



## Amélioration de la qualité d'un nuage de points 3D par ajustement de la calibration du LIDAR multi-fibres

17/03/2016

Housseem Noura

Laboratoire: Centre de robotique (CAOR)

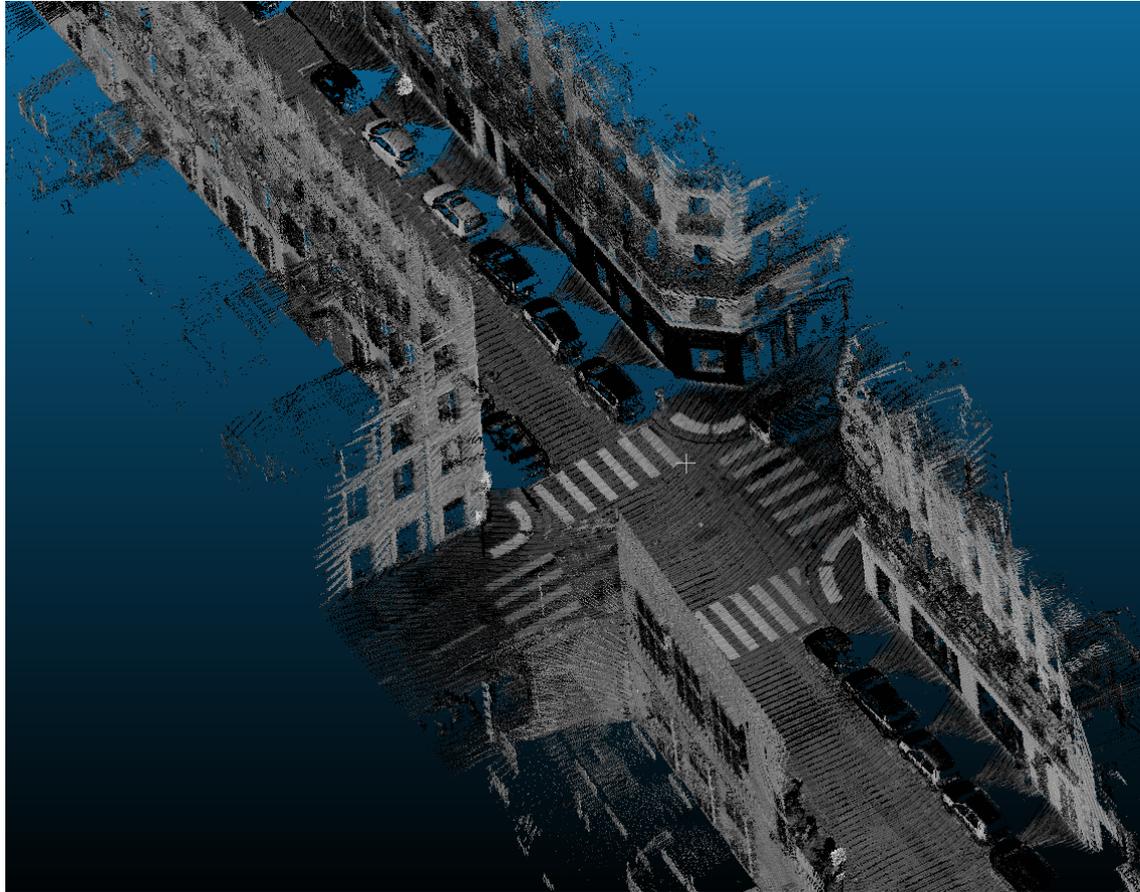
Directeur de thèse: François Goulette

Maître de thèse: Jean-Emmanuel Deschaud

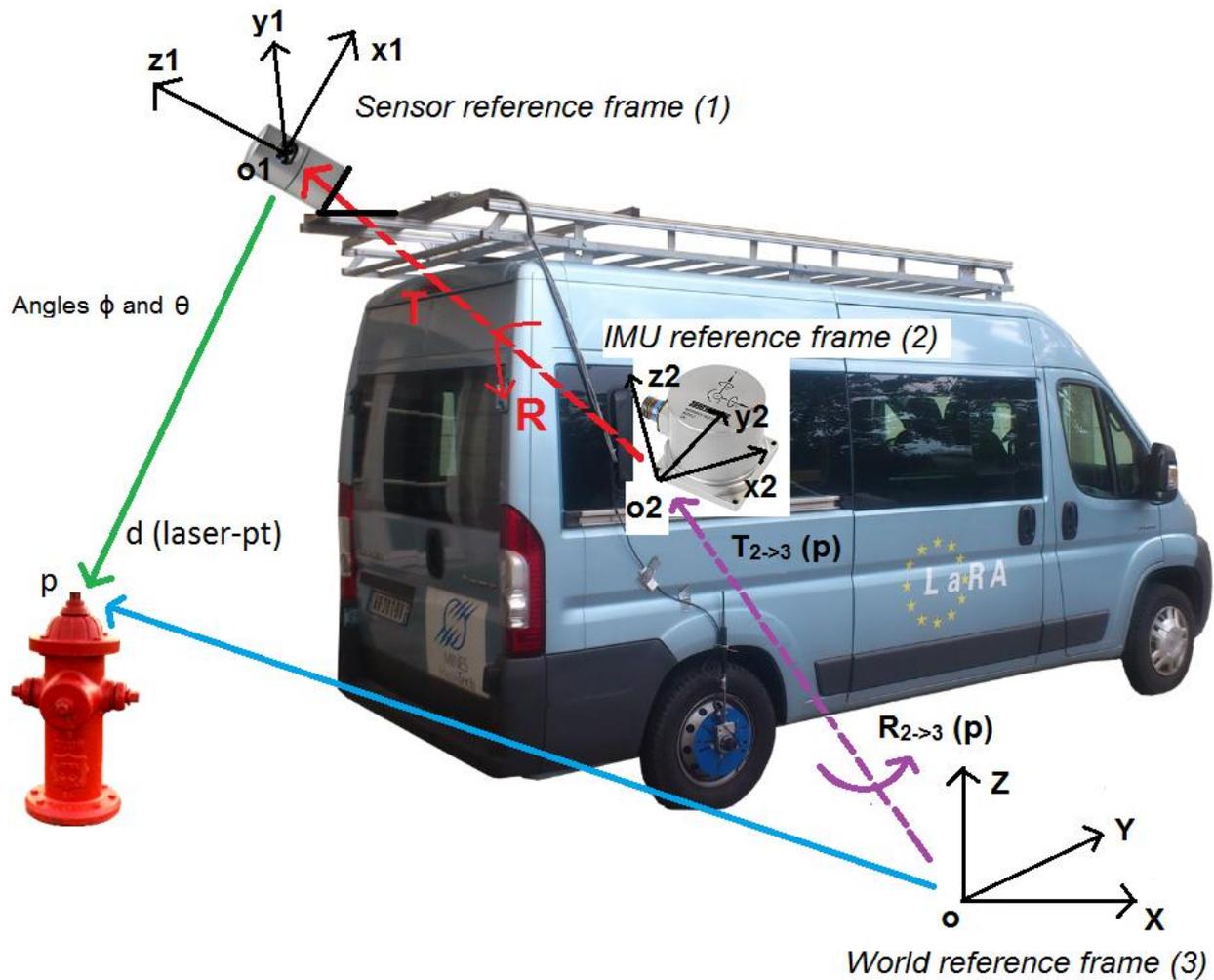
# Plan

- Introduction / Contexte
- Etat de l'art
- Méthode d'optimisation proposée
- Résultats expérimentaux
- Conclusion

# Contexte



# Contexte



# Problème

- On voudrait calibrer le système d'acquisition le plus simplement possible
  - Calibration rapide
  - Calibration automatique
  - Pas de setup particulier
  - Généralisable si possible

# Plan

- Introduction / Contexte
- **Etat de l'art**
- Méthode d'optimisation proposée
- Résultats expérimentaux
- Conclusion

# Etat de l'art

- « Unsupervised extrinsic parameters calibration for multi-beam lidars », Zhu and Liu, 2013
- Calibration automatique des angles d'Euler
  - Pas de mire de calibration
  - Processus automatique
- Calibration incomplète
  - Les paramètres de translations pour la calibration extrinsèque ne sont pas calibrés

# Etat de l'art

- « Temporal Analysis and Automatic Calibration of the Velodyne HDL-32E LIDAR System », Chan and Lichti, 2013
- « Feature\_based Self-Calibration of Velodyne HDL-32<sup>E</sup> LIDAR for Terrestrial Mobile Mapping Applications », Chan and Lichti, 2012
- Proposition d'un modèle de calibration intrinsèque et optimisation automatique, en environnement contrôlé
  - Présence de plans et cylindres
  - Paramètres intrinsèques uniquement

# Etat de l'art

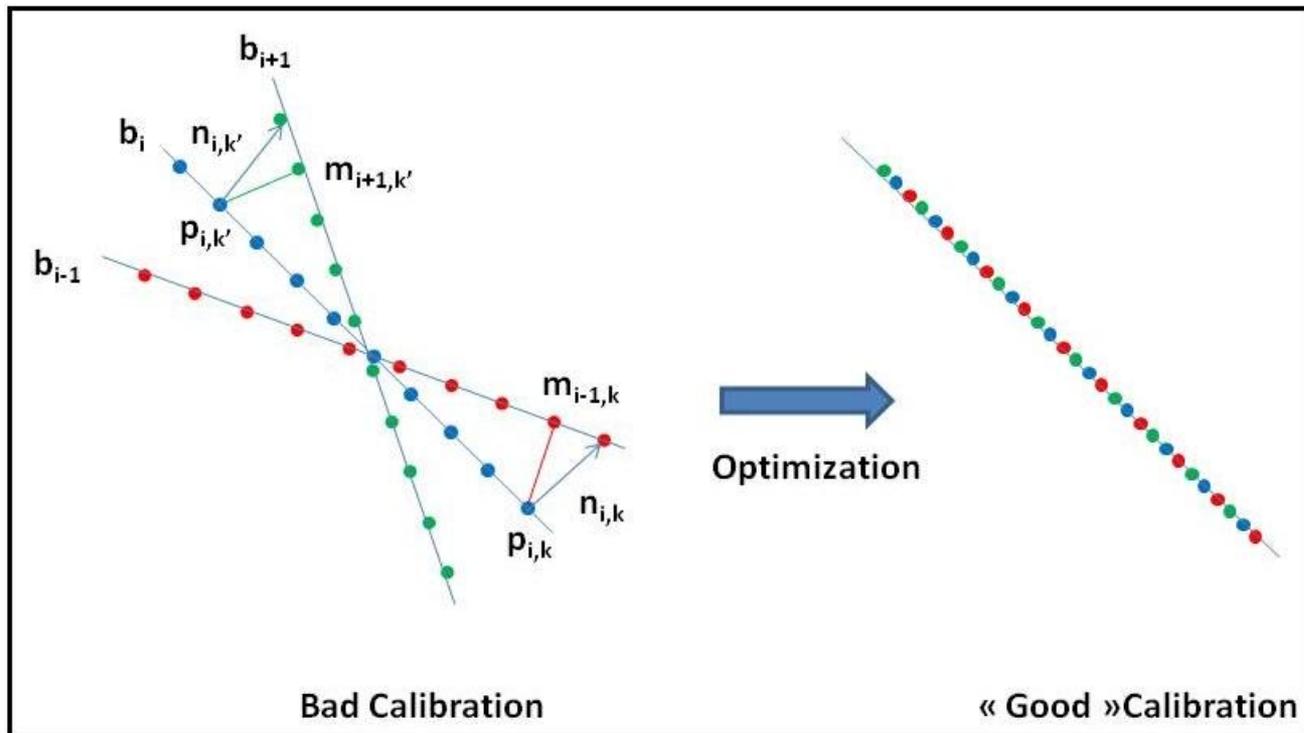
- « Unsupervised calibration for multi-beam lasers », Levinson et al., 2010
- Processus automatique, sans mire de calibration, ni environnement spécifique, et n'utilisant que les données acquises
  - Hypothèse d'un monde plan localement
  - Méthode en post-traitement
  - Paramètres intrinsèques et extrinsèques optimisés

# Plan

- Introduction / Contexte
- Etat de l'art
- **Méthode d'optimisation proposée**
- Résultats expérimentaux
- Conclusion

# Idée derrière l'optimisation

- Plan vu de côté



# Méthode d'optimisation proposée

- Processus automatique, sans mire de calibration ni environnement spécifique
  - Hypothèse d'un monde plan localement
  - Minimisation itérative d'une fonctionnelle
  - Condition d'arrêt: les paramètres ont convergés
  - Energie que l'on minimise:

$$J(R, T) = \frac{\sum_{i=1}^B \sum_{j=i-N}^{i+N} \sum_k w_{i,j,k} * d_{i,j,k}^2(R, T)}{\sum_{i=1}^B \sum_{j=i-N}^{i+N} \sum_k w_{i,j,k}}$$

where:

$$\begin{cases} d_{i,j,k}(R, T) = n_{i,k} \cdot (p_{i,k}(R, T) - m_{j,k}(R, T)) \\ p_{i,k}(R, T) = R_{nav}(p'_{i,k}) * (R * p'_{i,k} + T) + T_{nav}(p'_{i,k}) \\ m_{j,k}(R, T) = R_{nav}(m'_{j,k}) * (R * m'_{j,k} + T) + T_{nav}(m'_{j,k}) \end{cases}$$

# Méthode d'optimisation proposée

- Ce que l'on veut faire, pour les paramètres extrinsèques:

$$J(\mathbf{R}(\alpha + \delta\alpha, \beta + \delta\beta, \gamma + \delta\gamma), \mathbf{T}(t_x + \delta t_x, t_y + \delta t_y, t_z + \delta t_z)) < J(\mathbf{R}(\alpha, \beta, \gamma), \mathbf{T}(t_x, t_y, t_z))$$

- L'énergie  $J$  est non linéaire:

- Linéarisation de l'énergie  $J$

- Rotations, à cause de la non-linéarité

$$\mathbf{R}(\alpha, \beta, \gamma) + R_\alpha * \delta\alpha + R_\beta * \delta\beta + R_\gamma * \delta\gamma$$

- Simplification du processus de minimisation: problème des moindres carrés linéaires

# Méthode d'optimisation proposée

- Ce que l'on veut faire, pour les paramètres intrinsèques:

$$p'_i(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_i(k) * \cos(\theta_i(t)) * \cos(\phi_i) \\ -\rho_i(k) * \sin(\theta_i(t)) * \cos(\phi_i) \\ \rho_i(k) * \sin(\phi_i) \end{pmatrix}$$

devient

$$p'_i(t) = \begin{pmatrix} (\rho_i(k) + \delta\rho_i) * \cos(\theta_i(t) + \delta\theta_i) * \cos(\phi_i + \delta\phi_i) \\ -(\rho_i(k) + \delta\rho_i) * \sin(\theta_i(t) + \delta\theta_i) * \cos(\phi_i + \delta\phi_i) \\ (\rho_i(k) + \delta\rho_i) * \sin(\phi_i + \delta\phi_i) + H_{z,i} \end{pmatrix}$$

# Méthode d'optimisation proposée

- Optimisation:
  - Paramètres de départ:
    - Pour les paramètres extrinsèques
      - Paramètres arbitraires, que l'on cherche à optimiser
    - Pour les paramètres intrinsèques
      - Calibration intrinsèque donnée par le constructeur
  - A chaque itération
    - On cherche les deltas pour chaque paramètre
      - 6 paramètres extrinsèques
      - $4 * (\text{nb\_fibres} - 1)$  paramètres intrinsèques

# Méthode d'optimisation proposée

- Résolution

- Moindres carrés linéaires:

$$C \times \delta X = -V$$

- Précision des paramètres extrinsèques:

$$\sigma_x(m) = \sqrt{(C^{-1})_{1,1}}$$

$$\sigma_\alpha(rad) = \sqrt{(C^{-1})_{4,4}}$$

# Plan

- Introduction / Contexte
- Etat de l'art
- Méthode d'optimisation proposée
- Résultats expérimentaux
- Conclusion

# Resultats experimentaux

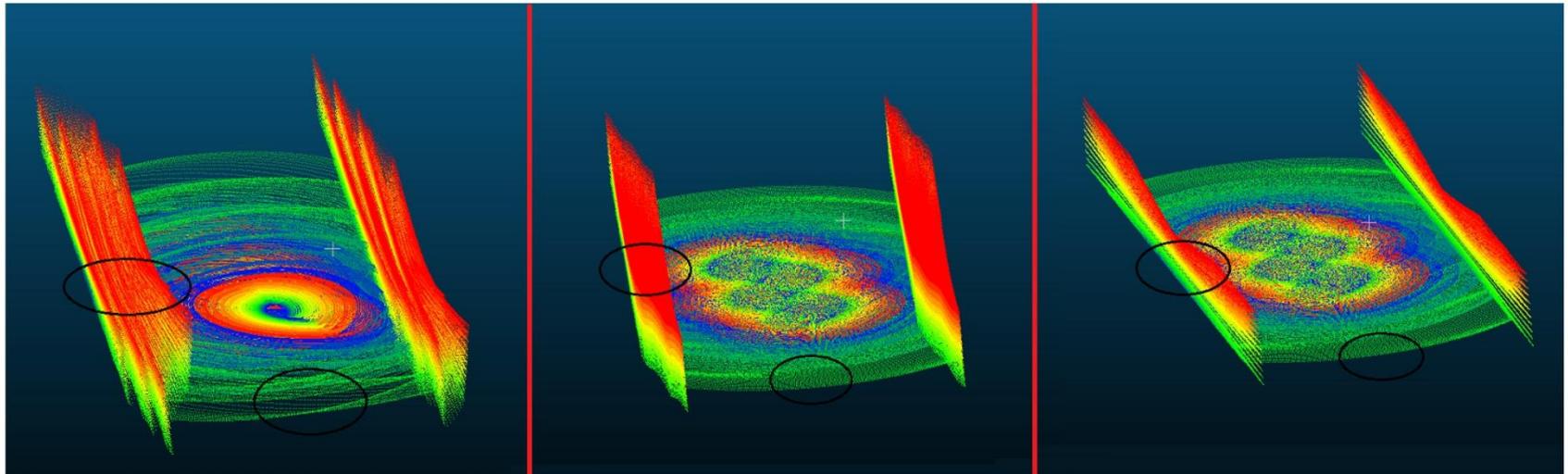
- Optimisation testée sur:
  - Des données simulés, pour valider l'approche
    - On a une vérité terrain
    - Il est possible d'évaluer la robustesse de la méthode aux erreurs importantes sur les paramètres de calibration
  - Des données réelles
    - Il n'y a pas de vérité terrain précise, les paramètres extrinsèques sont approximativement connus et les paramètres intrinsèques dépendent du modèle du constructeur
    - Les paramètres de départ n'ont pas besoin d'être connus avec précision

# Données simulés

- Nuages de points composés de plusieurs plans, simulant une acquisition en environnement urbain
- Tests effectués sur des nuages avec différentes trajectoires:
  - Variation d'altitude ou non
  - Trajectoire avec un virage
- Une erreur arbitraire est ajoutée aux paramètres connus
  - Le but est de se rapprocher le plus possible de la vérité terrain avec l'optimisation

# Données simulés

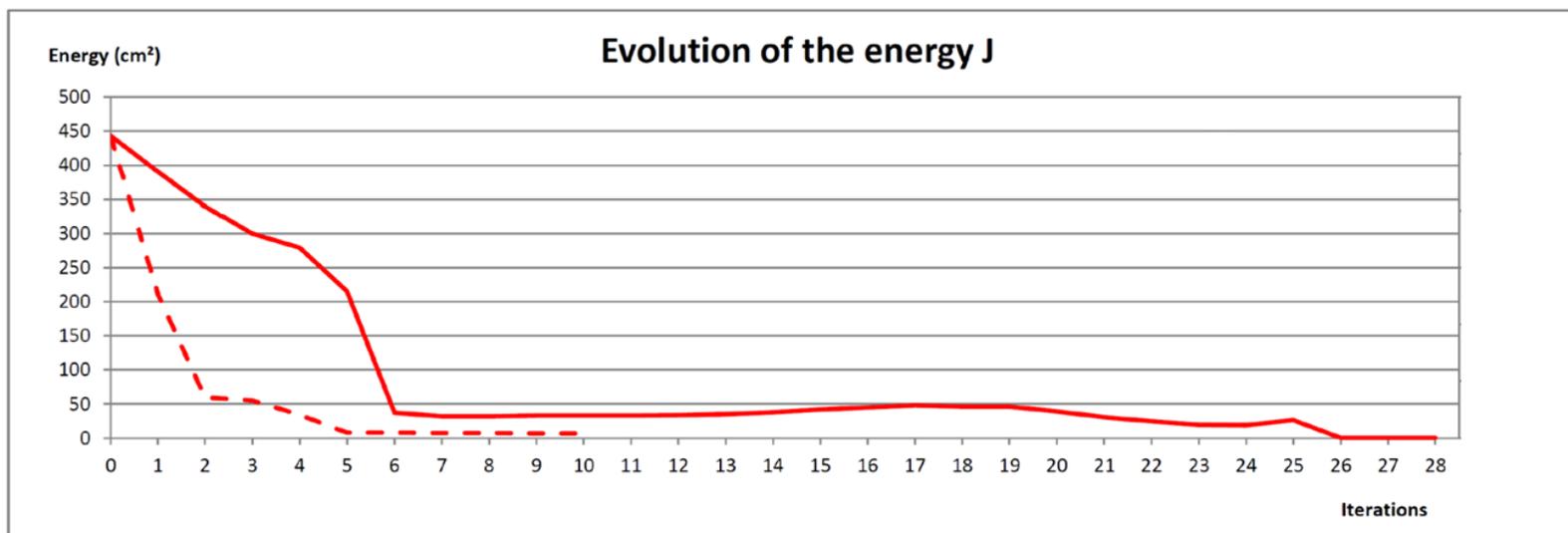
- Première donnée
  - Trajectoire sinusoïdale, pas de variation d'altitude
  - Optimisation des paramètres extrinsèques seulement
  - Comparaison avec une méthode de l'état de l'art
    - Levinson and Thrun, 2010
    - Temps de calcul: ~2 minutes contre plus d'1 heure



# Données simulés

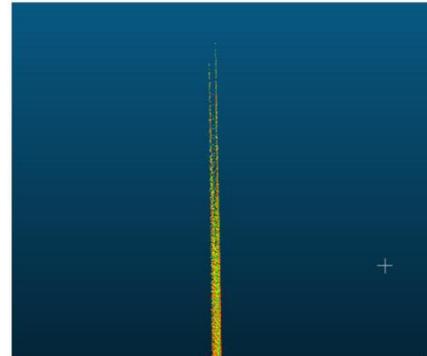
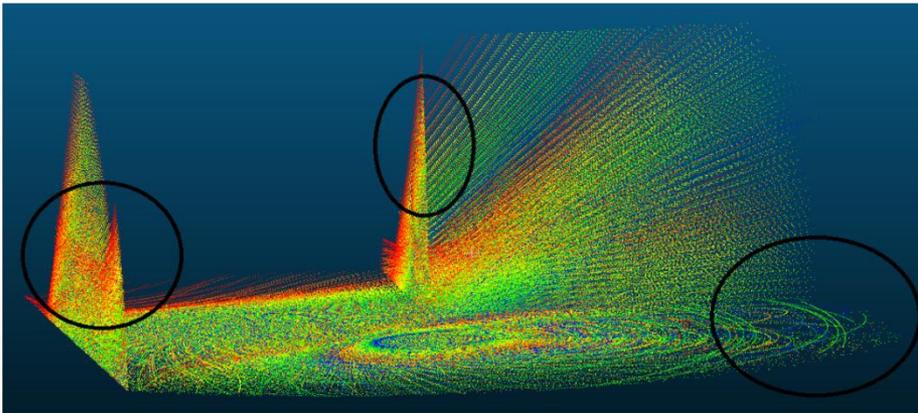
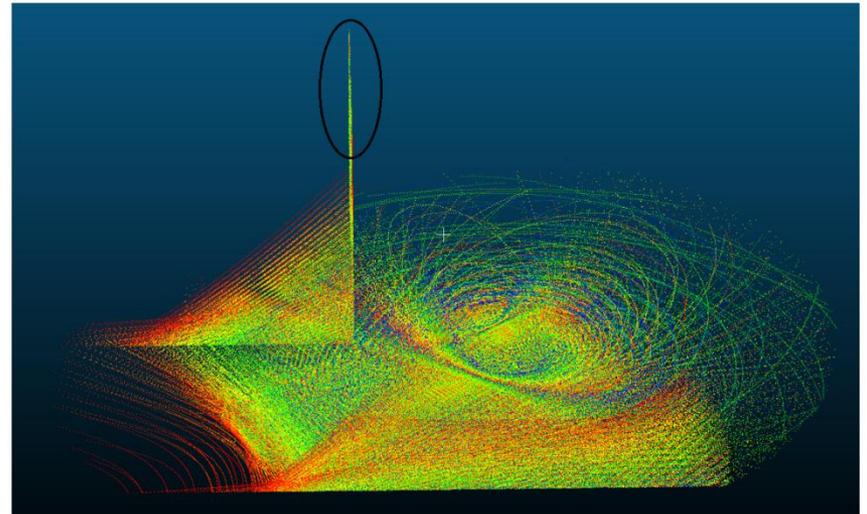
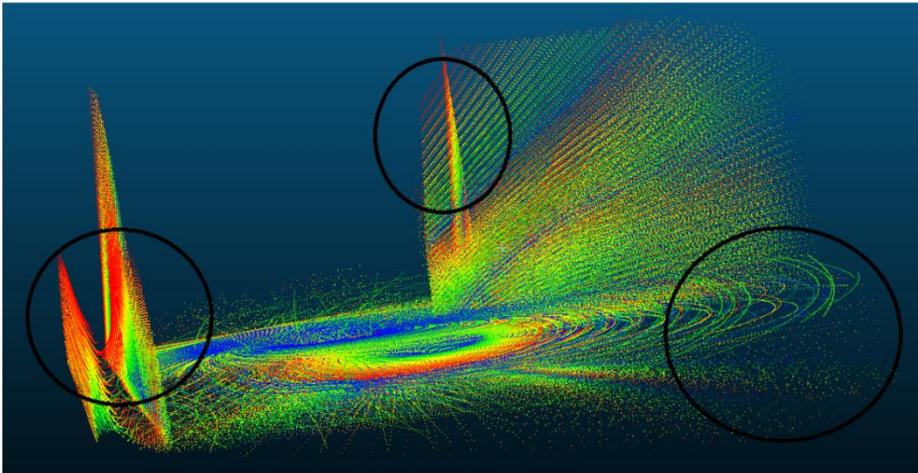
- Les erreurs après optimisation sont les suivantes:

	$t_x(\text{cm})$	$t_y(\text{cm})$	$t_z(\text{cm})$	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$
Error added to the calibration	-150.000	250.000	-200.000	5.000	-7.000	-5.500
Difference between the ground truth and the state-of-the-art optimization	6.445	8.594	-500.000	-0.004	0.000	-9.875
Difference between the ground truth and our optimization	<b>0.001</b>	<b>-0.012</b>	-200.000	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>



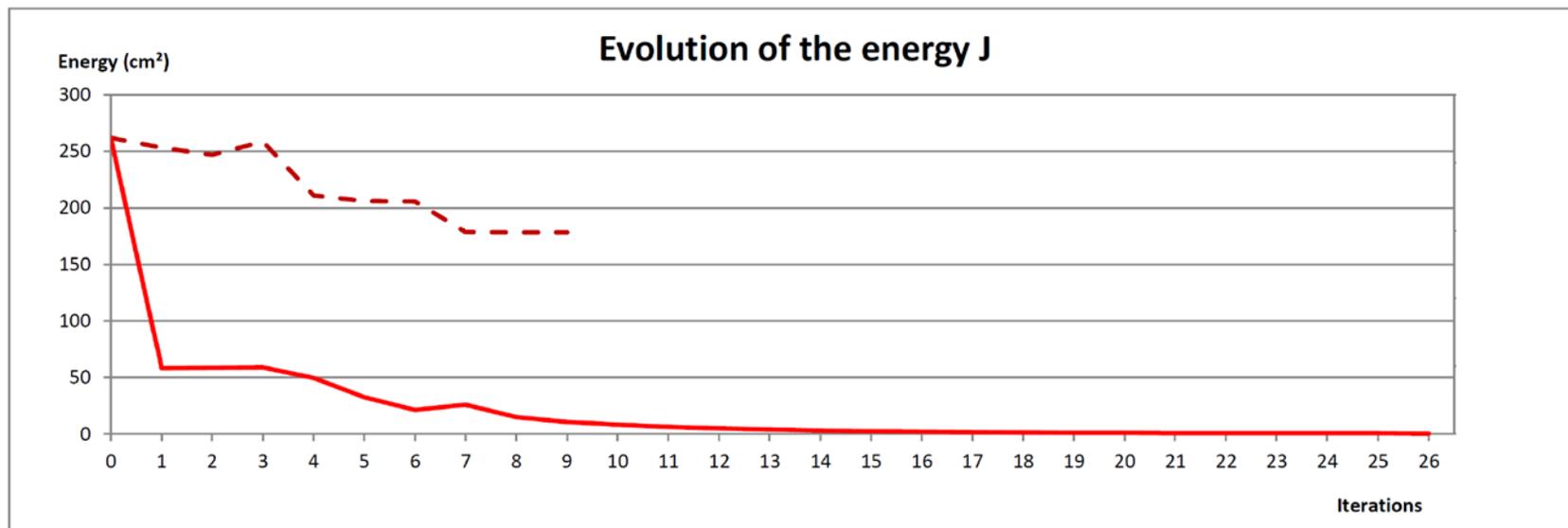
# Données simulés

- Deuxième donnée: temps de calcul de 2 minutes environ



# Données simulés

- Evolution de l'énergie, optimisation des paramètres extrinsèques seuls ou des paramètres extrinsèques et intrinsèques



$\sigma_{t_x}$ (cm)	$\sigma_{t_y}$ (cm)	$\sigma_{t_z}$ (cm)	$\sigma_{\alpha}$ (°)	$\sigma_{\beta}$ (°)	$\sigma_{\gamma}$ (°)
1.00	2.18	3.43	0.06	0.04	0.07

# Données simulés

- Erreurs paramètres extrinsèques

	$t_x(\text{cm})$	$t_y(\text{cm})$	$t_z(\text{cm})$	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$
Difference between the ground truth and our optimization (before optimization)	-50.00	60.00	-80.00	2.50	3.00	-2.00
Difference between the ground truth and our optimization (extrinsic parameters optimization only)	-0.181	-0.742	-0.463	-0.201	0.014	0.220
Difference between the ground truth and our optimization (extrinsic and intrinsic parameters optimization)	-0.682	-0.046	1.116	-0.008	0.006	0.039

- Erreurs paramètres intrinsèques

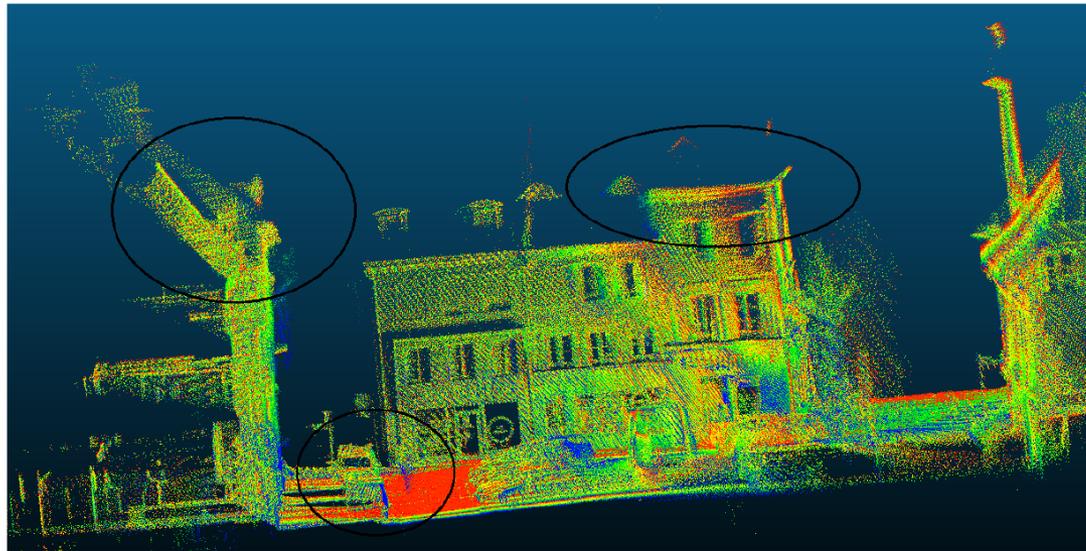
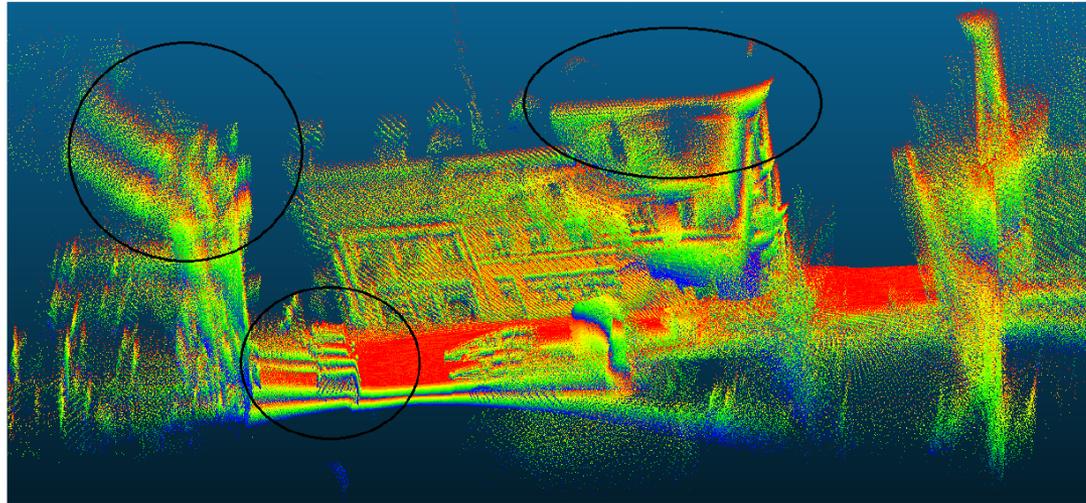
$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\rho = \sum_{i=0/i \neq 15}^{31} (\delta\rho_i)^2 \\ \Delta\theta = \sum_{i=0/i \neq 15}^{31} (\delta\theta_i)^2 \\ \Delta\phi = \sum_{i=0/i \neq 15}^{31} (\delta\phi_i)^2 \\ \Delta H_z = \sum_{i=0/i \neq 15}^{31} (\delta H_{z,i})^2 \end{array} \right.$$

	$\Delta\rho(\text{cm}^2)$	$\Delta\theta(^{\circ 2})$	$\Delta\phi(^{\circ 2})$	$\Delta H_z(\text{cm}^2)$
Initial errors	124	2.79	1.24	279
Difference between the ground truth and our optimization (extrinsic parameters optimization only)	124	2.79	1.24	279
Difference between the ground truth and our optimization (extrinsic and intrinsic parameters optimization)	0.37	0.04	0.01	15.31

# Donnée réelle

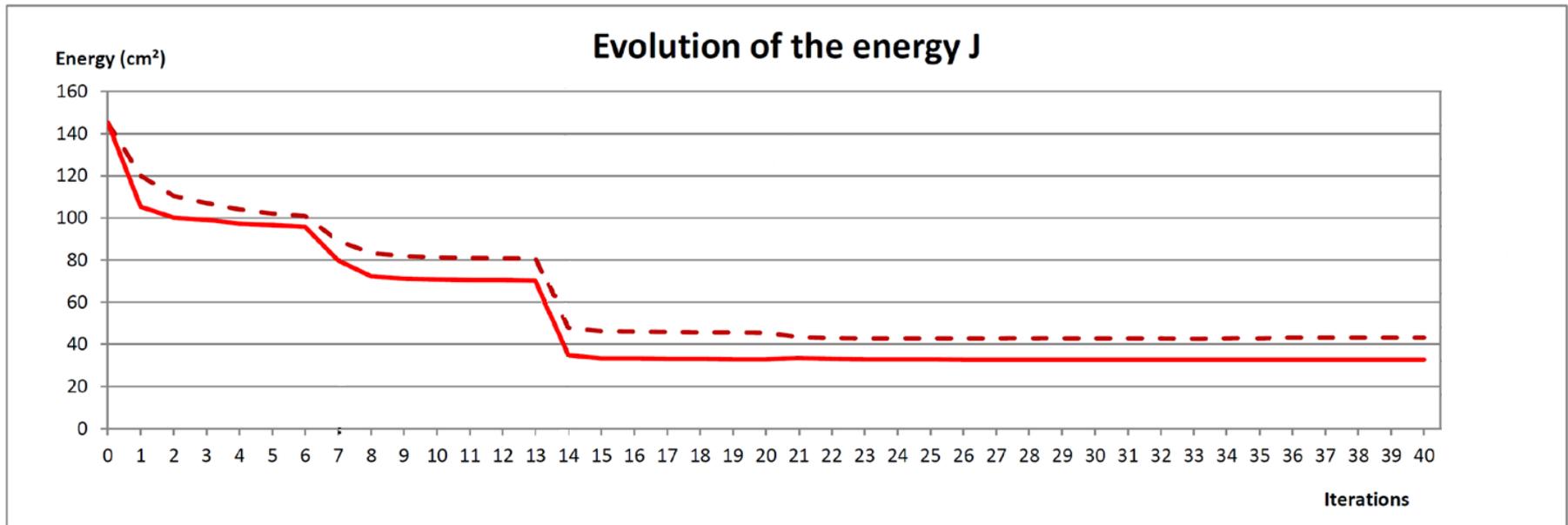
- Nuage de point acquis à Montbéliard, France
- Environnement urbain:
  - Présence de nombreux éléments plans: routes, trottoirs, façades
  - Mais aussi des objets non plans: arbres, poteaux...
- Les paramètres de calibration sont connus à peu près, mesurés à la main
  - Pour les paramètres extrinsèques, on part de paramètres choisis arbitrairement
  - Pour les paramètres intrinsèques, on cherche des petits deltas qui optimisent le nuage de points

# Donnée réelle



# Donnée réelle

- Temps de calcul de 5 minutes environ



# Donnée réelle

- Erreurs en fin d'optimisation:

	$t_x$ (m)	$t_y$ (m)	$t_z$ (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)
Initial calibration	0.00	0.00	0.00	0.00	-45.00	90.00
Hand measured calibration	-0.21	-1.22	0.95	0.00	-60.00	90.00
Calibration after optimization (extrinsic parameters optimization only)	-0.48	-1.37	-7.60	-0.27	-59.84	93.74
Calibration after optimization (extrinsic and intrinsic parameters optimization)	-0.52	-1.39	-6.26	2.74	-57.31	90.99

- Précision des paramètres extrinsèques:

$\sigma_{t_x}$ (cm)	$\sigma_{t_y}$ (cm)	$\sigma_{t_z}$ (cm)	$\sigma_{\alpha}$ (°)	$\sigma_{\beta}$ (°)	$\sigma_{\gamma}$ (°)
7.77	3.10	157.66	0.50	0.33	0.47

# Plan

- Introduction / Contexte
- Etat de l'art
- Méthode d'optimisation proposée
- Résultats expérimentaux
- **Conclusion**

# Conclusion

- Optimisation automatique des paramètres de calibration intrinsèques et extrinsèques:
  - Pas de connaissances des paramètres à priori nécessaire
  - Optimisation rapide, se basant sur un recalage des données fibre à fibre du capteur
  - Méthode généralisable: optimisation pour des données acquises avec un capteur multi-fibres et avec du recouvrement entre fibres