

PER2025-056 - Contrôle de vol d'un nano-drone et détection de dérives comportementales

Logan Lucas (logan.lucas@etu.univ-cotedazur.fr) et Momen Takroun (tak.momen@gmail.com) - SI5 - IoT-CPS;
Noé Florence (noe@keflo.org) et Sacha Castillejos (sacha.cast03@gmail.com) - M2 - IoT-CPS
Gérald Rocher (Gerald.ROCHER@univ-cotedazur.fr) - Encadrant



1

Introduction

Le Crazyflie 2.1+ de Bitcraze est un **nano-drone modulaire et open-source**. Sa taille **réduite** en fait une plateforme idéale pour **expérimenter à moindre coût**.



L'objectif de ce projet est de **cartographier l'environnement en 3D** avec des capteurs limités, **de générer et de suivre une trajectoire en 3D** et **d'identifier les dérives comportementales** par rapport aux trajectoires générées.

2

Problématiques

- Capteurs du nano-drone pas adaptés pour la **cartographie en 3D**
- Pas de standard de **navigation 3D**
- Nano-drone **sensible aux perturbations de l'environnement** (vent, problèmes matériels, ...) entraînant ainsi des dérives comportementales



Capteurs du multi ranger deck du Crazyflie

3

Méthodologie

Hypothèse : environnement fixe avec des obstacles statiques

Cartographie 3D (simulation + réalité)

Pour numériser l'environnement, nous avons appliqué la méthode suivante :

- Exploration libre** : L'utilisateur positionne le drone au-dessus de la zone d'intérêt
- Scan automatique** : Une commande unique lance le drone dans une trajectoire en tire-bouchon vers le haut. Ce mouvement imite le balayage d'un scanner 3D pour reconstituer tout le décor

Navigation 3D (simulation)

Calcul de la trajectoire vers la cible en s'appuyant sur la carte obtenue. Nous utilisons une **approche hybride (algorithmes discrets et d'optimisation)** :

- Chemin brut** généré avec l'algorithme A* évitant les obstacles
- Simplification du chemin** par l'algorithme de Douglas-Peucker
- Lissage et optimisation** avec la méthode du Minimum Snap pour rendre la trajectoire adaptée pour le drone.

Pour nous localiser en 3D dans l'environnement, nous utilisons un **filtre à particules**

Dérives comportementales (simulation)

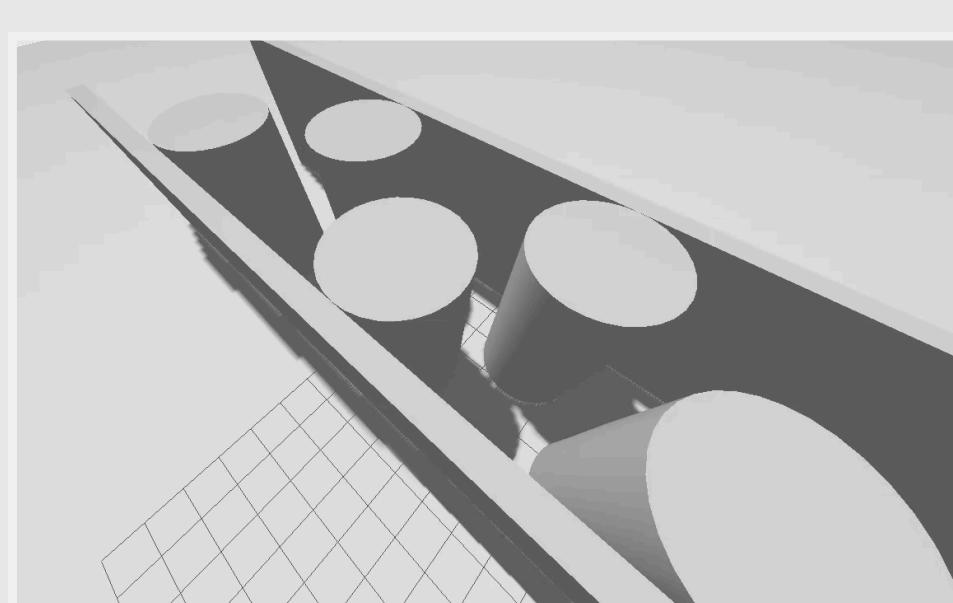
Pour évaluer la dérive, trois métriques complémentaires sont utilisées :

- Average Displacement Error**, estimation globale dans l'espace et dans le temps
- Cross Track Error**, écart instantané orthogonal à la trajectoire
- Temporal Deviation Error**, met en évidence les variations de vitesse ou les retards

4

Résultats

Cartographie 3D



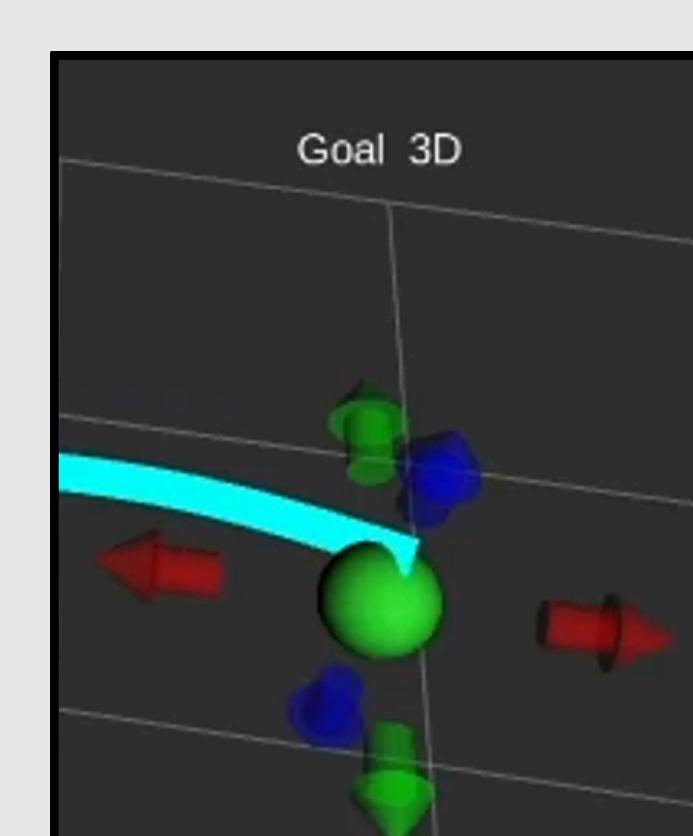
Environnement simulé

OU



Environnement réel

Navigation 3D

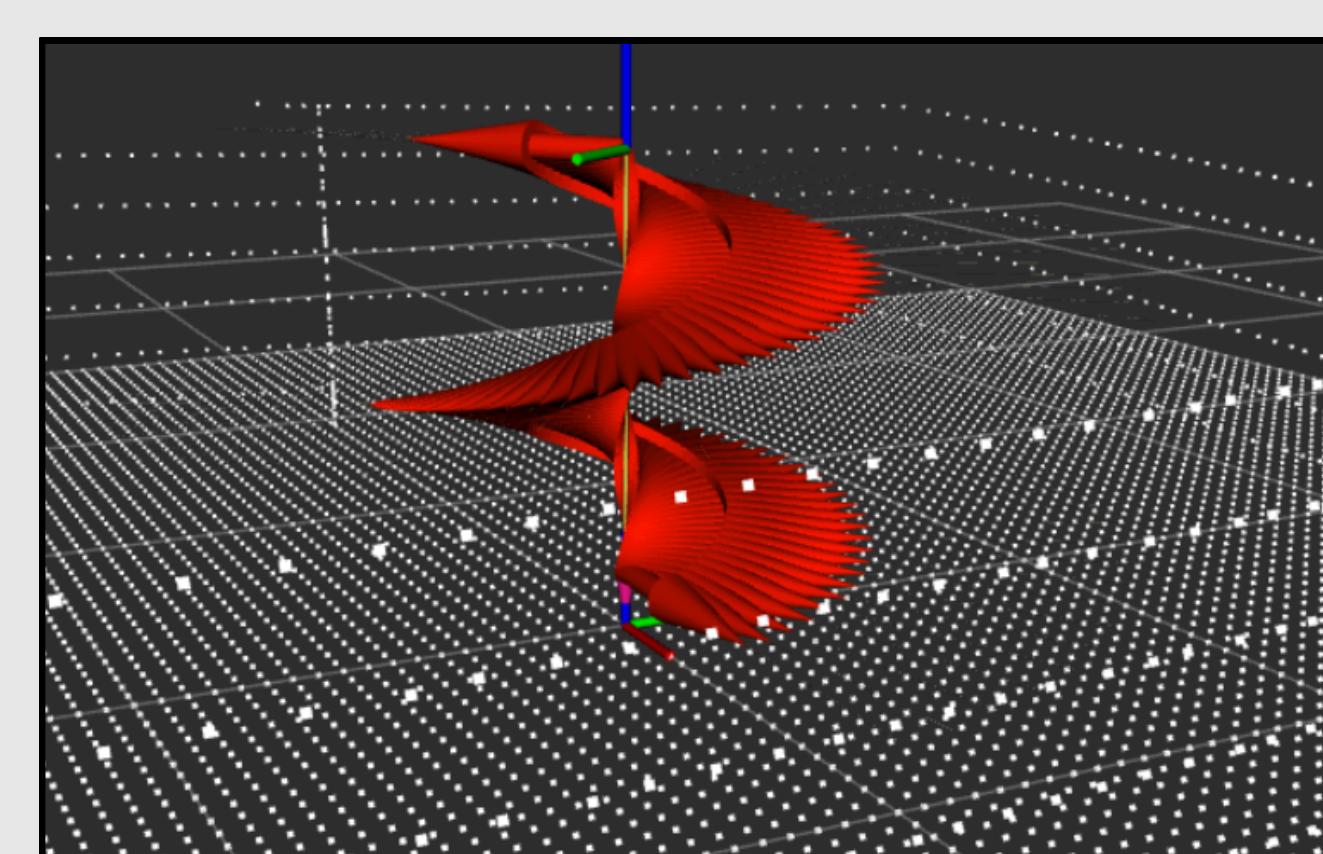


Définition d'un point à atteindre

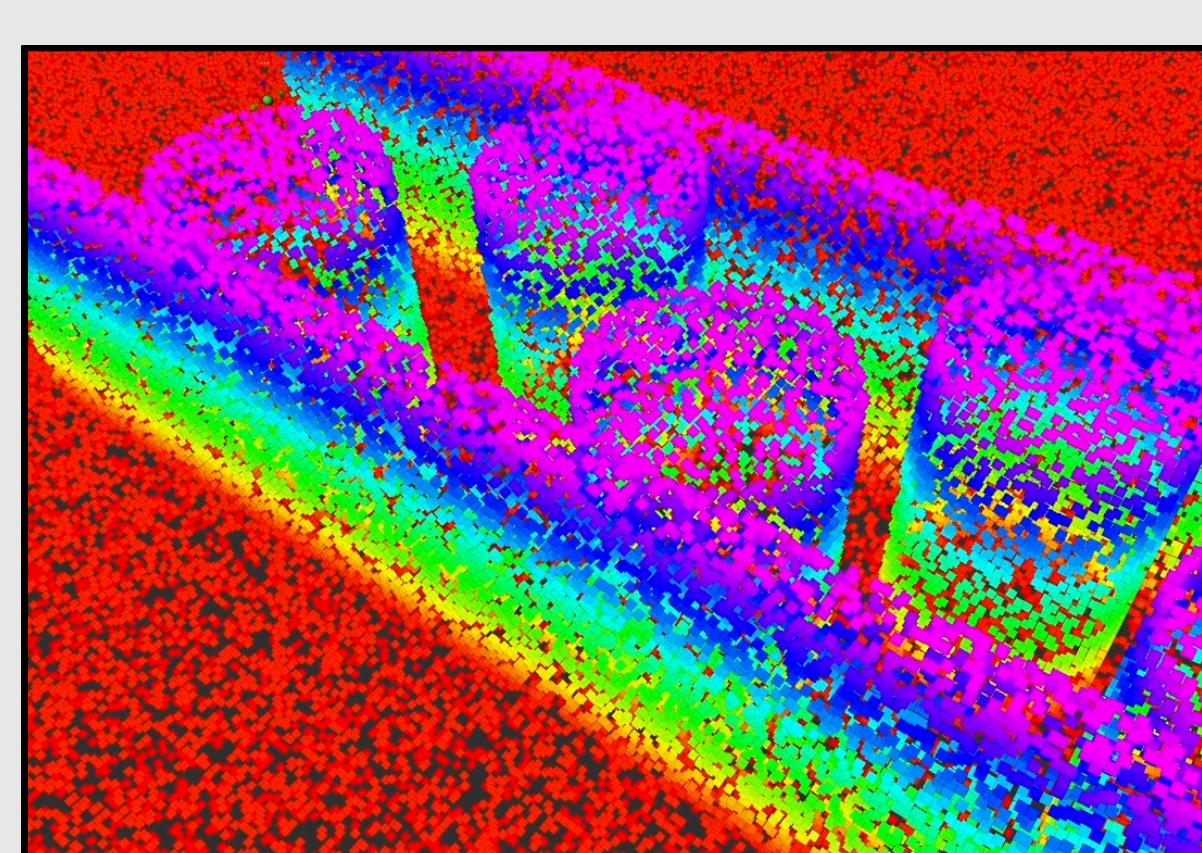
Dérives comportementales

```
Average Displacement Error: 1.4348 m (based on 501  
Cross Track Error: 0.3567 m  
Temporal Deviation Error: 4.9750 s (late)  
Average Displacement Error: 1.5203 m (based on 501  
Cross Track Error: 0.0408 m  
Temporal Deviation Error: 5.2750 s (late))
```

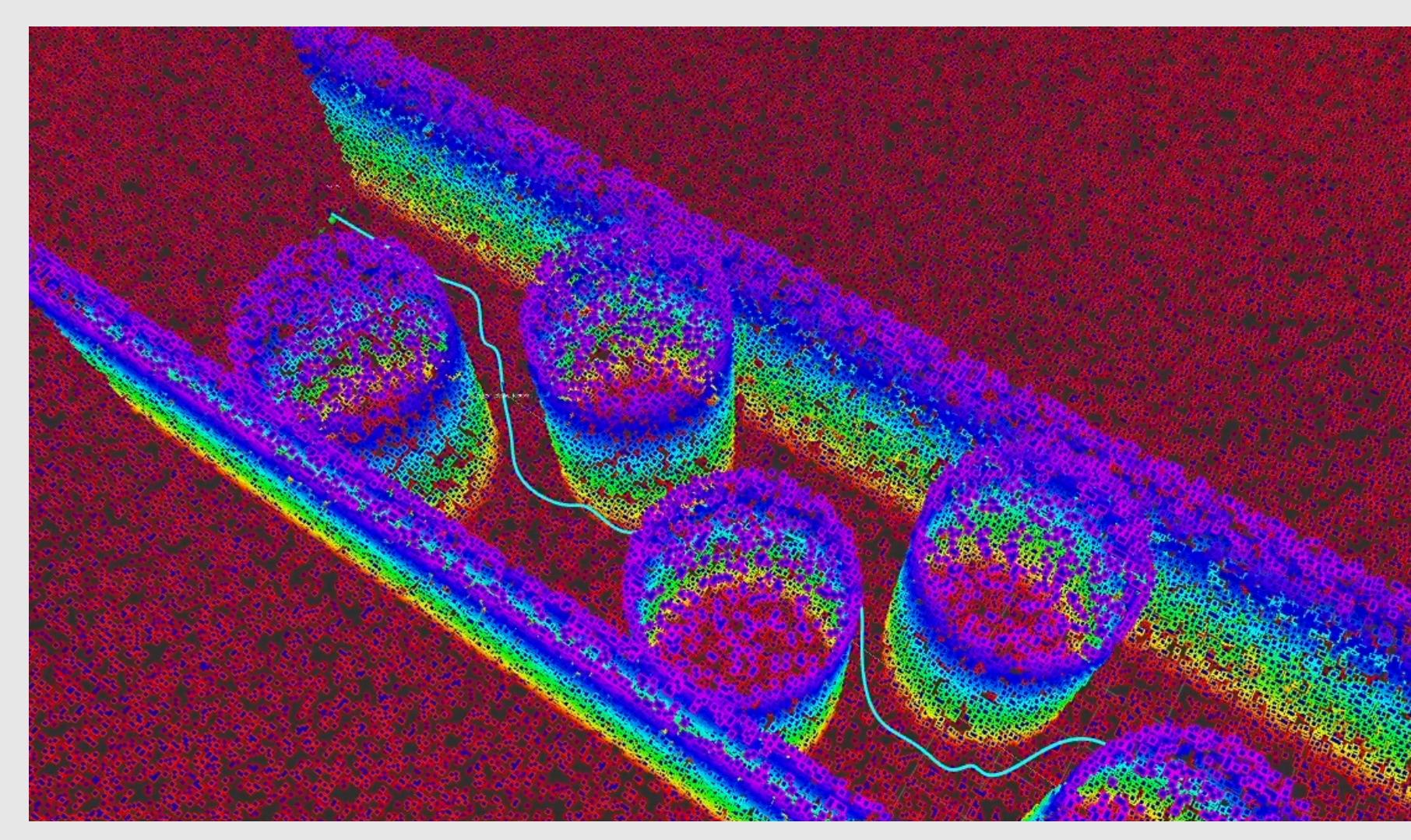
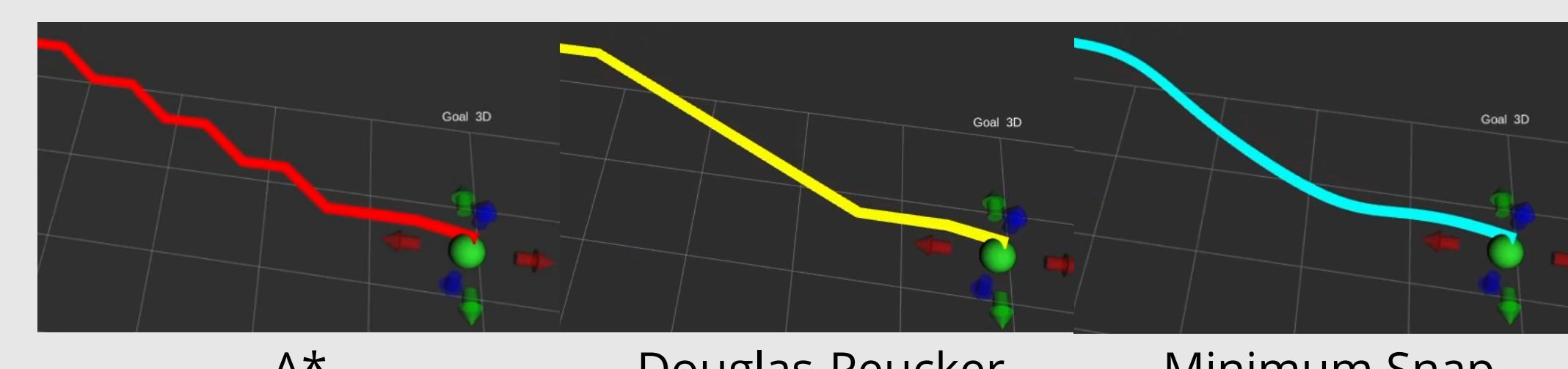
Calcul des différentes métriques



Cartographie en tire-bouchon avec le drone



Carte 3D obtenue



Trajectoire finale



Visualisation en temps réel de la distance entre le drone et la trajectoire (XTE)

5

Perspectives d'évolutions

Cartographie 3D

- Cartographie par essaim de drones** ou en utilisant **un autre capteur externe**

Navigation 3D

- Environnement avec **obstacles dynamiques**
- Navigation 3D en essaim de drones**
- Passage de **la simulation à la réalité**

Dérives comportementales

- Correction de la trajectoire** en cas de dérive
- Passage de **la simulation à la réalité**

