

# Localisation dans une mémoire visuelle

**Jonathan Courbon**<sup>1,2</sup>, Youcef Mezouar<sup>1</sup>, Philippe Martinet<sup>1</sup>  
et L. Eck<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LASMEA  
UBP Clermont II, CNRS - UMR6602, Aubière, France



<sup>2</sup>CEA, List  
Fontenay Aux Roses, France



GT2: "Localisation", 23-01-2009

- 1 Système complet de navigation, basée capteur
  - Contexte
  - Approche proposée
- 2 Localisation dans une mémoire d'images omnidirectionnelles
  - Etat de l'art
  - Une approche hiérarchique
  - Expérimentations
- 3 Aspects expérimentaux
  - SoViN : un logiciel pour la gestion de la mémoire visuelle
  - Expérimentations

# Plan

- 1 Système complet de navigation, basée capteur
- 2 Localisation dans une mémoire d'images omnidirectionnelles
- 3 Aspects expérimentaux

# Navigation par mémoire visuelle

## Un système complet de navigation

- 1 Construction de la carte [*Offline*]
- 2 Localisation initiale "où suis-je ?" [*Online*]
- 3 Recherche de chemin pour atteindre un but [*Online*]
- 4 Suivi de chemin [*Online, Temps réel*]

## Elements nécessaires

Représentation de l'environnement, modèle du capteur, modèle du véhicule

## Mémoire visuelle

Carte = ensemble d'images clés, organisée de façon topologique

# Navigation par mémoire visuelle

## Un système complet de navigation

- 1 Construction de la carte [*Offline*]
- 2 Localisation initiale "où suis-je ?" [*Online*]
- 3 Recherche de chemin pour atteindre un but [*Online*]
- 4 Suivi de chemin [*Online, Temps réel*]

## Elements nécessaires

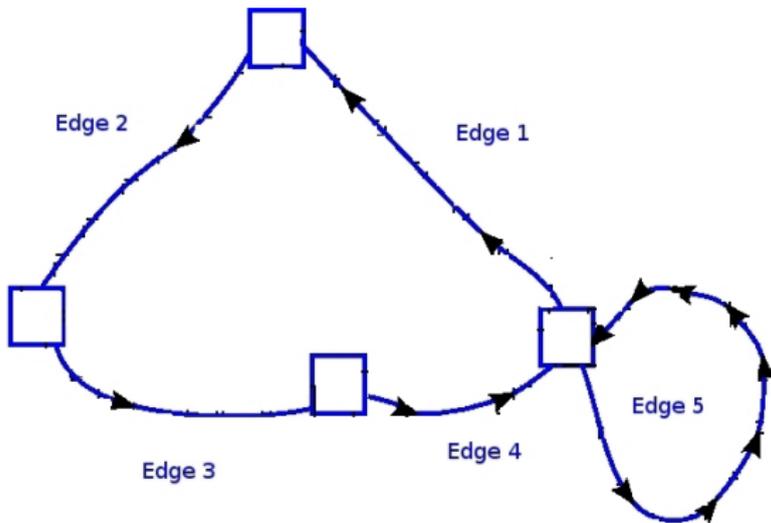
Représentation de l'environnement, modèle du capteur, modèle du véhicule

## Mémoire visuelle

Carte = ensemble d'images clés, organisée de façon topologique

Approche proposée

# Mémoire visuelle



Mémoire organisée de façon topologique (arcs)



# Phase de localisation

## Localisation initiale

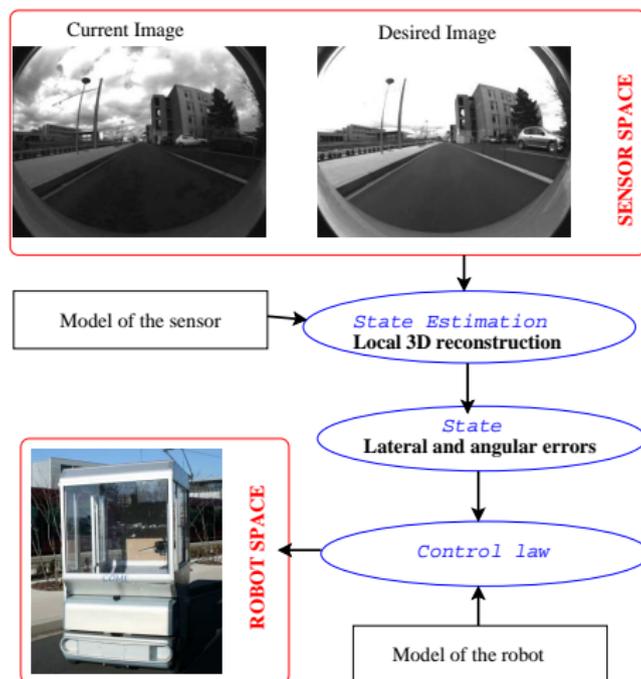
Où suis-je ?

1ère phase de la navigation autonome (étape rapide)

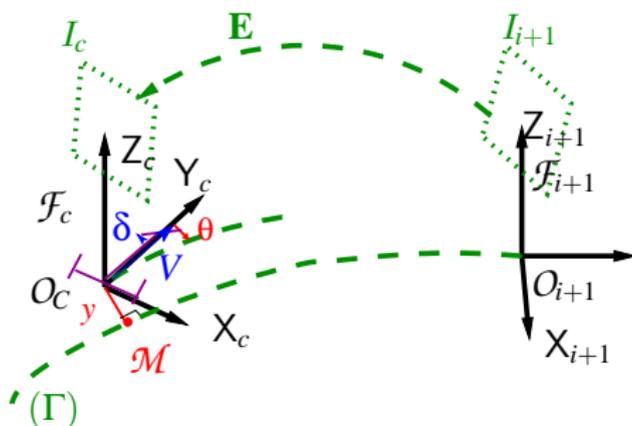
Quelle image correspond au mieux à l'image que la caméra acquiert actuellement ?

# Phase de navigation autonome

Approche basée capteur de la perception à la commande



# Commande



But :  $y \rightarrow 0$ ,  $\theta \rightarrow 0$  before  $F_c$  reaches  $F_{i+1}$

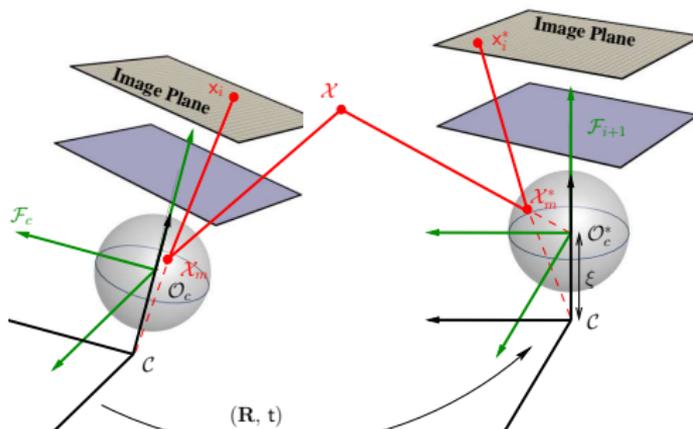
Loi de commande asymptotiquement stable basée sur les systèmes chaînés :

$$\delta(y, \theta) = \arctan \left( -l \left[ \cos^3 \theta (-K_d \tan \theta - K_p y) \right] \right)$$

Etat requis : erreur latérale  $y$  et erreur angulaire  $\theta$

# Estimation de l'état

- ▶ Modèle de caméra : utilisation du modèle unifié sur la sphère
- ▶ Reconstruction partielle relative à partir de la géométrie épipolaire



- ▶ Matrice essentielle  $\implies$  rotation et translation  $\implies$   $y$  et  $\theta$

# Plan

- 1 Système complet de navigation, basée capteur
- 2 Localisation dans une mémoire d'images omnidirectionnelles
- 3 Aspects expérimentaux

# Localisation initiale

## Méthodes

- ▶ "Globale" : utilisation d'un descripteur de l'image
- ▶ "Locale" : utilisation de descripteurs de primitives (points)
- ▶ "Hiérarchique" : utilisation d'un descripteur de l'image puis de descripteurs de primitives

## Critères

- ▶ Performance (à maximiser)
- ▶ Quantité de données mémorisées (à minimiser)
- ▶ Temps de calcul (à minimiser)

# Descripteurs globaux

## Image entière

- ▶ niveau de gris des pixels de l'image reprojétée
- ▶ **! reprojection**
- ▶ vecteurs propres de la décomposition en composantes principales  
**! recalcul de la décomposition pour chaque nouvelle image ajoutée**
- ▶ fonctions d'auto-corrélation locales de grand ordre

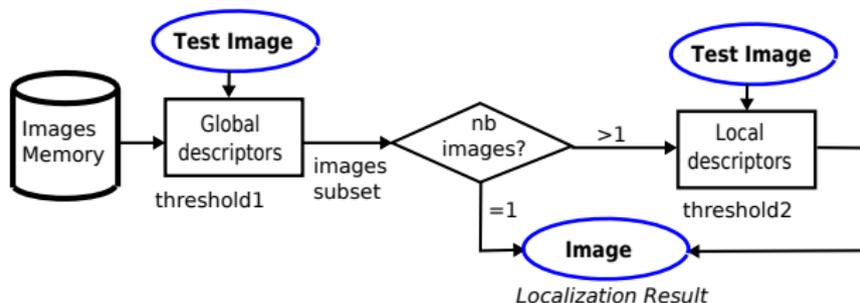
## Description de sous-régions

- ▶ histogrammes sur des anneaux

# Descripteurs locaux

- ▶ Soit des descripteurs plus ou moins adaptés au capteur omnidirectionnel (M-SIFT)
- ▶ Soit des descripteurs non adaptés (SIFT, SURF)

# Approche proposée (CubCorrHar)



**Step 1 :** Sélection à partir d'un descripteur global

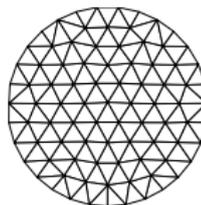
⇒ Améliore l'efficacité en terme de temps de calcul

**Step 2 :** Choix à partir de descripteurs locaux

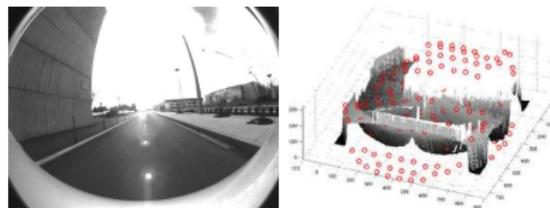
⇒ Assure la robustesse

# Descripteur global (Cub)

- ▶ Décomposition de l'image en un maillage triangulaire  $\implies$  points de contrôle  $\{p_i\}$



- ▶ Interpolation cubique de l'image aux points de contrôle



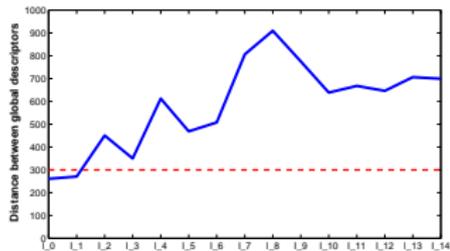
- ▶ Descripteur : altitudes des points interpolés
- ▶ Calcul de distance : distance L1

Une approche hiérarchique

# Descripteur global : exemple



(c) Image courante



(d) Dist. desc. globaux

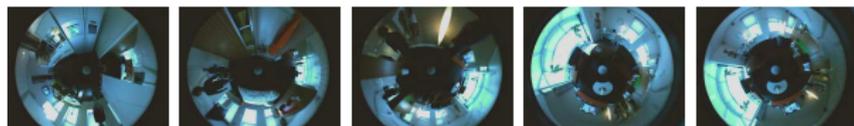
(e)  $I_0$ (f)  $I_1$

## Descripteurs locaux (CorHar)

- ▶ Extraction des points de Harris
- ▶ Descripteur : patch autour des points
- ▶ Appariement : Zero Normalized Cross Correlation (ZNCC)
- ▶ Distance : inverse du nombre de points appareillés (seuil :  $> 0.8$ )

# Base de données de test

**Almere (Cogniron workshop)** caméra catadioptrique fixée sur un robot navigant en milieu intérieur ( $\sim 200$  tests)



**UAV** caméra fisheye embarquée sur un drone X4, en environnement d'intérieur ( $\sim 1000$  tests)

**Walk** caméra fisheye portée à bout de bras, en intérieur et extérieur Les images pour la localisation proviennent d'autres ensembles ( $\sim 450$  tests)



## Méthodes

PHLAC	F. Linåker and M. Ishikawa, "Rotation invariant features from omnidirectional camera images using a polar higher-order local auto-correlation feature extractor," in <i>IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'04</i> , vol. 4, Sendai, Japan, September 2004, pp. 4026–4031.
Gonz Sect., Cub.	J. Gonzalez-Barbosa and S. Lacroix, "Rover localization in natural environments by indexing panoramic images," in <i>IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA'02</i> , vol. 2, Washington DC, USA, May 2002, pp. 1365–1370.
CorrHarr	E. Royer, M. Lhuillier, M. Dhome, and J.-M. Lavest, "Monocular vision for mobile robot localization and autonomous navigation," <i>International Journal of Computer Vision, special joint issue on vision and robotics</i> , vol. 74, pp. 237–260, 2007.
SURF	A. Murillo, J. Guerrero, and C. Sagüés, "SURF features for efficient robot localization with omnidirectional images," in <i>IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA'07</i> , Rome, Italy, April 2007, pp. 3901–3907.
SIFT	D. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," <i>International Journal of Computer Vision</i> , vol. 60, no. 2, pp. 91–110, 2004. [Online]. Available: <a href="http://www.cs.ubc.ca/~lowe/keypoints/">http://www.cs.ubc.ca/~lowe/keypoints/</a>

# Résultats en terme de mémoire requise

	<i>Almere dataset</i>	<i>UAV dataset</i>	<i>Walk dataset</i>
B&W image	768 Ko	108 Ko	300 Ko
SIFT	1 100 Ko	440 Ko	800 Ko
SURF	240 Ko	80 Ko	150 Ko
Gonz	<b>0.3 Ko</b>	<b>0.3 Ko</b>	<b>0.3 Ko</b>
PHLAC	0.45 Ko	0.45 Ko	0.45 Ko
Sect	0.9 Ko	0.9 Ko	0.9 Ko
CorrHar	8 Ko	8 Ko	8 Ko
<b>Cub</b>	<b>2.2 Ko</b>	<b>2.4 Ko</b>	<b>2.4 Ko</b>

- > Les descripteurs globaux nécessitent plus de mémoire
- > La taille des descripteurs cubiques reste raisonnable

# Résultats en terme de performance des desc. globaux

	GM(%)	GCM(%)	rg(%)	t(s)	rt	extr.
<i>Almere dataset</i>						
Sect	62.7	62.8	70.5	0.55	4.58	1
HistoSect	90.1	<b>94.4</b>	105.9	4.58	38.16	1.26
PHLAC	27.8	32.7	36.6	0.47	3.91	1.27
Gonz	86.9	88.5	99.3	4.09	34.08	1.07
<b>Cub</b>	<b>89</b>	<b>89.1</b>	<b>100</b>	<b>0.12</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>UAV dataset</i>						
Sect	94.1	94.1	96.7	0.1	2.5	1
HistoSect	84	94.1	96.7	1.45	36.25	1.68
PHLAC	42	48.9	50.2	0.12	3	1.2
Gonz	83.5	86.1	88.5	0.53	13.25	1.11
<b>Cub</b>	<b>97.3</b>	<b>97.3</b>	<b>100</b>	<b>0.04</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Walk dataset</i>						
Sect	80.8	81.1	96.7	0.28	2	1
HistoSect	69.2	<b>86.9</b>	103.7	4.49	32.07	2.82
PHLAC	22.6	28	33.5	0.25	1.78	1.5
<b>Cub</b>	<b>83.1</b>	<b>83.8</b>	<b>100</b>	<b>0.14</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

GM : res. correct, GCM : res. contenant la loc. correcte, t : temps de calcul, extr. : nombre d'images sélectionnées

rg : rapport GCM/GCM(cub), rt : rapport t/t(cub)

# Résultats en terme de performance des desc. locaux

	GM(%)	t(s)	rt
<i>Almere dataset</i>			
SURF	93.4	<b>4</b>	0.43
SIFT	<b>93.6</b>	31.5	3.46
CorrHar	<b>91.5</b>	<b>9.1</b>	<b>1</b>
<i>UAV dataset</i>			
SURF	91.4	1	0.83
SIFT	<i>90.4</i>	7.1	5.91
CorrHar	<b>96.8</b>	<b>1.2</b>	<b>1</b>
<i>Walk dataset</i>			
SURF	<i>88.7</i>	<b>8.5</b>	0.89
SIFT	<b>92.5</b>	<i>152.1</i>	16.01
CorrHar	<b>91.2</b>	<b>9.5</b>	<b>1</b>

GM : res. correct, t : temps de calcul

rt : rapport t/t(CorrHar)

# Résultats

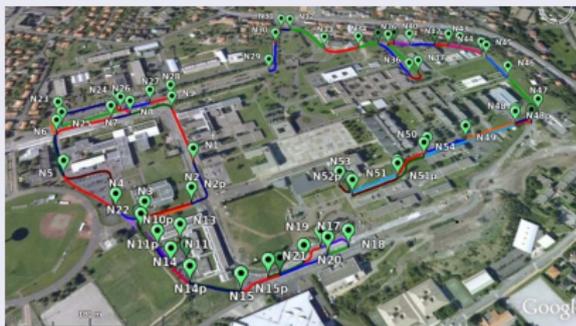
	GM	rg(%)	t(s)	rt
<i>Almere dataset</i>				
Sect	62.7	68.5	0.55	0.11
SURF	93.4	102.1	4.06	0.87
SIFT	<b>93.6</b>	102.4	31.5	6.75
Cub	89	97.3	<b>0.12</b>	0.02
PHLAC	27.8	30.4	0.47	0.1
CorrHar	91.5	100.1	9.13	1.95
Gonz	86.9	95	4.09	0.87
<b>CubCorrHar</b>	<b>91.4</b>	<b>100</b>	<b>4.66</b>	<b>1</b>
<i>UAV dataset</i>				
Sect	94.1	97.2	0.1	0.19
SURF	91.4	94.4	1.04	2.07
SIFT	90.4	93.3	7.1	14.14
Cub	<b>97.3</b>	100.5	<b>0.04</b>	0.07
PHLAC	42	43.3	0.12	0.23
CorrHar	96.8	100	1.22	2.42
Gonz	83.5	86.2	0.53	1.05
<b>CubCorrHar</b>	<b>96.8</b>	<b>100</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>
<i>Walk dataset</i>				
Sect	80.8	88.4	0.28	0.05
SURF	88.7	97	8.59	1.69
SIFT	<b>92.5</b>	101.2	152.1	30.07
Cub	83.1	90.9	<b>0.14</b>	0.02
PHLAC	22.6	24.7	0.25	0.04
CorrHar	91.2	99.7	9.53	1.88
Gonz	61.1	66.8	1.56	0.3
<b>CubCorrHar</b>	<b>91.4</b>	<b>100</b>	<b>5.05</b>	<b>1</b>

# Plan

- 1 Système complet de navigation, basée capteur
- 2 Localisation dans une mémoire d'images omnidirectionnelles
- 3 Aspects expérimentaux

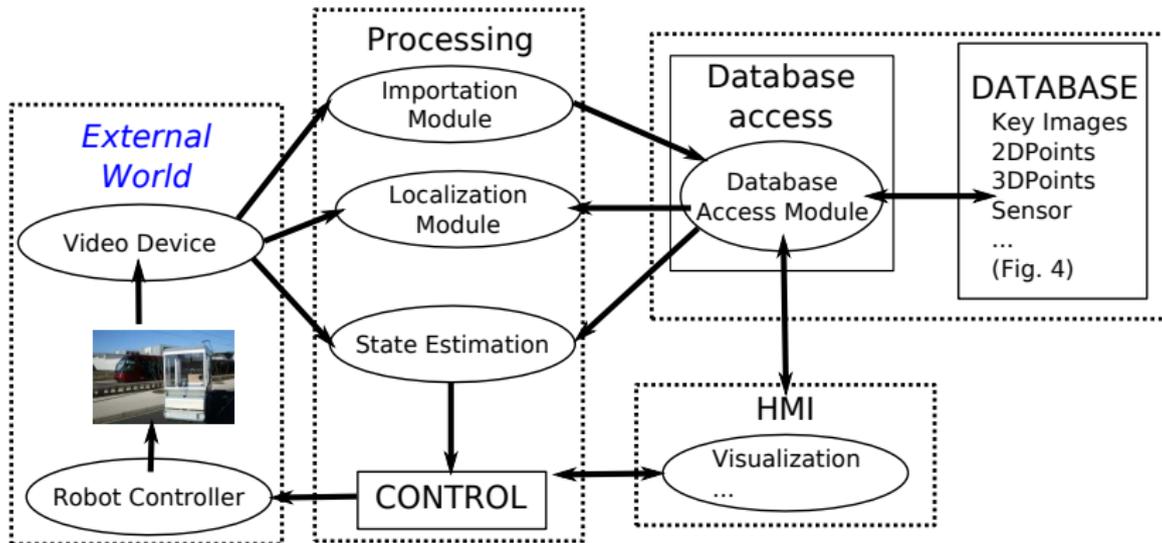
# What do we want ?

- ▶ Navigation dans de grands environnements (campus, ville ...)



- ▶ Visualisation de la carte
- ▶ Accès rapide aux données de la carte

## SoViN



SoViN

## SoViN : interface

OV Navigation - LARICA

Voir Outils

JEUTEST (1 ligne(s))

IDJEUTEST	DATEJEUTEST	DESCRIP
1	2/27/08 8:39 PM	Jeu de Test 26 Fe

ARC ( 84 ligne(s) )

IDARC	IDJEUTEST	IDNOEUDEBUT	IDNOEUFIN	DESCRIPTIFARC
1	1	132	2	
2	2	164	134	

NOEUD (131 ligne(s) )

IDNOEUD	IDARC	IDSPACELIB
1	2	1 0
2	3	1 0
3	4	1 0
4	5	1 0
5	6	1 0

**Localisation d'une image**

Capteurs: Camera cycab , id=1

Choisir une image Localiser

Image a Localiser Image Localisee



**LOCALISATION**

Localisation en cours, veuillez patienter SVP...

26%

Annuler

Localisation relative Fermer

Tous les Capteurs: CAMERA\_CENTRALE - Camera cycab , id=1

IDCAPTEUR: 1

NOM: Camera cycab

PARAMETRESINTERNES: 682.1-679.7-400.0-302.8-1.61

PARAMETRESEXTERNES: 2.2-0.0-1.0-90-90-0

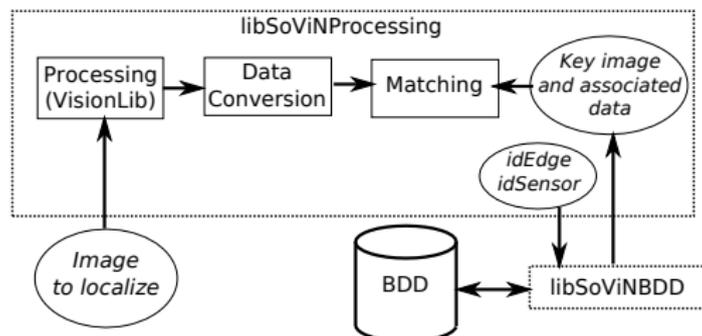
Supprimer Capteur



08:26 11/03/2008

# Etape de localisation

- ▶ Les descripteurs d'images sont dans la BDD
- ▶ Les points 2D et leurs descripteurs sont dans la BDD



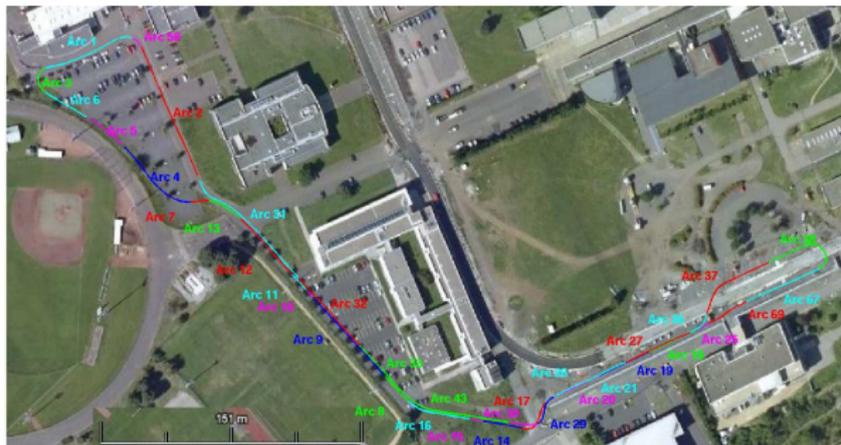
**Note :** temps de localisation = temps de calcul des descripteurs de l'image courante + nb images x (temps récupération descripteurs + temps appariement)

# Set-up

- ▶ Véhicule électrique : RobuCab (Robosoft Company)
- ▶ Ordinateur : RTAI-Linux OS avec processeur Centrino 2GHz
- ▶ Objectif fisheye Fujinon (185 deg) monté sur une caméra Marlin F131B
- ▶ Images niveau de gris,  $800 \times 600$  pixels, 15fps

# Apprentissage

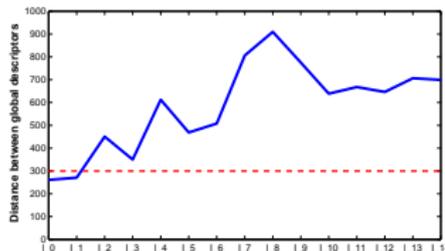
- ▶ Chemin de 1 200 m
- ▶ Après sélection et organisation des images : 47 arcs, 2 000 images clés



# Localisation initiale



(r) Image courante



(s) Dist. desc. globaux

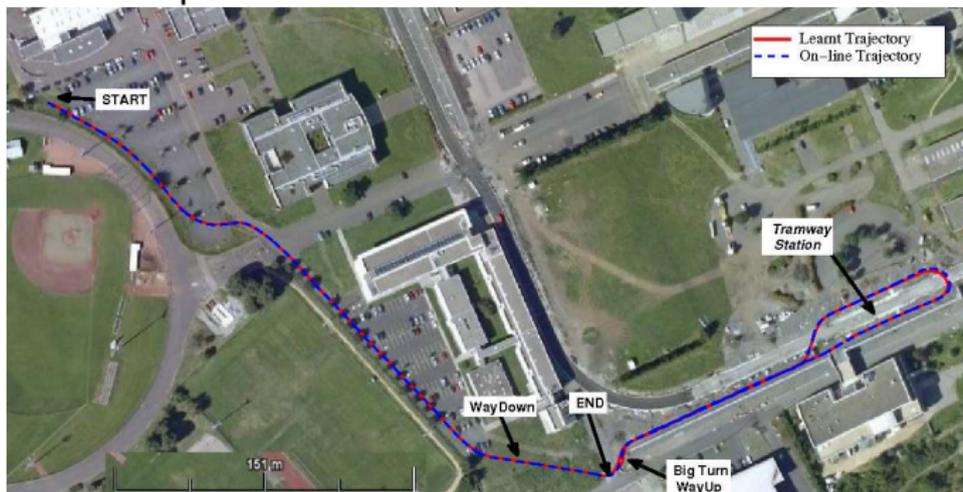


(t) Im0

Temps de localisation initiale : 500 ms (arc de 15 images)

# Résultats

- ▶ Distance parcourue : 754 mètres

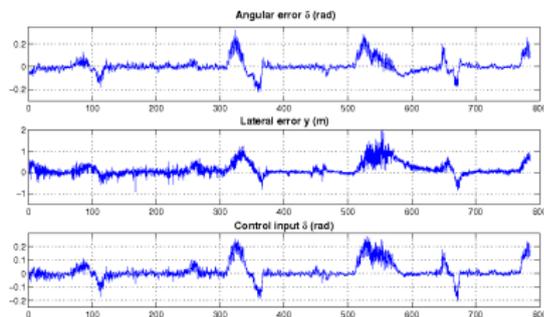


**rouge** : chemin lors de l'apprentissage

**bleu** : chemin lors de la navigation autonome

## Expérimentations

- ▶ 754 m, 13 minutes (vitesse moyenne de  $0.8 \text{ ms}^{-1}$ )
- ▶ 20 arcs, 748 images
- ▶ Etat (erreurs latérale et angulaire) et commande



- ▶ Moyenne appariement robuste par image : 123 points
- ▶ Moyenne temps de calcul par image : 82 ms
- ▶ Erreur latérale (DGPS) : 25 cm (mean), 34 cm (std)

VIDÉO

# Summary

## Navigation par mémoire visuelle

- ▶ organisation efficace de la mémoire
- ▶ localisation initiale robuste et rapide
- ▶ expérimentée dans de grands environnements, en extérieur

## Outlook

- ▶ validation de l'approche (localisation et navigation autonome) en 3D avec expérimentation sur drones

# Summary

## Navigation par mémoire visuelle

- ▶ organisation efficace de la mémoire
- ▶ localisation initiale robuste et rapide
- ▶ expérimentée dans de grands environnements, en extérieur

## Outlook

- ▶ validation de l'approche (localisation et navigation autonome) en 3D avec expérimentation sur drones

*Merci de votre attention !*

Jonathan Courbon  
[jonathan.courbon@lasmea.univ-bpclermont.fr](mailto:jonathan.courbon@lasmea.univ-bpclermont.fr)

LASMEA, ROSACE team  
<http://robots.lasmea.univ-bpclermont.fr/>

CEA-List