SLAM monoculaire pour la navigation des robots sous-marins dans le contexte archéologique

Maxime Ferrera[1,2], Julien Moras[1], Pauline Trouvé-Peloux[1], Vincent Creuze[2]

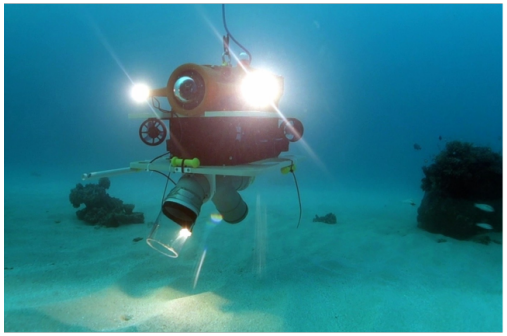
[1] *DTIS, ONERA, Univ. Paris Saclay F-91123 Palaiseau - France*
[2] *LIRMM, Univ. Montpellier, CNRS, Montpellier, France*

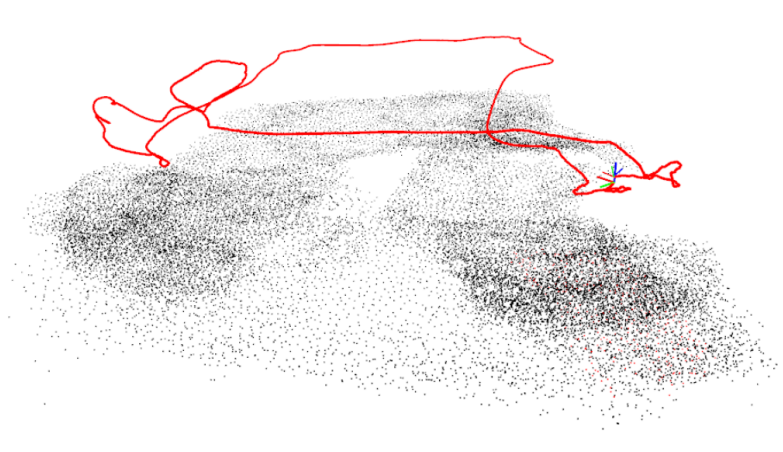
MOQESM'2018

Contexte

Archéologie Sous-Marine

- Epaves souvent trop profondes pour les plongeurs
- Utilisation de ROVs pour aider les archéologues
- Problématique : Navigation à vue
  - Pas d'info de localisation
  - Pas de carte des zones inspectées

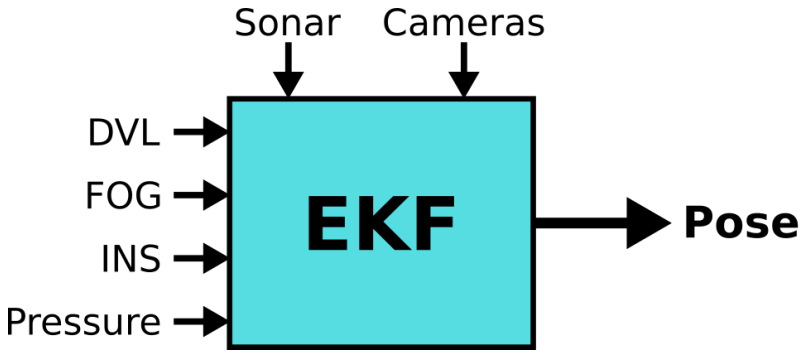


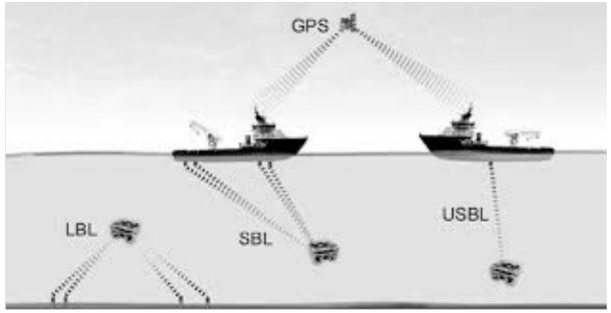


Motivations

Localisation sous-marine

- *Dead-Reckoning* par fusion de capteurs
- Systèmes accoustiques : USBL, SBL, LBL

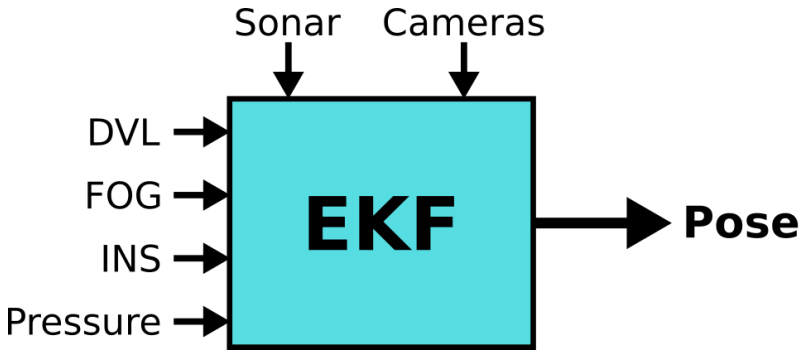


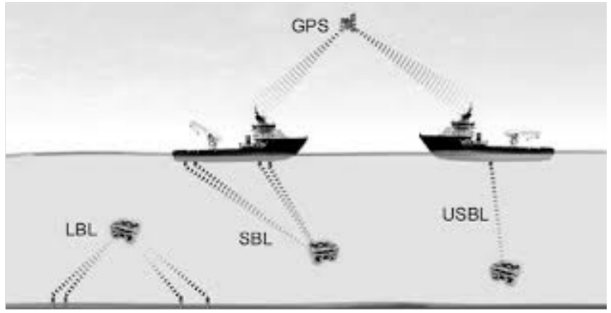


Motivations

Localisation sous-marine

- *Dead-Reckoning* par fusion de capteurs
- Systèmes accoustiques : USBL, SBL, LBL





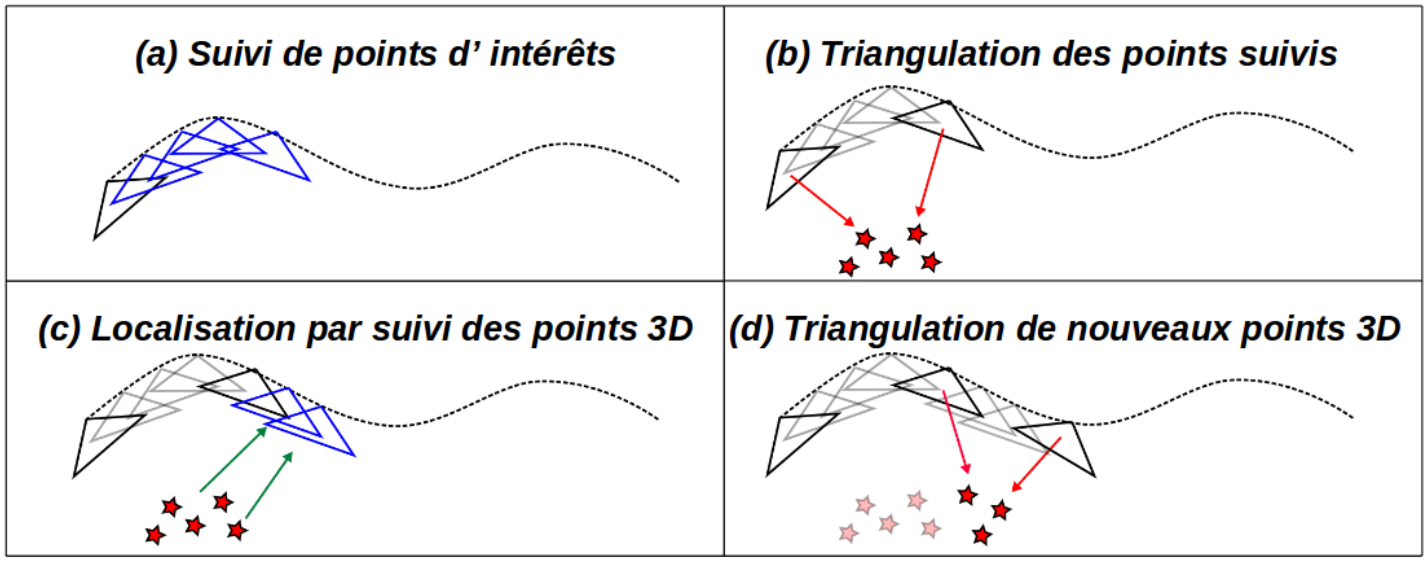
Inconvénients

- Capteurs coûteux
- Difficile à mettre en place

Motivations

SLAM visuel

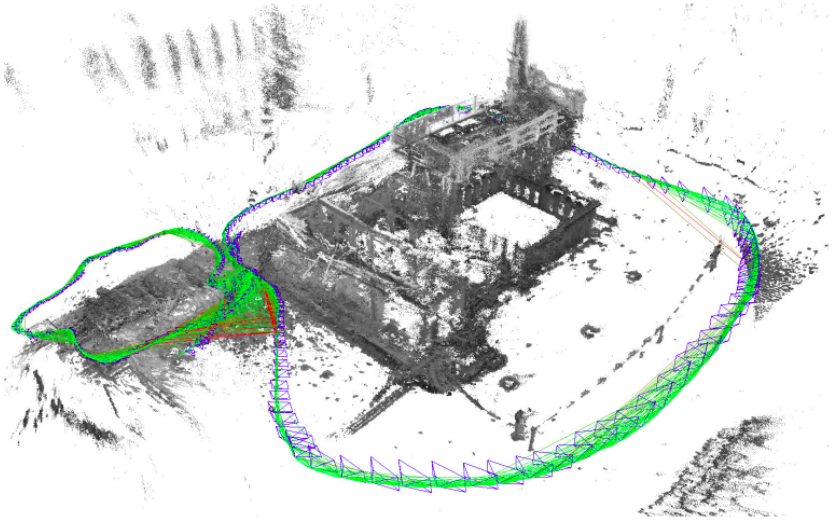
- Principe : Localisation et cartographie simultanee par suivi de points / zones d'interets dans un flux d'images



Motivations

SLAM visuel

- Principe : Localisation et cartographie simultanee par suivi de points / zones d'interets dans un flux d'images



Etat de l'art

SLAM Visuel en Robotique Sous-Marine

- Relativement peu étudié pour la robotique sous-marine :
  - Environnement hostile à la vision
  - Peu de données disponibles

Etat de l'art

SLAM Visuel en Robotique Sous-Marine

- Relativement peu étudié pour la robotique sous-marine :
  - Environnement hostile à la vision
  - Peu de données disponibles
- Majoritairement des methodes stéréo :
  - Johnson-Roberson et al., 2010 [1]
  - Drap et al., 2015 [2]
  - Bellavia et al., 2017 [3]

Etat de l'art

SLAM Visuel en Robotique Sous-Marine

- Relativement peu étudié pour la robotique sous-marine :
  - Environnement hostile à la vision
  - Peu de données disponibles
- Majoritairement des methodes stéréo :
  - Johnson-Roberson et al., 2010 [1]
  - Drap et al., 2015 [2]
  - Bellavia et al., 2017 [3]
- Inconvénients :
  - Calibration
  - Synchronisation des caméras
  - Caissons *sur mesure*

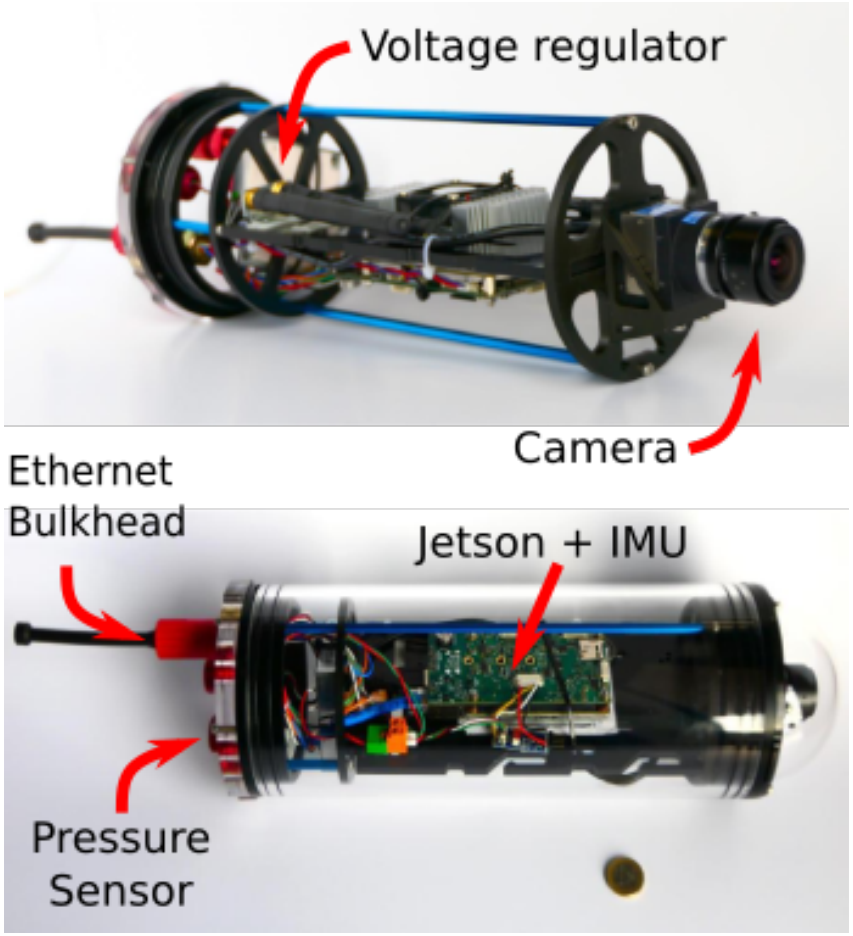
Etat de l'art

SLAM Visuel en Robotique Terrestre et Aérienne

- SLAM monoculaire : ORB-SLAM [4], LSD-SLAM [5], SVO [6], DSO [7]
- Visual-Inertial SLAM : OKVIS [8], VINS-Mono [9], ...

ORB-SLAM **LSD-SLAM** **SVO**

Charge Utile



Jeux de données

Séquences sur épaves

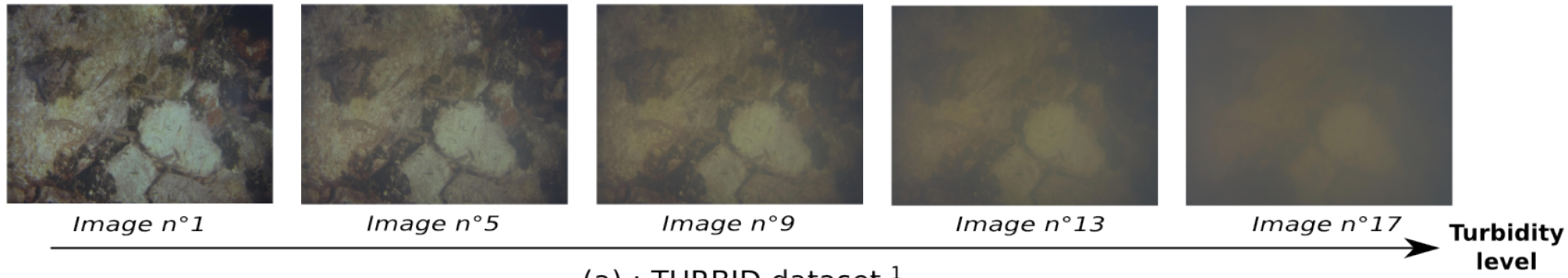
- Vidéo uniquement
- Peu de texture
- Turbité
- Dynamisme

Le dataset Aqualoc [10]

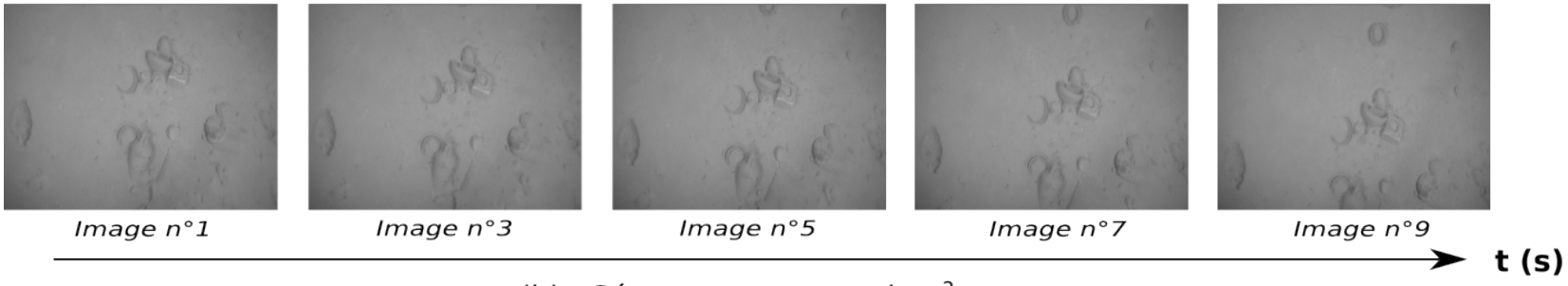
- Séquences en port
- Vidéo + Pression + IMU
- Rétrodiffusion
- Fortes variations d'intensité

Jeux de données

Evaluation des méthodes de suivi de points



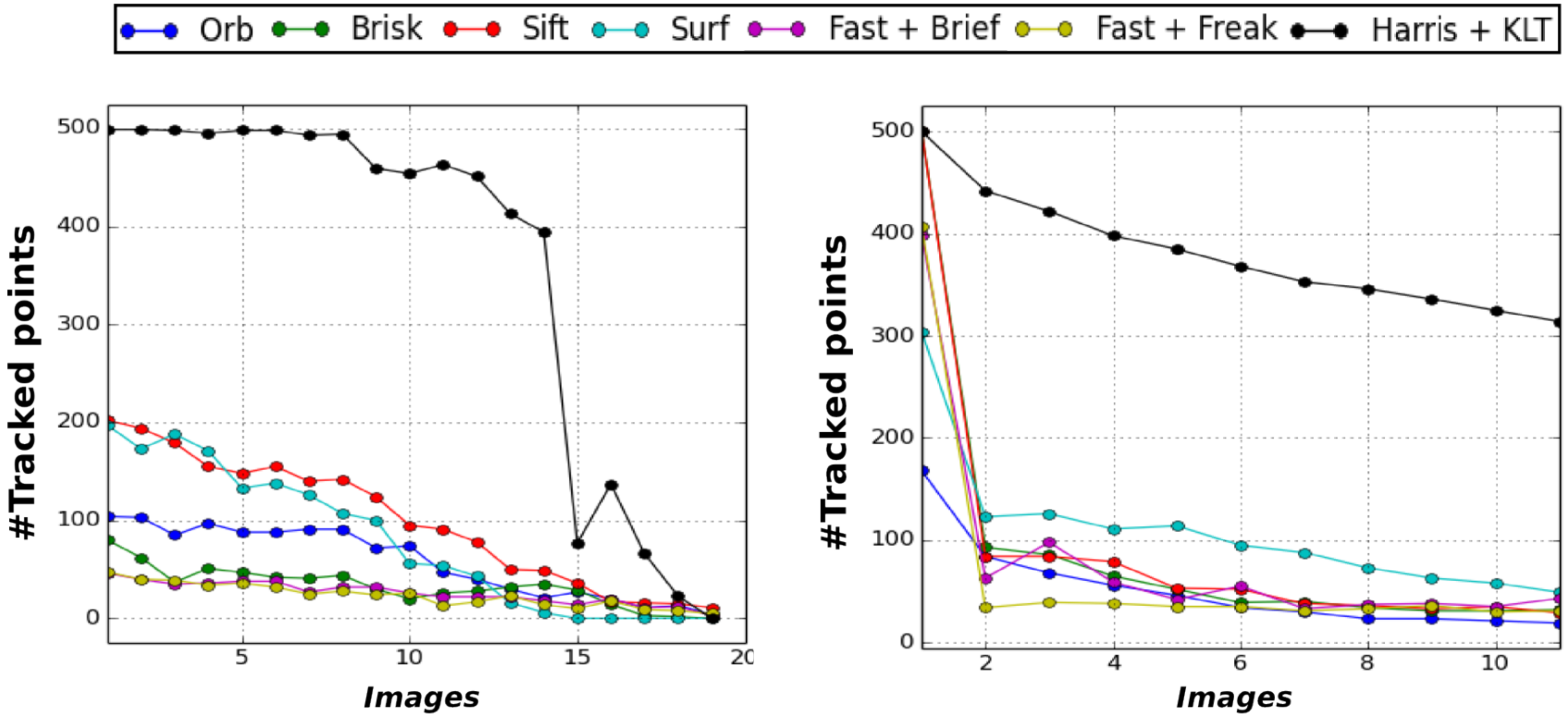
(a) : TURBID dataset [1]



(b) : Séquence sous-marine [2]

1 : Codevilla et al, Achieving Turbidity Robustness on Underwater Images Local Feature Detection (BMVC 2015).
2: Crédit : Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-marines (DRASSM).

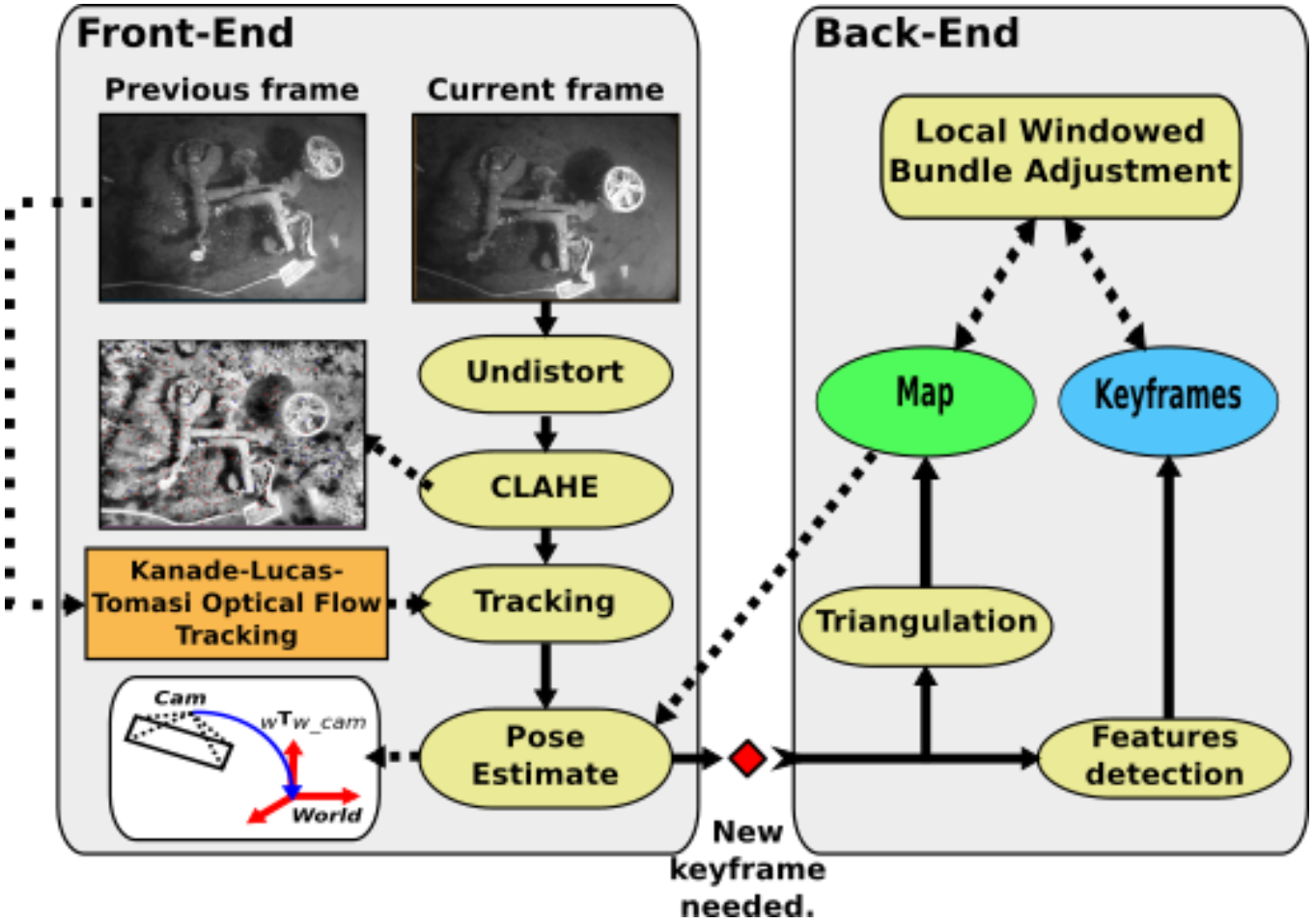
Evaluation des méthodes de suivi de points



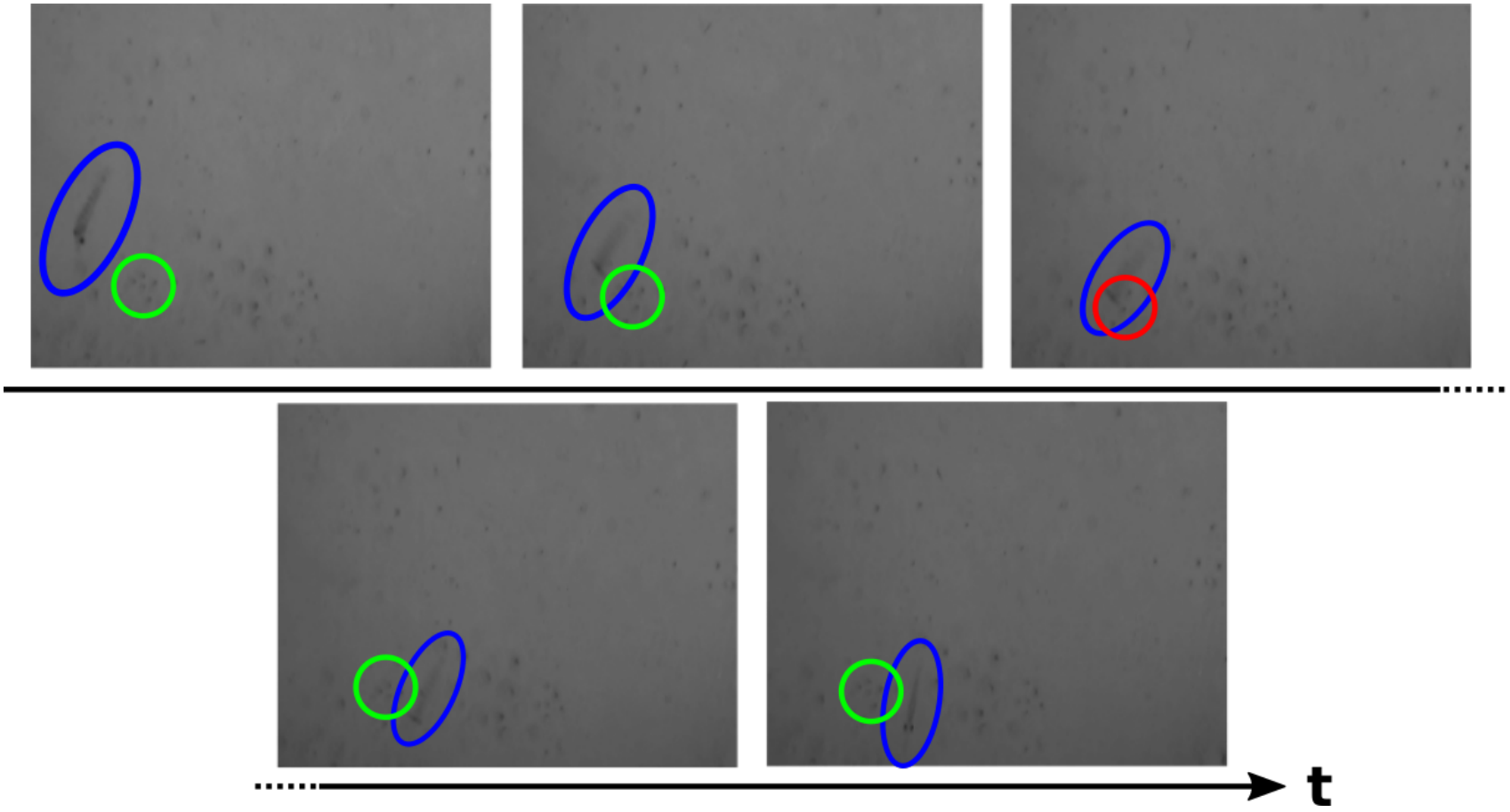
(a) : TURBID Dataset

(b) : Séquence sous-marine

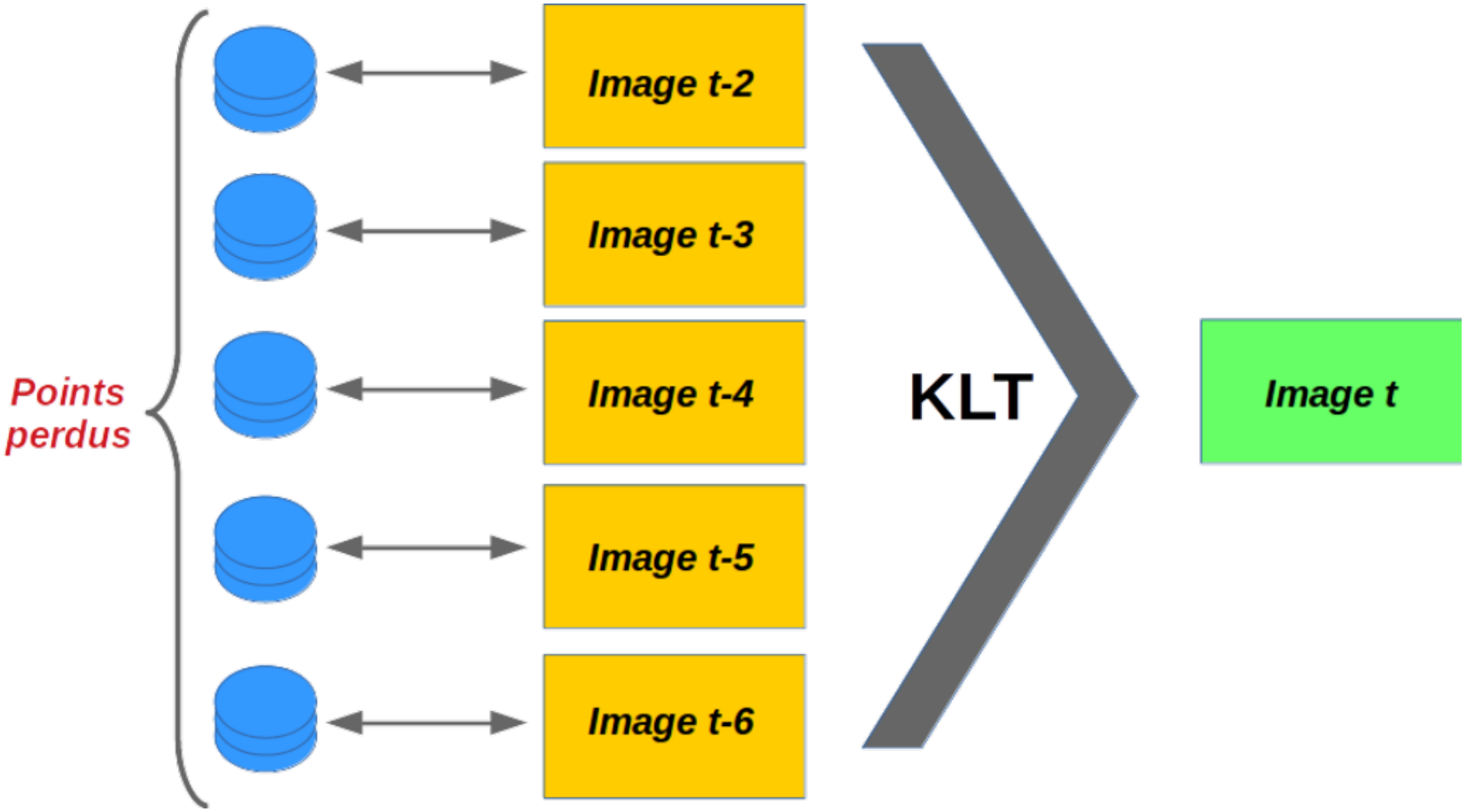
SLAM visuel sous-marin



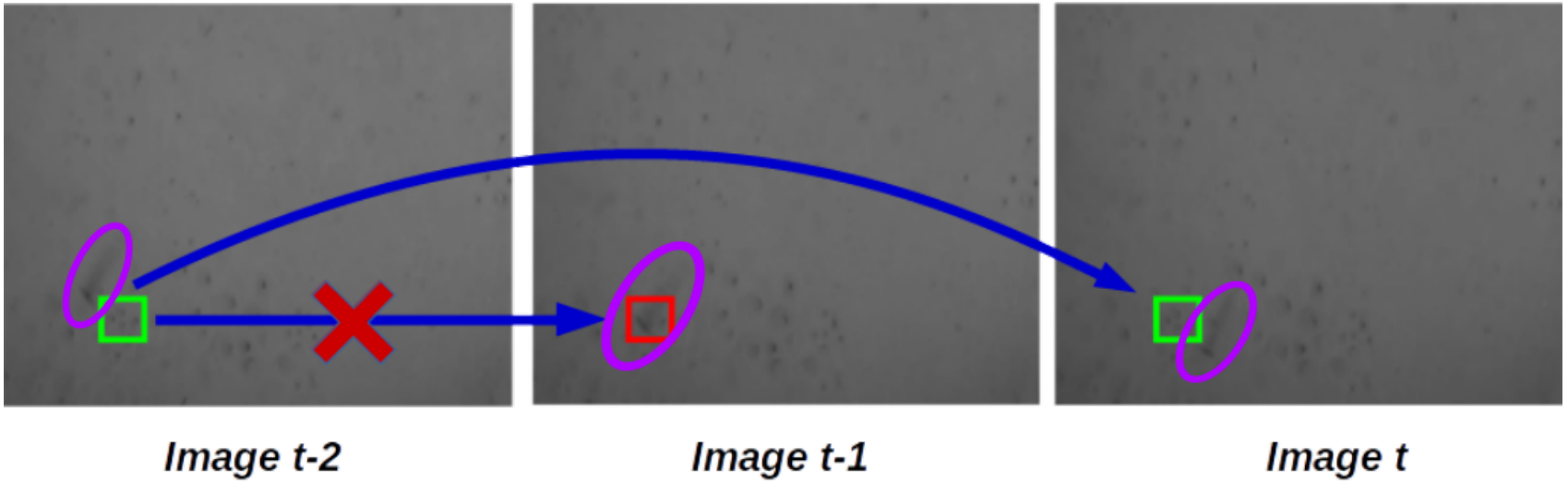
Robustesse au dynamisme



Robustesse au dynamisme

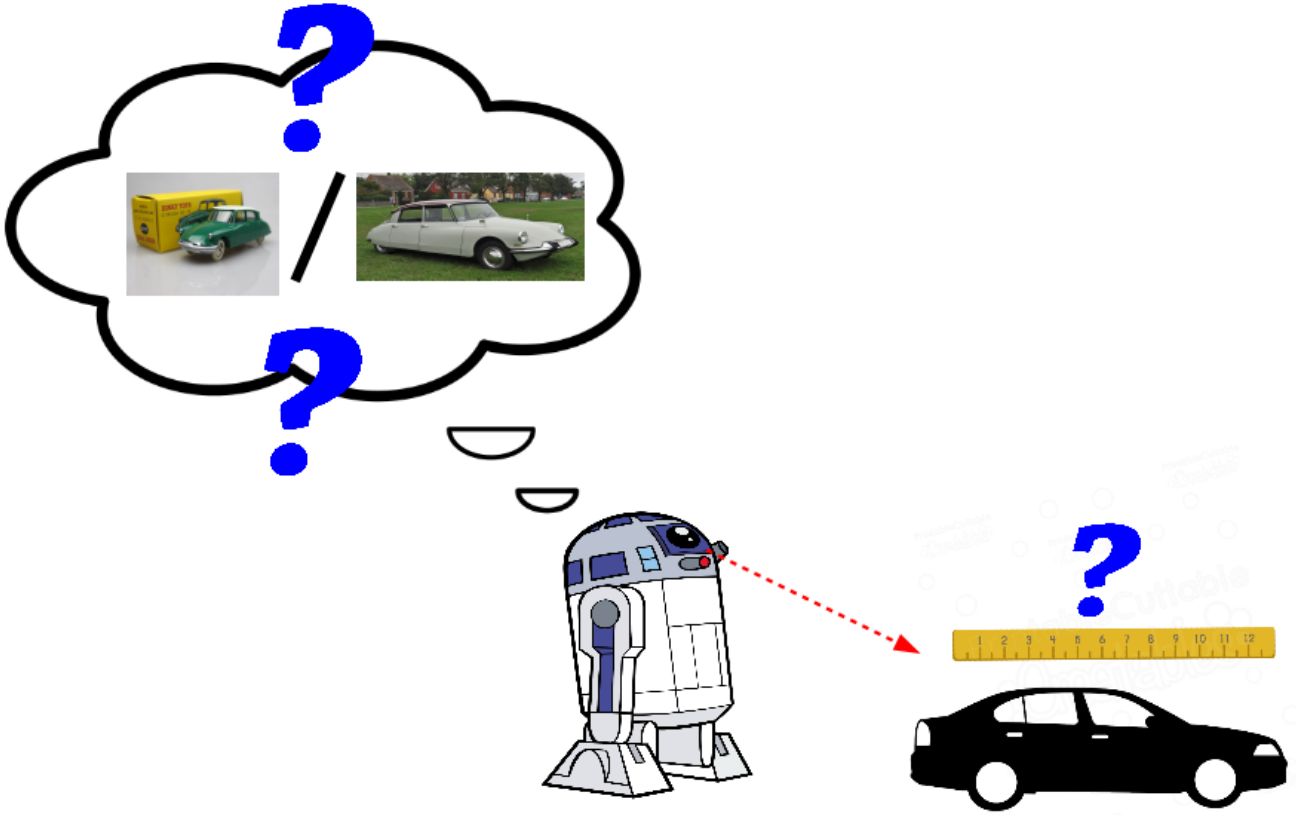


Robustesse au dynamisme



Résultat sur séquence sur épave

Limitations



Fusion Vision - Pression

Problématique

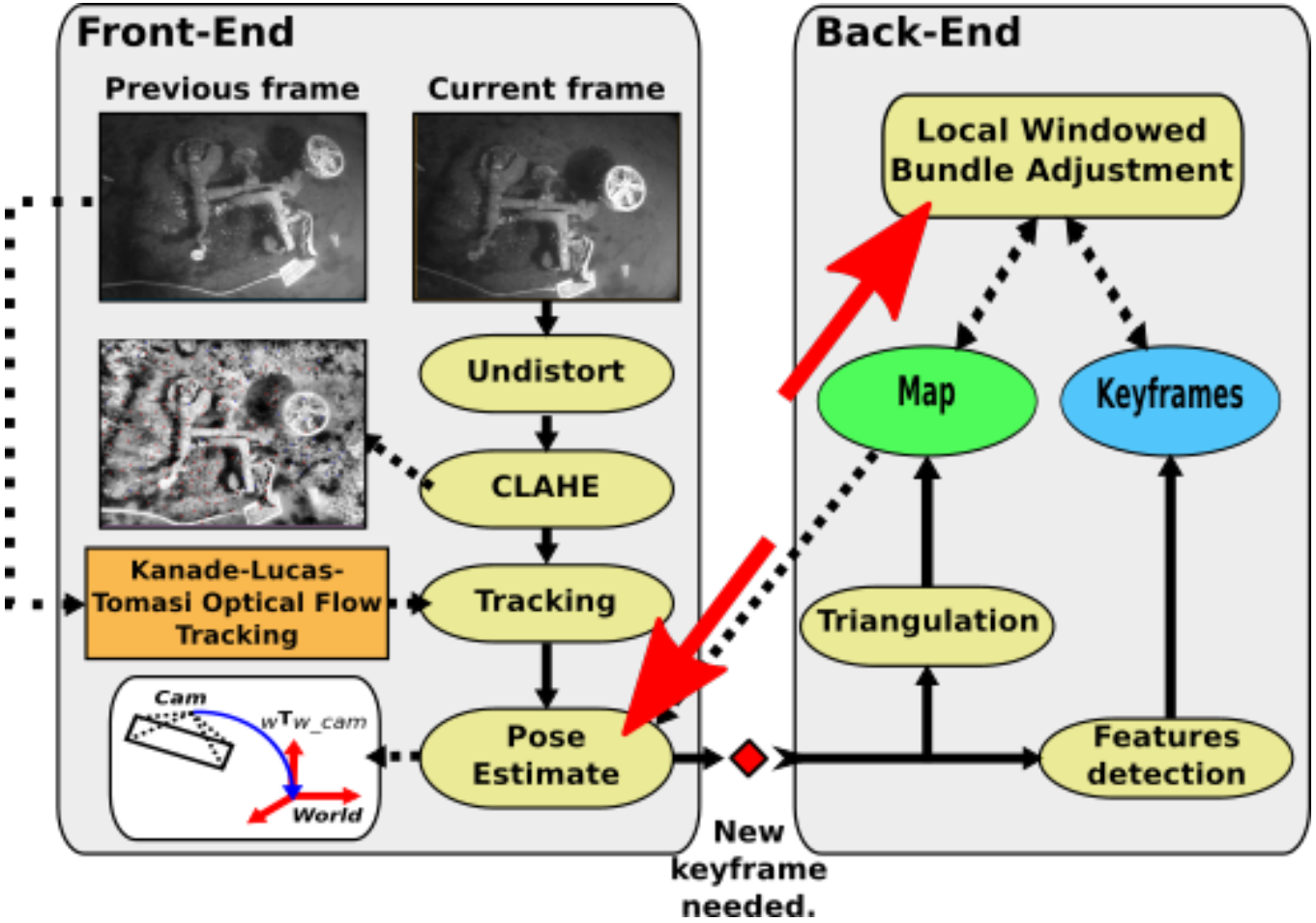
- Mesures de pression $\Longrightarrow$ Mesures de profondeur
- Images à 20 Hz et Pression à 5-10 Hz

Fusion Vision - Pression

Problématique

- Mesures de pression $\Longrightarrow$ Mesures de profondeur
- Images à 20 Hz et Pression à 5-10 Hz
- **Comment utiliser au mieux la pression ?**

Fusion serré Vision - Pression



Fusion serré Vision - Pression

$$\mathbf{T}_i^* = \arg\min_{\mathbf{T}_i} \left(\sum_{j \in \mathfrak{I}} E_{visual}(\mathbf{T}_i, \mathbf{X}_j) + E_{depth}(\mathbf{T}_i, \mathbf{T}_n) \right)$$

Fusion serré Vision - Pression

1ère Solution

- Directement ajouter un terme d'erreur sur la position verticale :

$$E_{depth}(\mathbf{T}_i) = \rho\left(\|d_i - t_i^z\|^2_{\sigma_d^2}\right)$$

Fusion serré Vision - Pression

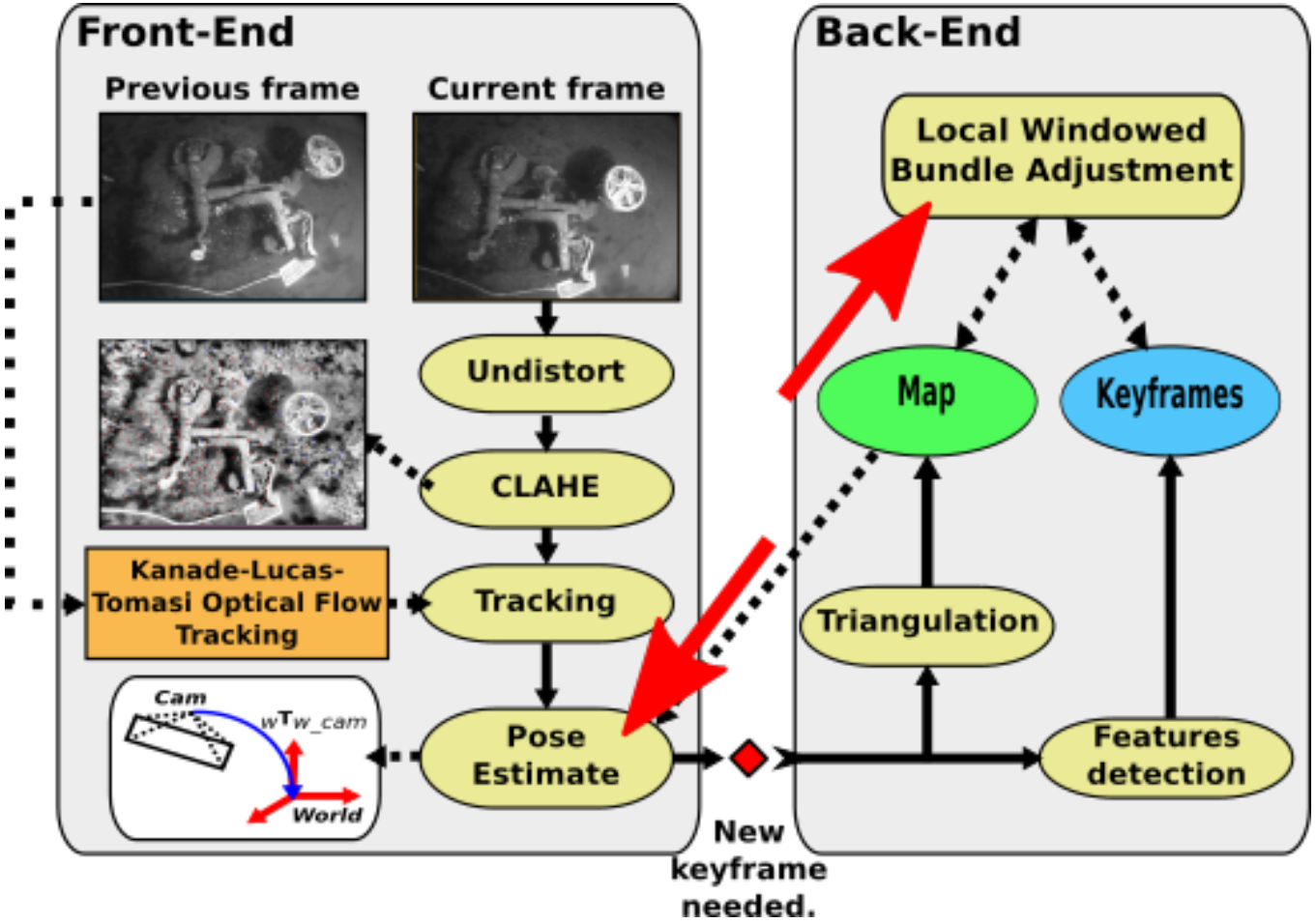
1ère Solution

- Directement ajouter un terme d'erreur sur la position verticale :

$$E_{depth}(\mathbf{T}_i) = \rho\left(\|d_i - t_i^z\|^2_{\sigma_d^2}\right) \longrightarrow$$

Seulement utile sur les images-clés !

Fusion serré Vision - Pression



Fusion serré Vision - Pression

1ère Solution

- Directement ajouter un terme d'erreur sur la position verticale :

$$\cancel{E_{depth}(\mathbf{T}_i) = \rho\left(\|d_i - \tilde{t}_i^z\|^2_{\sigma_d^2}\right)}$$

→ Seulement utile sur les images-clés !

Fusion serré Vision - Pression

1ère Solution

- Directement ajouter un terme d'erreur sur la position verticale :

$$\cancel{E_{depth}(\mathbf{T}_i) = \rho\left(\|d_i - t_i^z\|^2_{\sigma_d^2}\right)} \longrightarrow$$

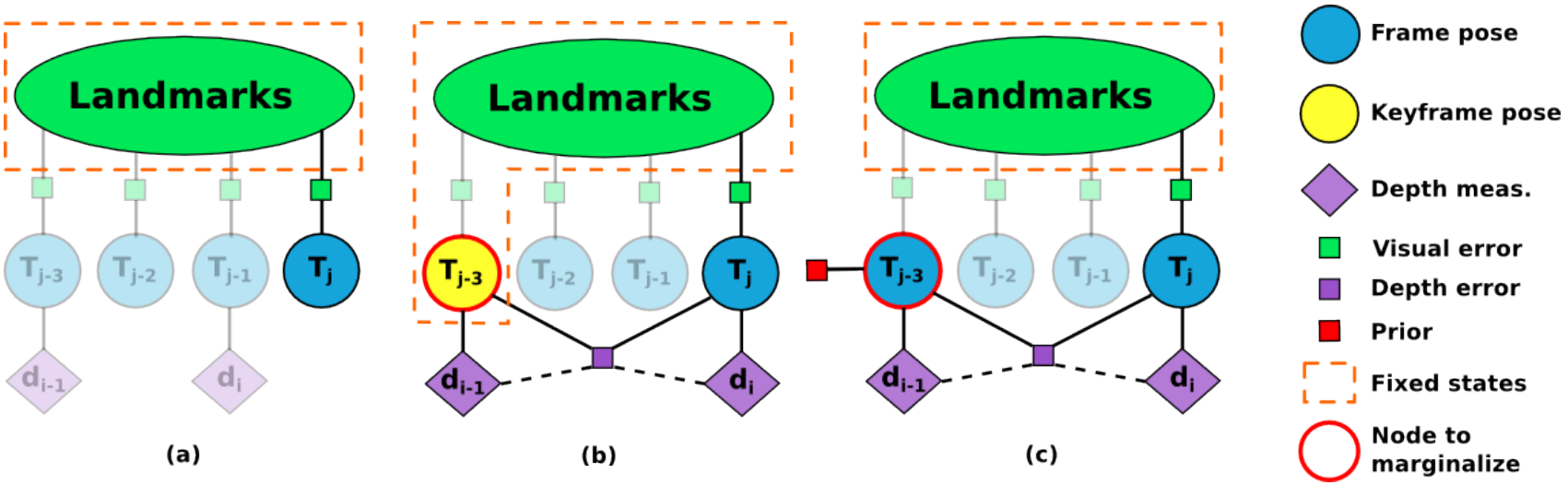
Seulement utile sur les images-clés !

2ème Solution

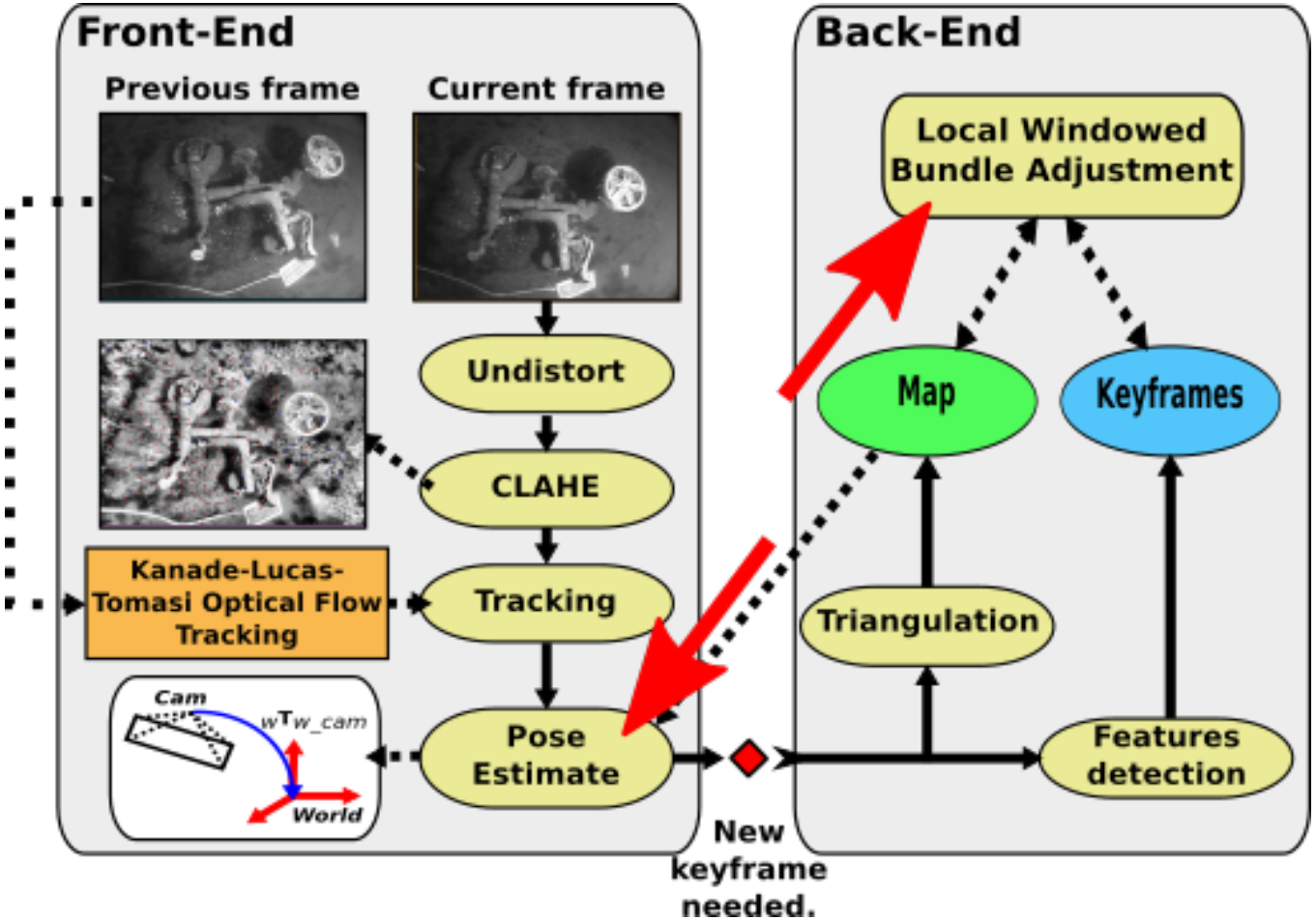
- Minimiser la distance verticale parcourue entre deux images:

$$E_{depth}(\mathbf{T}_i, \mathbf{T}_j) = \rho\left(\left\|(d_i - d_j) - (t_i^z - t_j^z)\right\|^2_{\sigma_d^2}\right)$$

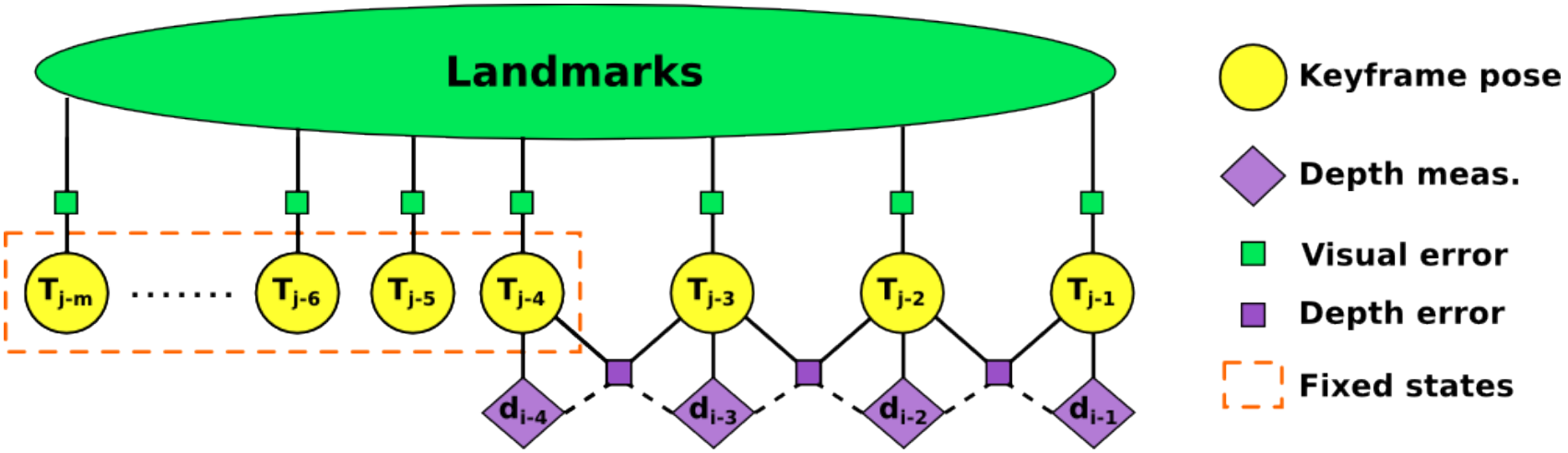
Estimation de Pose : Vision - Pression



Bundle Adjustment : Vision - Pression



Bundle Adjustment : Vision - Pression



Résultat sur séquence en port

Conclusion

Contributions

- Conception d'une charge utile originale propice aux méthodes de localisation basée vision
- Création de datasets sous-marin ouverts à la communauté
- Proposition d'une nouvelle méthode de SLAM monoculaire avec fusion vision-pression adaptée aux contraintes sous-marines

Conclusion

Perspectives

- Tests en conditions réelles (algo. embarqué)
- Fusion Vision - Pression - Inertiel
- Densification des reconstructions 3D
- Etude de la fermeture de boucle

References

[1] M. Johnson-Roberson, O. Pizarro, S. B. Williams, and I. Mahon. Generation and visualization of large-scale three-dimensional reconstructions from underwater robotic surveys. Journal of Field Robotics, 2010.

[2] P. Drap, D. Merad, B. Hijazi, et al. Underwater Pho- togrammetry and Object Modeling: A Case Study of Xlendi Wreck in Malta. Sensors, 2015.

[3] F. Bellavia, M. Fanfani, and C. Colombo, Selective visual odometry for accurate AUV localization, Autonomous Robots, 2017.

[4] R. Mur-Artal, J.M.M. Montiel, J. D. Tardos. ORB-SLAM:a versatile and accurate monocular SLAM system. IEEE T-RO, 2015.

[5] Engel, J., Schops, T., Cremers, D., 2014. LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM. In: European Conference on Computer Vision (ECCV).

[6] C. Forster, Z. Zhang, M. Gassner, et al. SVO : Semidirect Visual Odometry for Monocular and Multicamera Systems. IEEE T-RO, 2017.

[7] J. Engel, V. Koltun, and D. Cremers, Direct Sparse Odometry. IEEE T-PAMI, 2018.

[8] Leutenegger, S., Lynen, S., Bosse, M., Siegwart, R., Furgale, P., 2015. Keyframe-Based Visual-Inertial Odometry using Nonlinear Optimization. IJRR.

[9] Lin, Y., Gao, F., Qin, T., Gao, W., Liu, T., Wu, W., Yang, Z., Shen, S., 2018. Autonomous aerial navigation using monocular visual-inertial fusion. Journal of Field Robotics (JFR).

[10] M. Ferrera, J. Moras, P. Trouvé-Peloux, V. Creuze, and D. Dégez, The Aqualoc Dataset: Towards Real-Time Underwater Localization from a Visual-Inertial-Pressure Acquisition System, in IROS Workshop - New Horizons for Underwater Intervention Missions: from Current Technologies to Future Applications, 2018.

Questions ?

Contact

Maxime Ferrera - *ONERA / LIRMM*

maxime.ferrera@onera.fr

`https://ferreram.github.io/`