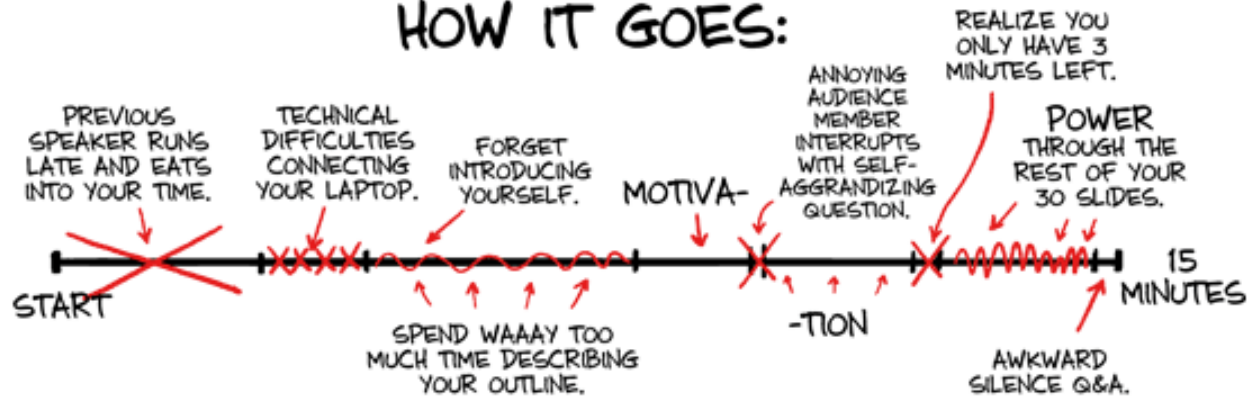


YOUR CONFERENCE PRESENTATION

HOW YOU PLANNED IT:



HOW IT GOES:



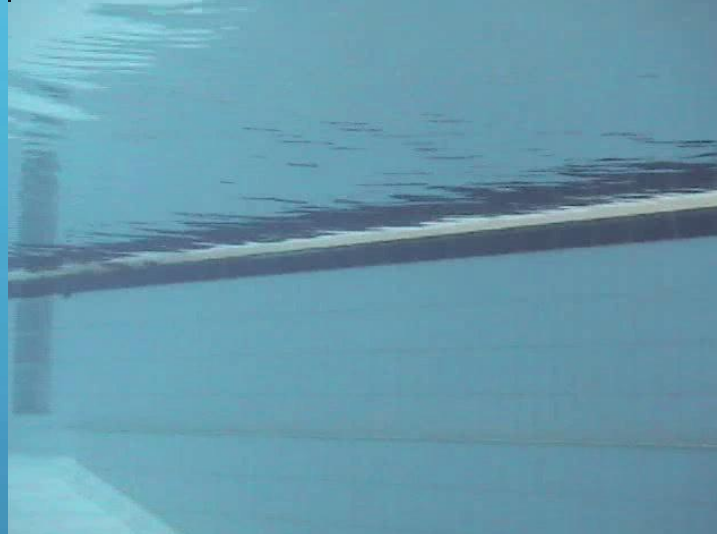
PhDcomics.com



Aperçu du séminaire

- Des nouvelles sur l'autopilote d'un robot sous-marin
 - suite au séminaire de 2012
 - expérience faites en Janvier 2013
- Présentation d'un article de conférence IROS
 - localisation relative à l'aide de caméra

Plateforme amphibie AQUA



Autopilote

- Paramètres (gains) ajustés selon la dynamique du robot et des actionneurs
- Problème :
 - la dynamique du robot change en fonction de sa vitesse
 - gains fixes en 2012
- Solution (2013) :
 - *gain scheduling*
 - adapter les paramètres de l'autopilote en fonction de la vitesse

Problème d'autopilote en 2012

vitesse normale

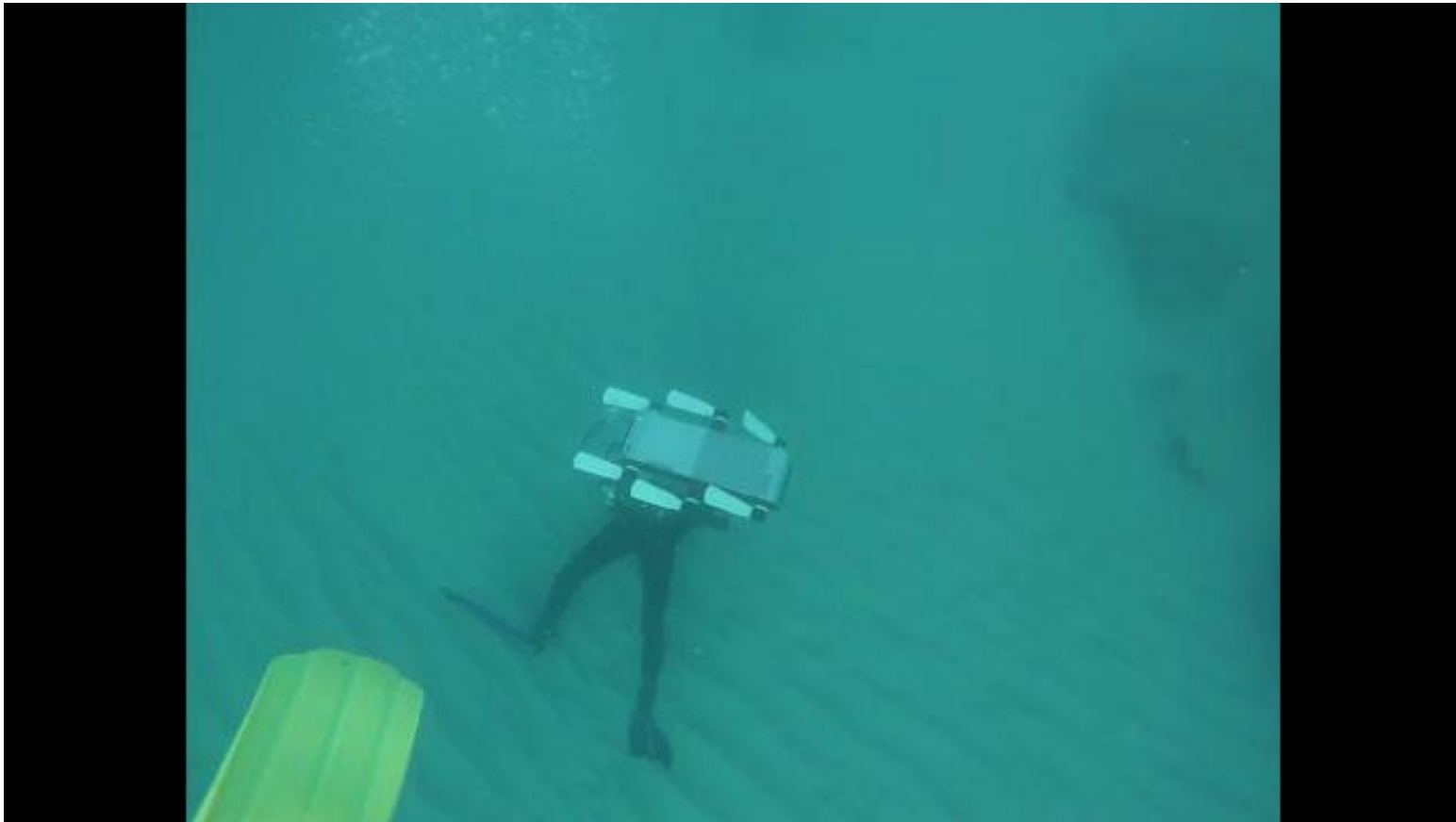


basse vitesse



Autopilote en 2013

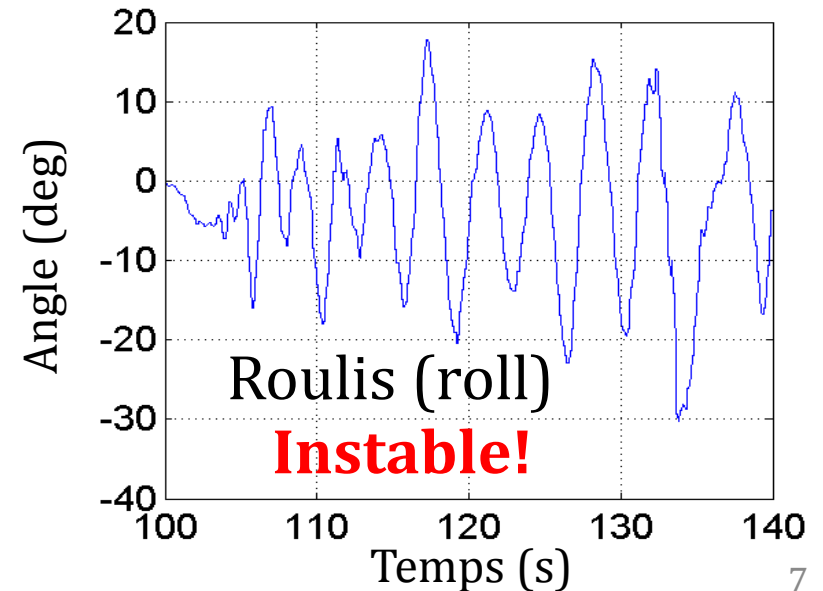
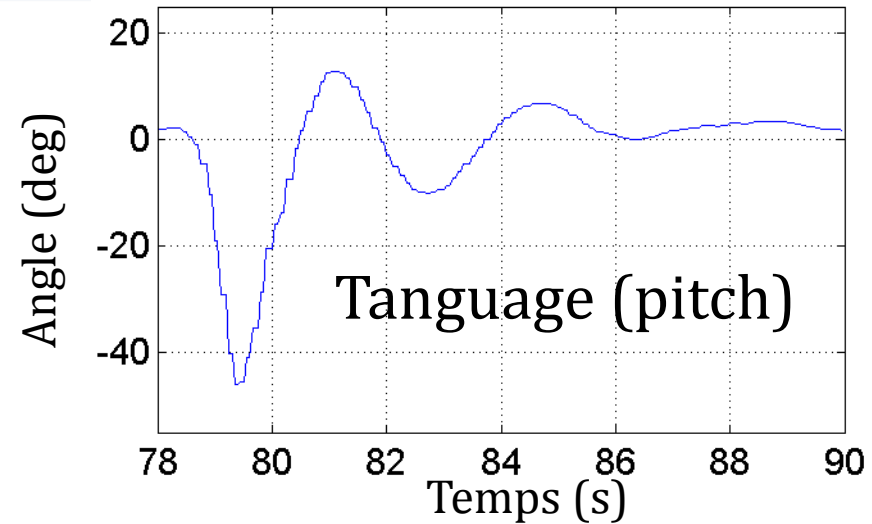
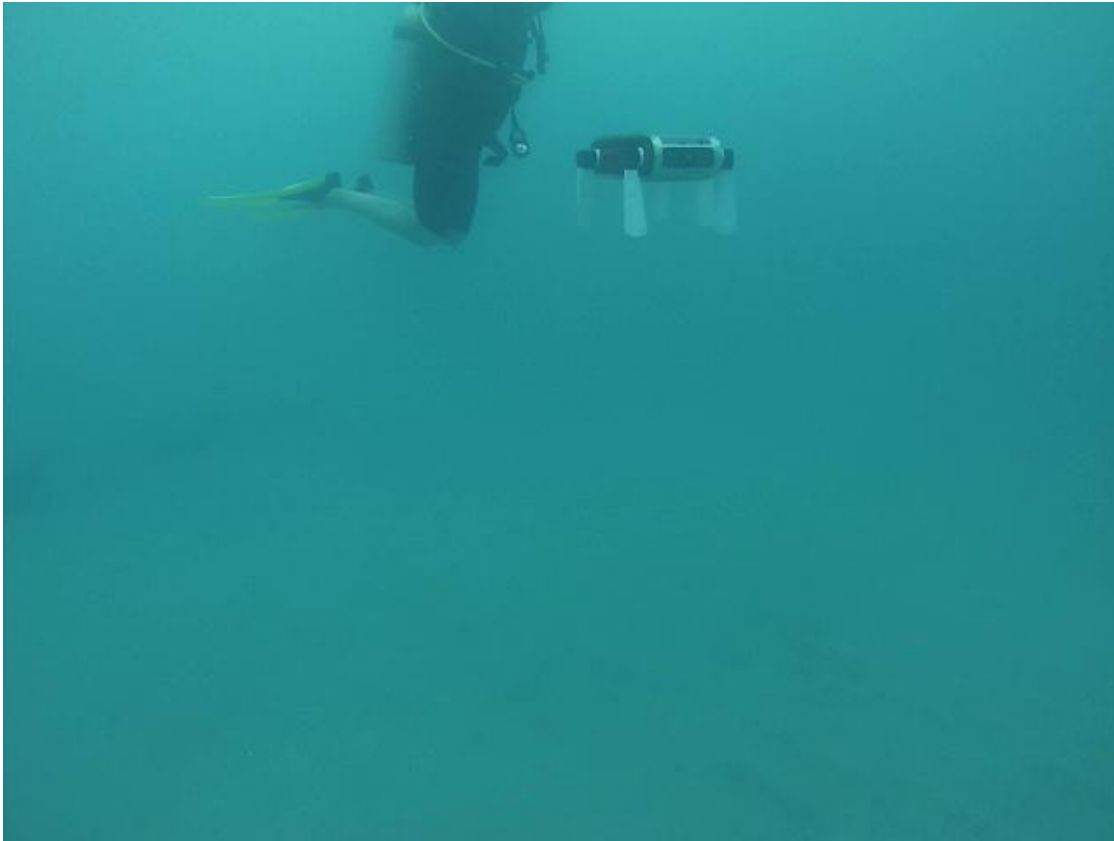
basse vitesse



(Direction commandée par module de curiosité)

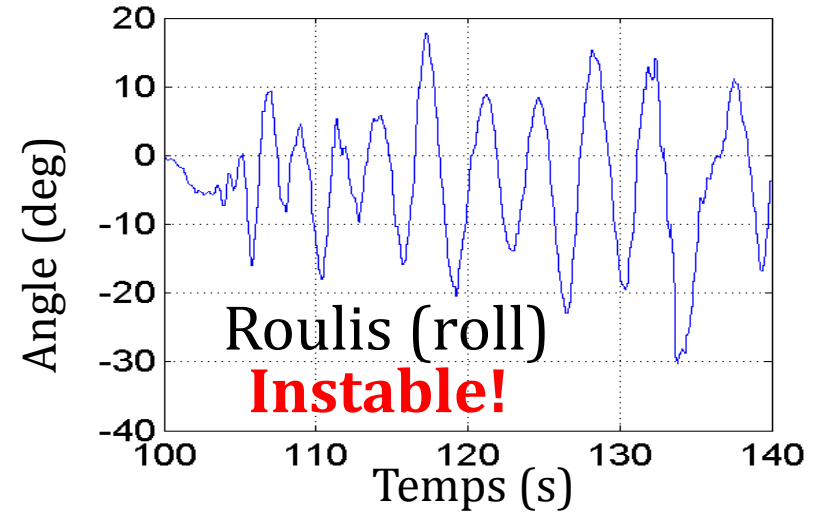
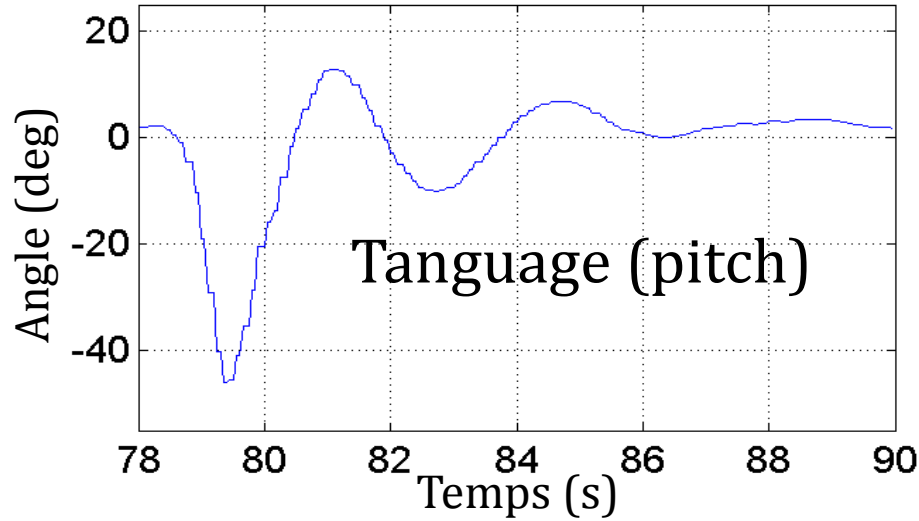
AP 2013, V=0, essai #2

vitesse nulle

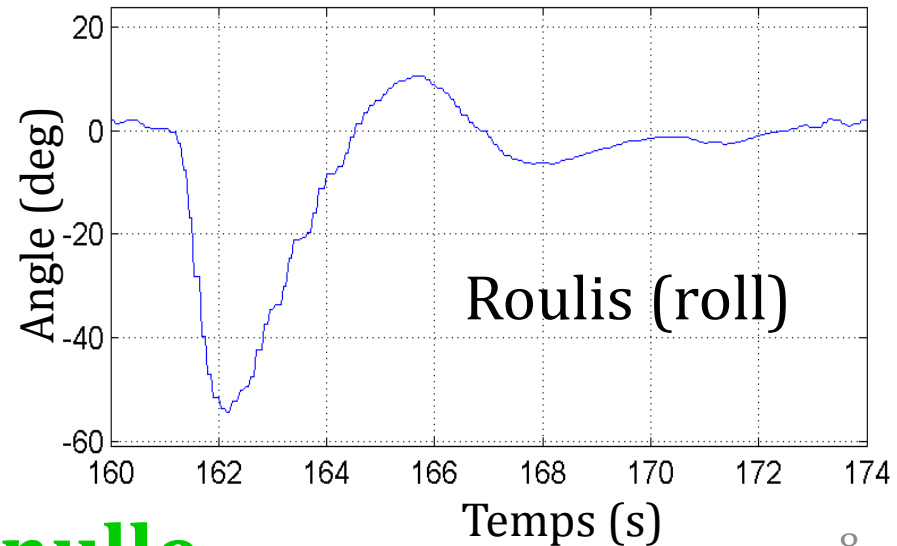
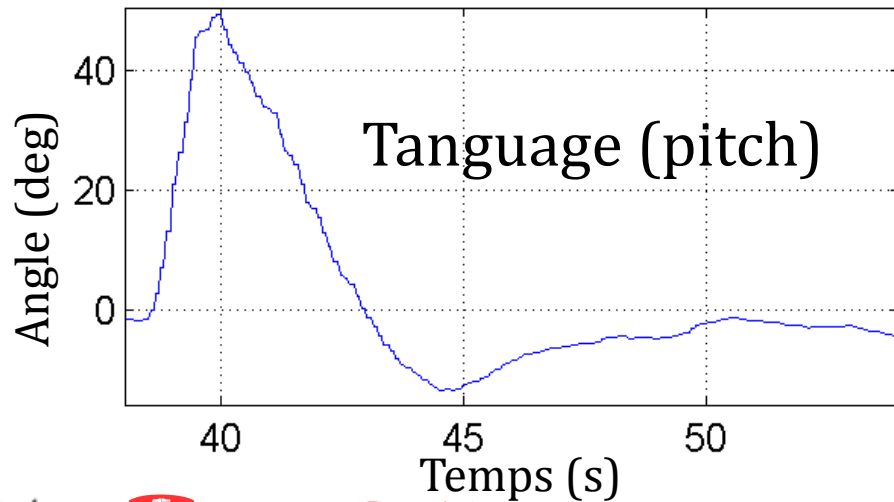


AP 2013, V=0, essai #5

Essai #2



Essai #5
Gains ajustés



AP 2013, V=0, essai #5



Philippe Giguère¹ et Ioannis Rekleitis² et Maxime Latulippe¹

I see you, you see me:
Cooperative Localization through
Bearing-Only Mutually Observing Robots

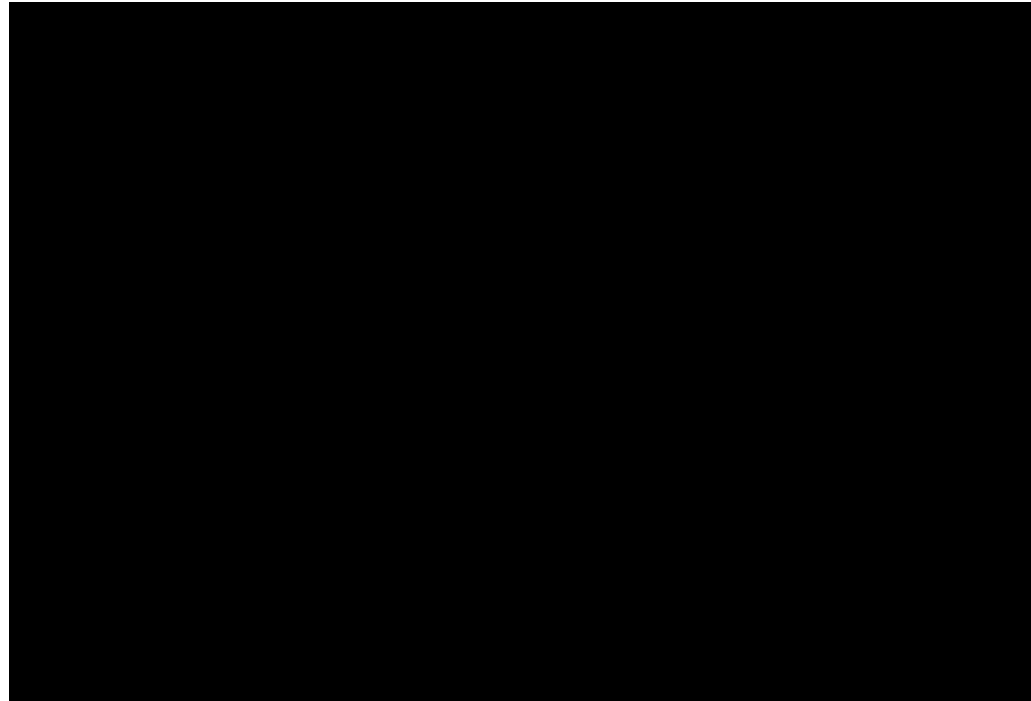


Article présenté à l'IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 7-12 Octobre 2012, Vilamoura, Algarve, Portugal.

Funding:

Motivation: Cubes volants *Tryphons*

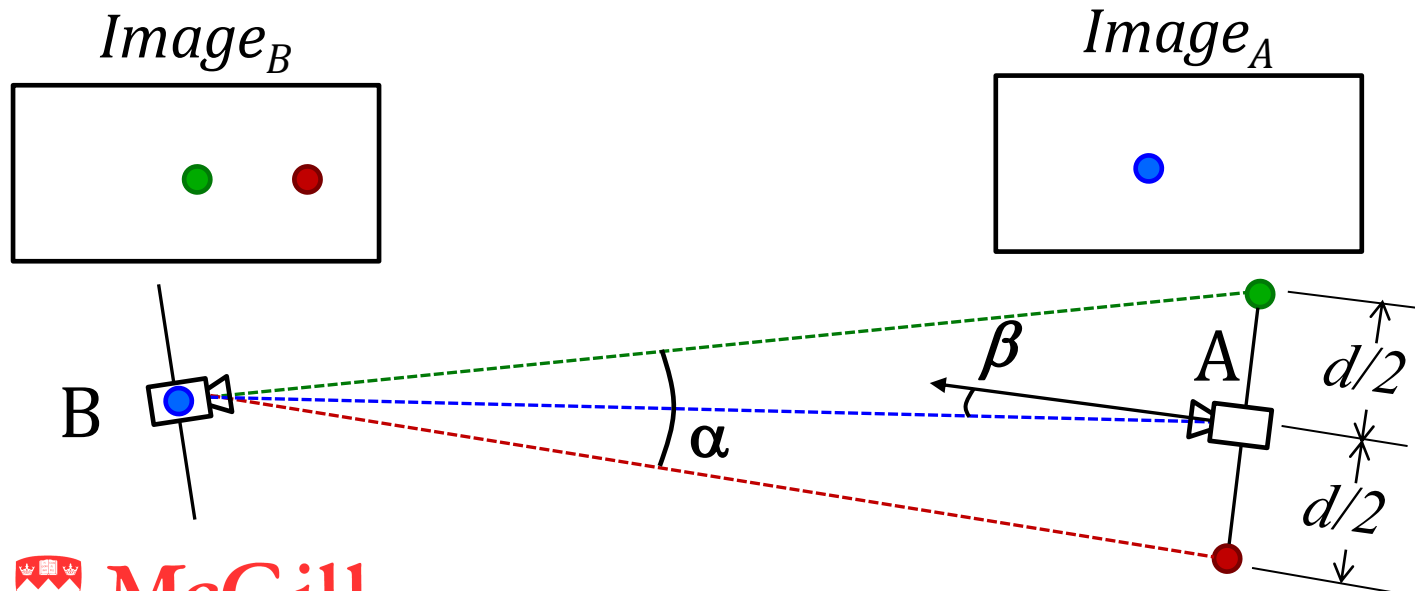
- Dirigeable de 2 m de côté + 12 propulseurs carénés
- Charge utile limitée (centaines de grammes)
- **Localisation relative** avec capteurs embarqués : **cameras**



D. St-Onge, N. Reeves, and C. Gosselin, “[voiles |sails]: A modular architecture for a fast parallel development in an international multi-disciplinary project,” in *15th ICAR*, 2011, pp. 482–488.

Énoncé du problème (en 2D)

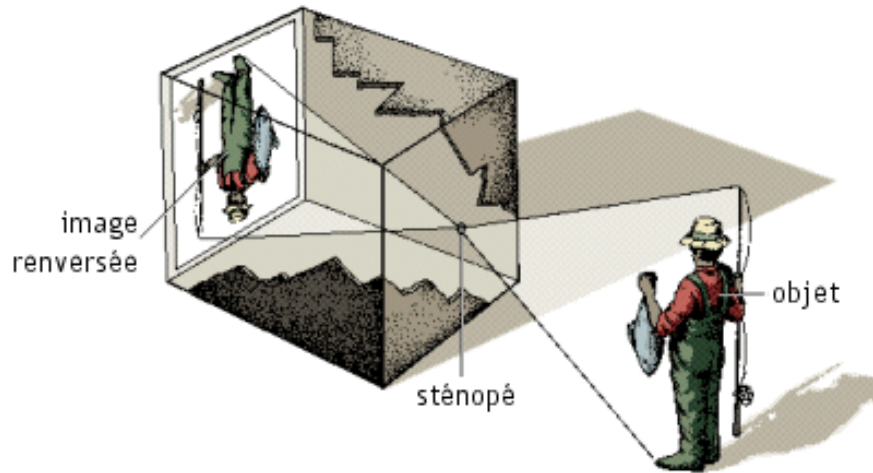
- Deux robots, **A** et **B**, avec des caméras standards
- Marqueurs visibles sur les deux robots
- Photos sont prises simultanément
 - Avec les deux caméras visible mutuellement
- Cherche la position relative $r_{AB} = [x \ y \ \theta]$, avec α , β et d



Un peu de géométrie...

Caméra à sténopé (*pinhole camera*)

- Trou dans boîte à chaussures



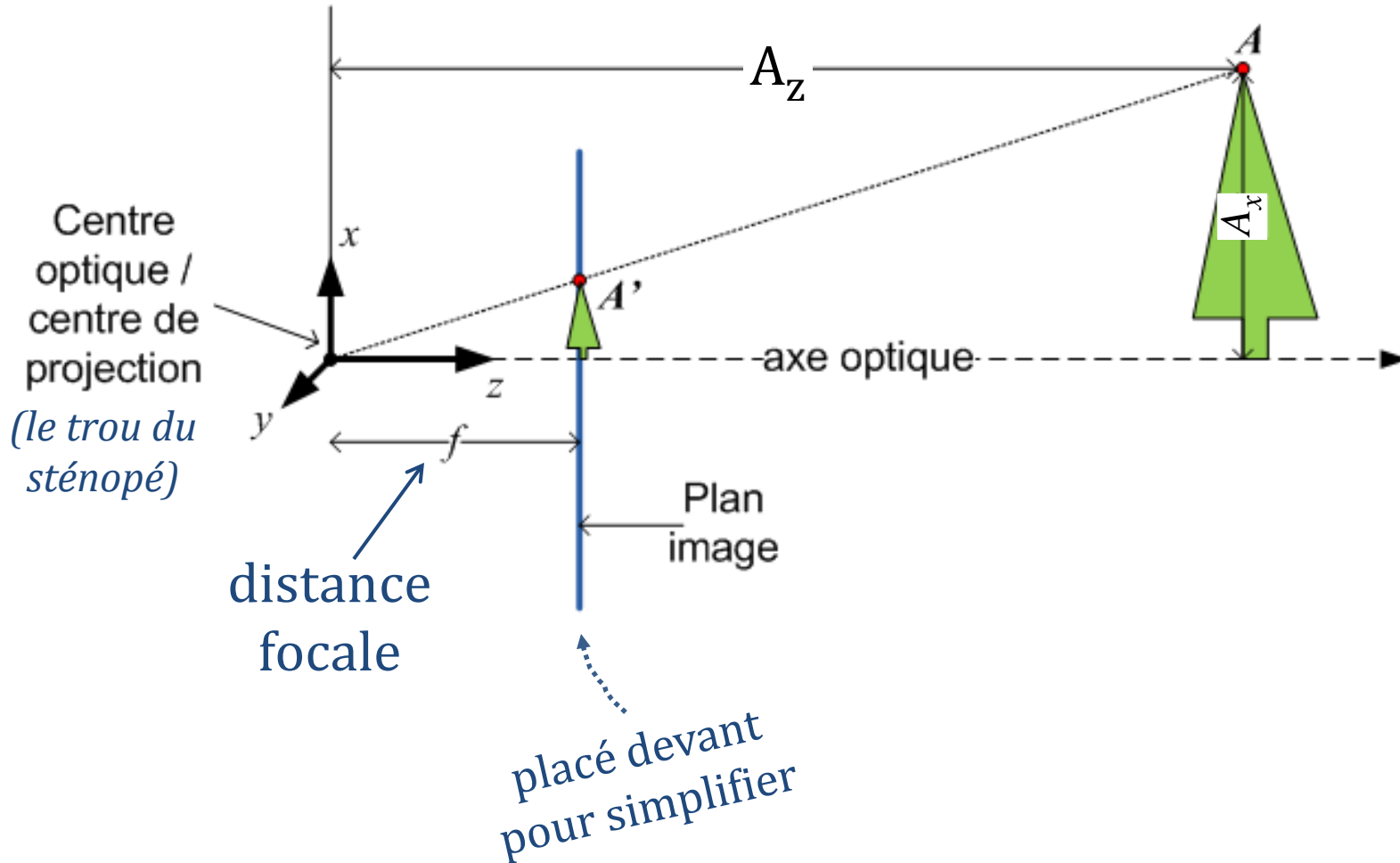
Principe de la chambre noire
Source : Encyclopédie Microsoft Encarta.



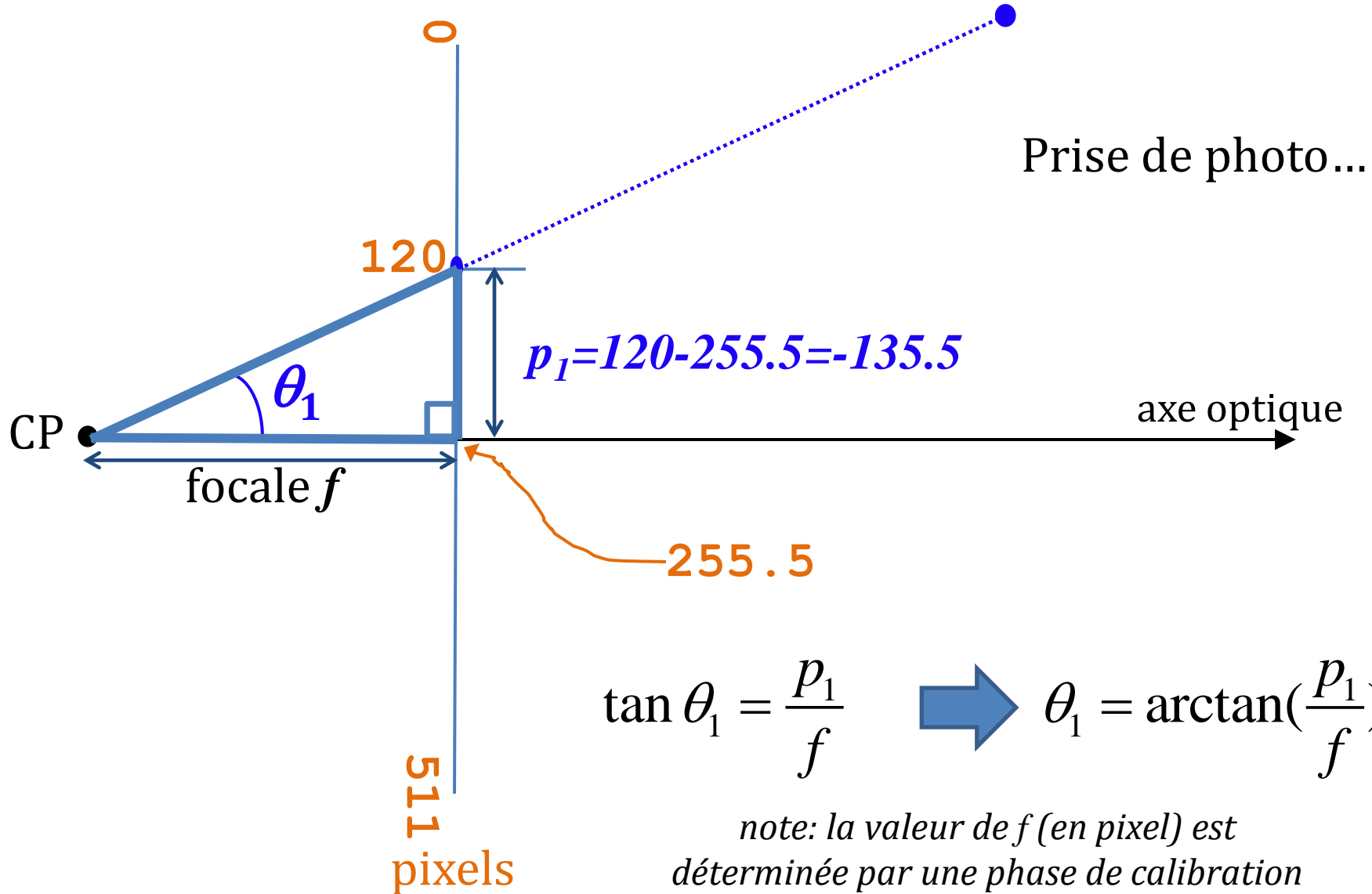
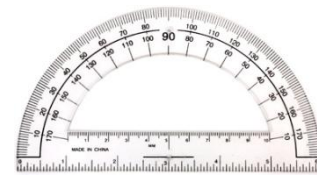
papier photo + caméra sténopé

Modèle caméra perspective

Théorème de Thalès

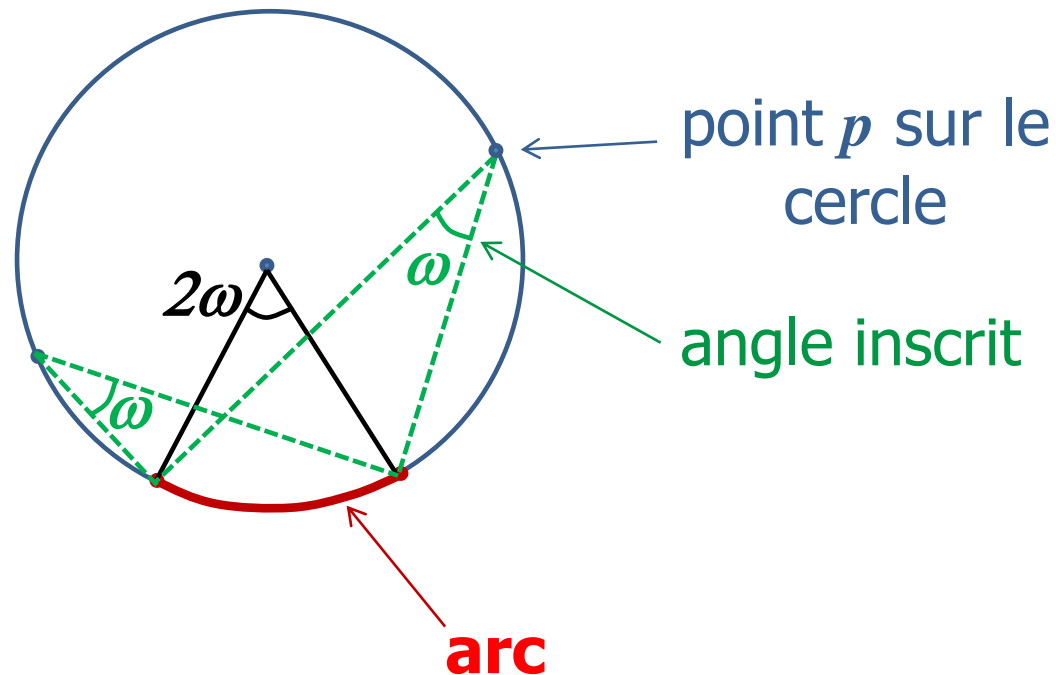


Caméra == rapporteur d'angles

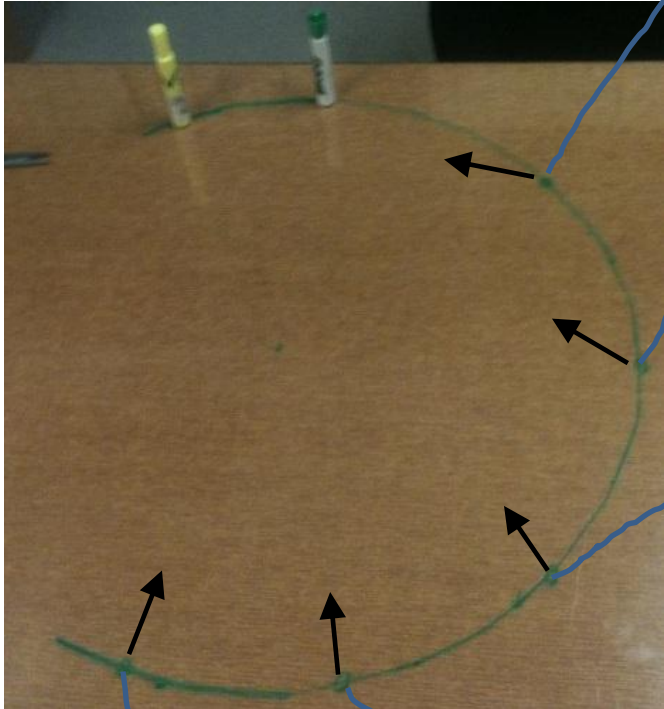


Théorème de l'angle inscrit et de l'angle au centre

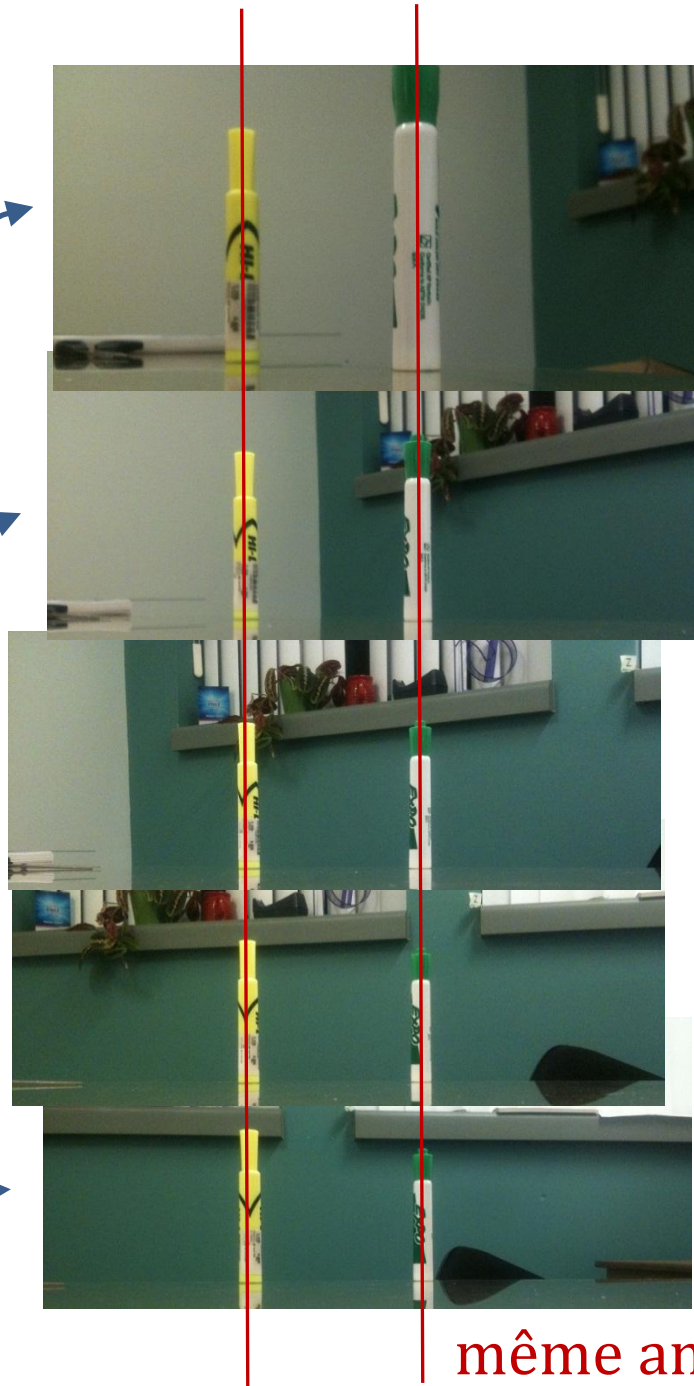
- Pour un cercle, l'angle au centre mesure le double d'un **angle inscrit** interceptant le même **arc**.



Par le même théorème, si je mesure α entre deux repères, je me situe sur un cercle



Exemple avec ma caméra iPhone sur mon bureau

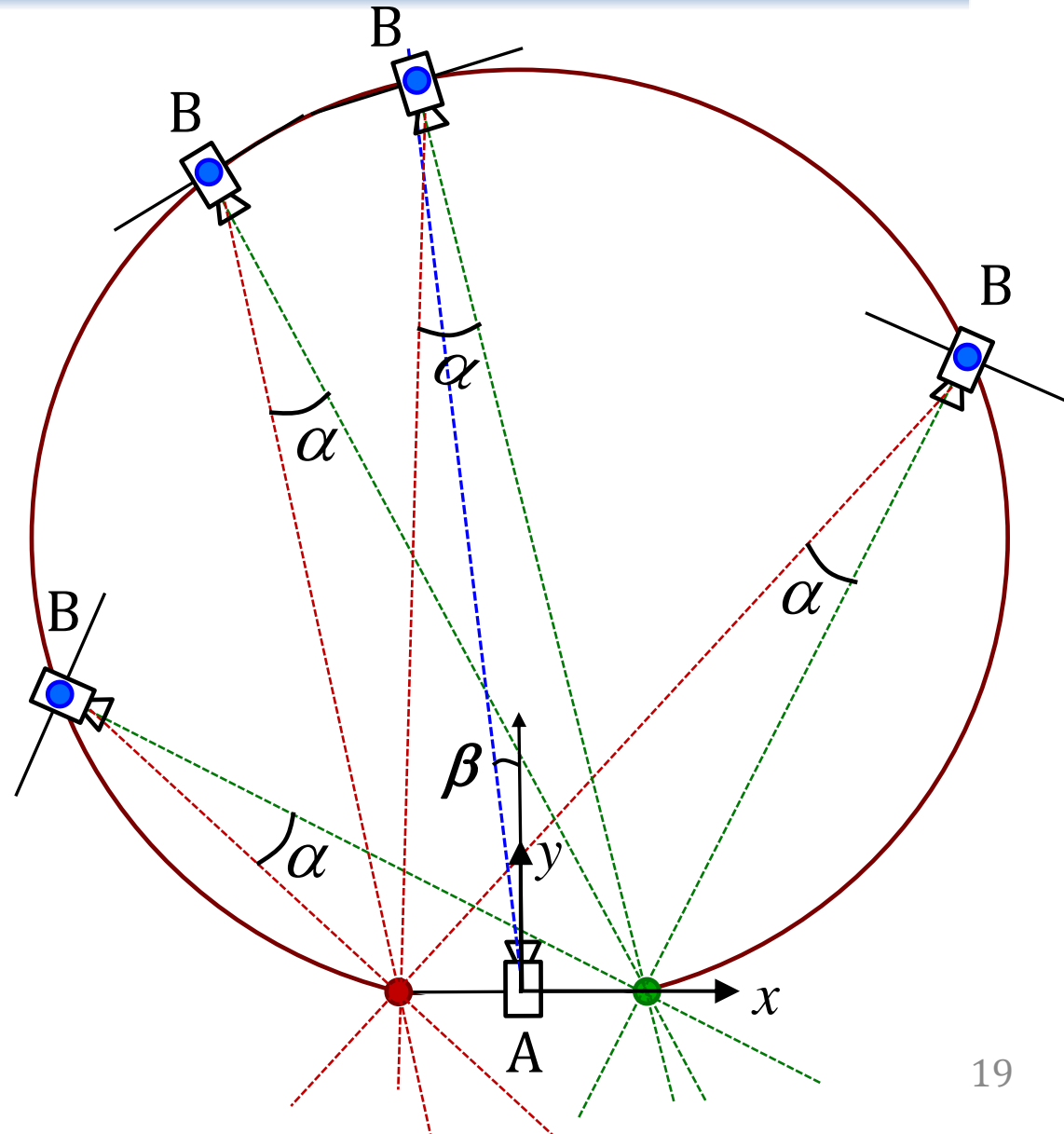


toutes les photos ont la même largeur

même angle α

Contraintes amenées par α et β ?

- Cherche $r_{AB} = [x \ y \ \theta]$
- Deux contraintes :
- Angle α de l'*Image_B* situe le robot *B* sur un **cercle**
- Angle β de l'*Image_A* situe le robot *B* sur une **droite**
- L'intersection donne une solution *unique* qui représente r_{AB}



Position relative de B

- Lorsque les robots sont éloignés : $l \gg d$

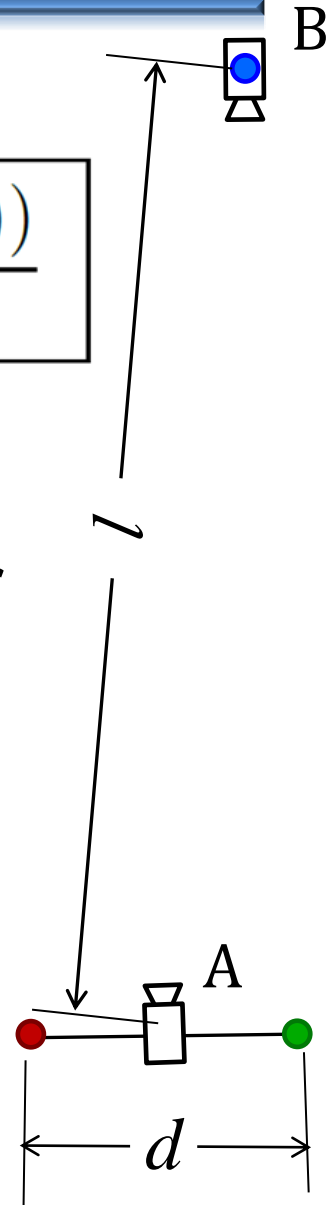
$$x_b(\alpha, \beta, d) \approx \frac{d \sin 2\beta}{2 \sin \alpha}$$

$$y_b(\alpha, \beta, d) \approx \frac{d(1 + \cos(2\beta))}{2 \sin \alpha}$$

$$\theta = \beta_B - \beta_A$$

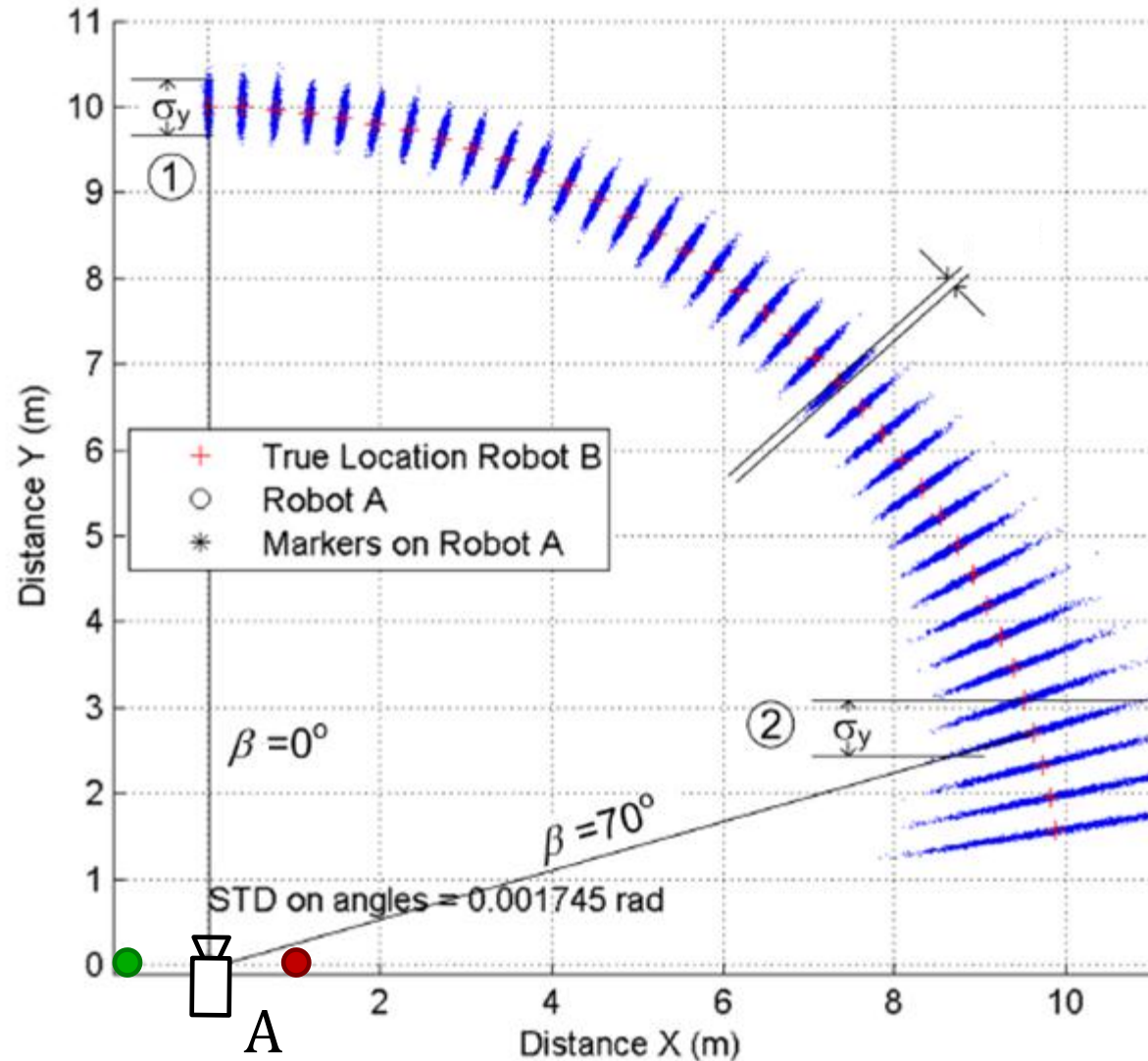
- Permet de calculer une Jacobienne pour la propagation des erreurs (filtrage EKF)

$$\mathcal{J} \approx \begin{bmatrix} \alpha & \beta & d \\ -\frac{l^2}{d} \tan \beta & l \frac{\cos(2\beta)}{\cos(\beta)} & \frac{l}{d} (\sin(\beta)) \\ -\frac{l^2}{d} & -2l \sin(\beta) & \frac{l}{d} (\cos(\beta)) \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$$



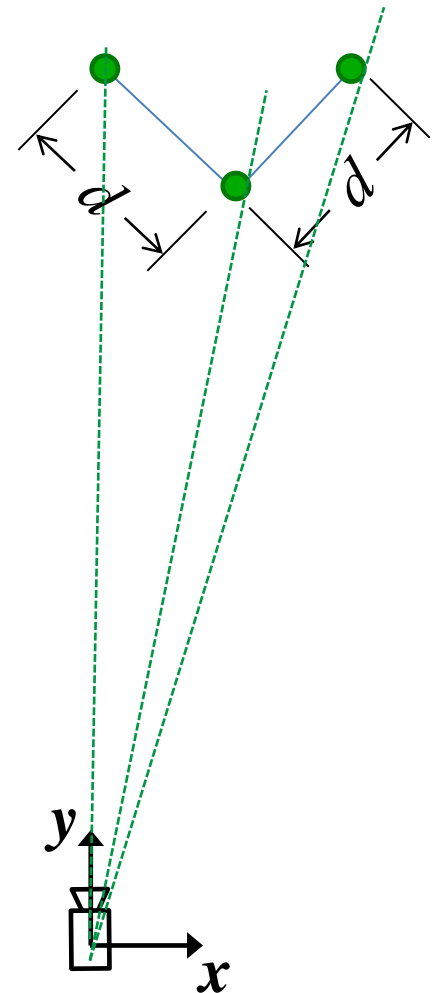
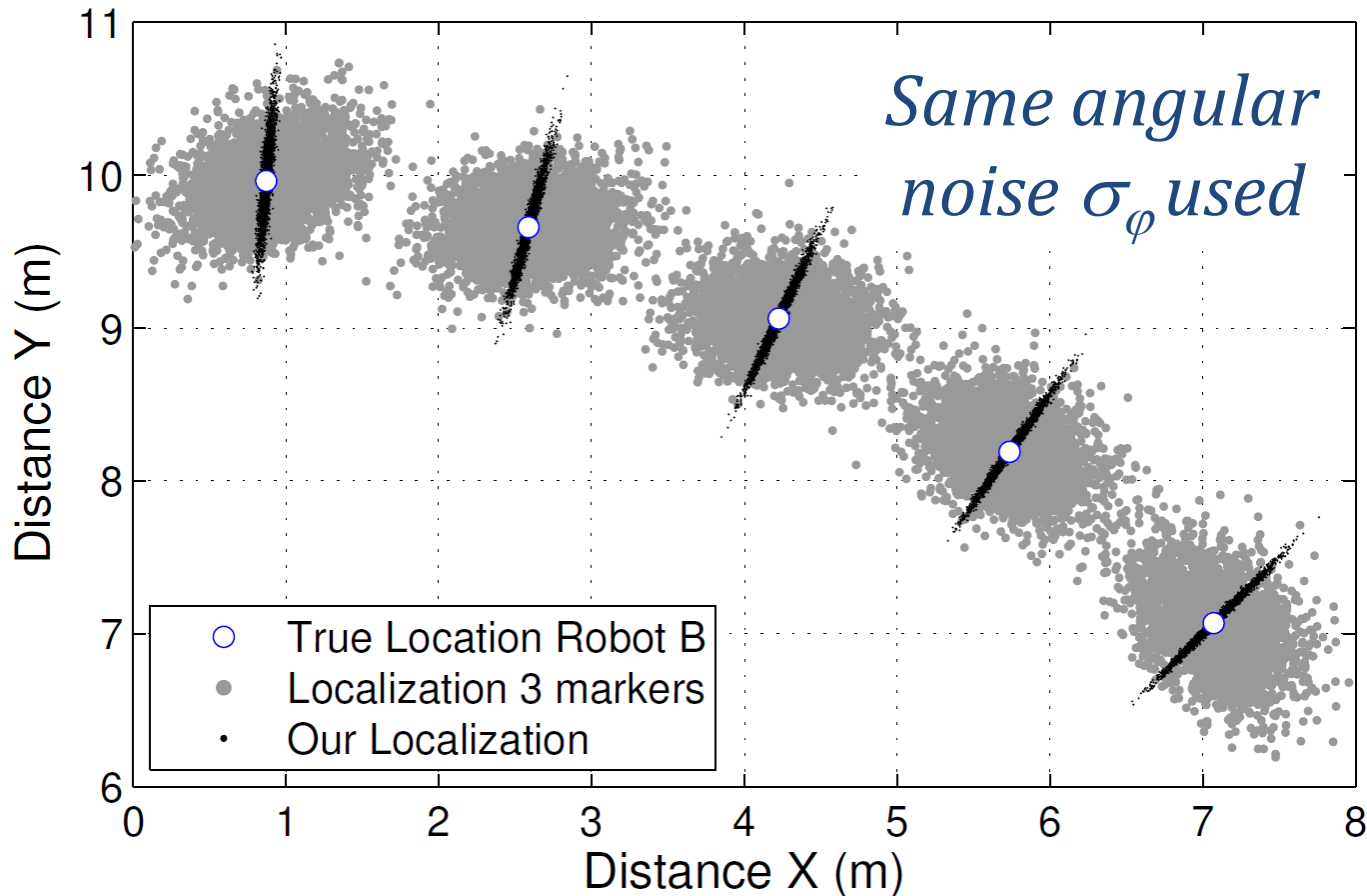
Distribution de la position relative selon bruit σ_ϕ sur angle

- Source principale de bruit est la mesure d'angle
- Simulation de bruit $\sigma_\phi = 0.1^\circ$ sur angle
- Deux marqueurs, $d = 2\text{ m}$
- Distance $l = 10\text{ m}$



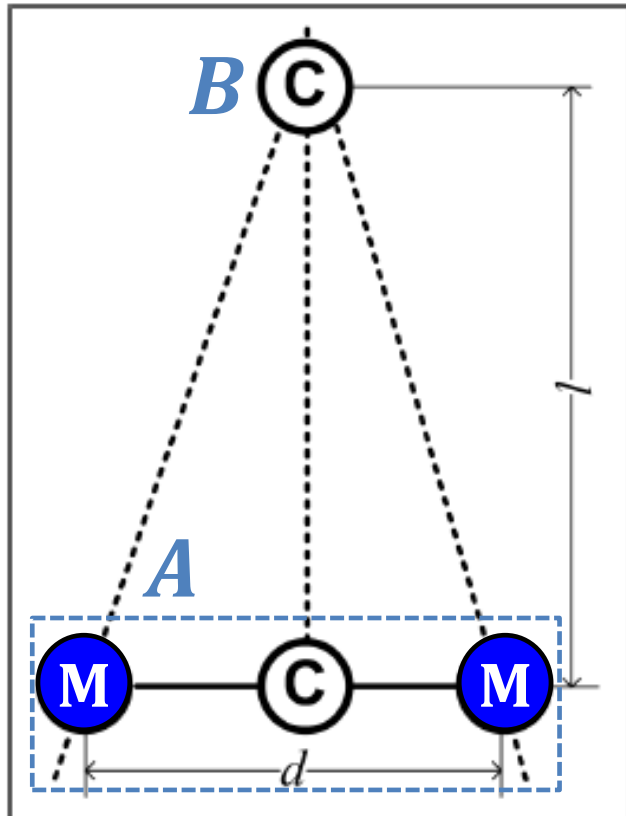
Comparaison avec 1 camera, 3 marqueurs

- Configuration en L des **marqueurs** , même distance d

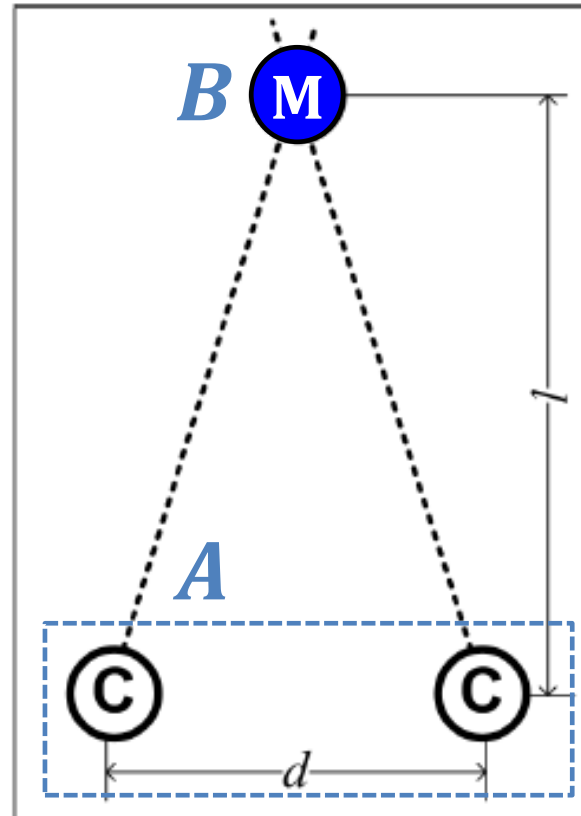


Comparaison avec stéréo

- Pour des configurations similaires



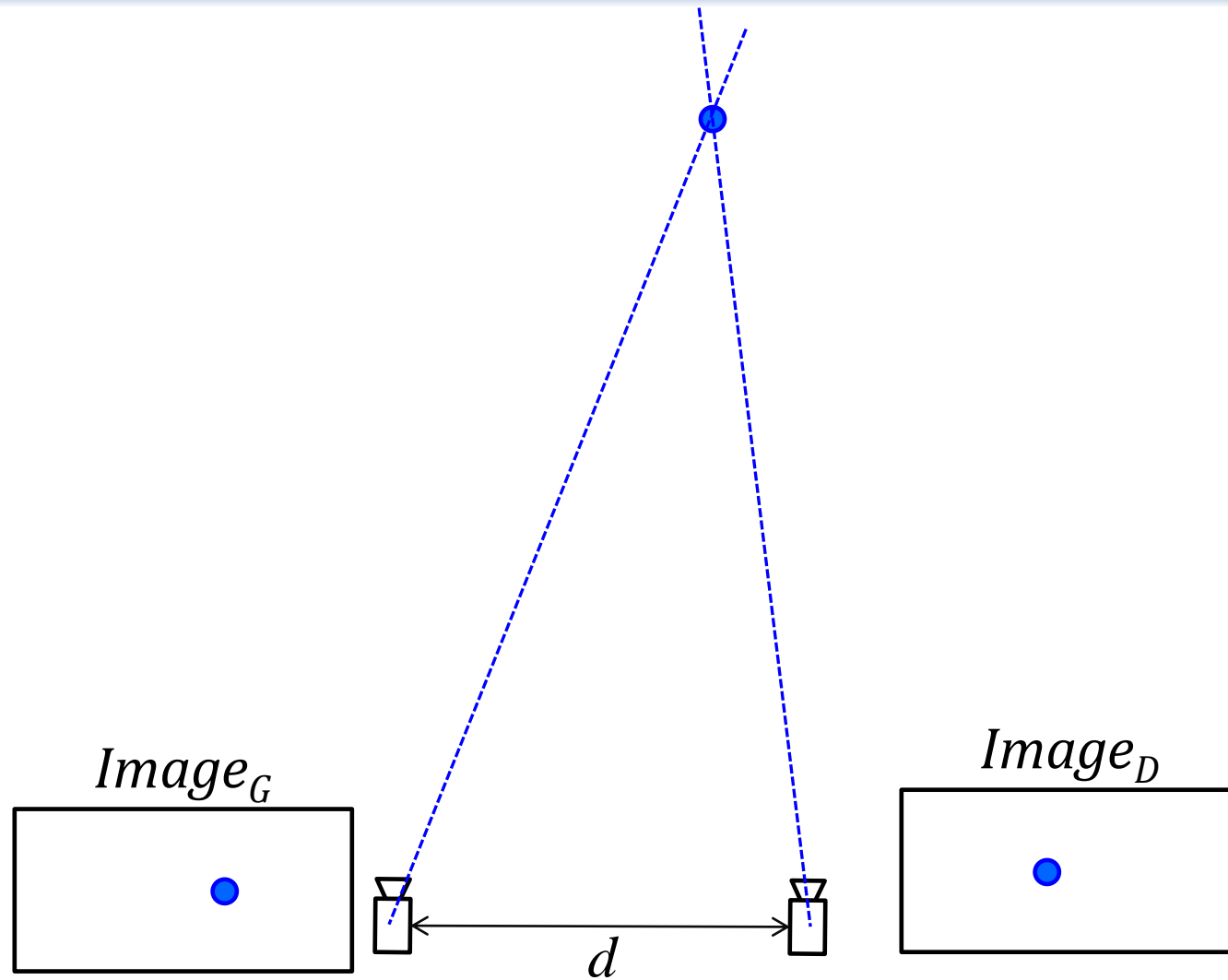
Notre approche



Stéréo

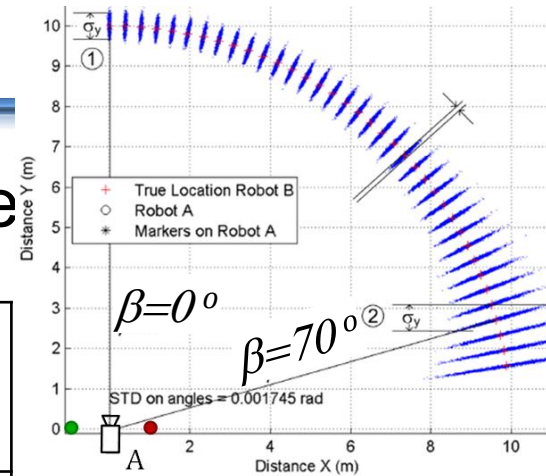
- M Marqueur
- C Caméra

Localisation avec stéréo



Comparaison avec stéréo

Les erreurs, en fonction de l'erreur σ_φ sur l'angle



Stéréo*

Notre approche

σ_x

$$\frac{\sqrt{1 + \left(\frac{l}{b} \sin(\beta)\right)^2}}{\sqrt{2} \cos(\beta)} l \sigma_\varphi$$

$$\frac{\sqrt{1 + \cos(4\beta) + \left(\frac{l}{b} \sin(\beta)\right)^2}}{\sqrt{2} \cos(\beta)} l \sigma_\varphi$$

σ_y

$$\frac{l^2}{\sqrt{2} b} \sigma_\varphi$$

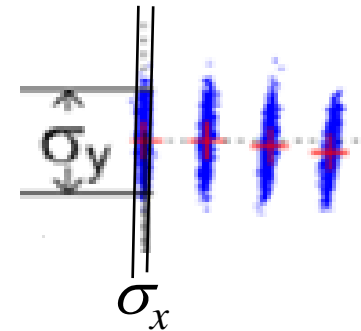
$$\approx \frac{l^2}{2b} \sigma_\varphi$$

σ_θ

$$\geq \sqrt{2} \frac{l}{d} \sigma_\varphi \quad (\text{avec 2 marqueurs})$$

$$\sqrt{2} \sigma_\varphi$$

Pour petit β :



σ_x n'est pas problématique

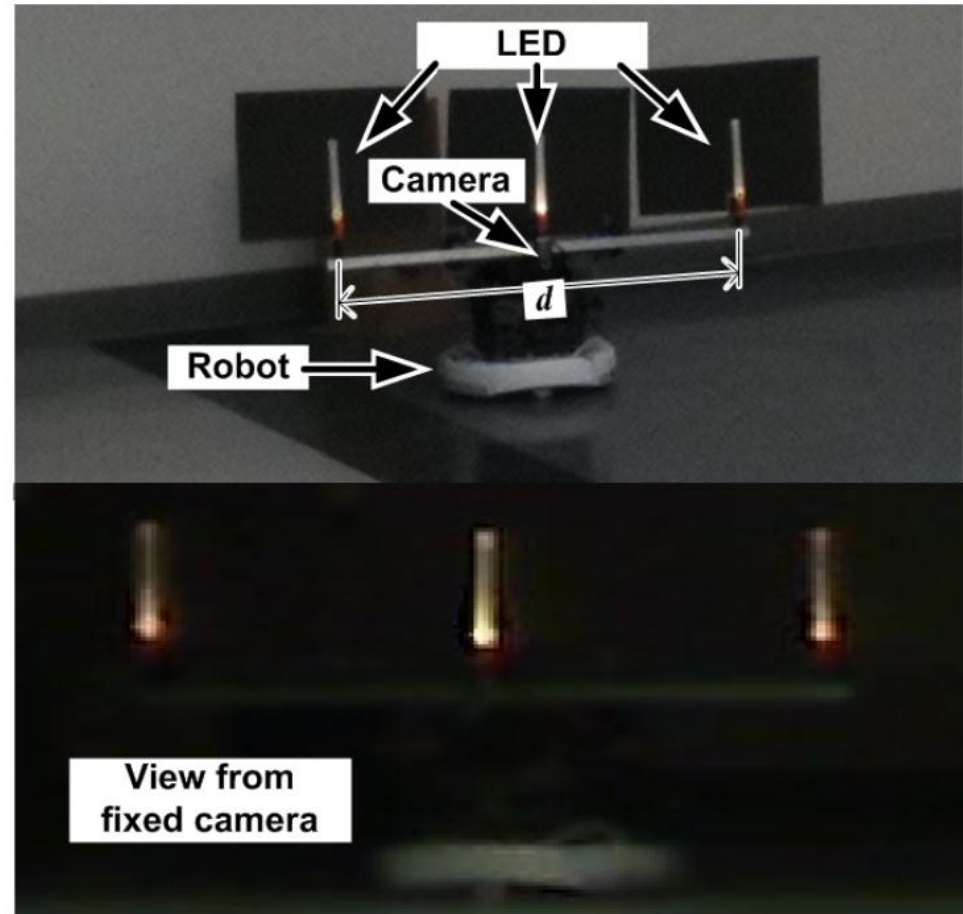
* J. Ruiz-Alzola, C. Alberola-Lopez, and J. R. C. Corredera, "Model-based stereo-visual tracking: Covariance analysis and tracking schemes." *Signal Processing*, pp. 23–43, 2000.

Avantage p/r stéréo

- 1 caméra par robot, au lieu de 2
 - plus léger
 - demande en calcul réduite
- Orientation relative θ beaucoup plus précise
- Baseline pour les caméras stéréos est de l'ordre de 10-20 *cm*
 - Nos marqueurs : $d = 2 \text{ m}$

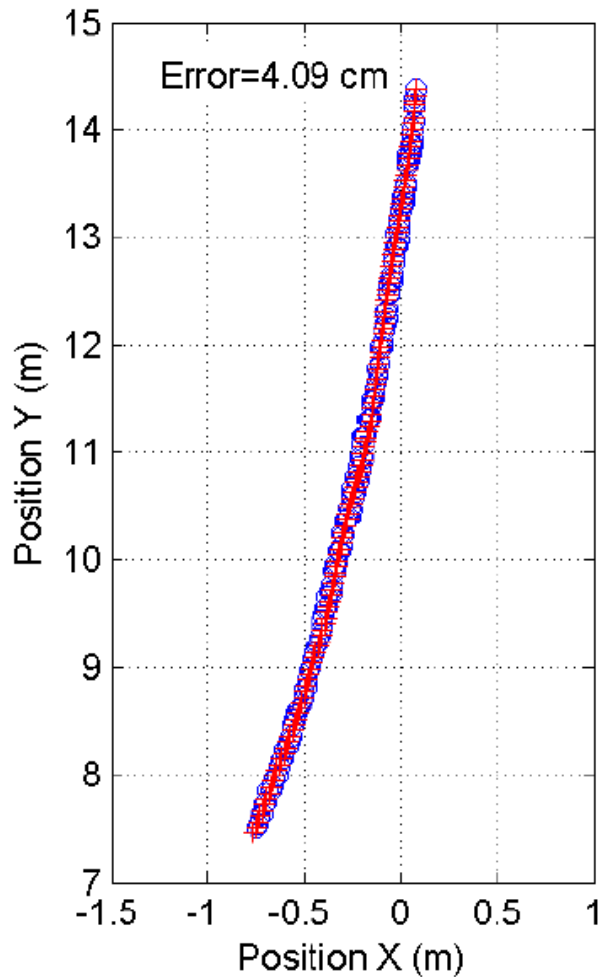
Vérification expérimentale

- 1 mobile + 1 fixe
- 3 marqueurs LED sur les robots
- *C905 Logitech Webcam*
- $d = 76 \text{ cm}$
- Pas de 5.25 cm pour le robot mobile
- Hokuyo lidar pour la vérité terrain

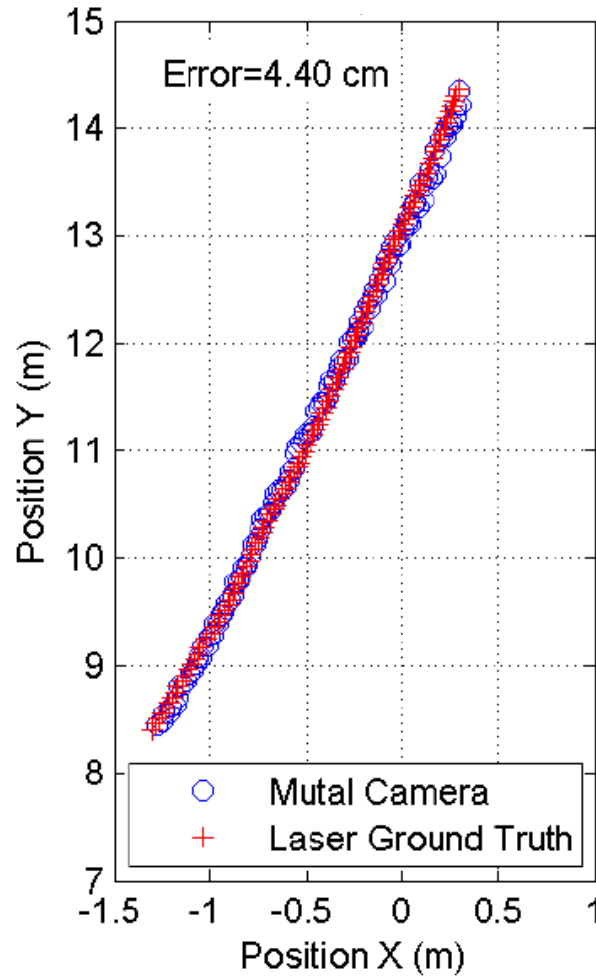


Résultats

Essai 1



Essai 2



Robot mobile B



Marqueurs
utilisés



Fixed robot A

Validation du modèle d'erreur

- Les distributions sur les erreurs sont proches de notre modèle, pour $\sigma_p \approx 0.4$ pixels

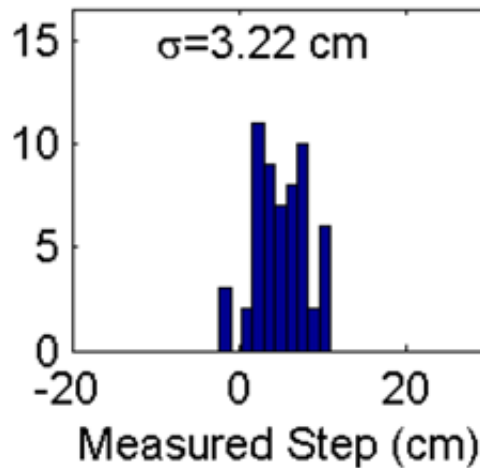
Erreur prédite
par modèle :

~3.3 cm

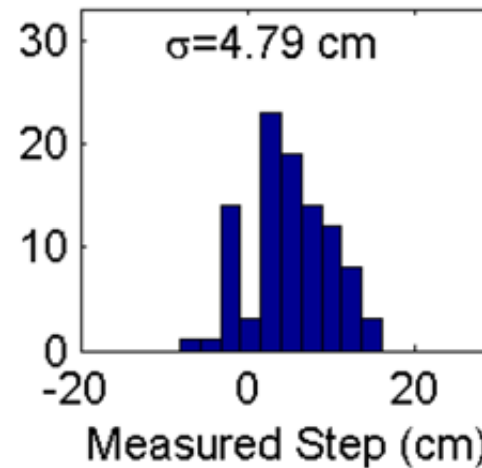
~6.1 cm

~9.6 cm

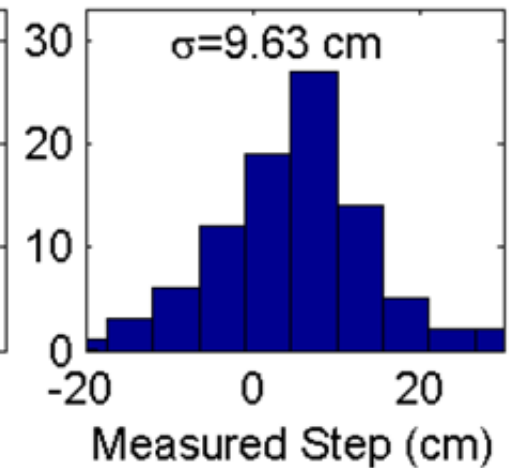
a) $7 \text{ m} < l < 9.5 \text{ m}$



b) $9.5 \text{ m} < l < 12 \text{ m}$

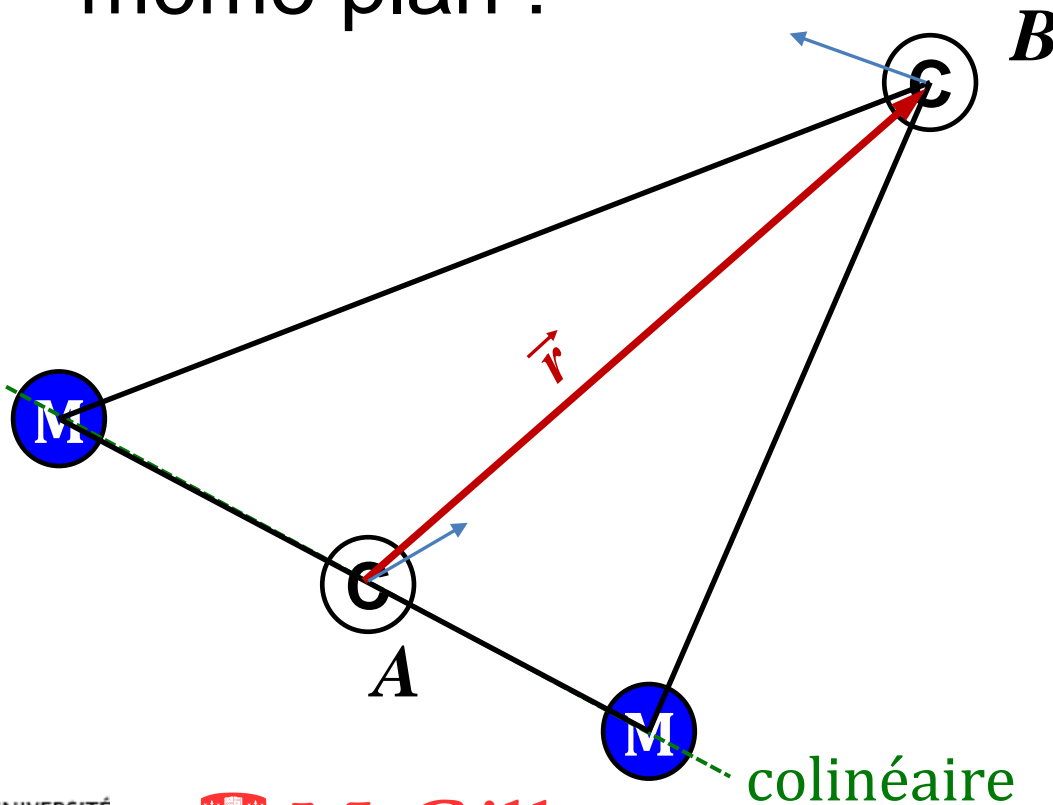


c) $12 \text{ m} < l < 15 \text{ m}$

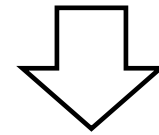


Approche en 3D

- Les 2 repères et les deux centres de projection des caméras sont tous dans le même plan :



ligne + point = plan



problème en 2D

Facile de retrouver
 x, y, z de B

Reste à trouver
orientation relative
entre A et B

Conclusion & travaux futurs (1)

- Nous avons proposé une technique de **localisation relative** basée sur l'extraction d'angles à partir d'images
 - Caméras doivent être mutuellement visibles
- Solution analytique approximative → Jacobienne
- Se compare avantageusement avec :
 - Utilisation de 3 marqueurs
 - Vision stéréo
- Erreurs : 3-9 *cm* à 7-15 *m* distance

Conclusion & travaux futurs (2)

- Prochains travaux (avec Olivier Dugas):
 - solution complète 3D (position et orientation)
 - tests en 3D avec OptiTrack
 - filtrage (EKF, UKF, particule)
 - implémentation sur les cubes
 - processeur embarqué (gumstix)
 - caméra + marqueurs infrarouges