

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



LIRMM

Ego-localisation d'un robot en milieu sous-marin par SLAM visuel

Maxime Ferrera^{1,2}
Doctorant 2^{ème} année

Encadrants : Julien Moras¹
Pauline Trouvé-Peloux¹

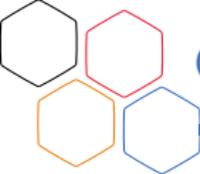
Directeur de thèse : Vincent Creuze²

¹ONERA (Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales)

²LIRMM (Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier)

JJCR'2017



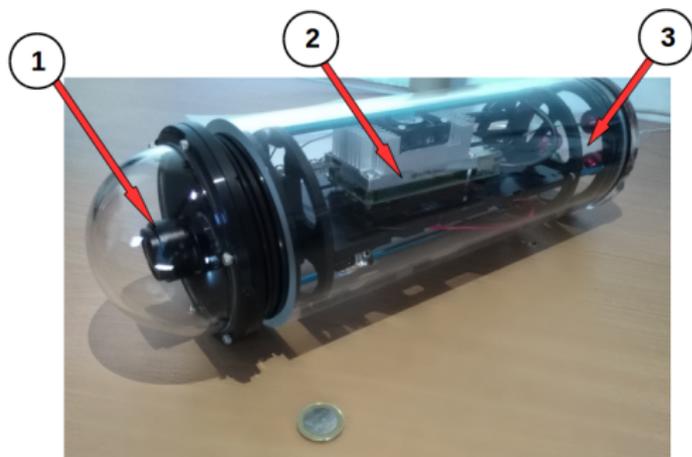


Contexte

- 1 Robotique sous-marine
- 2 Robots télé-opérés (*Remotely Operated Vehicles*)
- 3 Archéologie

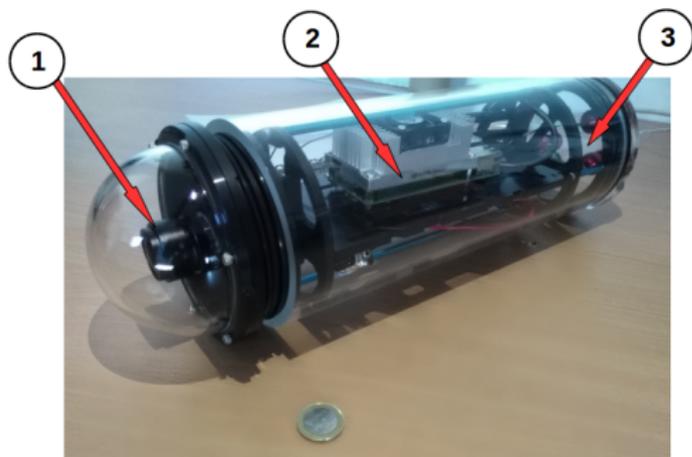


Localisation à partir d'un caisson instrumenté :

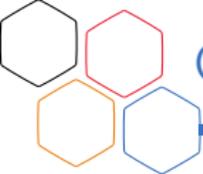


- 1 caméra monoculaire
- 2 calculateur + IMU
- 3 capteur de pression

Localisation à partir d'un caisson instrumenté :

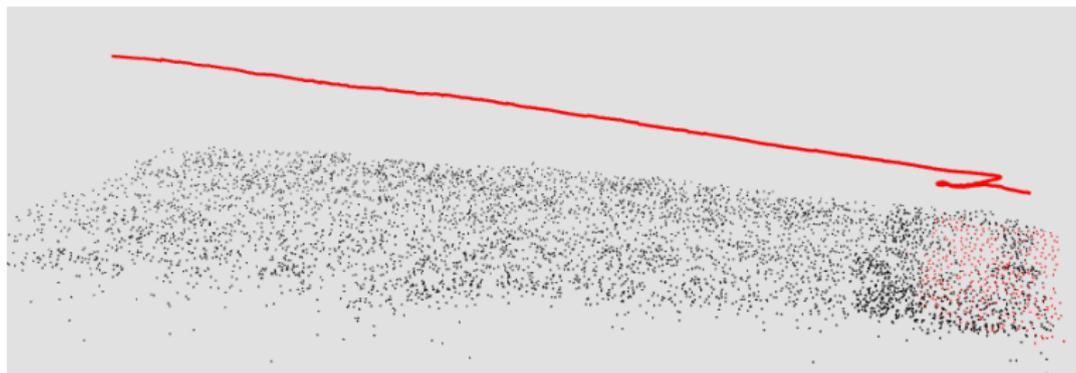


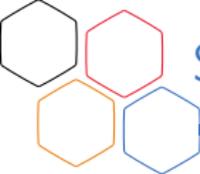
- 1 caméra monoculaire
- 2 calculateur + IMU
- 3 capteur de pression



Comment ?

SLAM : Simultaneous Localization And Mapping





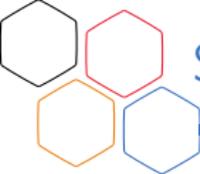
En Robotique sous-marine¹

- ◆ SLAM par filtre de Kalman^{2,3}
- ◆ Capteurs de navigation à haute fréquence
- ◆ Caméra à basse fréquence ($\simeq 1$ ou 2 Hz)

[1] : L. Paull, S. Saedi, M. Seto, and H. Li. AUV navigation and localization : A review. IEEE J. Ocean. Eng., 39(1) :131-149, 2014.

[2] : R. M. Eustice, O. Pizarro, and H. Singh. Visually augmented navigation for autonomous underwater vehicles. IEEE J. Ocean. Eng., 33(2) :103-122, 2008.

[3] : A. Burguera, F. Bonin-Font, and G. Oliver. Trajectory-based visual localization in underwater surveying missions. Sensors (Switzerland), 15(1) :1708-1735, 2015.



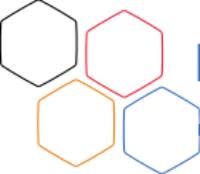
En Robotique terrestre et aérienne

- ◆ SLAM monoculaire basé images clés
- ◆ Caméra à haute fréquence (20 Hz ou +)
- ◆ *ORB-Slam*¹, *LSD-Slam*², *SVO*³ ...

[1] : ORB-SLAM : A Versatile and Accurate Monocular SLAM System. Raúl Mur-Artal, J. M. M. Montiel and Juan D. Tardós. IEEE Transactions on Robotics, vol. 31, no. 5, pp. 1147-1163, 2015.

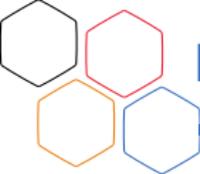
[2] : LSD-SLAM : Large-Scale Direct Monocular SLAM, J. Engel, T. Schöps, D. Cremers, ECCV '14.

[3] : SVO: Fast Semi-Direct Monocular Visual Odometry, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA),2014.



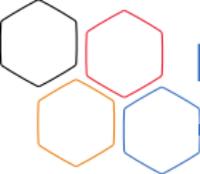
Séquence classique

Séquence sous-marine



Contraintes du milieu sous-marin :

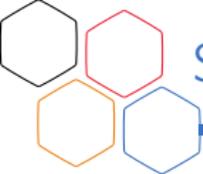
- Peu de détails
- Turbidité
- Dynamisme
- Eclairage artificiel



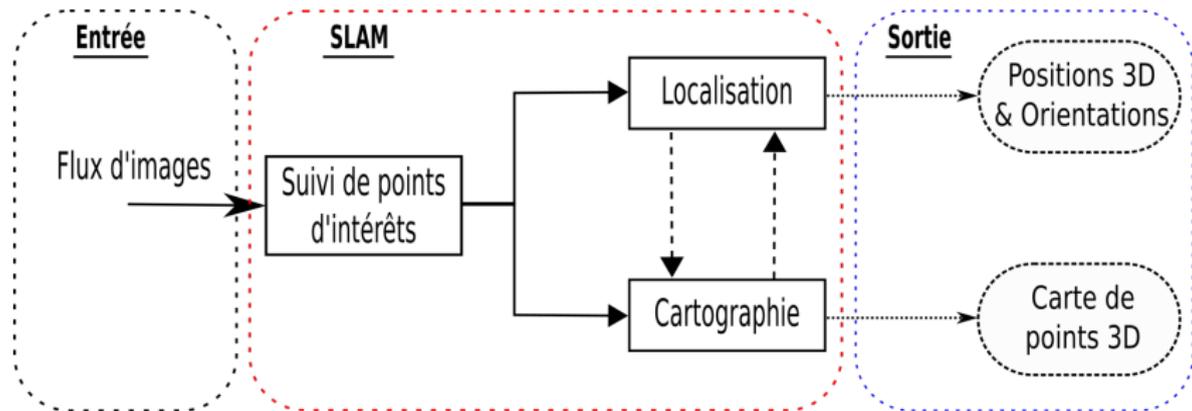
Contraintes du milieu sous-marin :

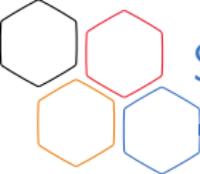
- Peu de détails
- Turbidité
- Dynamisme
- Eclairage artificiel

⇒ **Approches existantes non adaptées !**

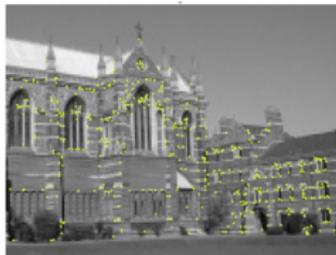


SLAM Visuel : Algorithme

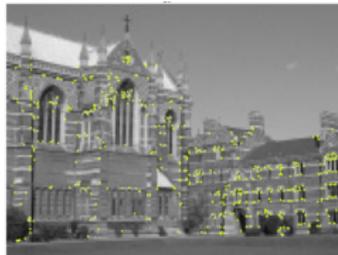




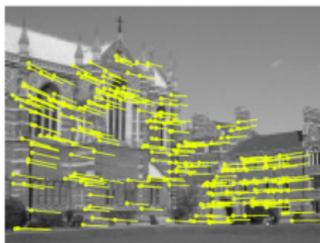
But : Suivre temporellement des points 2D



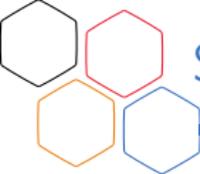
Image_t-1



Image_t



Tracking 2D



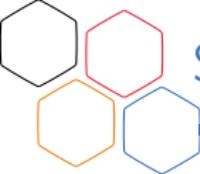
Objectif :

- ◆ Détecter des points saillants dans les images
- ◆ Suivre le déplacement de ces points

Matching de descripteurs

Matching de descripteurs

- ◆ Extraction de points d'intérêts dans chaque image
- ◆ Calcul d'un descripteur pour chaque point
- ◆ Matching par calcul de similarité

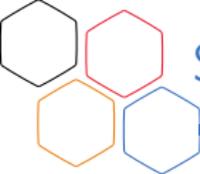


Matching de descripteurs

- ◆ Extraction de points d'intérêts dans chaque image
- ◆ Calcul d'un descripteur pour chaque point
- ◆ Matching par calcul de similarité

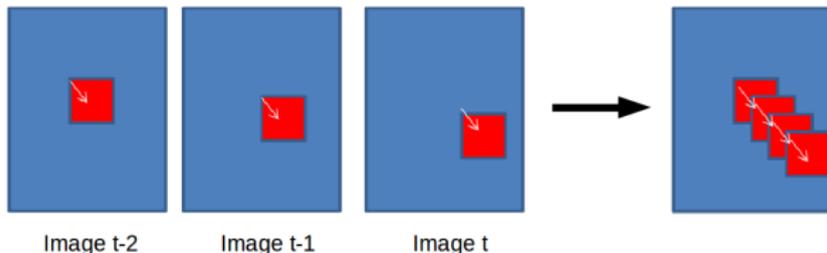
⇒ **Manque de répétabilité !**

Flot optique : Méthode de Kanade-Lucas-Tomasi¹

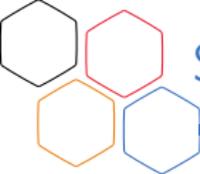


Flot optique : Méthode de Kanade-Lucas-Tomasi¹

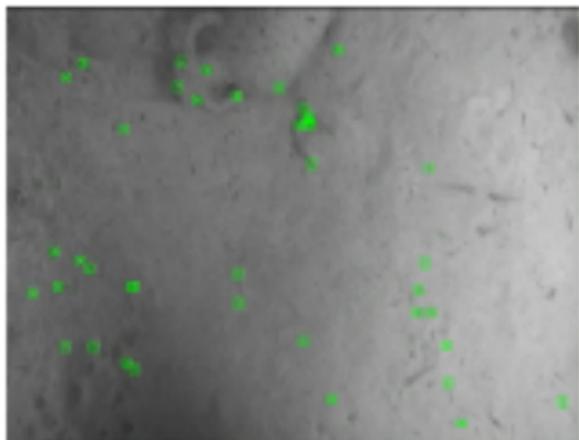
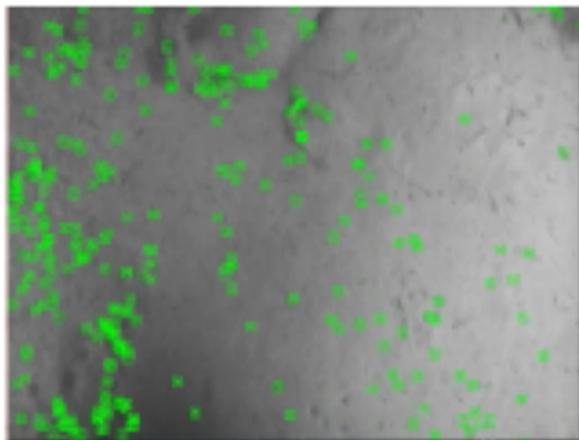
- ◆ Détection de points d'intérêts dans la 1ère image
- ◆ Extraction d'une fenêtre autour de ces points
- ◆ Estimation du flot optique
- ◆ Suivi photométrique



[1] J-Y. Bouguet. Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker. Intel Corporation, Microprocessor Research Lab, 2000.

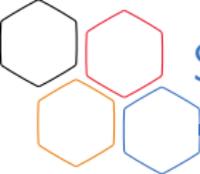


KLT vs ORB¹



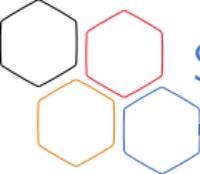
[1] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, and G. Bradski, "ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF", ICCV, Barcelona, Spain, November 2011, pp.2564-2571.

Robustesse aux occlusions temporaires



Robustesse aux occlusions temporaires

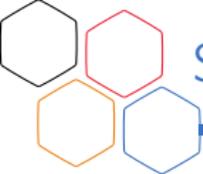
- ◆ Mise en mémoire des points perdus
- ◆ Recherche de ces points dans les images suivantes



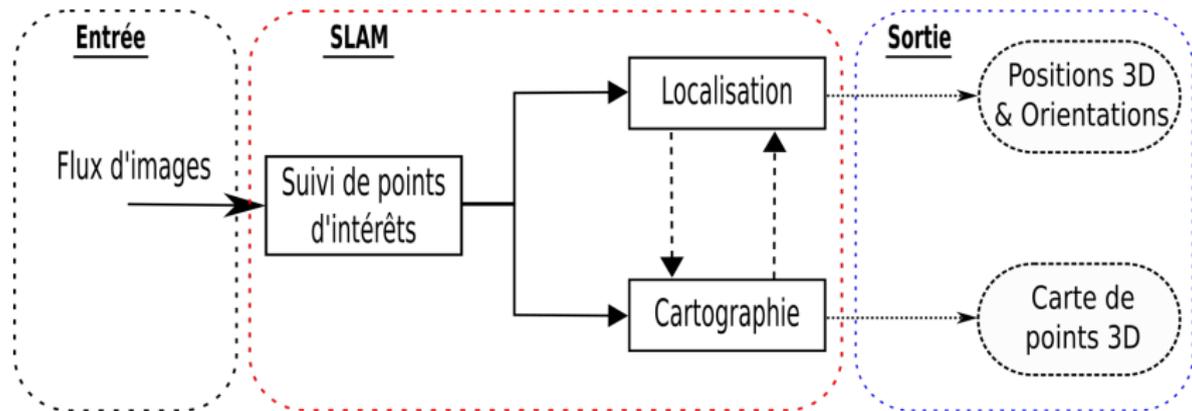
Robustesse aux occlusions temporaires

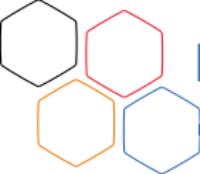
- ◆ Mise en mémoire des points perdus
- ◆ Recherche de ces points dans les images suivantes

⇒ **Récupération de points normalement définitivement perdus !**



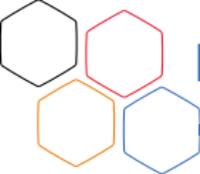
SLAM Visuel : Algorithme





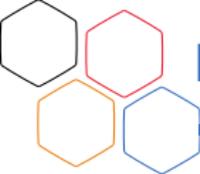
Objectif :

- Estimer la position 3D des points d'intérêts suivis
- Estimer les déplacements de la caméra à partir des appariements 2D-3D

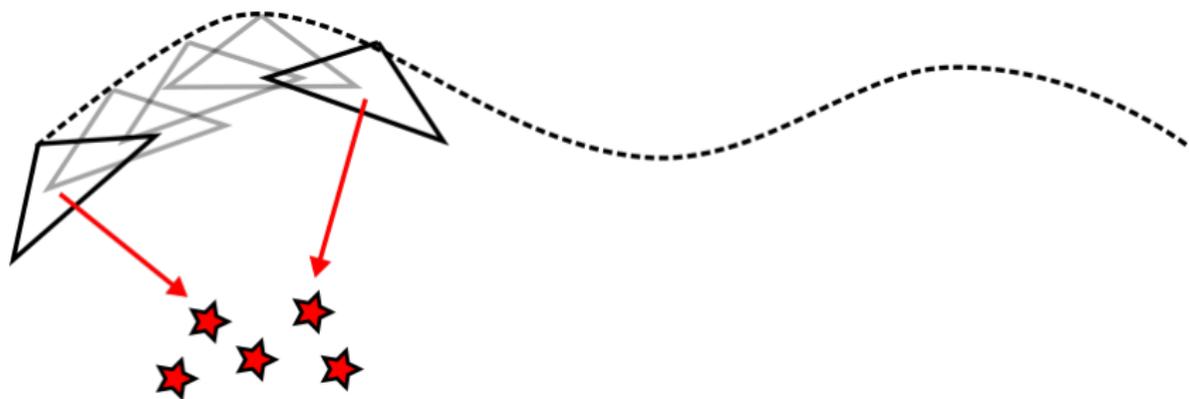


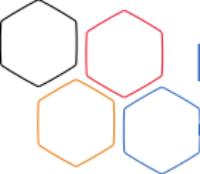
1. Suivi de points dans les images



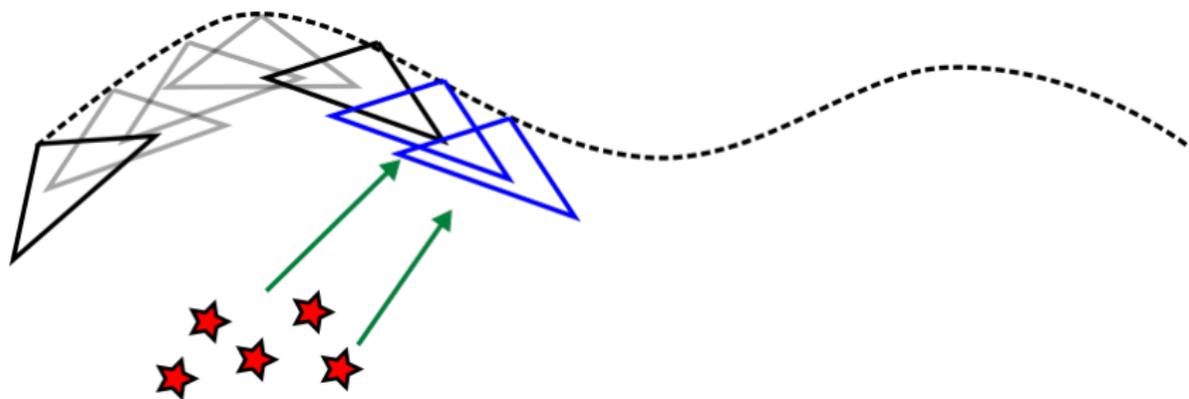


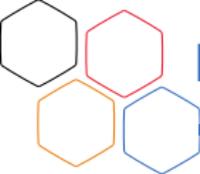
2. Triangulation des points quand assez de disparité



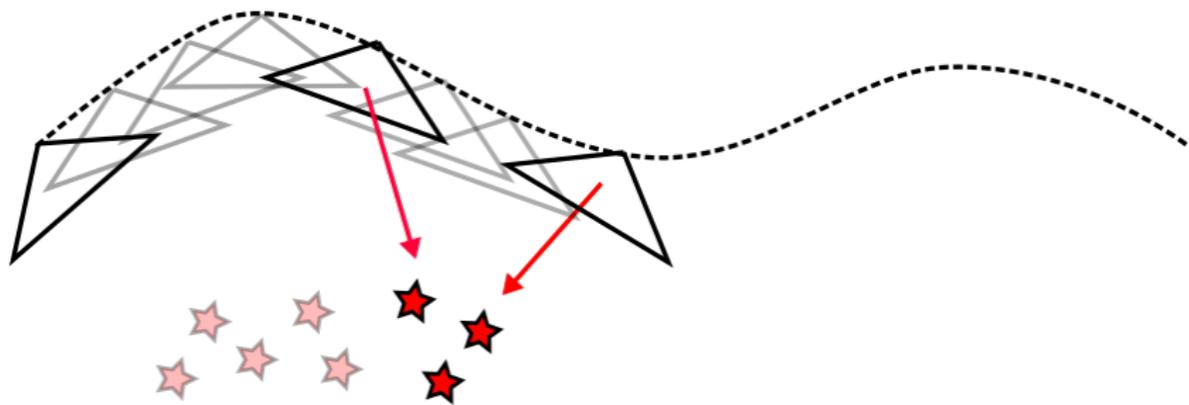


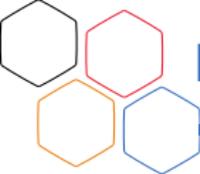
3. Localisation à partir des points 3D et suivi de points





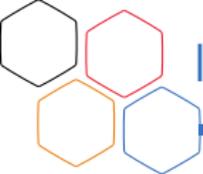
4. Nouvelle triangulation quand assez de disparité



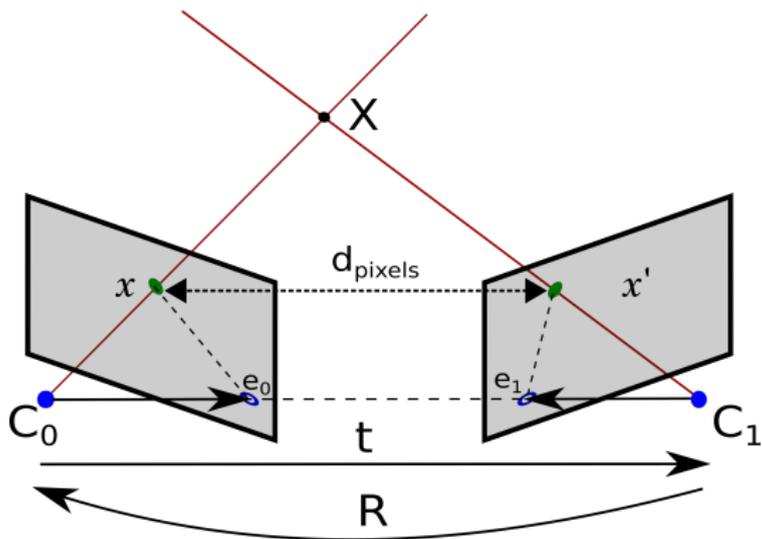


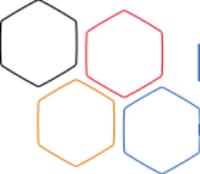
L'oeuf ou la poule ?

- ◆ Besoin de points 3D pour estimer le déplacement de la caméra
- ◆ Besoin du déplacement de la caméra pour estimer un point 3D



Initialisation du SLAM



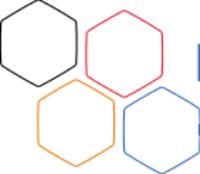


Initialisation du SLAM



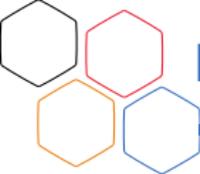
Solution

- Estimer la pose relative : *orientation + direction*



Solution

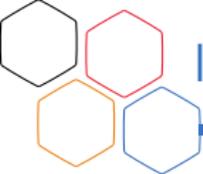
- Estimer la pose relative : ***orientation + direction***
- Fixer arbitrairement le facteur d'échelle : $\|\vec{t}\| = 1$



Solution

- Estimer la pose relative : ***orientation + direction***
- Fixer arbitrairement le facteur d'échelle : $\|\vec{t}\| = 1$

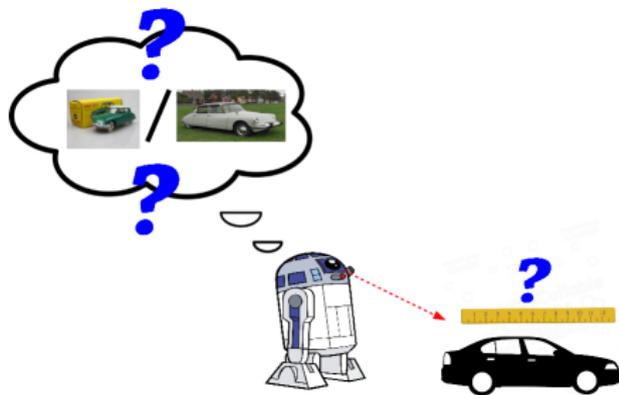
⇒ **Construction d'une trajectoire relative au facteur d'échelle fixé**



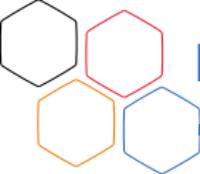
Initialisation du SLAM

Inconvénient

- Pas d'information métrique

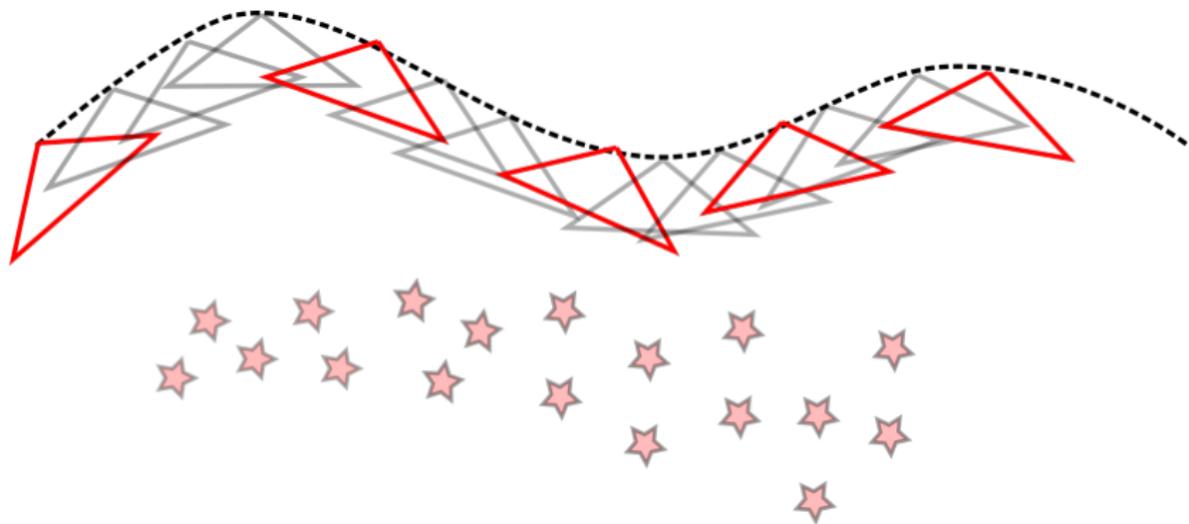


⇒ Possible d'estimer le facteur d'échelle à partir du capteur de pression ou l'IMU



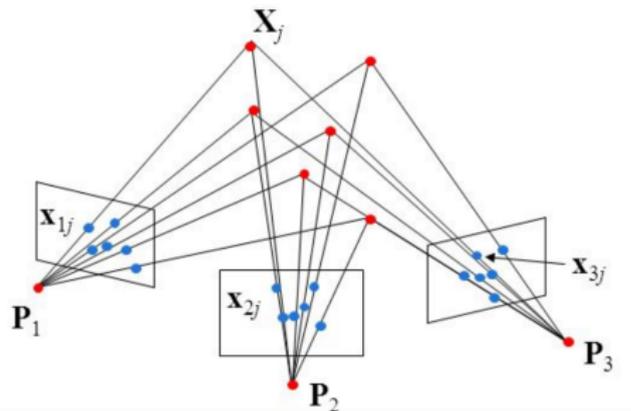
Images clés

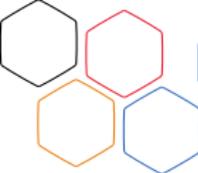
Images clés \rightarrow Images utilisées pour trianguler



Ce qu'on a :

- ◆ Pour chaque image clé :
 - ▶ Une pose : \mathbf{P}_i
 - ▶ Un ensemble de points 3D vus : \mathbf{X}_j
 - ▶ Des observations 2D pour chaque point 3D vu : \mathbf{x}_{ij}





Images clés

Objectif

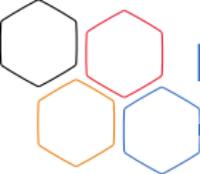
- ◆ Optimisation des poses des images clés et des points 3D

Objectif

- ◆ Optimisation des poses des images clés et des points 3D

Méthode

- ◆ **Ajustement de faisceaux** (*Bundle Adjustment*)



Objectif

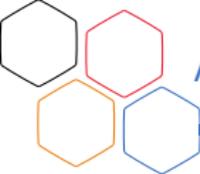
- ◆ Optimisation des poses des images clés et des points 3D

Méthode

- ◆ **Ajustement de faisceaux** (*Bundle Adjustment*)
- ◆ Optimisation jointes des poses et des points 3D par minimisation de l'erreur de reprojection :

$$\arg \min_{P_i, X_j} \left(\sum_i \sum_j (x_{ij} - \pi_i(X_j))^2 \right)$$

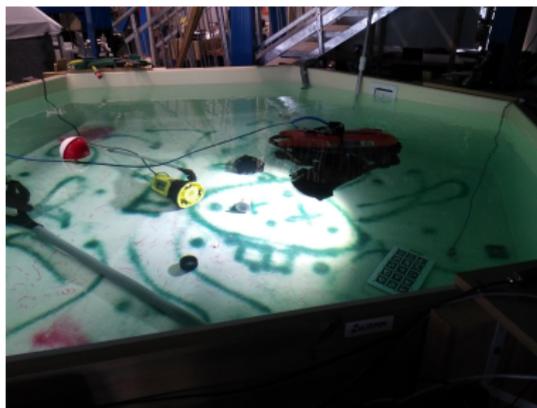
π_i : fonction de projection dans l'image i



En pratique

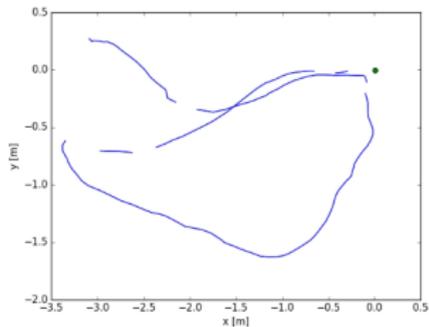
- Optimisation non-linéaire résolue par l'algorithme de Levenberg-Marquardt
- Trop lourd pour être exécuté sur toutes les poses en temps-réel
- Optimisation locale sur fenêtre glissante
- Seules les 10 dernières images clés sont optimisées

Séquence en bassin

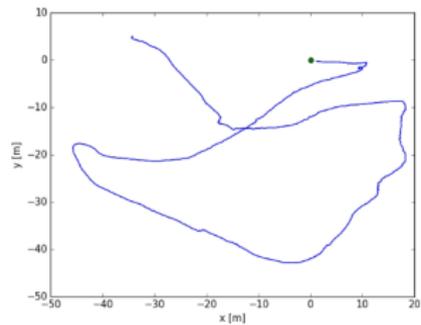


ORB-SLAM
Nous

Séquence en bassin



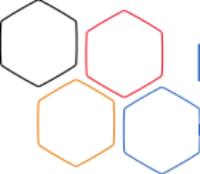
ORB-SLAM



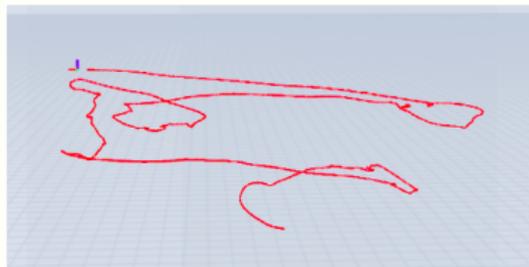
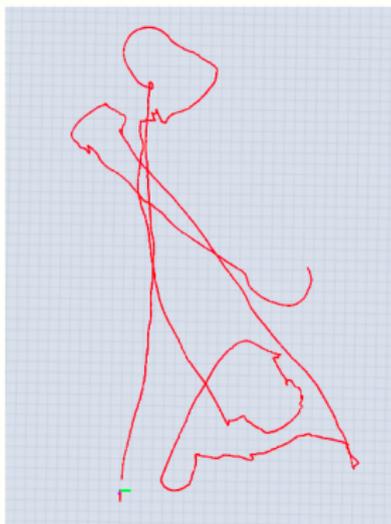
NOUS

Séquence sous-marine

Video

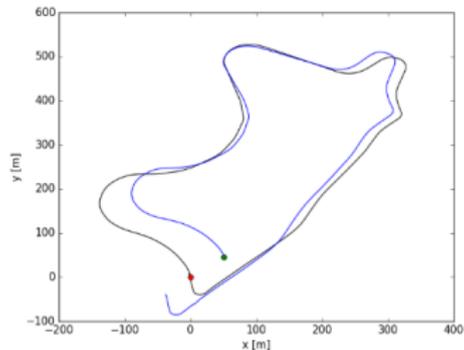


Séquence sous-marine

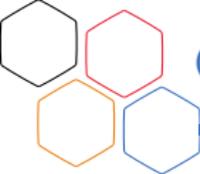


KITTI

Séquence	Dimension (m x m)	RMSE (m)	
		ORB-SLAM	NOUS
Kitti 00	564 x 496	6.68	33.53
Kitti 01	1157 x 1827	X	X
Kitti 02	599 x 946	21.75	X
Kitti 03	471 x 199	1.59	1.56
Kitti 04	0.5 x 394	1.79	2.59
Kitti 05	479 x 426	8.23	23.98
Kitti 06	23 x 457	14.68	29.6
Kitti 07	191 x 209	3.36	10.81
Kitti 08	808 x 391	46.58	41.89
Kitti 09	465 x 568	7.62	17.39
Kitti 10	671 x 177	8.68	4.79



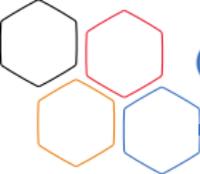
Séquence 09



Conclusion

Contributions

- ◆ Méthode d'égo-localisation adaptée au milieu sous-marin
- ◆ 1^{er} algorithme de SLAM visuel basé images-clés développé pour des robots sous-marins

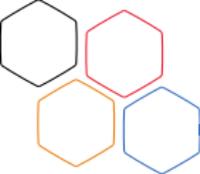


Conclusion



Perspectives

- ◆ Détecter les fermetures de boucle
- ◆ Intégrer les mesures de l'IMU et du capteur de pression
- ◆ Faire des reconstructions 3D dense



Questions ?

Contact

Maxime Ferrera - *ONERA / LIRMM*

maxime.ferrera@onera.fr