



LIRMM



MUSE



MONTPELLIER UNIVERSITY OF EXCELLENCE



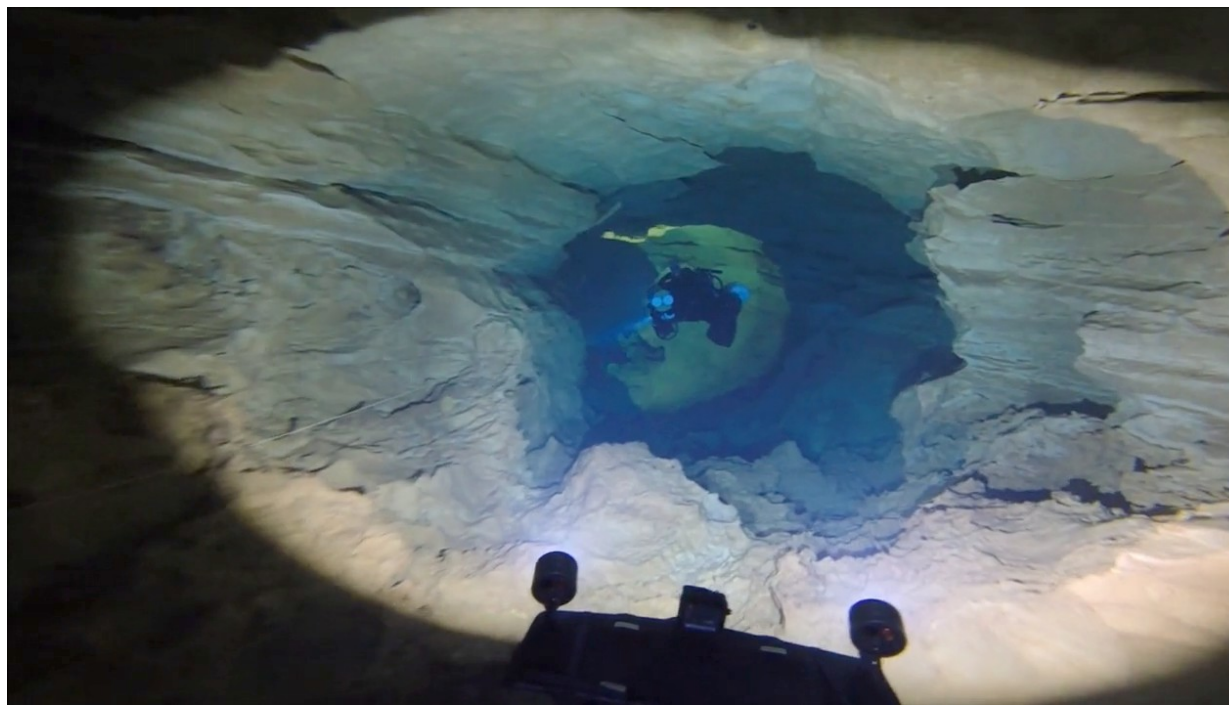
Méthode originale de reconstruction 3D de galeries utilisant une lumière de forme conique et une caméra

Journée GT2 Robotique sous-marine 13/10/2021

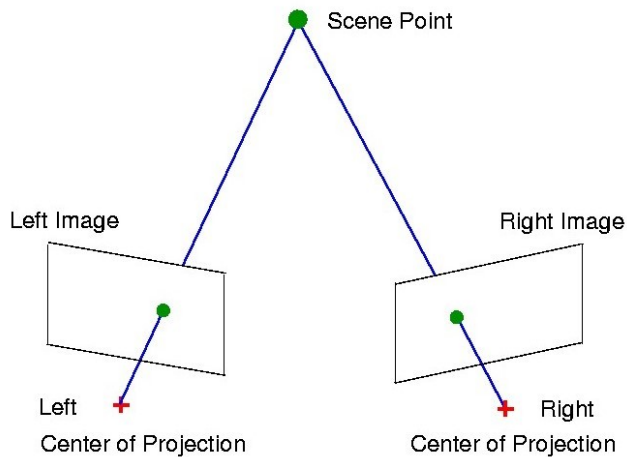
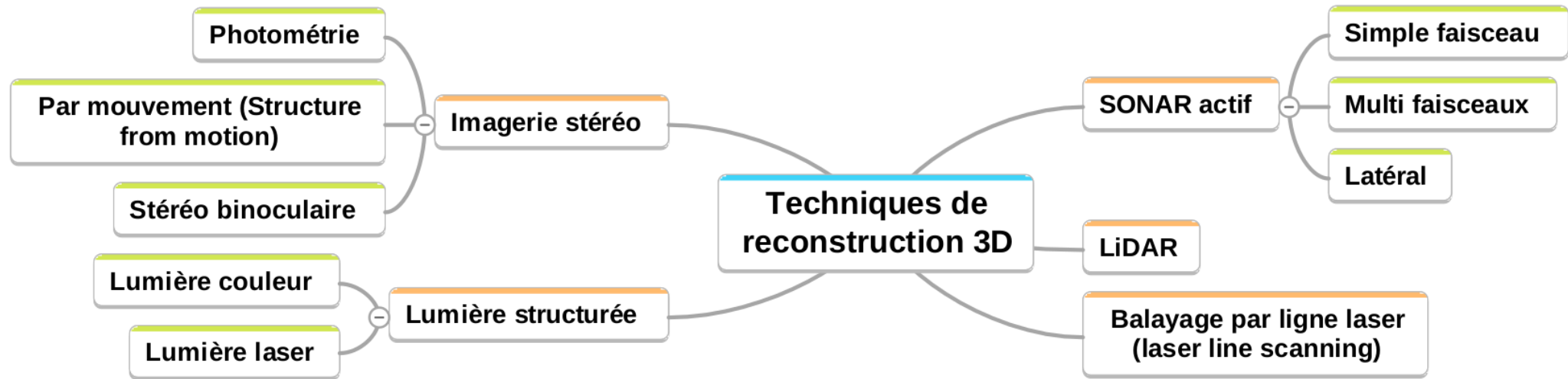
Doctorant Quentin Massone

Directeur de thèse : Jean Triboulet

Encadrant : Sébastien Druon

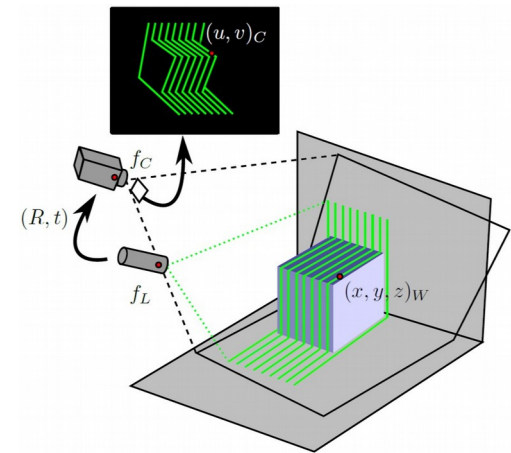


Techniques de reconstruction 3D applicables en environnement aquatique



Triangulation stéréo

Techniques envisagées pour la thèse



Triangulation par lumière structurée

Notre méthode de lumière structurée

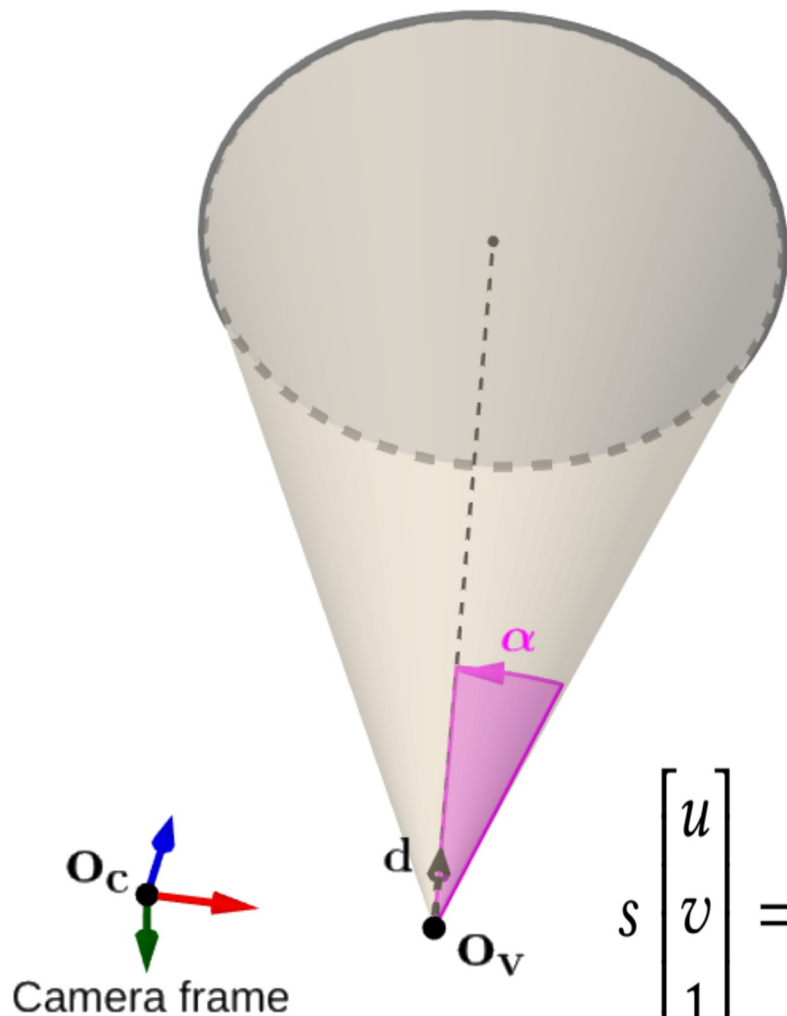
Systeme : Caméra + phare de plongée de forme conique.

Motif 2D récupéré dans les images : Contour extérieur de la projection lumineuse (courbe 2D possiblement fermée).

Reconstruction 3D locale en 3 étapes :

- Étalonnage de la caméra (méthode de Zhang) pour estimer son modèle : matrice intrinsèque + paramètres de distorsion de l'image,
- Étalonnage du phare de plongée qui consiste à estimer le cône qui le caractérise,
- Détection et triangulation des contours 2D capturés dans les images et ainsi obtenir une courbe 3D.

Modèle de notre système



Le cône est représenté par :

- Son sommet \mathbf{O}_V ,
- Son vecteur directeur unitaire \mathbf{d} (selon son axe principal),
- Son demi-angle d'ouverture α .

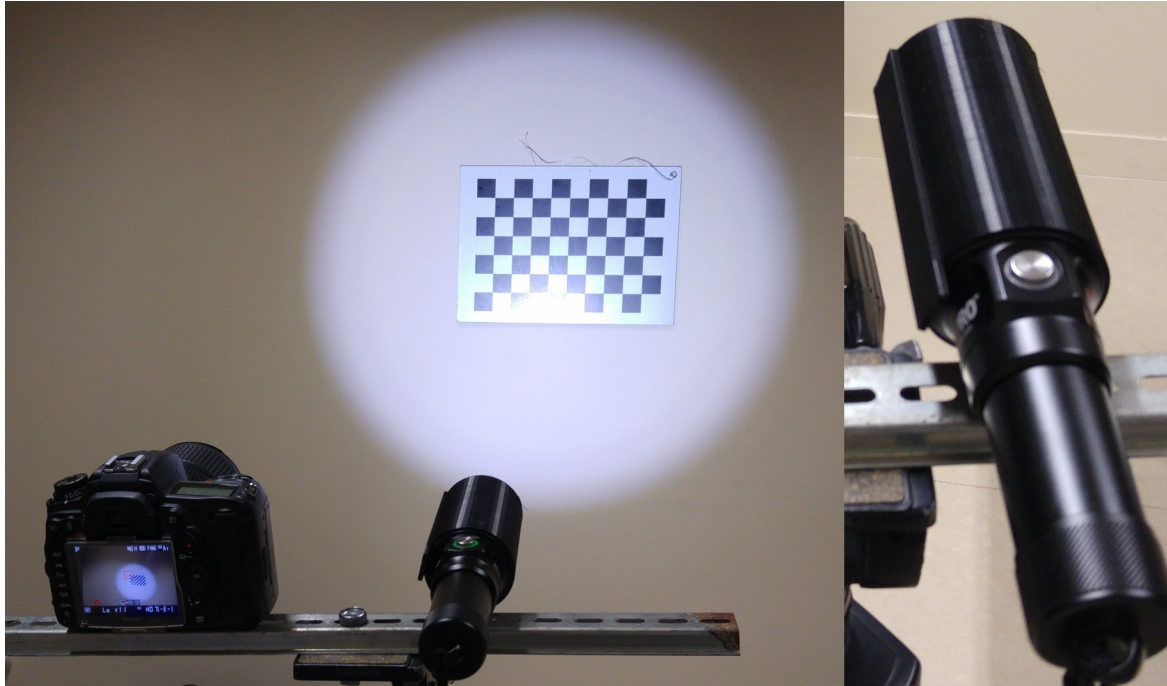
Pour la caméra on a :

- Son centre optique \mathbf{O}_V ,
- Sa matrice intrinsèque K .

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_K \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{v} = sK^{-1} \begin{bmatrix} u & v & 1 \end{bmatrix}^t$$

Configuration du système



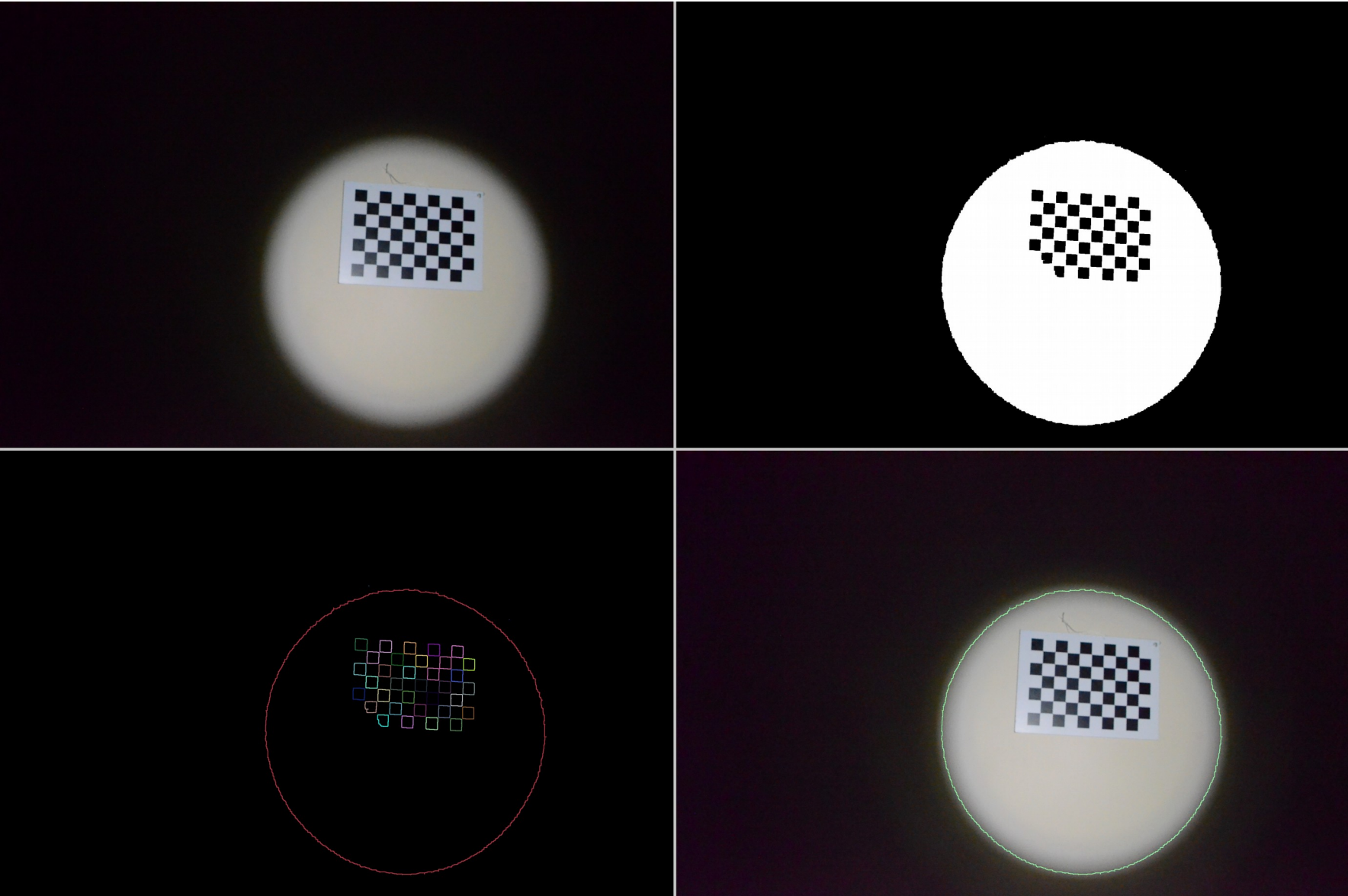
Mesures au mètre :

- Translation le long de l'axe x de la caméra : 207mm
- Diamètre du projecteur : $d = 53.8 \text{ mm}$
- Cylindre dépassant du projecteur d'une longueur $l = 93 \text{ mm}$

Angle de demi-ouverture du projecteur calculé à partir de l et d :

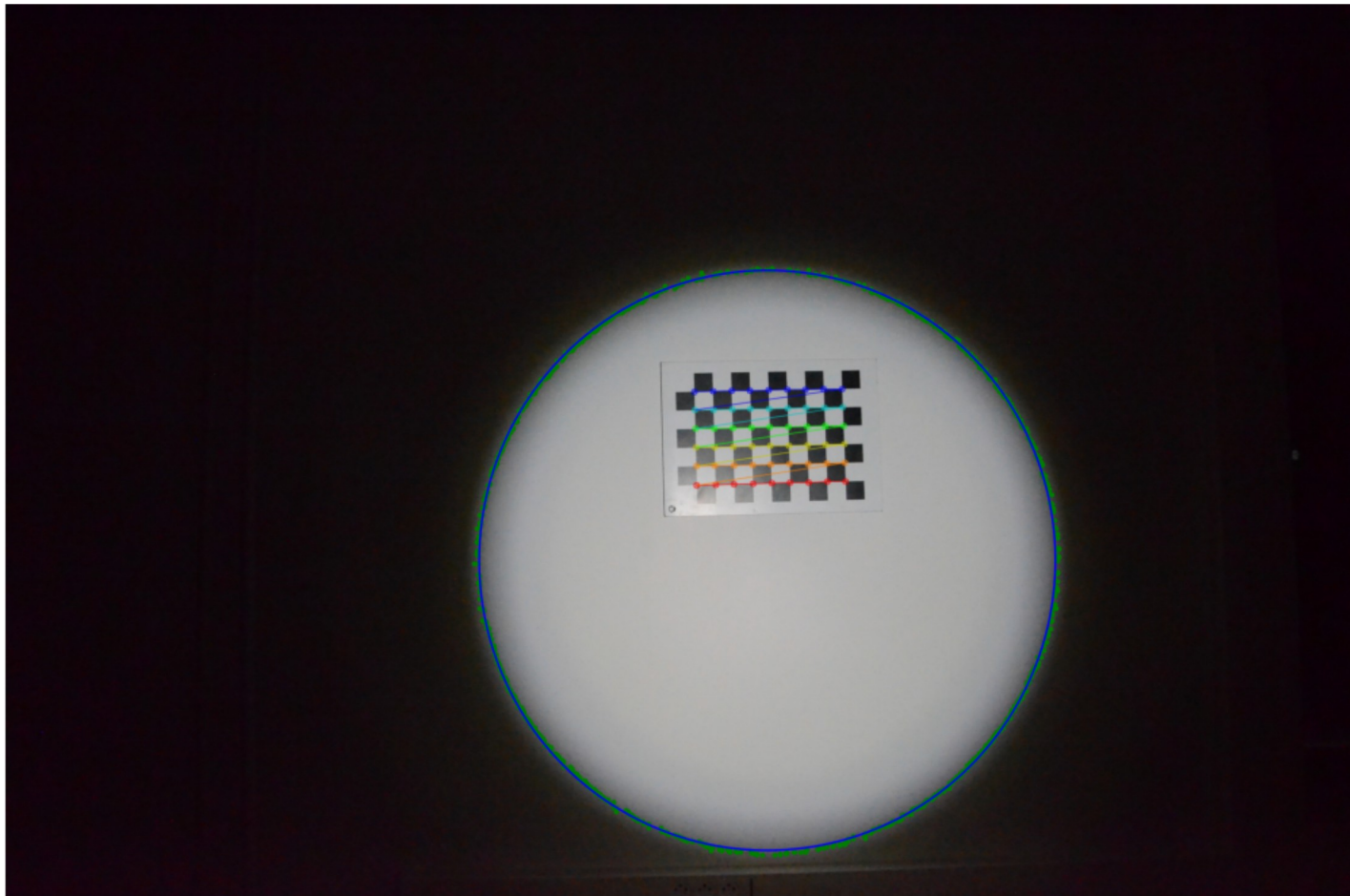
$$\alpha = \arctan 2(d/2, l) = \arctan 2(26.9, 93) = 16.13^\circ$$

Estimation du cône – Détection des contours

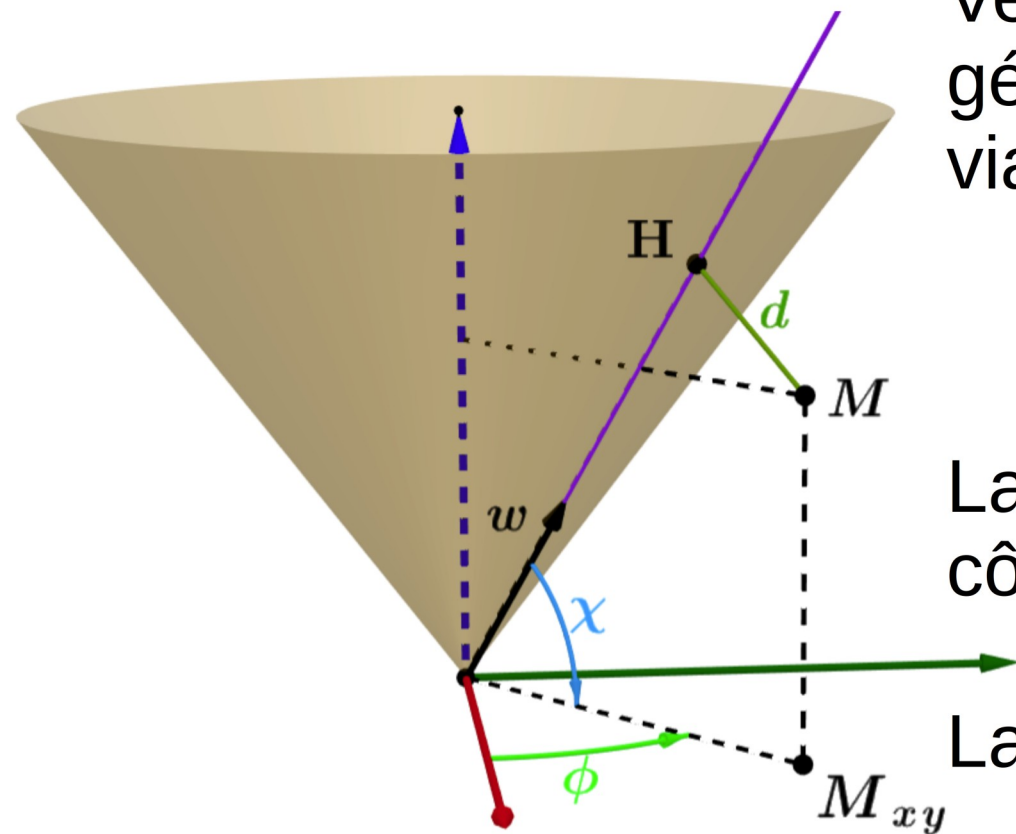


Estimation du cône – Génération de points 3D sur le cône

Estimation du plan 3D du mur et intersections des rayons de caméra (du contour détecté) avec le mur



Estimation du cône – Distance point / cône



Vecteur directeur w d'une génératrice du cône est représenté via les 2 angles yaw pitch :

$$\begin{cases} \phi = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \\ \chi = \alpha - \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

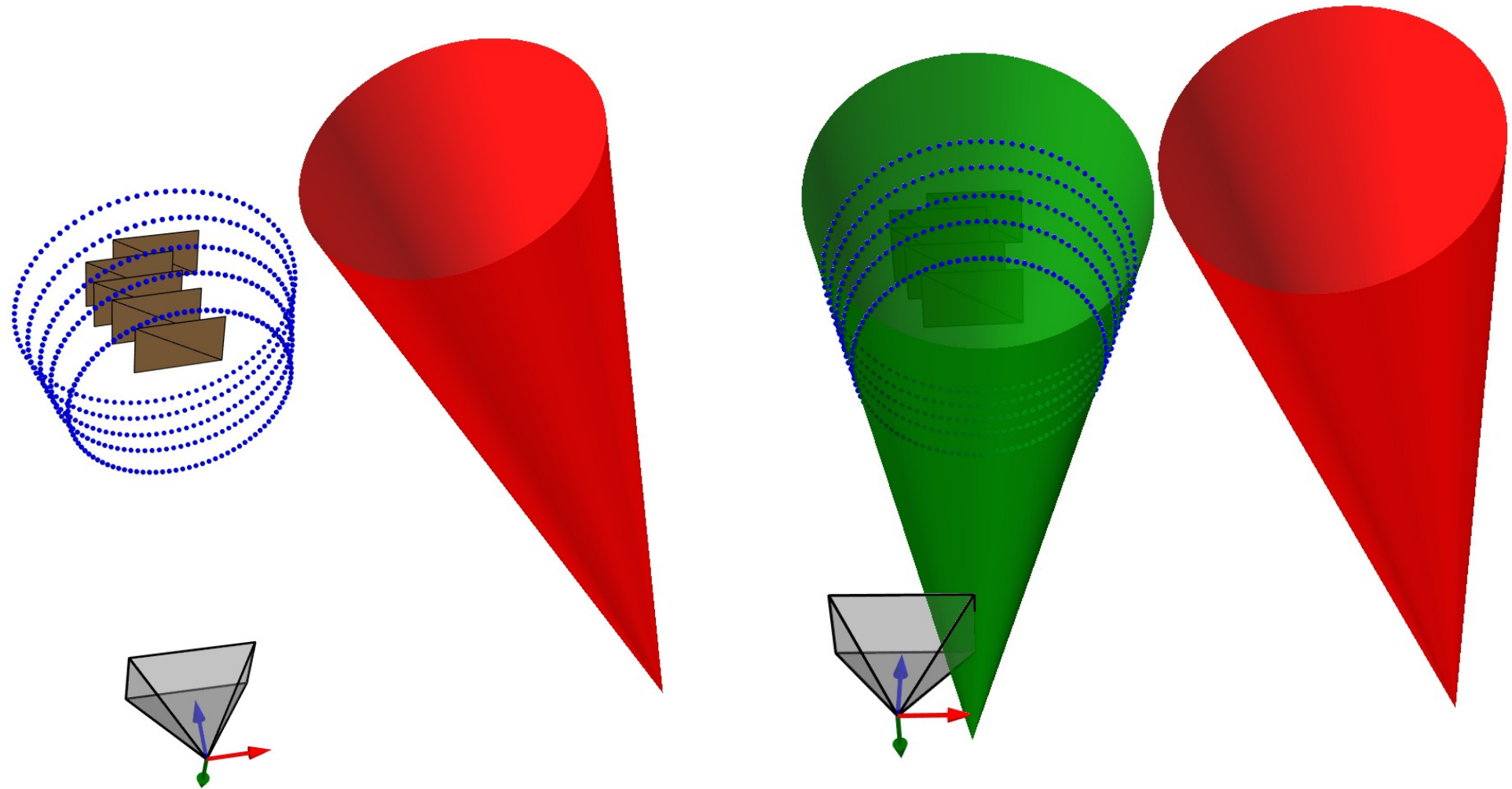
La projection du point M sur le cône :

$$\mathbf{H} = (\mathbf{M}^t \mathbf{w}) \mathbf{w}$$

La distance orthogonale :

$$d = \sqrt{(\mathbf{M} - \mathbf{H})^t (\mathbf{M} - \mathbf{H})}$$

Estimation du cône



Estimation du cône via 6 plans à différentes translations :
minimisation des distances orthogonales point / cône à
l'aide de Levemberg-Marquardt

Résultats de l'estimation du cône

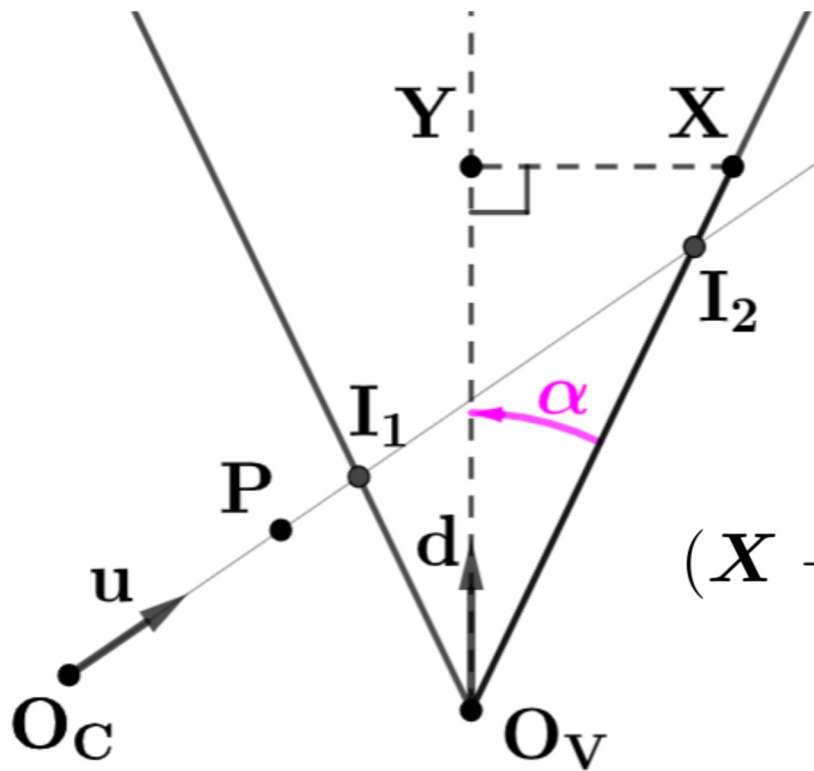
Comparaison des paramètres mesurés et estimés du cône

	Valeurs estimées	Valeurs mesurées
Angle de demi-ouverture α	14,81	16,13
Coordonnée x de \mathbf{O}_V	0,196	0,207
Coordonnée z de \mathbf{d}	0,997	1

Statistiques des erreurs orthogonales entre le cône et les points 3D

	Distance max	Distance min	Distance med	Distance moy	Distance rms
Tous les plans	8.749	0.004	2.313	3.058	3.847
Plane 0	8.269	0.068	4.841	4.642	5.297
Plane 1	5.983	1.188	3.063	3.318	3.663
Plane 2	8.749	0.066	2.810	3.997	4.954
Plane 3	4.028	0.004	1.840	1.786	2.127
Plane 4	3.622	0.032	1.578	1.547	1.854

Triangulation – Intersections cône / rayons



Équation du rayon d'une caméra :

$$P = O_C + tu$$

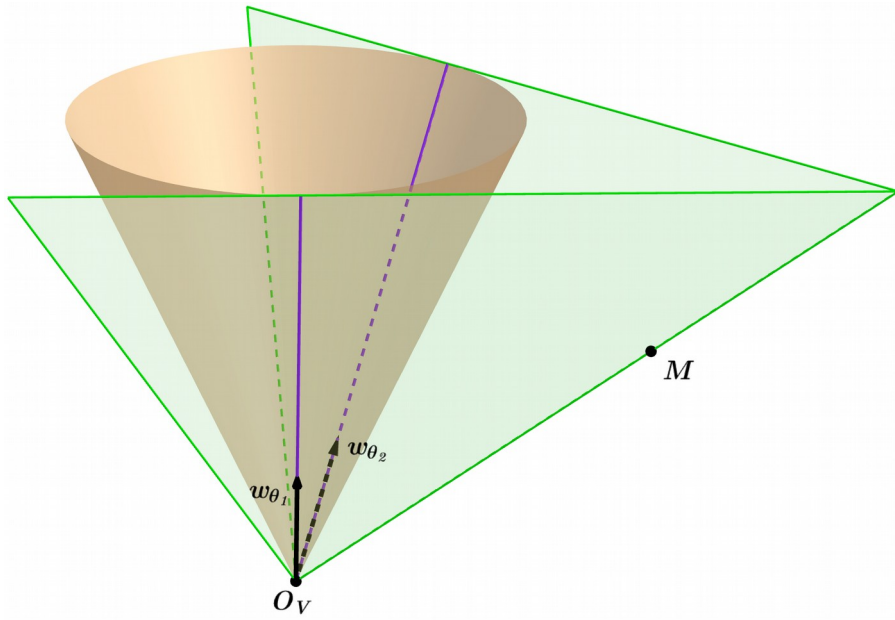
Équation du cône :

$$\begin{aligned} (X - O_V)^T [\cos^2(\alpha) I_3 - dd^T] (X - O_V) &= 0 \\ \Leftrightarrow (X - O_V)^T M_C (X - O_V) &= 0 \end{aligned}$$

Fusion des 2 équations :

$$(O_C + tu - O_V)^T M_C (O_C + tu - O_V) = 0$$

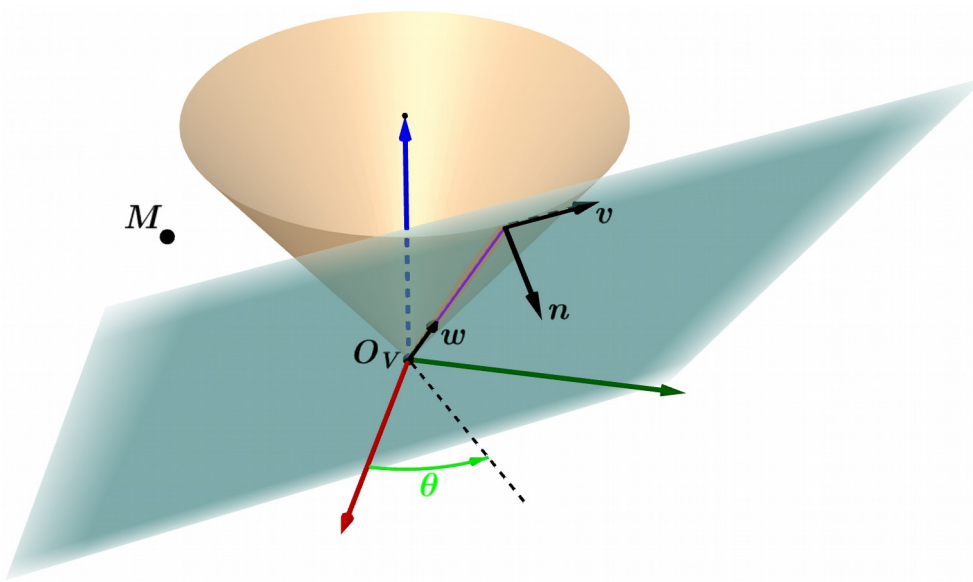
Triangulation – Sélection des intersections



$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \sin(\alpha) \cos(\theta) \\ \sin(\alpha) \sin(\theta) \\ \cos(\alpha) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v} = \begin{bmatrix} -\sin(\theta) \\ \cos(\theta) \\ 0 \end{bmatrix},$$

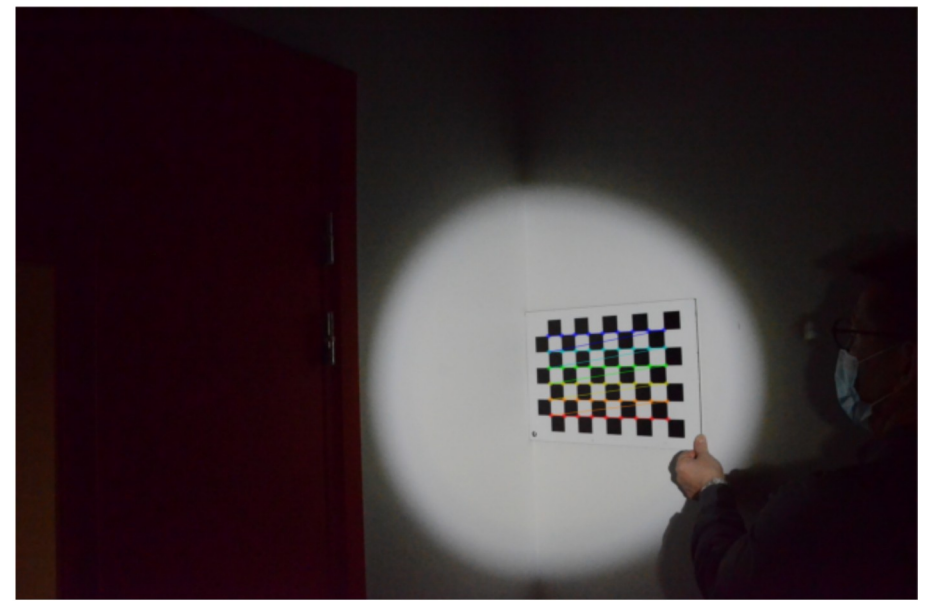
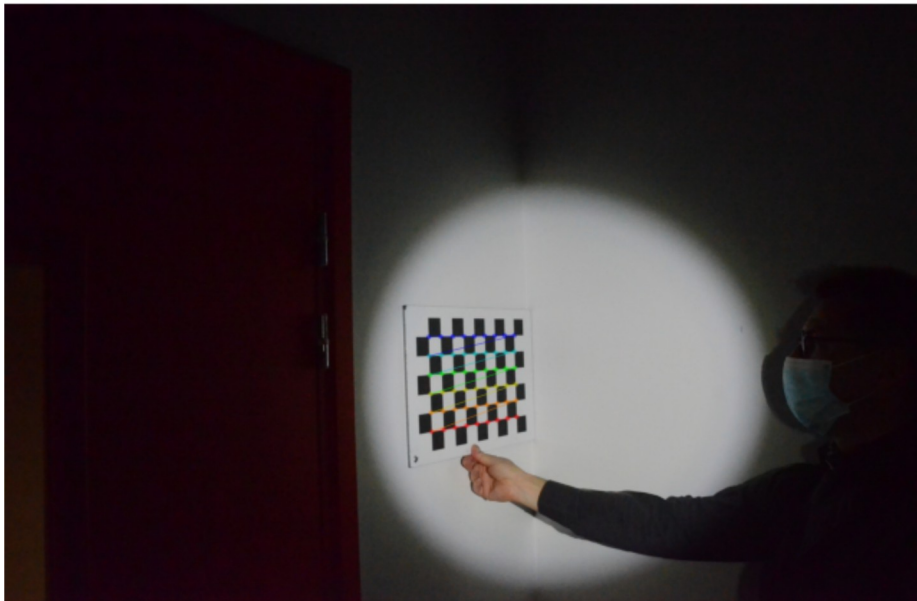
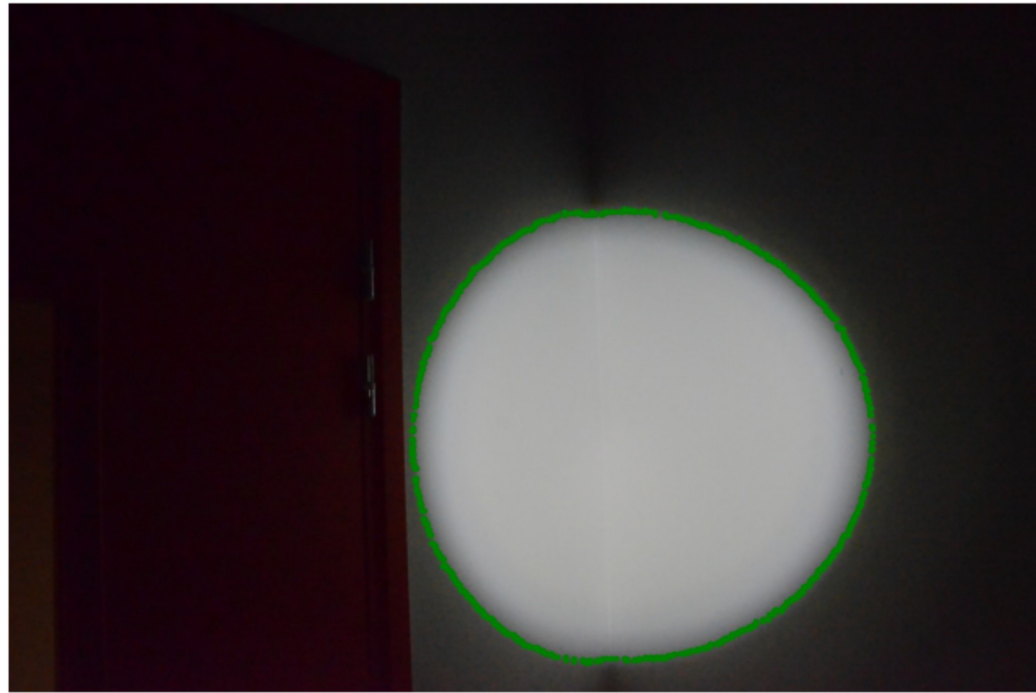
$$\mathbf{n} = \mathbf{v} \times \mathbf{w} = \begin{bmatrix} -\sin(\theta) \\ \cos(\theta) \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sin(\alpha) \cos(\theta) \\ \sin(\alpha) \sin(\theta) \\ \cos(\alpha) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \cos(\theta) \\ \cos(\alpha) \sin(\theta) \\ -\sin(\alpha) \end{bmatrix}$$

et $\mathbf{M} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$



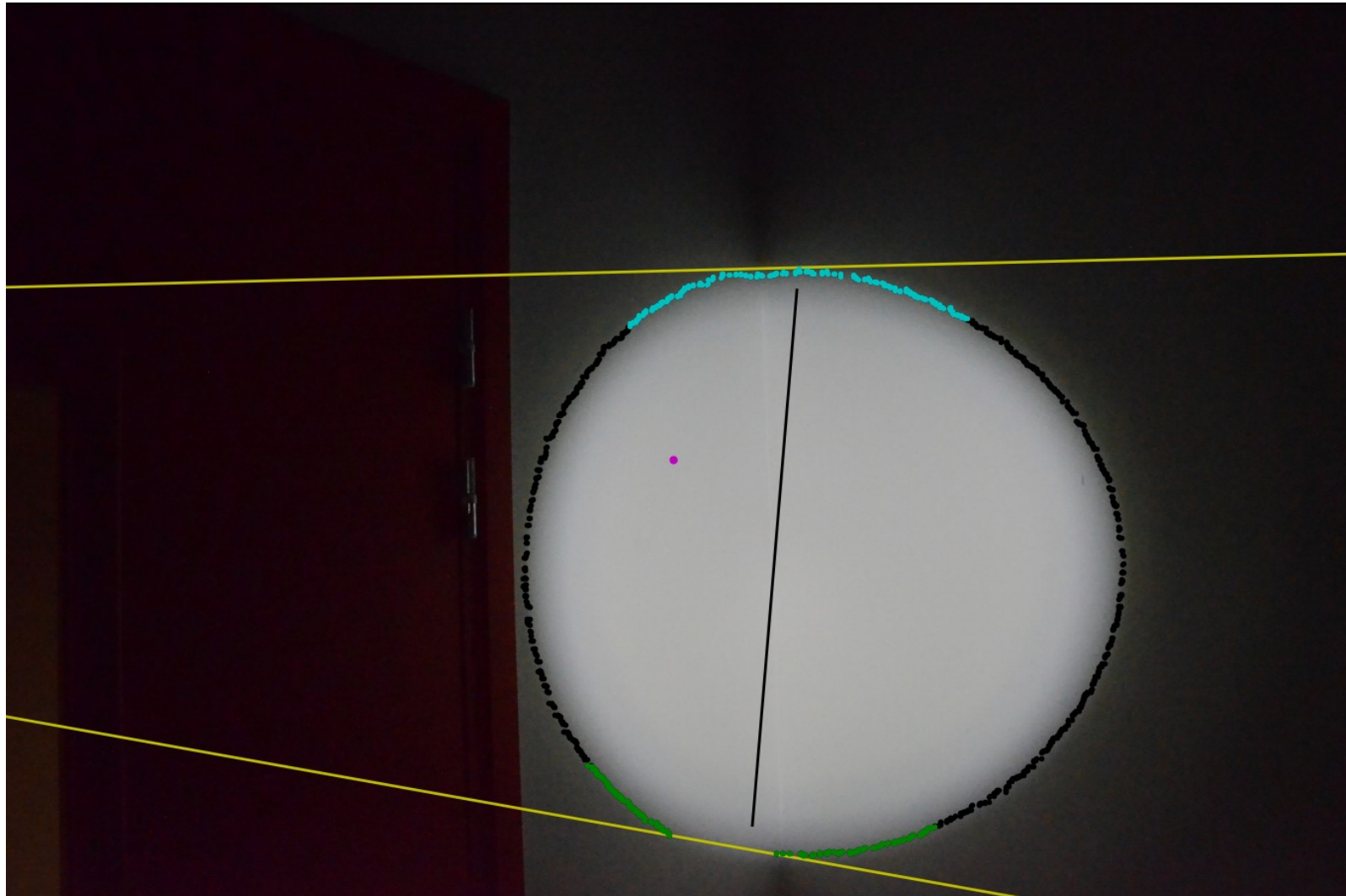
$$\mathbf{M}^T \mathbf{n} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad x \cos(\alpha) \cos(\theta) + y \cos(\alpha) \sin(\theta) - z \sin(\alpha) = 0$$

Expérimentation sur 2 plans orthogonaux



Expérimentation sur 2 plans orthogonaux

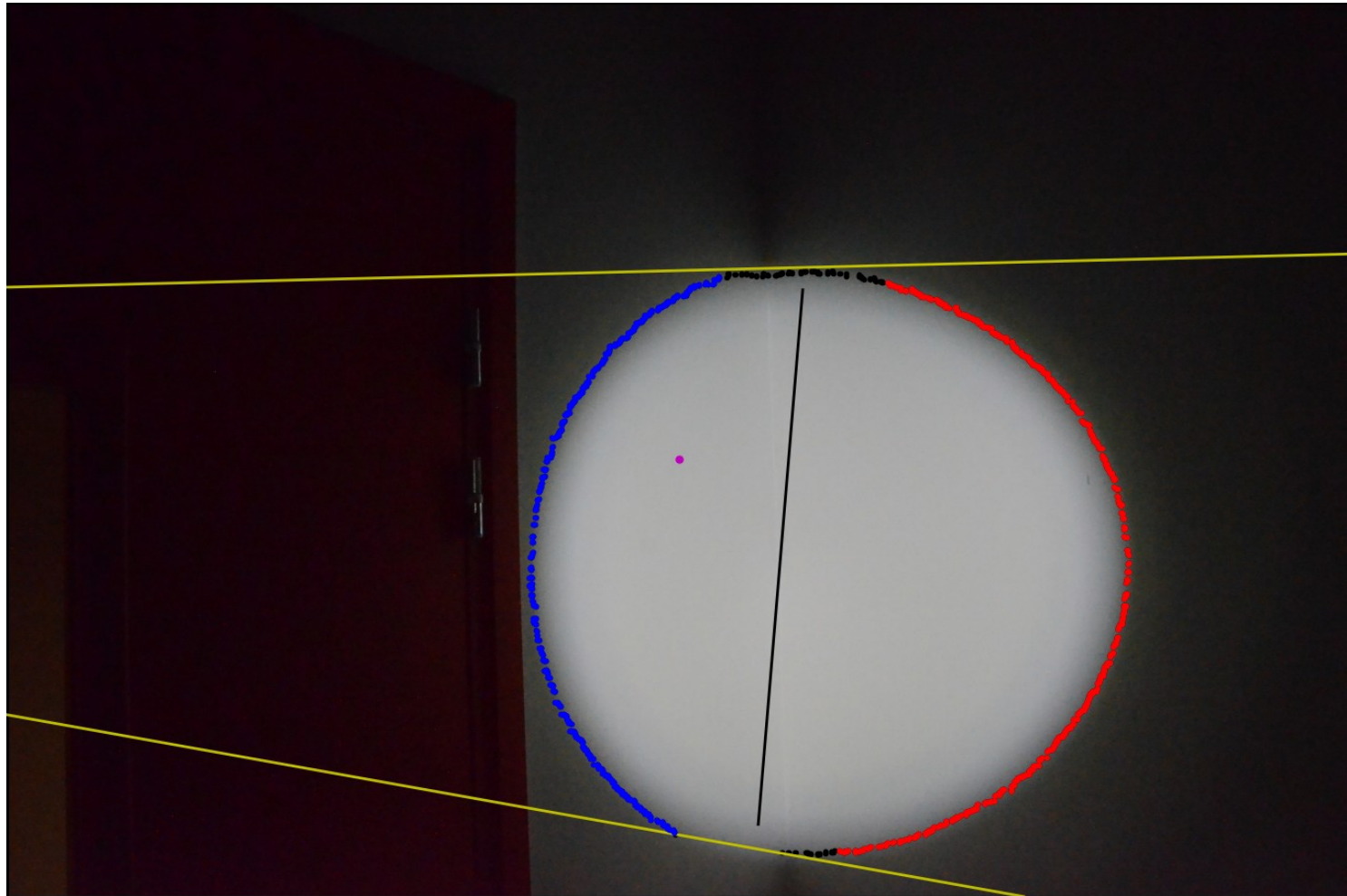
Détection des contours et projection des 2 génératrices particulières



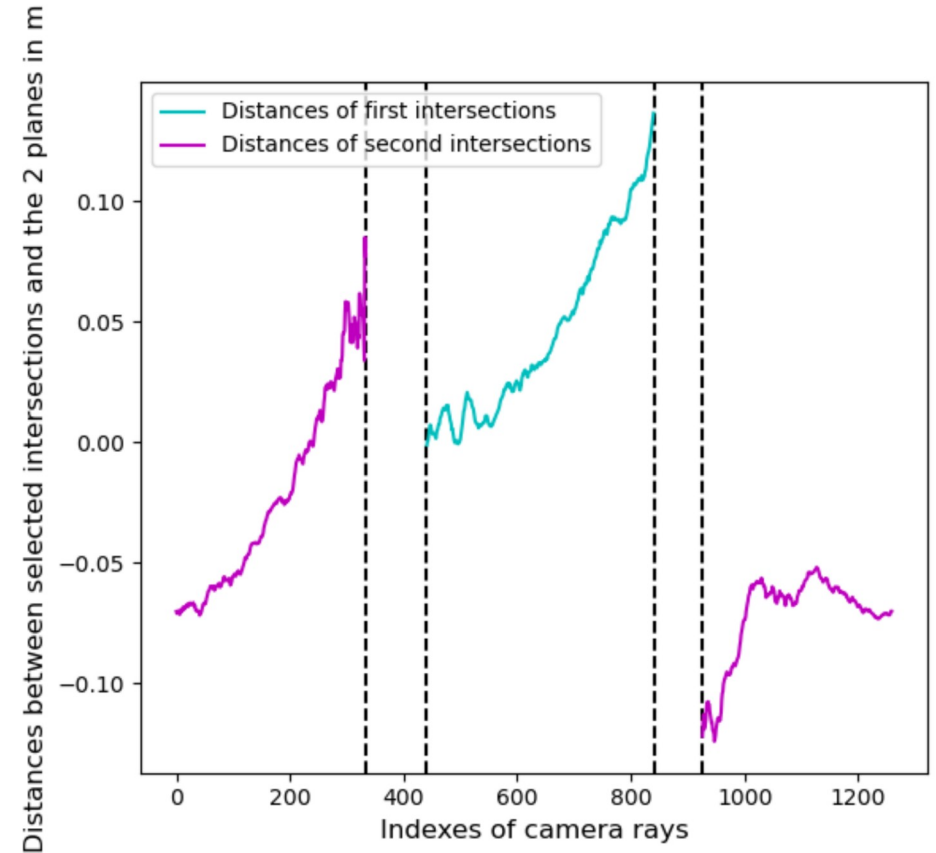
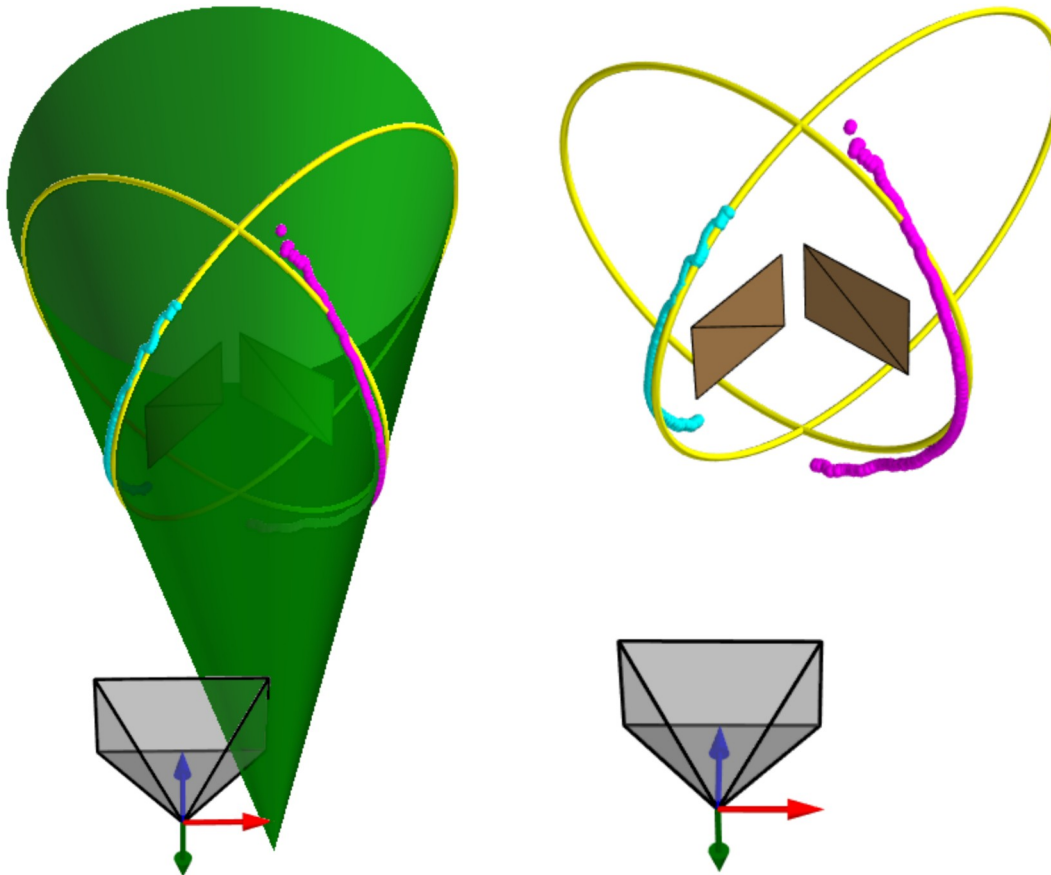
Expérimentation sur 2 plans orthogonaux

Séparation du contour :

- premières intersections avec le contour bleu
- secondes intersections avec le contour rouge



Expérimentation sur 2 plans orthogonaux – reconstruction 3D des contours



Erreur médiane = 0.067m
Erreur maximale = 0.136m

Perspectives

- Améliorer la méthode de détection des contours : score, densité de probabilité, ...
- Fusion méthode stéréo et méthode lumière structurée pour bénéficier de redondance,
- Expérimentation en milieu aquatique dans des cavités situées près du LIRMM.



Merci de votre attention

