polygones primaires de la scène.
24. **Créer wx3d DENSE** Permet de créer un fichier wx3d représentant le resultat de la densification.

6.7 Menu export

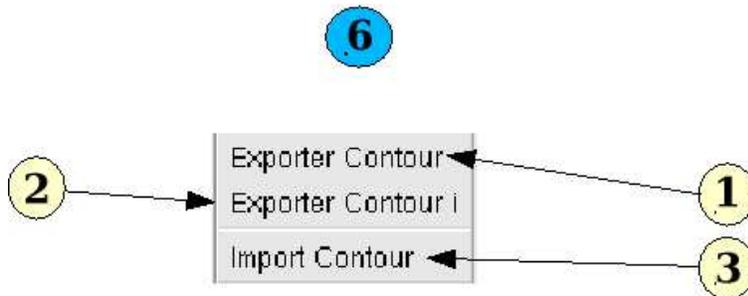


FIG. 6.7 – Menu export.

Ce soft ne contient que des algorithmes évalués et ce menu permet de faire des exports et des imports de données, pour le développement des modules.

C'est pourquoi ce menu évolue beaucoup en fonction des besoins du moment, donc nous ne présenterons pas en détail ce menu.

Chapitre 7

Quelques applications des Modèles 3D

- **le milieu forestier** avec la réalisation de cartographie 3D des forêts impossible à réaliser avec images aériennes.



FIG. 7.1 – Coupe altimétrique laser en milieu forestier

- **Surveillance de risques naturels et suivi de côtes** peut se faire avec des lasers dédiés à la bathymétrie ayant un pouvoir de pénétration important dans l'eau très claire (jusqu'à 50m).

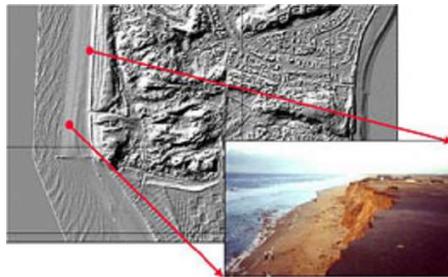


FIG. 7.2 – Application du laser aéroporté pour le suivi des côtes (©TopoSys)

- **Relevé de corridor** permet de visualiser une zone de faible largeur et ainsi connaître les obstacles présents le long d'une ligne à haute tension.

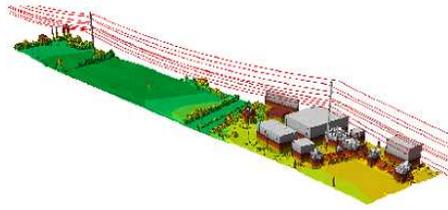


FIG. 7.3 – Relevé d'une ligne à haute tension (©TopoSys)