Génération de Trajectoires en Temps Minimum Basées Vision pour un Quadrirotor UAV

Bryan Penin, Riccardo Spica, Paolo Robuffo Giordano
et François Chaumette

LAGADIC Group
Inria Rennes Bretagne Atlantique & Irisa
http://www.irisa.fr/lagadic

Plan

I. Trajectoires optimales en temps minimum basées vision

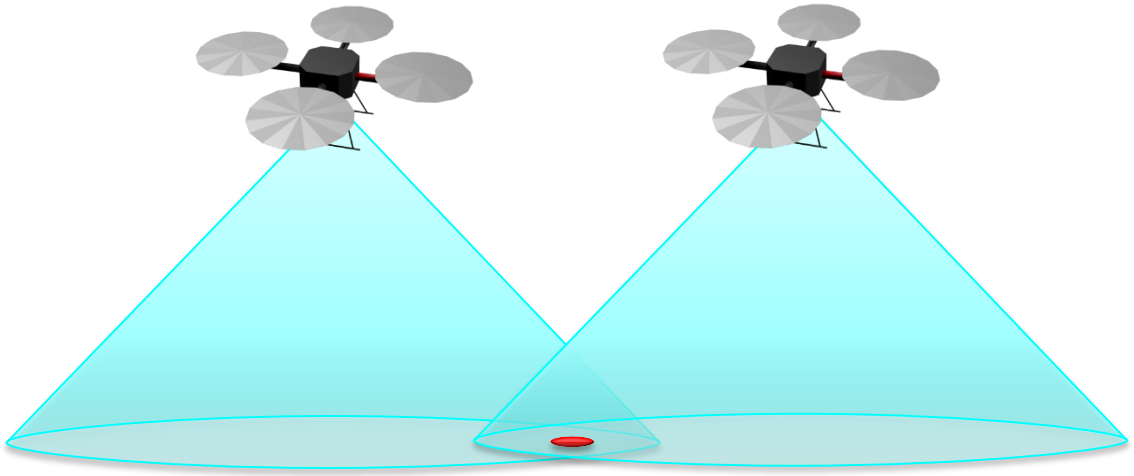
II. Tracking réactif sous contraintes de visibilité

Partie I

Trajectoires optimales en temps minimum basées vision

contexte, motivations, formulation

I/ Contexte



- contrôle visuel en temps minimum
  - dynamique complete du quadrirotor (sous-actionnement)
  - actionnement (poussée moteurs) et champ de vision limité
- exploiter la capacité du système
- estimation d'état avec mesures visuelles
  - maintenir l'observabilité
- replanification réactive en ligne (MPC)

I/ Problème d'optimisation

- objectif
- contraintes
  - état actuel du robot $\boldsymbol{\chi}_t$ (vision + IMU)
  - cibles dans le champ de vision limité
  - état désiré du robot $\boldsymbol{\chi}^*$
  - dynamique non linéaire complète du quadrirotor
  - entrées limitées $\boldsymbol{u}$ (poussée moteur)

$$\min_{\boldsymbol{u}(s)} \; T$$
$$s.t.$$

espace de recherche infini

$$\boldsymbol{\chi}(t) = \boldsymbol{\chi}_t$$

$$\boldsymbol{\beta}_i(s) \in \Omega, \forall s \in [t, t+T]$$

$$\boldsymbol{\chi}(t+T) = \boldsymbol{\chi}^*$$

$$\dot{\boldsymbol{\chi}} = \boldsymbol{h}(\boldsymbol{\chi}, \boldsymbol{u})$$

contraintes d'égalité NL

$$\boldsymbol{u}(s) \in \mathcal{U}, \forall s \in [t, t+T]$$

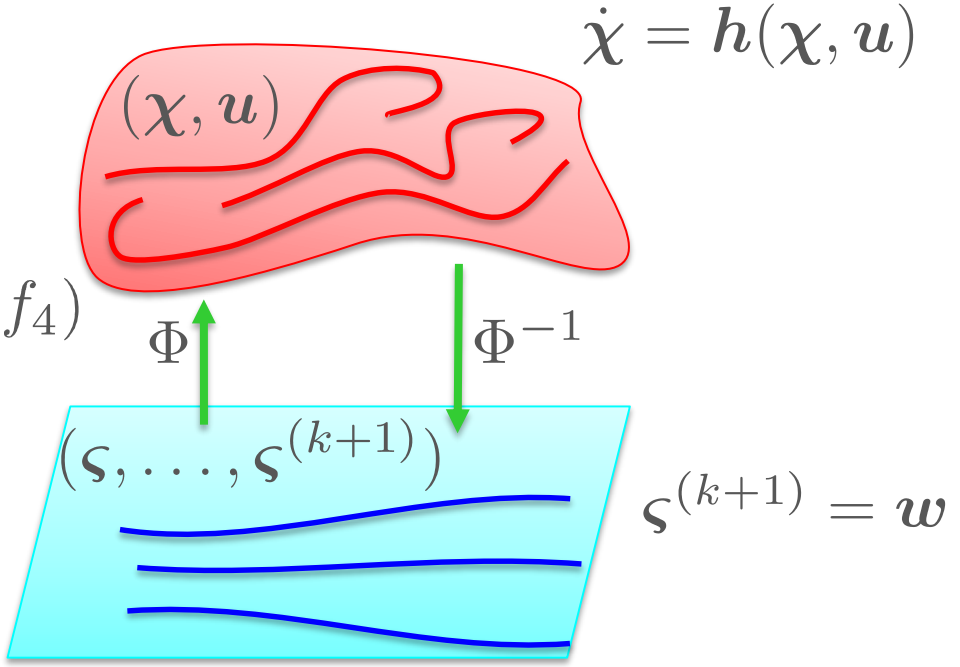
- pas de solution analytique → optimisation numérique

I/ Formulation numérique

- platitude differentielle
  - quadrirotors [Mistler et al. 2001]

$$\chi = (\boldsymbol{p}, \boldsymbol{v}, \boldsymbol{R}, \boldsymbol{\omega}),\ \boldsymbol{u} = (f_1, f_2, f_3, f_4)$$

$$\varsigma = (\boldsymbol{p}, \psi),\ \boldsymbol{w} = (\boldsymbol{p}^{(4)}, \ddot{\psi})$$



- paramétrisation des trajectoires

$$\varsigma(s) = \sum_{j=1}^{n} B_{j,d}\left(\frac{s-t}{T}\right) \boldsymbol{p}_j,\ \forall s \in [t, t+T]$$

bases B-spline suffisamment lisses pour guarantir la continuité de χ

nombre limité de points contrôle optimisés numériquement

I/ Architecture globale

- problème d'optimisation ($\boldsymbol{\sigma}_{\boldsymbol{\chi}} = (\boldsymbol{p}, \dot{\boldsymbol{p}}, \ddot{\boldsymbol{p}}, \dddot{\boldsymbol{p}}, \psi, \dot{\psi})$)

$$
\begin{aligned}
\min_{\boldsymbol{p}_1,\dots\boldsymbol{p}_n,T} \quad & T \\
s.t. \quad & \boldsymbol{\sigma}_{\chi}(t) = \boldsymbol{\sigma}_t = \phi_{\chi}^{-1}(\boldsymbol{\chi}_t), \\
& \boldsymbol{\sigma}_{\chi}(t+T) = \boldsymbol{\sigma}^* = \phi_{\chi}^{-1}(\boldsymbol{\chi}^*), \\
& \boldsymbol{\beta}_i(s) \in \Omega, \forall s \in [t, t+T], i = 1, \dots, N, \\
& \boldsymbol{u}(s) \in \mathcal{U}, \ \forall s \in [t, t+T],
\end{aligned}
$$

- résolution numérique par méthode SQP
- mesures visuelles($\rightarrow \chi_t$) disponibles à 30Hz
- odométrie IMU et trackeur de trajectoire NL [Lee et al. 2010] pour suivre les trajectoires optimales obtenues

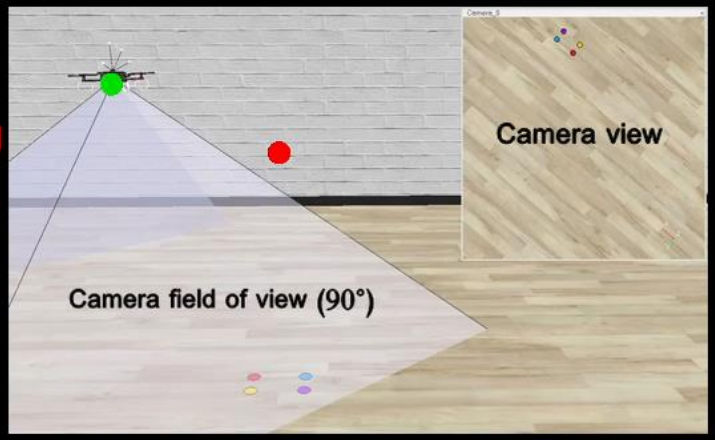
I/ Résultats de simultation

Hereafter is an example of a typical minimum–time trajectory with inputs and visibility constraints connecting two hovering states

The quadrotor starts from an initial hovering state (green ball) and needs to reach the desired hovering goal position (red ball)

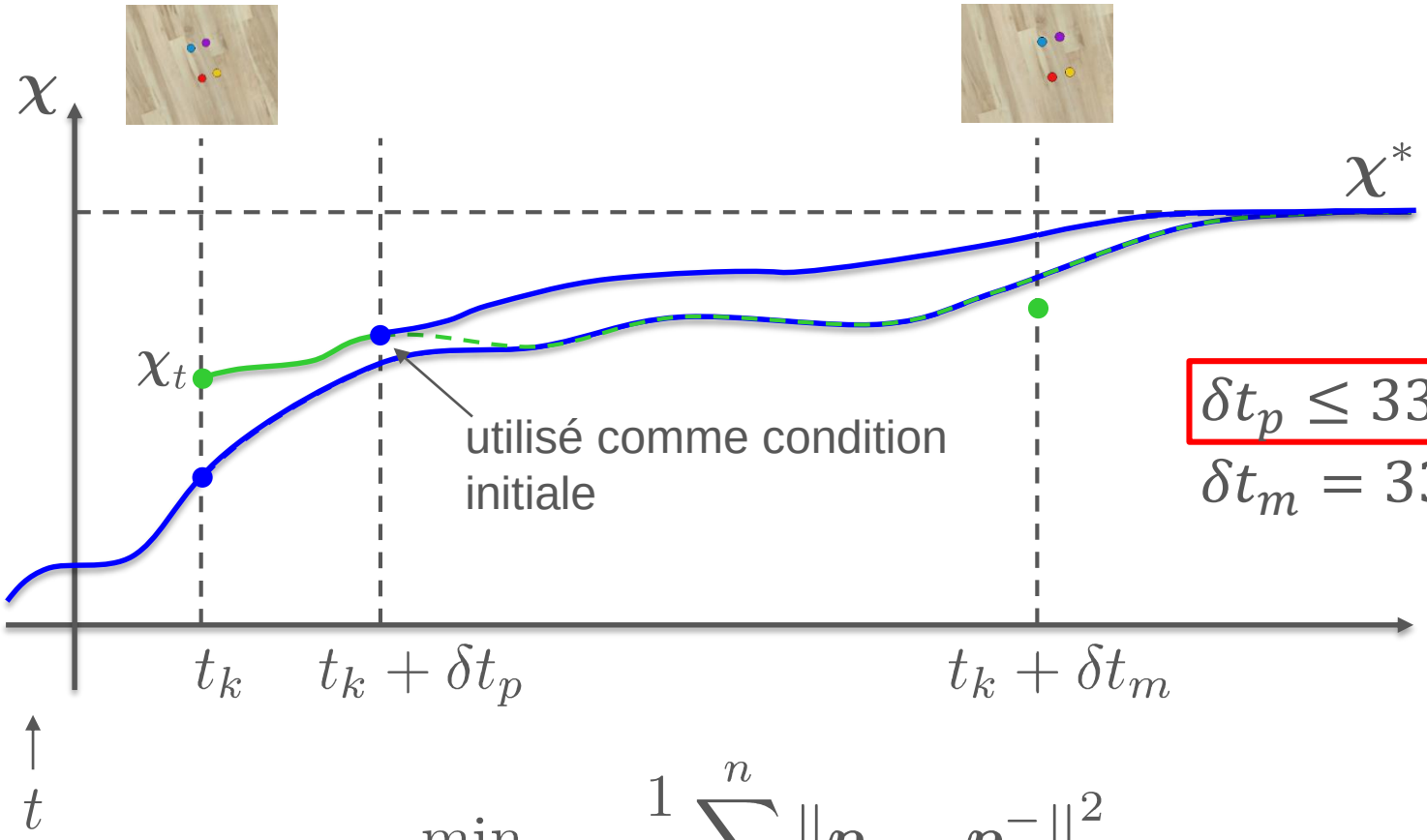
Input limits: 0.1 N and 5N on each thrust vector

In this first simulation, the replanning is not activated. We show that in presence of modeling errors and actuation noise, the quadrotor cannot track the planned optimal trajectory. Therefore, the constraints may be violated (in particular the fov constraint)



Penin, B., Spica, R., Giordano, P. R., & Chaumette, F. .Vision-Based Minimum-Time Trajectory Generation for a Quadrotor UAV. In *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS'17*.

I/ Replanification en ligne



$\delta t_p \leq 33\ ms$

$\delta t_m = 33\ ms$

$$\min_{\boldsymbol{p}_1^-,\ldots,\boldsymbol{p}_n^-} \quad \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n} \left\| \boldsymbol{p}_j - \boldsymbol{p}_j^- \right\|^2$$

$$s.t. \quad \boldsymbol{\chi}(t) = \boldsymbol{\chi}_t$$

I/ Résultats de simulation

This following section of the video shows simulations of the proposed **replanning** strategy presented in the paper and applied to the two previous examples.

By exploiting an online re-planning (driven by camera measurements of the scene), we gain **robustness** against **model uncertainties** and **actuation noise**. Therefore, the quadrotor is able to meet all its constraints (in particular, the visibility one)

Penin, B., Spica, R., Giordano, P. R., & Chaumette, F. .Vision-Based Minimum-Time Trajectory Generation for a Quadrotor UAV. In *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS'17*.

I/ Trajectoires des point images

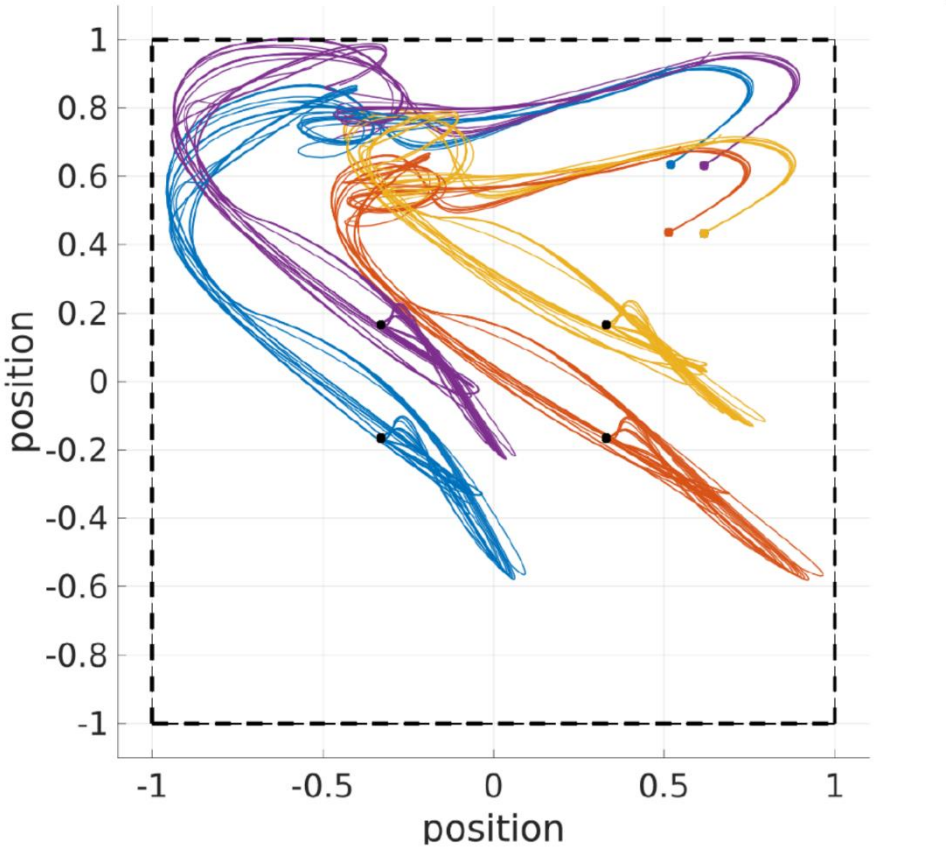


Fig. Point image: 34 trajectoires optimales calculées en 2.3 s

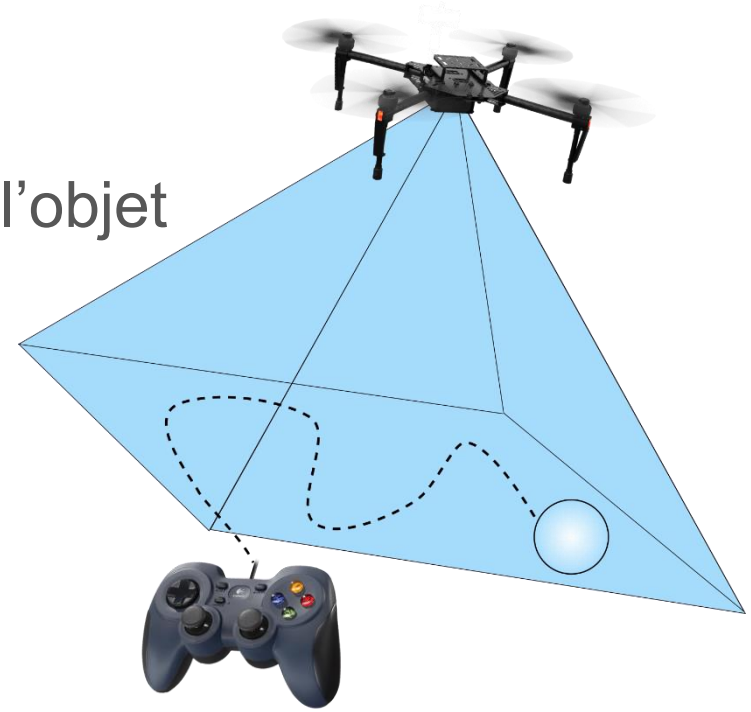
Partie II

Tracking réactif sous contraintes de visibilité

unicycle, sphère

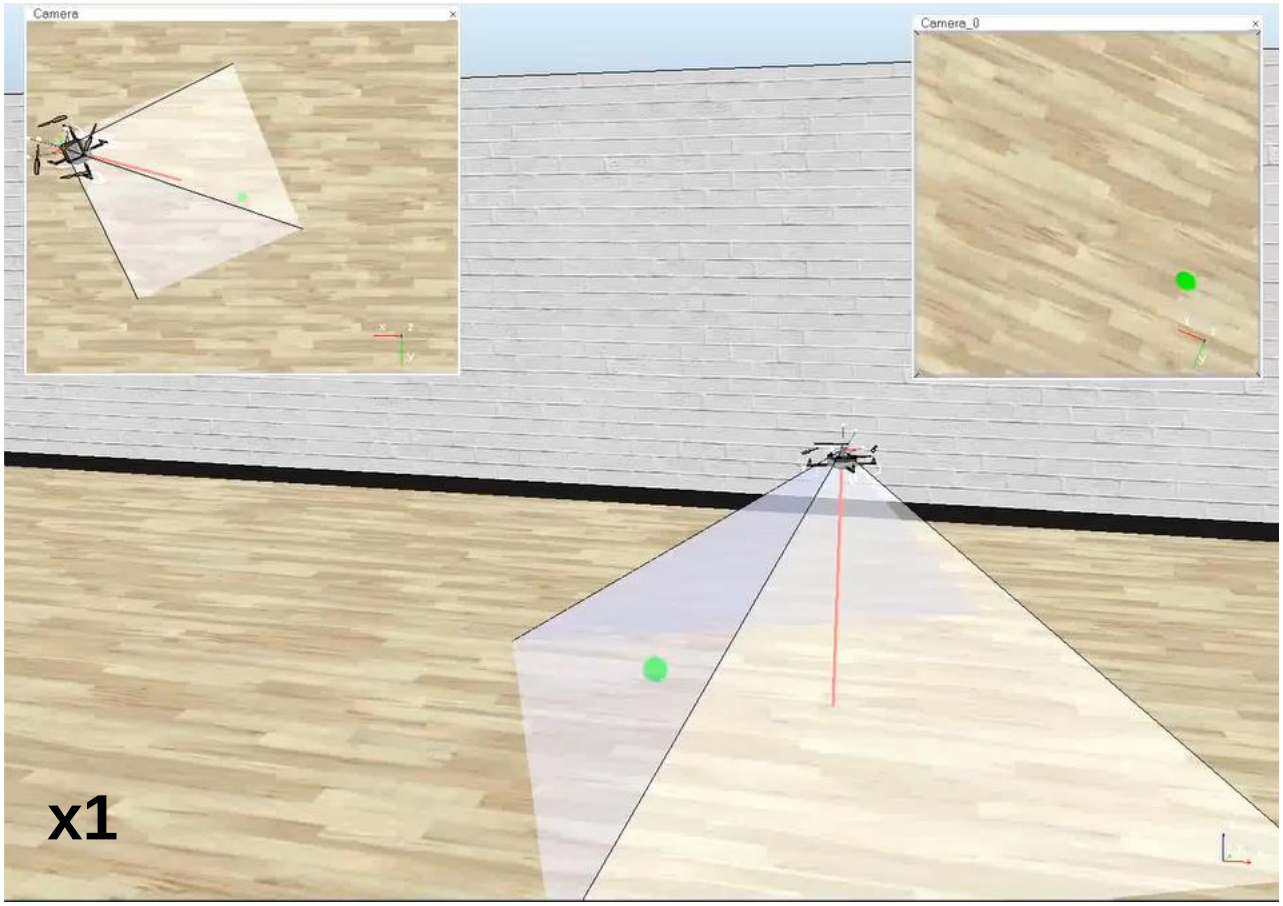
II/ Suivi réactif d'une cible mobile: Sphère

- hypothèses:
  - état connu du quadrirotor
  - état measurable de l'objet
  - modèle simple intégrateur pour l'objet



- objectifs et outils:
  - temps minimum
  - contraintes de visibilité
  - contraintes d'actionnement
  - estimation d'état de l'objet
  - prediction de la position de l'objet et de son incertitude

II/ Simulation: déplacement manuel



II/ Résultats

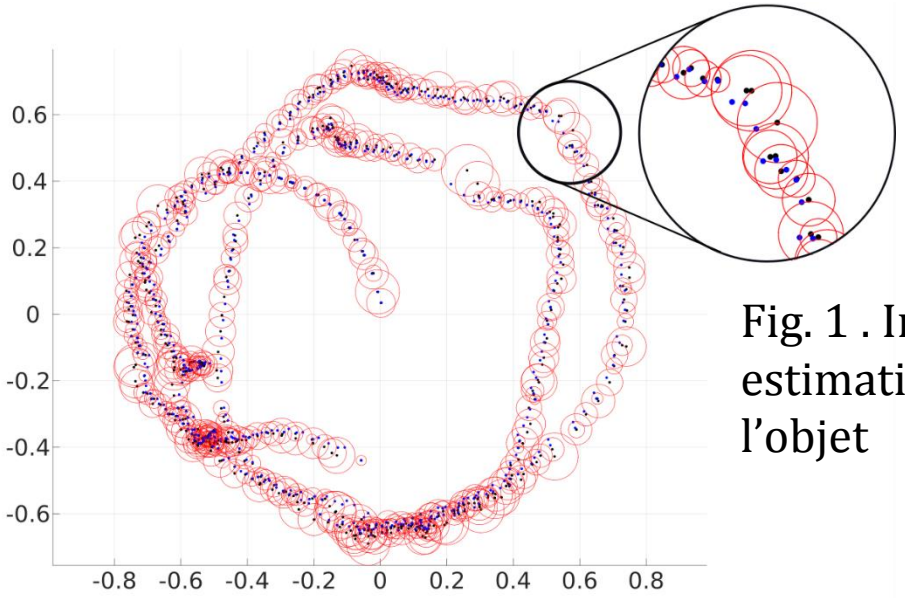


Fig. 1 . Incertitude et estimation de position de l'objet

Fig. 2. Coordonnées images ($fov = 95°$)

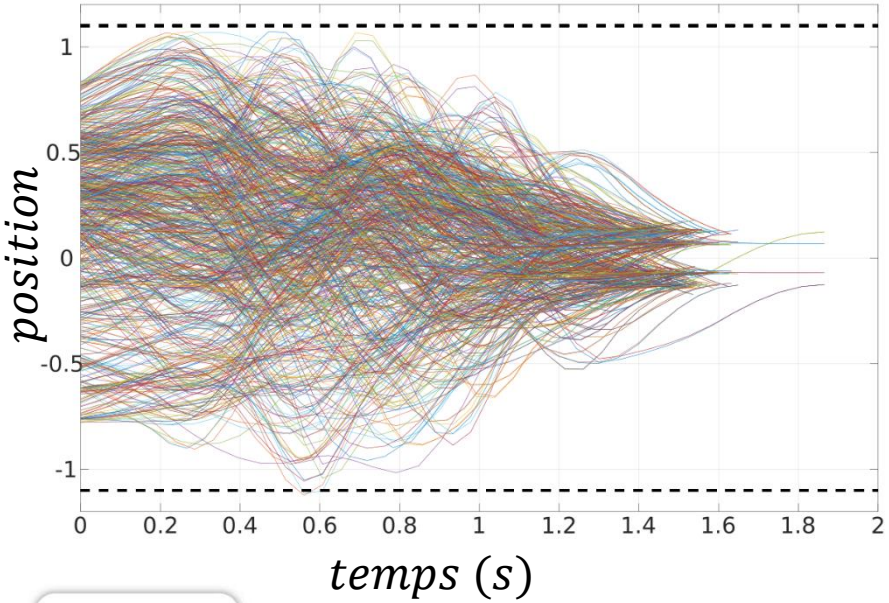
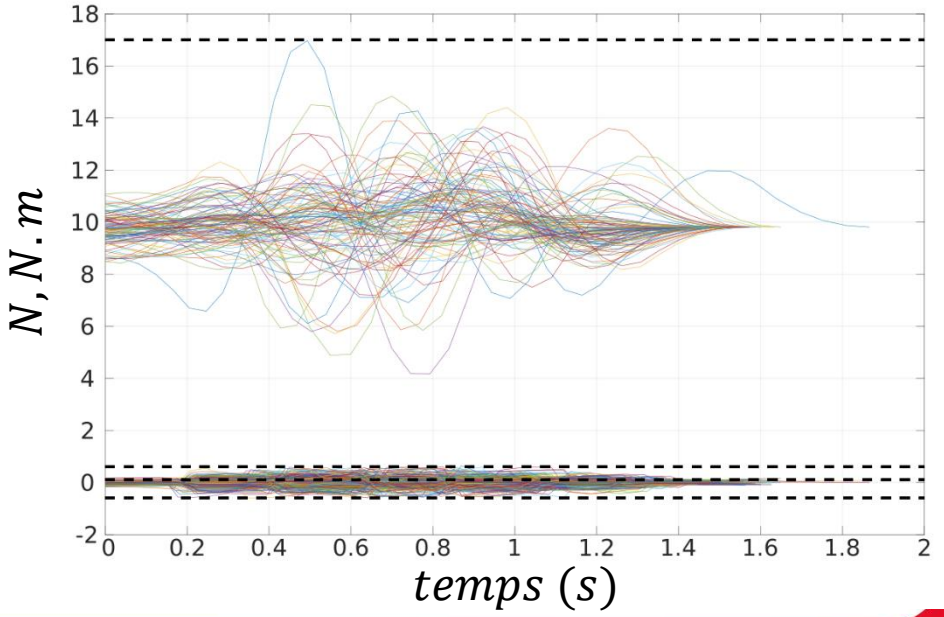


Fig. 3. Entrées (T, τ)



Conclusions et perspectives

- replanification (réactive) de trajectoires optimales en temps avec
  - dynamique complète du quadrirotor
  - stratégie de compensation du bruit et des incertitudes
  - limites en termes de
    - f_i ou (T, τ_i)
    - champ de vision caméra

- travaux en cours
  - valider les méthodes expérimentalement
  - autoriser pertes de visibilité (contraintes sur l'incertitude)
  - publication IROS'18

Merci