



ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRONIQUE, INFORMATIQUE,  
TÉLÉCOMMUNICATIONS, MATHÉMATIQUE ET MÉCANIQUE DE BORDEAUX

## Compte Rendu

---

# TS327- Projet de reconstruction 3D incrémentale

---

Encadrant :

BOURMAUD Guillaume

Auteurs :

ABDELOUAHHAB Anass - HADDOUDA Youssef

## Table des matières

<b>I Introduction</b>	<b>2</b>
<b>II INITIALISATION</b>	<b>2</b>
II.1 Les matrices de rotation et translation . . . . .	2
II.2 Triangulation . . . . .	2
II.3 Ajustement de faisceaux . . . . .	3
<b>III LOCALISATION</b>	<b>6</b>
<b>IV TRIANGULATION</b>	<b>6</b>
<b>V RAFFINEMENT</b>	<b>7</b>
<b>VI Affichage</b>	<b>8</b>
VI.1 Colorisation . . . . .	8
VI.2 Visualisation des point 3D avec la fonction Pointcloud() . . . . .	8
<b>VII Résultat</b>	<b>8</b>
<b>VIII Conclusion</b>	<b>8</b>

## I Introduction

Ce projet a pour objectif la reconstruction 3D d'une scène à partir de plusieurs images de cette même scène. Pour ce faire, on cherchera à déterminer les points 3D de la scène ainsi que la pose (rotation et translation) de chaque caméra. Les étapes classiques pour résoudre une telle problématique sont :

1. Étape de détection de points d'intérêt.
2. Étape de mise en correspondance et de création de "chemins".
3. Étape d'estimation du nuage de points 3D et des poses.

Dans ce projet, nous considérons le cas où les deux premières étapes ont été effectuées. De plus, nous supposons que ces correspondances ne contiennent pas de correspondances aberrantes. L'objectif du projet consiste donc à réaliser la 3ème étape, c'est-à-dire à estimer le nuage de points 3D et les poses des caméras.

Pour les deux premières images, une étape d'**initialisation** est appliquée, ensuite la reconstruction étant itérative, on effectuera les mêmes étapes pour chaque nouvelle image en parcourant les images de 1 à 127 dans l'ordre (car les images sont issues d'une vidéo, et il y a par conséquent du recouvrement entre les images consécutives). Ces étapes sont les suivantes :

1. **Localisation**
2. **Triangulation**
3. **Raffinement**

## II INITIALISATION

Cette étape s'effectue pour les deux premières images.

### II.1 Les matrices de rotation et translation

Comme vu dans le cours, la matrice de rotation de la première image est initialisée par la matrice identité et la matrice de translation est initialisée par la matrice nulle. Ensuite, pour initialiser les matrices de rotation et de translation de la deuxième image, on utilise la décomposition de la matrice fondamentale :  $E_{21}$ . Après avoir initialisé les quatre matrices :

$$R_{1w}^{(0)} = I \qquad t_{1w}^{(0)} = 0 \qquad (1)$$

$$R_{2w}^{(0)} = R_{21} \qquad t_{2w}^{(0)} = t_{21} \qquad (2)$$

### II.2 Triangulation

Ensuite, à partir des matrices initialisées et des correspondances des points 2D. On utilise l'algorithme triangulate fourni pour estimer les points 3D :  $U_i^{w_i(0)}$ .

Ci-dessous, une représentation 3D des deux premières images, ainsi que les points 3D issues de l'algorithme triangulate :

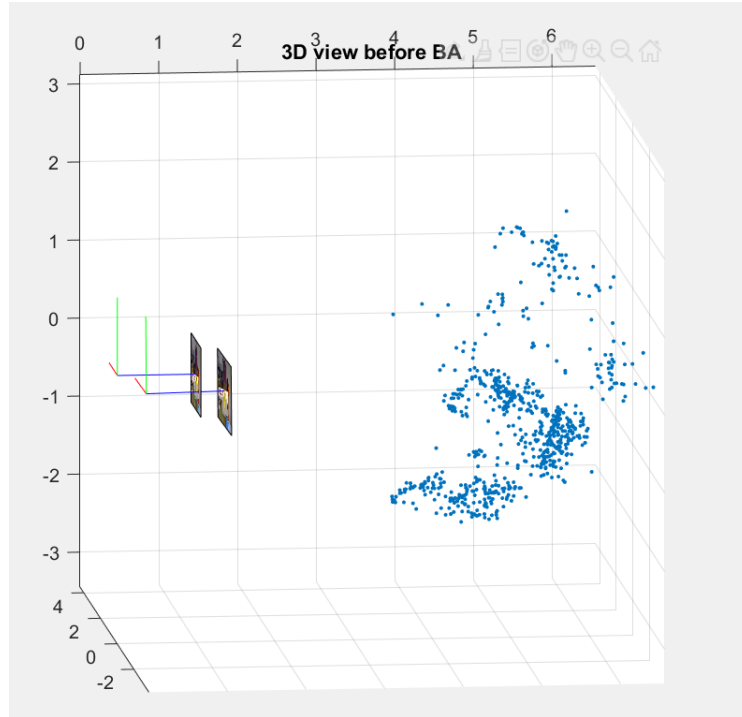


FIGURE 1 – Les points 3D estimés à l'issue de la triangulation

### II.3 Ajustement de faisceaux

On utilise l'algorithme d'ajustement de faisceaux pour deux images qui est fourni pour ce projet. L'algorithme prend en entrée les points 2D des deux images, les matrices de rotation et de translation des deux images ainsi que les points 3D estimés, et il raffine les valeurs des matrices de rotation et de translation ainsi que les points 3D. L'algorithme d'ajustement de faisceaux consiste à minimiser la fonction de coût suivante

$$\min_{\substack{\{R_{wj}, t_{wj}\}_{j=1, M} \\ \{u_i^w\}_{i=1 \dots N}}} \sum_{j=1}^M \sum_{c=1}^{C_j} \left\| p_{j, p2DId(c)} - K \pi(R_{wj}^T (u_{p3DId(c)}^w - t_{wj})) \right\|_2^2 \quad (3)$$

Avec :

- $M$  : le nombre d'images à traiter, dans cette étape  $M=2$ .
- $C_j$  le nombre de points 3D vus dans l'image  $j$ .
- $R_{wj}, t_{wj}$  les matrices de rotation et de translation de l'image  $j$ .
- $u_i^w$  les points 3D reconstruits.
- $p2DId(c)$  indique l'indice du point 2D parmi tous les points détectés dans l'image  $j$ .
- $p3DId(c)$  indique l'indice du point 3D.
- $\pi(\cdot)$  est la fonction de projection.
- $K$  est la matrice de calibration linéaire de la forme  $\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \end{bmatrix}$ , avec  $f_x, f_y$  les composantes en  $x$  et  $y$  de la distance focale, et  $c_x, c_y$  les coordonnées du centre optique dans

l'image. Dans le projet, on prend :  $K = \begin{bmatrix} 535 & 0 & 320 \\ 0 & 539 & 247 \end{bmatrix}$

- $p_{j,p2DId(c)}$  est un point 2D censé correspondre à la reprojection du point 3D  $u_{p3DId(c)}^w$  dans l'image j.

Ci-dessous une représentation 3D des deux premières images, ainsi que les points 3D après l'application de l'algorithme d'ajustement de faisceaux. Pour visualiser l'effet de l'algorithme

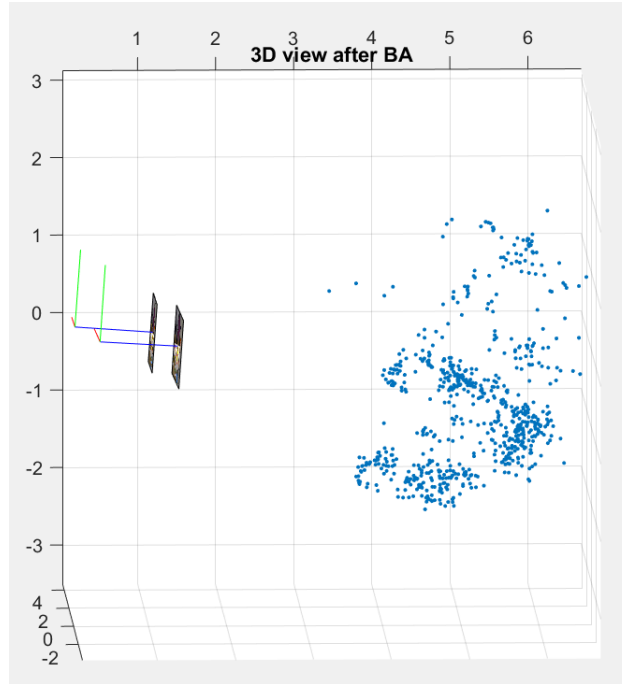


FIGURE 2 – Les points 3D estimés après application de l'ajustement des faisceaux

d'ajustement de faisceaux, on dessine l'erreur de projection avant et après l'application de l'algorithme.

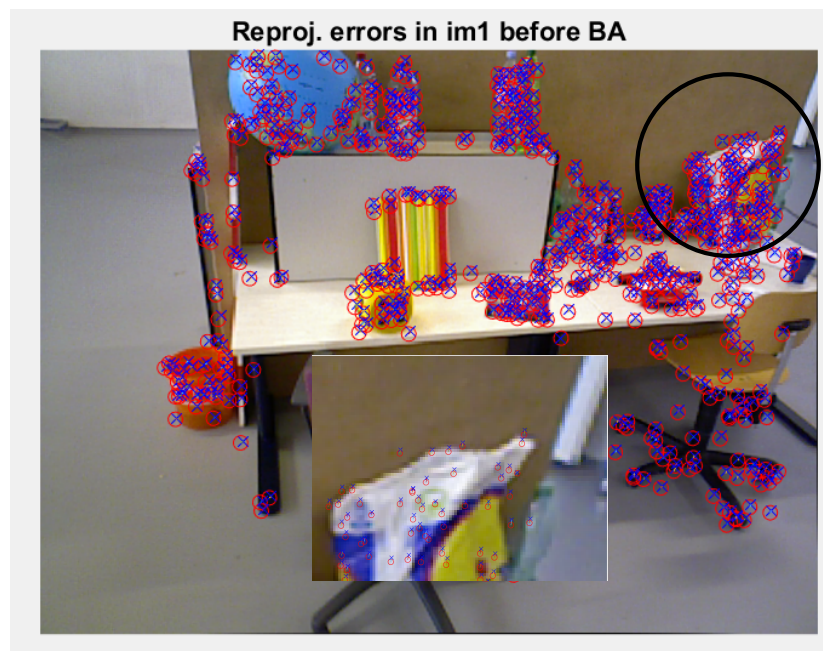


FIGURE 3 – Erreur de projection dans l'image 1 avant l'application de l'algorithme d'ajustement de faisceaux

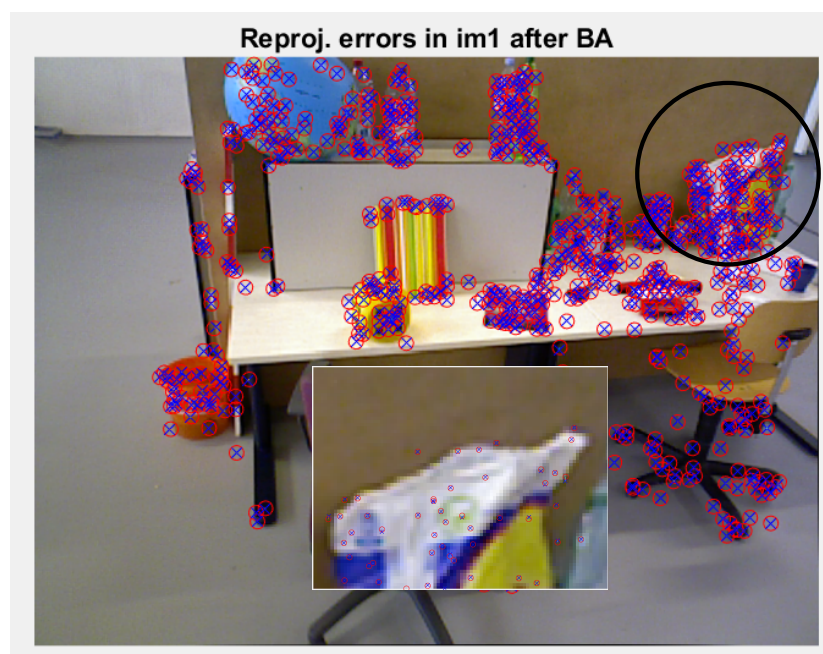


FIGURE 4 – Erreur de projection dans l'image 2 après l'application de l'algorithme d'ajustement de faisceaux

On peut voir sur la figure 3, l'erreur de projection entre les cercles et les croix qui représente l'erreur de projection des points 3D dans l'image. Cette erreur se révèle grâce au zoom effectué. Après application de l'algorithme, les croix et les cercles se collent parfaitement au pixel près.

### III LOCALISATION

Pour la troisième image et aussi toutes les images  $i$  suivantes, on commence par estimer  $R_{wi}$ ,  $t_{wi}$  en minimisant l'erreur de reprojection de cette  $i$ -ème caméra par rapport aux points 3D déjà reconstruits (les points 3D sont figés durant cette étape). Il s'agit donc ici d'appliquer un algorithme d'ajustement de faisceaux simplifié, car uniquement  $R_{wi}$  et  $t_{wi}$  sont optimisés. Les paramètres  $R_{wi}$  et  $t_{wi}$  sont initialisés avec les valeurs de  $R_{w(i-1)}$  et  $t_{w(i-1)}$ .

$$R_{iw}^{(0)} = R_{(i-1)w} \quad t_{iw}^{(0)} = t_{(i-1)w} \quad (4)$$

L'algorithme d'ajustement de faisceaux simplifié s'appelle `bundleAdjustment_LM_L2_two_views_simple`, on lui fournit les matrices de rotation et translation de l'image précédente et l'algorithme retourne celles de l'image traitée.

### IV TRIANGULATION

Considérons le cas où nous avons ajouté l'image  $i$ . Après la localisation, nous parcourons toutes les images précédentes afin de trianguler les points qui peuvent l'être grâce à l'ajout de cette image.

Dans un premier temps, nous avons mis en place une reconstruction incrémentale sans effectuer d'étape de raffinement. Cependant, comme vous pouvez le remarquer dans l'image ci-dessous, l'erreur de reprojection augmente jusqu'à ce que les matrices de rotation et translation ne soient plus correctement initialisées, rendant l'algorithme d'ajustement des faisceaux moins efficace.

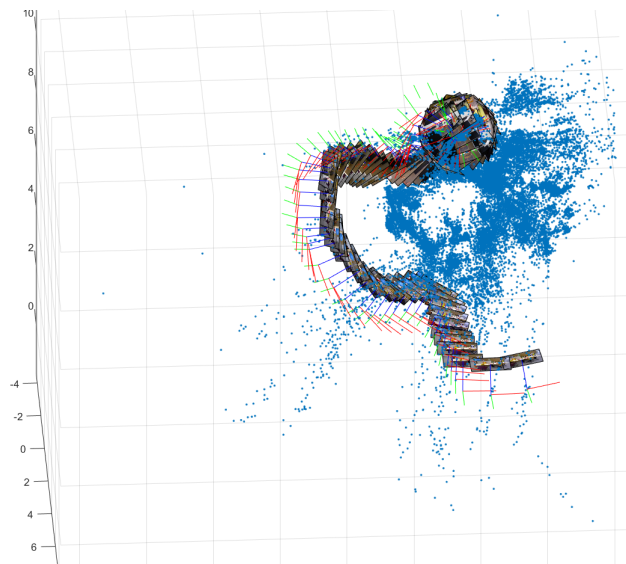


FIGURE 5 – Reconstruction incrémentale sans étape de raffinement



FIGURE 6 – Erreur de reprojection dans l'image 19 sans étape de raffinement

## V RAFFINEMENT

Dans cette étape, nous appliquons un algorithme d'ajustement de faisceaux qui traite un nombre arbitraire de caméras aux poses des  $i$  caméras  $\{R_{wj}, t_{wj}\}_{j=1\dots i}$  ainsi qu'aux points 3D. Cette étape de raffinement permet d'obtenir une reconstruction 3D de bien meilleure qualité en réduisant l'erreur de reprojection des points 3D sur chaque image.

Pour implémenter cet algorithme, nous nous sommes inspirés de la fonction d'ajustement de faisceaux de deux images. Cependant, lorsque le nombre de caméras et de points 3D devient grand, la matrice  $J$  devient très grande. Il devient alors difficile de la stocker en mémoire, et les calculs où elle intervient deviennent très lents. Pour remédier à cela, nous avons supprimé la création de la matrice  $J$  dense et l'avons remplacée par la création de la matrice  $J$  "sparse". Cette fonction permet de prendre en compte le fait que la matrice  $J$  contient beaucoup de zéros qui n'ont pas besoin d'être stockés.

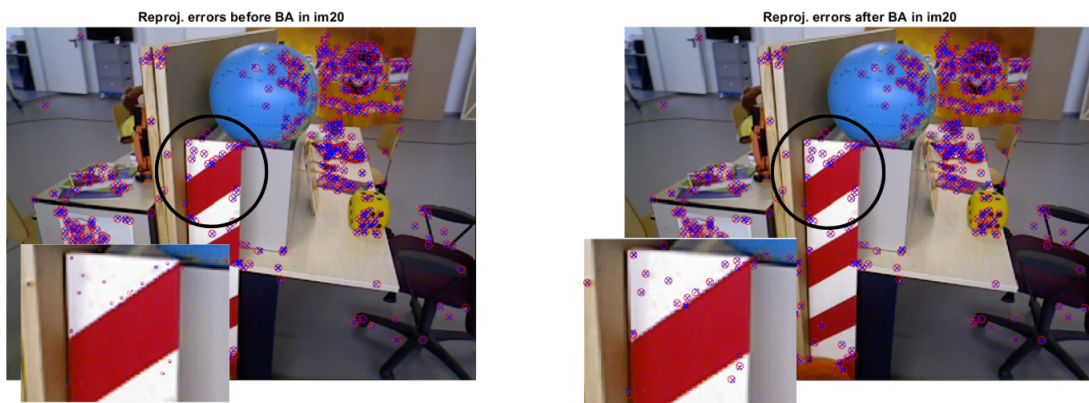


FIGURE 7 – Erreur de reprojection dans l'image 20 avec l'étape de raffinement



## VI Affichage

### VI.1 Colorisation

Afin d'avoir une reconstruction 3D plus réaliste, nous avons ajouté une étape de colorisation. Dans cette étape, on enregistre la couleur de chaque point 3D dans la liste `Rwi_BA_colors`.

### VI.2 Visualisation des point 3D avec la fonction `Pointcloud()`

Lorsque le nombre de points 3D reconstruits devient important, la visualisation fournie par la fonction `plot3()` n'est plus adéquate. Pour remédier à cela, nous avons remplacé cette fonction par une autre plus efficace dans le traçage d'un nuage de points qui est `Pointcloud()`. De plus, nous avons ajouté une fonctionnalité qui permet de déplacer les points 3D reconstruits vers le centre en leur retranchant leur barycentre.

## VII Résultat

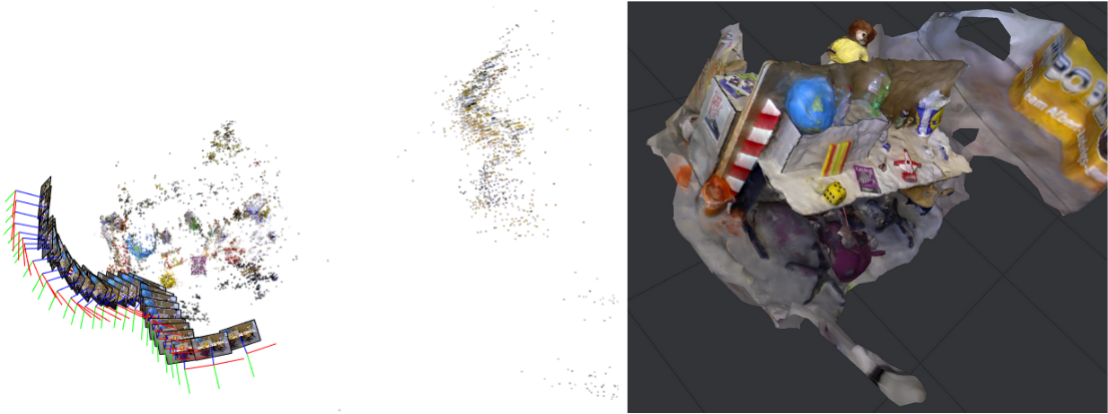


FIGURE 8 – à gauche : Reconstruction de 30 images (2.219 min), à droite : reconstruction complète à l'aide du logiciel Mashroom

## VIII Conclusion

Le présent travail a globalement tenté d'implémenter un algorithme de reconstruction 3D incrémentale. Dans un premier temps, nous avons débuté en effectuant une reconstruction 3D incrémentale sans réaliser d'étape de raffinement. Ensuite, dans un second temps, nous avons ajouté ces étapes de raffinement, ce qui a permis d'obtenir une reconstruction 3D de bien meilleure qualité. Finalement, nous avons amélioré les fonctions d'affichage afin de mieux visualiser les points 3D reconstruits.

Il existe de nombreuses améliorations que nous aurions souhaité apporter, mais le temps nous a manqué. Par exemple, nous avons l'intention de tester les algorithmes de détection des points d'intérêt tels que SuperGlue et SuperPoint, pour évaluer comment cela pourrait améliorer la reconstruction en fournissant davantage de points que ceux obtenus par les méthodes basées probablement sur l'algorithme SIFT. De plus, nous souhaitons également poursuivre les étapes de reconstruction restantes, à savoir la reconstruction du maillage, le raffinement du maillage et la texturation du maillage.