



b com

Élève-ingénieur :

Tugdual Le Pen

Imagerie Numérique

3^{ème} année du cursus ingénieur

b<>com

ZAC des Champs Blancs

1219 avenue Champs Blancs

35510 Cesson-Sévigné

02 56 35 88 00

Tuteur universitaire :

Pierre Maurel

Enseignant Chercheur

Tuteur d'entreprise :

Duong Nam Duong

Ingénieur b<>com

RECONSTRUCTION DENSE D'UN MODÈLE 3D À PARTIE D'IMAGES RGB

% Work in progress

Année universitaire 2020 - 2021



<Résumé>

Pour valider ma 5ème et dernière année de mon cycle ingénieur en Technologie de l'Information avec spécialité Imagerie Numérique, j'ai effectué un stage d'une durée de six mois dans l'Institut de Recherche b<>com. C'est un institut qui fournit son expertise et ses technologies en numérique aux entreprises de différents secteurs (santé, défense, industrie 4.0, etc.).

J'ai rejoint plus précisément l'équipe IMT (Technologies Immersives et Médicales) qui est spécialisée dans la réalité virtuelle/augmentée pour le domaine de la santé et de l'industrie 4.0. L'un des projets de cette équipe est le framework SolAR, un support rempli d'outils utiles pour développer des applications en réalité virtuelle ou augmentée.

Mon objectif est d'intégrer un programme capable de créer un environnement 3D à partir d'un lot d'image en couleur au sein du framework SolAR.

% Partie en anglais

Pour valider ma 5ème et dernière année de mon cycle ingénieur en Technologie de l'Information avec spécialité Imagerie Numérique, j'ai effectué un stage d'une durée de six mois dans l'Institut de Recherche b<>com. C'est un institut qui fournit son expertise et ses technologies aux entreprises de différents secteurs (santé, défense, industrie 4.0, etc.).

J'ai rejoint plus précisément l'équipe IMT (Technologies Immersives et Médicales) qui est spécialisée dans la réalité virtuelle/augmentée pour le domaine de la santé et de l'industrie 4.0. L'un des projets de cette équipe est le framework SolAR, un support rempli d'outils utiles pour développer des applications en réalité virtuelle ou augmentée.

Mon objectif est d'intégrer un programme capable de créer un environnement 3D à partir d'un lot d'image en couleur au sein du framework SolAR.

<Sommaire>

Résumé	2
I Introduction	4
II Présentation de b<>com	5
III Contexte	7
III.1 Photogrammétrie	7
III.1.1 Reconstruction sparse	7
III.1.2 Reconstruction dense	7
III.2 Framework SolAR	7
IV Etat de l'art	9
IV.1 Préparatifs	9
IV.2 Présentation des logiciels	10
IV.3 Choix final	11
V Prototypage et intégration de Colmap	12
V.1 Présentation de colmap	12
V.2 Intégration	13
VI Transition entre Colmap et SolAR	14
VI.1 Données en entrée et sortie	14
VI.2 Transition entre Colmap et SolAR	14
VI.3 Résultats	14
VII Conclusion	16
Annexes	18

I. <Introduction>

Rapide contexte env3D et réalité virtuelle

Intro photogrammétrie

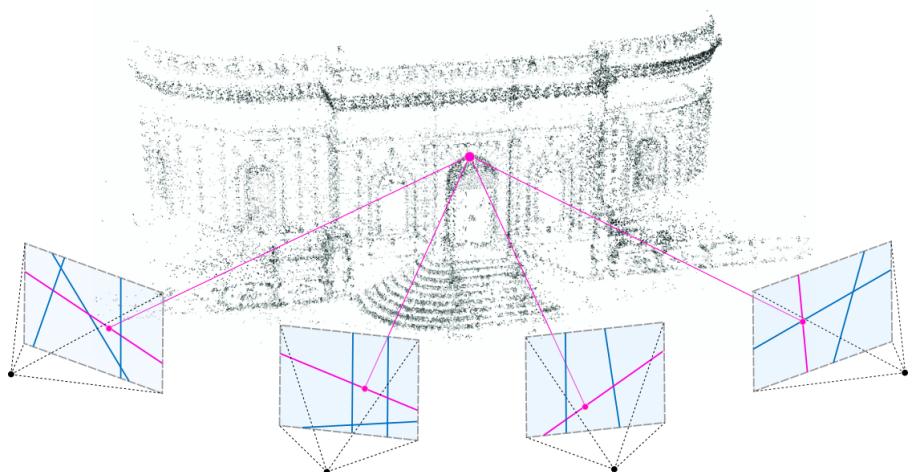


Image I.1 – Principe de reconstruction 3D à partir de différents points de vue

rapide intro entreprise et équipe IMT

Explication sujet de stage

Explication trouver le stage et motivation pour le stage

II. <Présentation de b<>com>

Depuis sa création en 2012, l’Institut de Recherche Technologie b<>com a pour but de ressourcer les talents et expertises afin d’être un fournisseur de technologies pour les entreprises souhaitant accélérer leur compétitivité grâce au numérique. b<>com est basé sur un modèle de co-investissement unique qui génère technologies, connaissances et savoir-faire.



Image II.1 – Site b<>com de Rennes

Les technologies développées dans cet institut sont conçues pour les infrastructures numériques, les industries culturelles et créatives, la santé, la défense, la sécurité et l’industrie 4.0. L’institut représente des grands groupes industriels (Orange, Harmonic, Nokia, Mitsubishi Electric, Airbus), des organismes de santé (CHU de Rennes, CHU de Brest), des partenaires académiques (INRIA, INSA, INSERM, Université Rennes 1, institut Mines Télécom Atlantique) et un ensemble de PME bretonnes.

b<>com s’implique dans des projets à échelle européenne comme le [5G tour](#) ou [ARTwin](#), mais aussi dans des organes de standardisation mondiaux et alliances professionnelles (voir image II.2).

Les becomiens (employés de b<>com) évoluent sur le campus principal de Rennes, où j’ai effectué mon stage de 6 mois, et les sites de Paris, Brest et Lannion. L’entreprise regroupe en 2021 plus de 300 collaborateurs.

II. Présentation de b<>com



Image II.2 – Organes de standardisation et alliances

L'institut est divisé en plusieurs laboratoires qui ont chacun leur propre spécialité et leurs propres technologies. Il y en a six au total :

- Le laboratoire **Technologies Immersives et Médicales** (IMT)
- Le laboratoire **Confiance et Sécurité** (TS)
- Le laboratoire **Nouveaux Contenus Média** (AMC)
- Le laboratoire **Technologies Facteurs Humains** (HFT)
- Le laboratoire **Connectivité Avancée** (AC)
- Le laboratoire **Intelligence Artificielle** (AI)

C'est dans le laboratoire IMT que s'est déroulé mon stage. Ce laboratoire est spécialisé dans la vision par ordinateur, l'estimation de pose et la visualisation 3D. Il travaille sur des projets qui reposent principalement sur la réalité virtuelle ou augmentée pour le domaine de la santé et de l'industrie 4.0. C'est au sein de ce laboratoire que j'ai intégré l'équipe qui travaille sur le projet SolAR.

III. <Contexte>

Environnements 3D et réalité virtuelle + Application de reconstruction 3D pour XR (ex : conservation des merveilles)

III.1. {Photogrammétrie}

Définition (rappeler que l'on utilise seulement les images RGB pour présenter slam et sfm)

III.1.1. [Reconstruction sparse]

Structure from Motion (SFM)

Simultaneus Localisation and Mapping (SLAM)

III.1.2. [Reconstruction dense]

Multi-View Stereo (MVS)

III.2. {Framework SolAR}

Introduction et définition du framework



Image III.1 – Logo de SolAR

Explication du fonctionnement de SolAR

Présentation de l'équipe autour de SolAR

Pourquoi le besoin d'ajouter SFM et MVS

IV. <Etat de l'art>

La première étape de mon stage consiste à créer un module de reconstruction 3D dans le framework SolAR. Ce module est très complexe et demanderait énormément de travail et de temps pour pouvoir être créé à partir de zéro. On va donc chercher un logiciel sous licence libre afin de pouvoir l'utiliser et/ou le modifier si besoin. Afin de trouver le logiciel le plus adapté à notre utilisation, on va faire un état de l'art de différents logiciels de reconstruction 3D.

IV.1. {Préparatifs}

Afin de pouvoir tester les différents programmes de l'état de l'art, il nous faut des datasets d'images. J'en ai sélectionné deux avec des caractéristiques différentes : *Dinosaur* et *Museum* (voir image IV.1).



Image IV.1 – Extrait du dataset Dinosaur (a) et du dataset Museum (b)

Le premier, une statuette de dinosaure, est composé de 53 images avec une résolution de 4912 x 3264. Celui-ci est assez léger en terme de nombre d'image et est qualifié de *outside-in*, c'est-à-dire que les photos sont prises en tournant autour de l'objet. L'avantage d'avoir un petit dataset c'est d'obtenir des résultats plus rapidement car il y a moins de données à traiter.

Le deuxième dataset, dont les photos représentent le hall d'un musée, contient 301 photos en 1920 x 1080. Celui-ci plus conséquent que le premier est *outside-in* ce qui signifie qu'on est à l'intérieur de l'objet que l'on veut modéliser et que l'on prend les photos du centre vers l'extérieur. Ce critère se rapproche plus de l'objectif de SolAR qui souhaite principalement numériser des bâtiments.

On utilisera principalement le dataset Dinosaur pour gagner du temps car les logiciels sont assez chronophages. Ensuite après sélection des meilleurs logiciels on pourra utiliser le dataset Museum pour approfondir les résultats.

Pour définir quel sera le logiciel de reconstruction 3D le plus adapté à SolAR on va regarder certains critères. En premier la licence des logiciels pour pouvoir avoir un maximum de liberté sur l'usage de celui-ci. Ensuite étant donné que SolAR est codé en C++, on cherche un logiciel principalement écrit dans le même langage de programmation. Enfin l'efficacité du logiciel est aussi un des critères recherchés durant cet état de l'art. Ici l'efficacité comprend la qualité du modèle 3D obtenu et la vitesse d'exécution.

IV.2. {Présentation des logiciels}

Présentation des différents softwares

- OpenSfM
- VisualSfM
- OpenMVG + OpenMVS
- Alicevision Meshroom
- Regard3D
- Colmap

Affichage des résultats (scène 3D : annexe 1)

Framework	Licence	Qualité du résultat	Temps de calcul	Langage
OpenSfM	MPL2	Mauvais	8min	Python, C++, JavaScript
VisualSfM	???	Mauvais	23min	???
OpenMVG + OpenMVS	MPL2 & AGPL	Excellent	77min	C++ & C++
AliceVision Meshroom	MPL2	Excellent	55min	C++
Regard3D	MIT	Excellent	33min	C++
Colmap	BSD	Excellent	60min	C++

Image IV.2 – Résultats du benchmark

IV.3. {Choix final}

Explication du choix final

Transition vers la partie suivante

V. <Prototypage et intégration de Colmap>

Introduction (travail d'analyse de colmap pour pouvoir l'intégrer)

V.1. {Présentation de colmap}

Explication pipeline colmap (SFM + MVS + meshing)

% Ajouter schéma plus au niveau de colmap avant de rentrer dans le détails

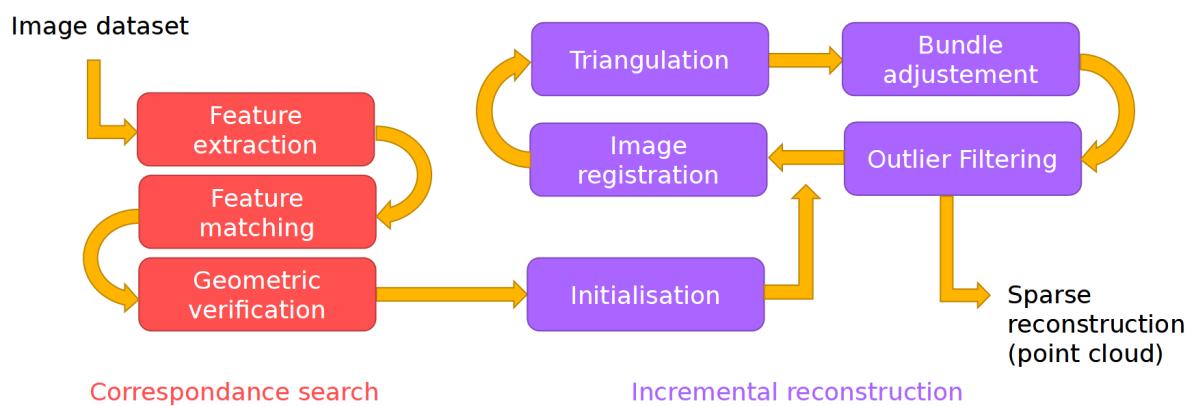


Image V.1 – Pipeline du SFM

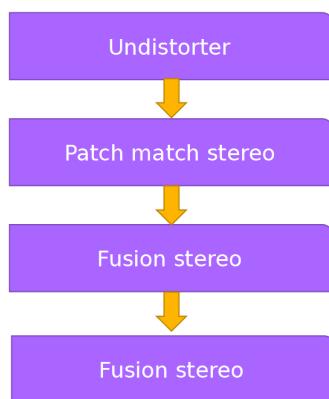


Image V.2 – Pipeline du MVS

Explication multi threading / CUDA (permet d'accélérer le processus, introduit maintenant pour pouvoir en parler par la suite dans la partie intégration)

V.2. {Intégration}

Intégration (transition build cmake vs conan, pas de possibilité d'utiliser CUDA, problèmes avec les nombreuses librairies, ...)

Transition prochaine partie (partie analyse de colmap pour comprendre les entrées et sorties)

VI. <Transition entre Colmap et SolAR>

Introduction (Objectif du helper)

VI.1. {Données en entrée et sortie}

Présentation fichiers entrées sortie de Colmap (Images d'entrée, database.db et fichiers de sortie avec infos globales de chaque fichier)

Présentation API SolAR et classes d'entrée et de sortie (datastructure map, point cloud, keyframe collection et Image)

VI.2. {Transition entre Colmap et SolAR}

Présentation des différentes fonctions du helper (entrées/sorties et fonctionnalités)

VI.3. {Résultats}

Résultats de colmap sur SolAR (Plus de résultats annexe 2 et 3)

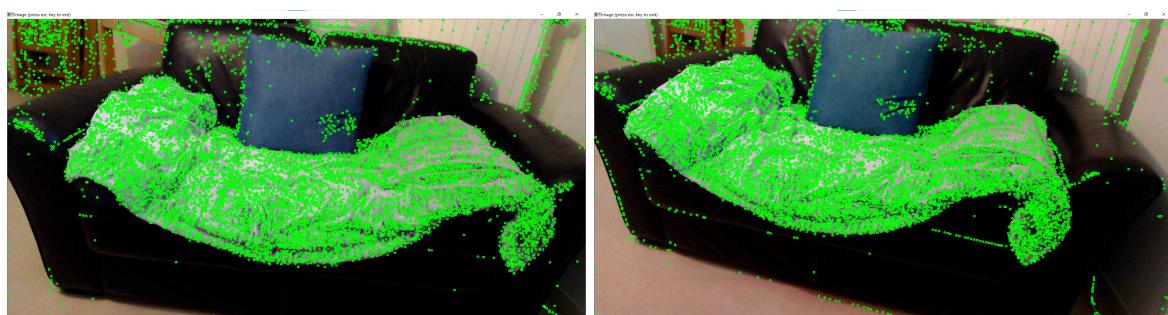


Image VI.1 – Résultats des tests de keyframes avec deux points de vue

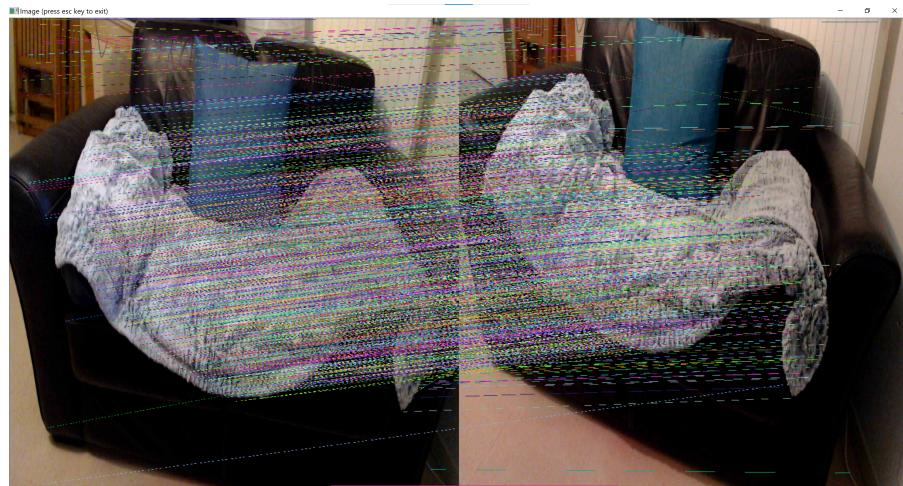


Image VI.2 – Résultats des tests de descriptors

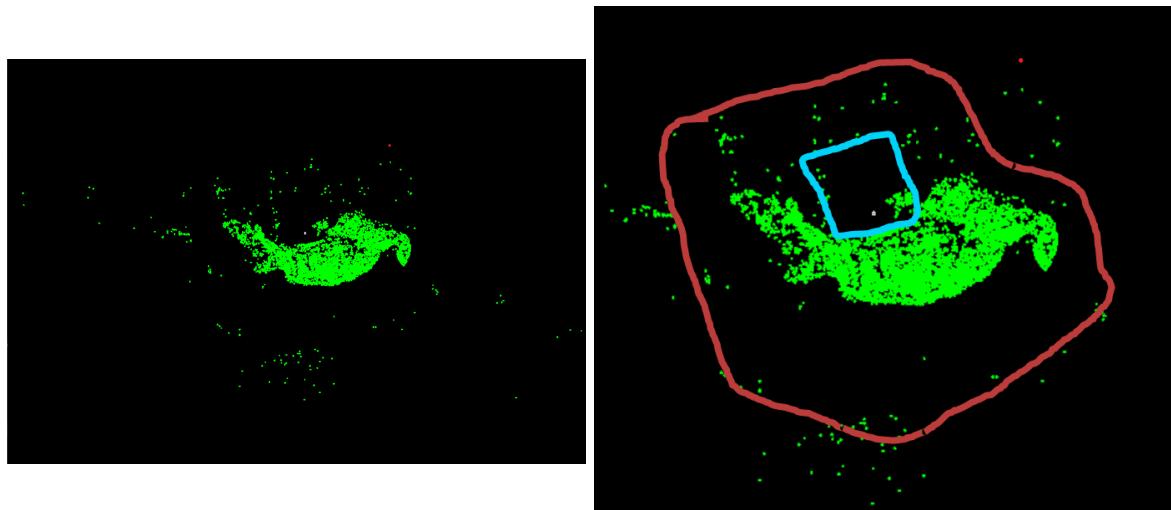


Image VI.3 – Résultats des tests d'affichage du point cloud (schéma à droite pour identifier la forme du canapé)

VII. <Conclusion>

Bilan travail accompli

Bilan sur le futur du projet

Bilan personnel

<Bibliographie>

- [1] E. G. Johnson and A. O. Nier, “Angular aberrations in sector shaped electromagnetic lenses for focusing beams of charged particles,” *Physical Review*, vol. 91, jul 1953.
- [2] “My website.” <https://tugduallp.wordpress.com/>, aout 2021.
- [3] “site web de b<>com.” <https://b-com.com/>, aout 2021.
- [4] J. L. Schönberger and J.-M. Frahm, “Structure-from-motion revisited,” in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016.
- [5] J. L. Schönberger, E. Zheng, M. Pollefeys, and J.-M. Frahm, “Pixelwise view selection for unstructured multi-view stereo,” in *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2016.

<Annexes>

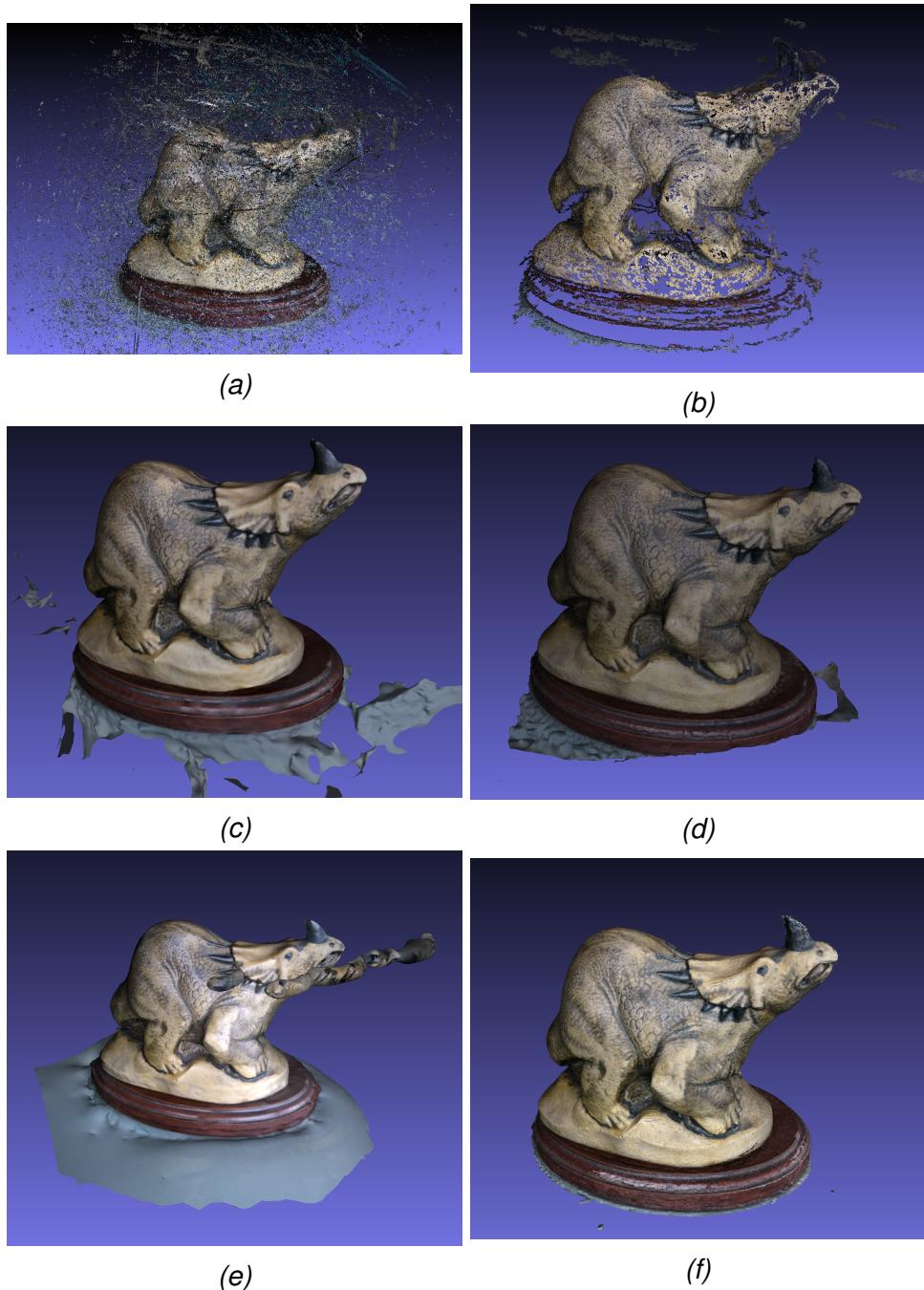


Image 1 – Résultats de l'état de l'art avec le dataset Dinosaur : (a)OpenSfM, (b)VisualSfM, (c)OpenMVG+OpenMVS, (d)Alicevision Meshroom, (e)Regard3D, (f)Colmap

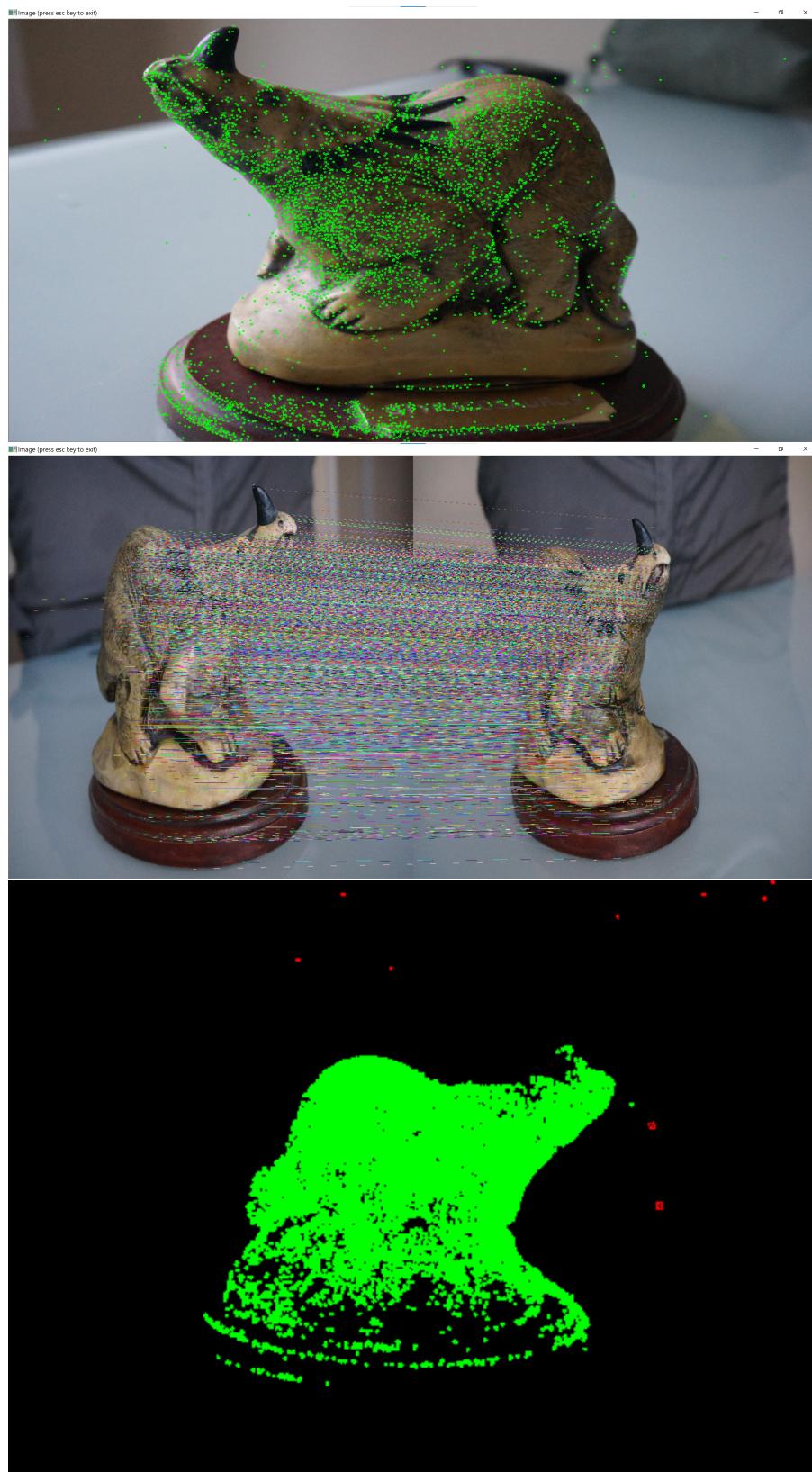


Image 2 – Résultats des tests pour le dataset Dinosaur

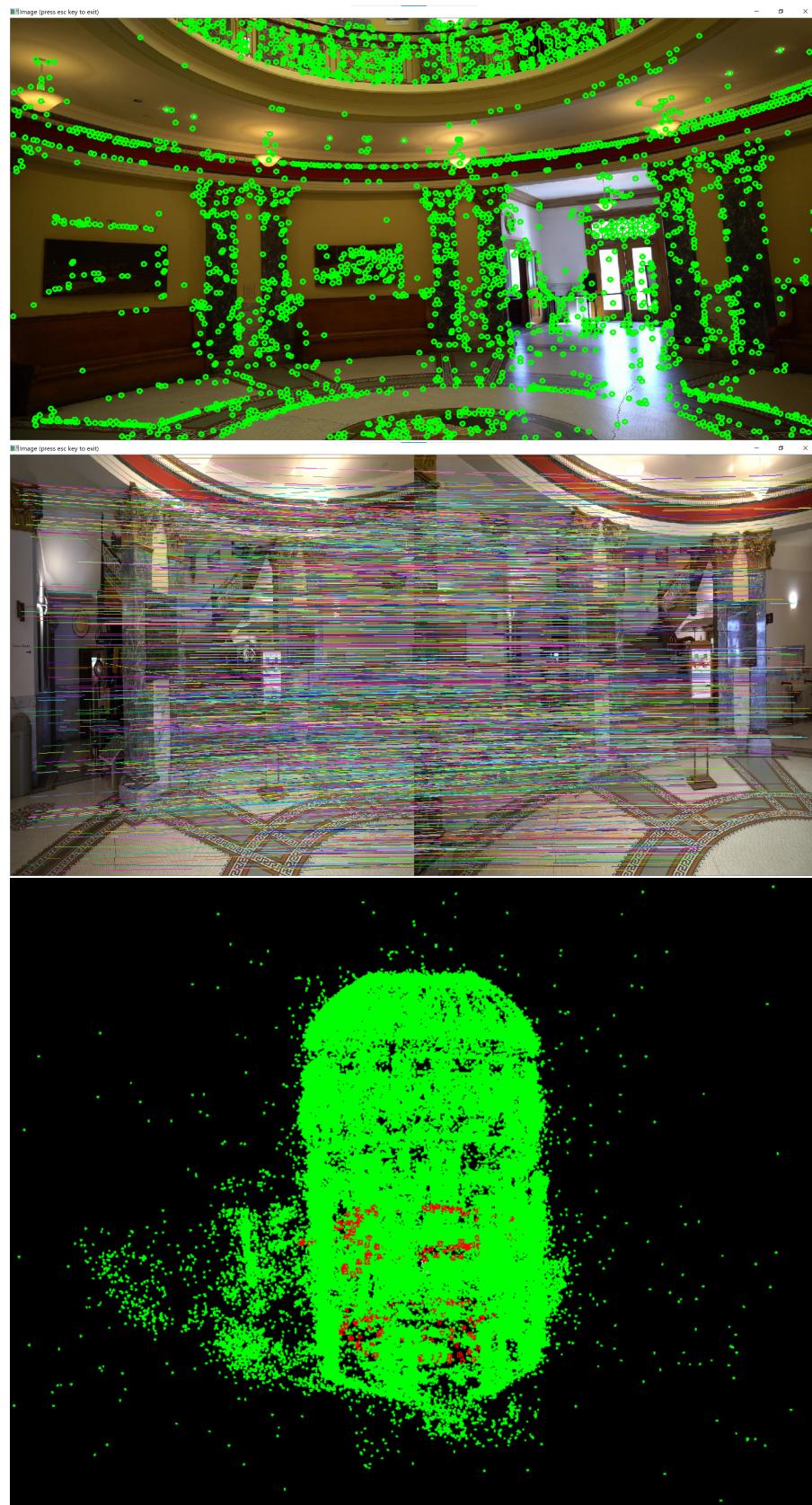


Image 3 – Résultats des tests pour le dataset Museum