



Navigation autonome de drones sub-optimale avec évitement d'obstacles dynamiques basée sur des courbes de Bézier

Axe SRI, équipe REMIX :

Margraff Julien

Encadrants : Labbani-igbida Ouidad et Stéphant Joanny

GT UAV : 21 juin 2019



**Université
de Limoges**

Missions

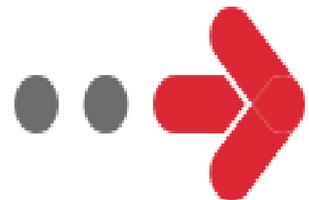
- Endroits inaccessibles/
dangereux pour l'homme
- Exploration de grotte
- Endroit en hauteur
- Cartographie de bâtiments
(BIM)
- Inventaire dans des hangars





Problématique

Comment générer une trajectoire avec évitement d'obstacles dynamiques ?

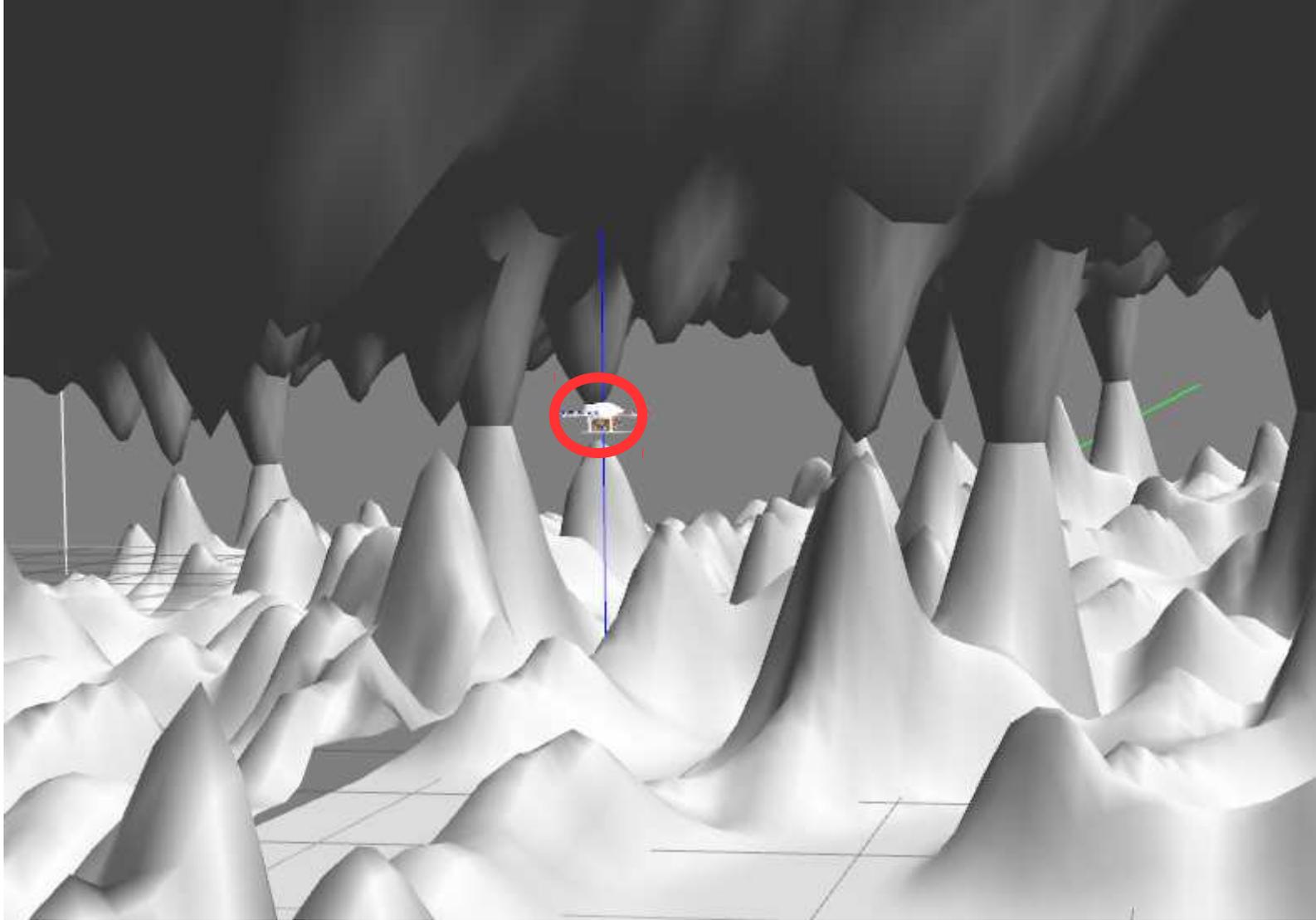




Position du problème

- **Point de départ** : position du drone dans le monde



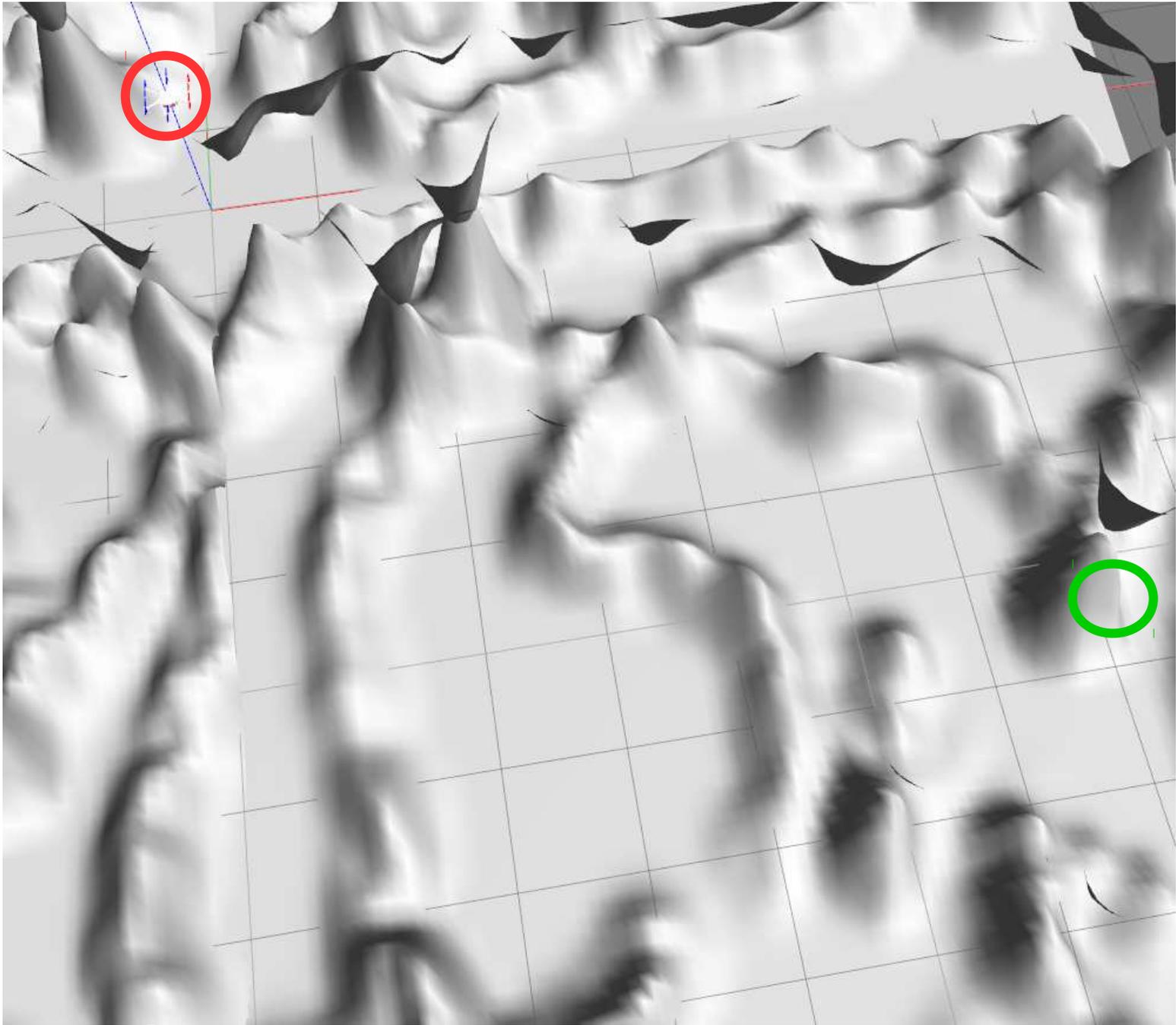




Position du problème

- **Point de départ** : position du drone dans le monde
- **Point d'arrivée** : une position (x, y, z) dans le monde





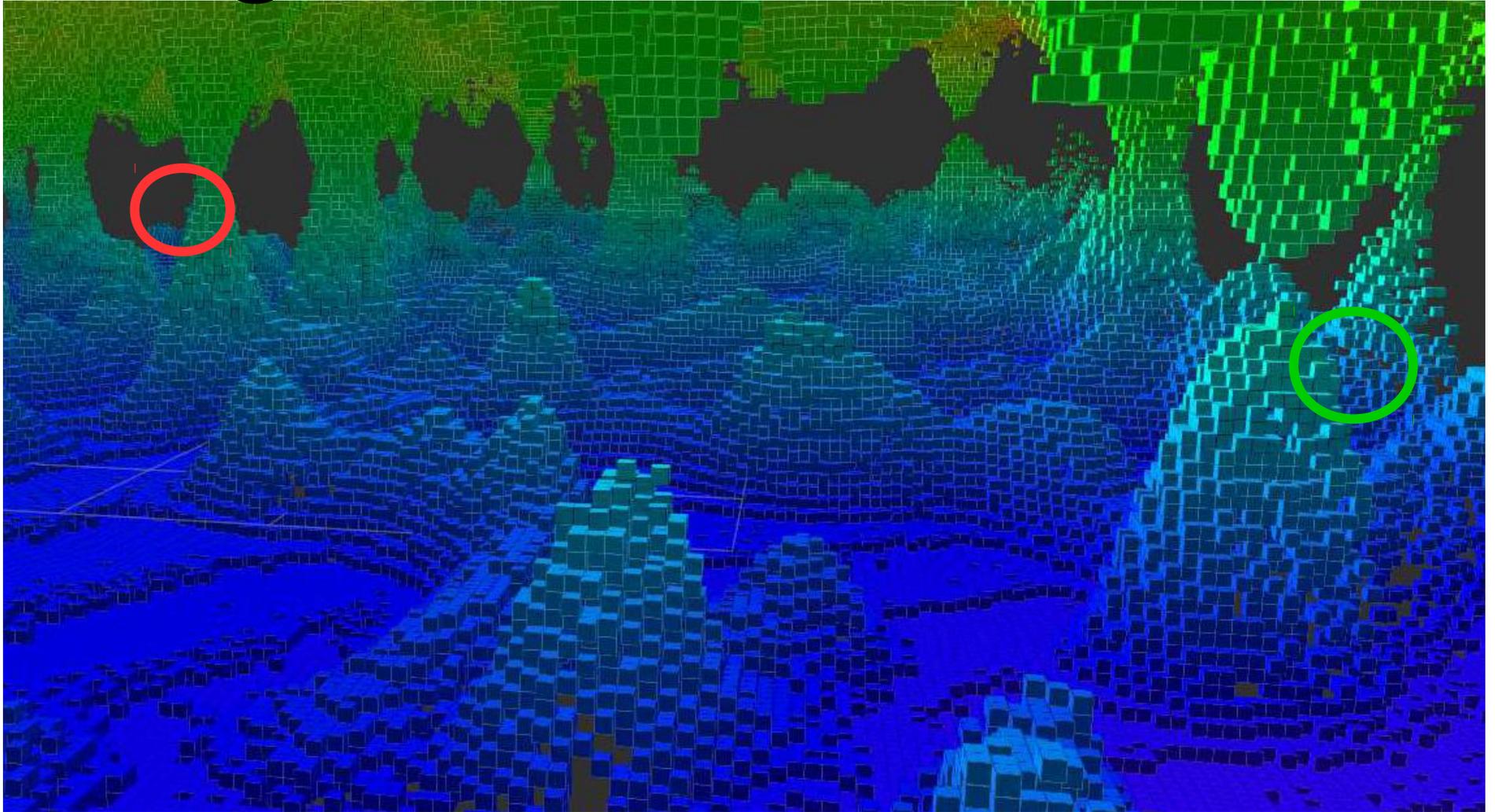


Position du problème

- **Point de départ** : position du drone dans le monde
- **Point d'arrivée** : une position (x, y, z) dans le monde
- Carte : disponible ou non en utilisant un SLAM et une caméra RGB-D



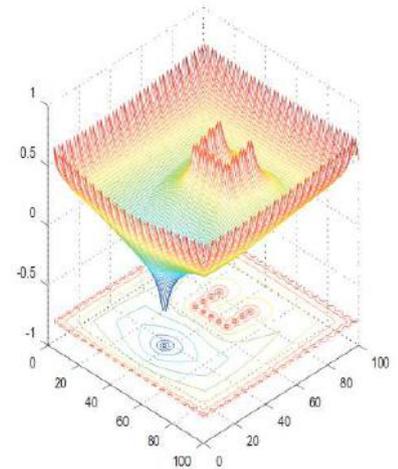
Image de la carte créée



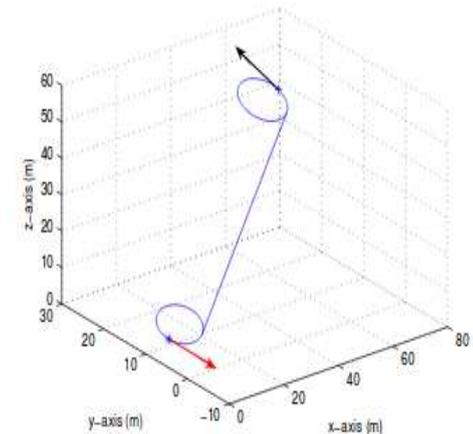
État de l'art

- Intelligence artificielle [A. Kouris]
- Optimisation / spline [J. Choi]
- Champ de potentiels

Champ de potentiels

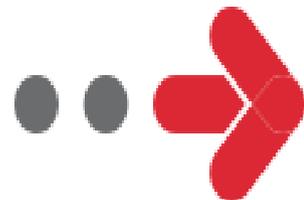


Courbe de Dubin



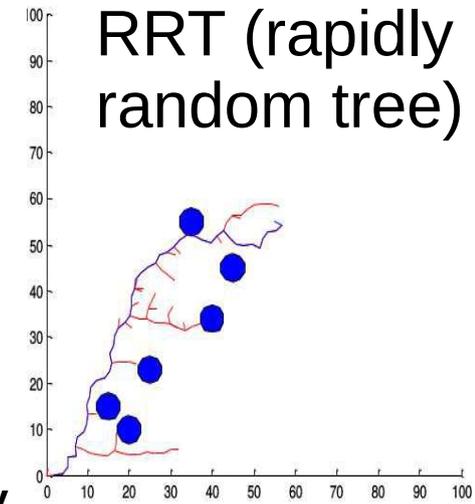
J. Choi and K. Huhtala. Constrained path optimization with Bézier curve primitives. In 2014

A. Kouris, C. Bouganis, Learning to Fly by MySelf: A Self-Supervised CNN-Based Approach for Autonomous Navigation, In IROS (2018)

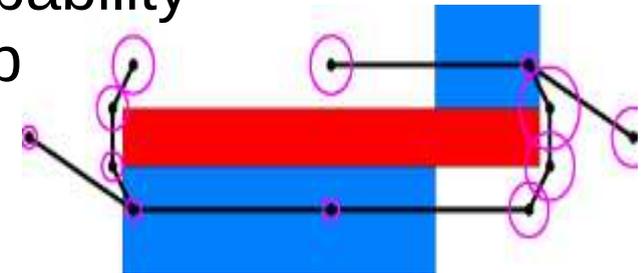


État de l'art

- A*/dijkstra/rrt/ ...
[M. Kang]
- Voronoï
[K. Benzaid]
- Roadmap/probability map

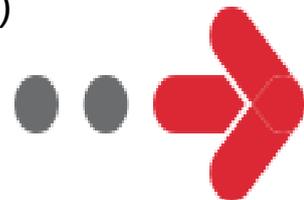


probability
map



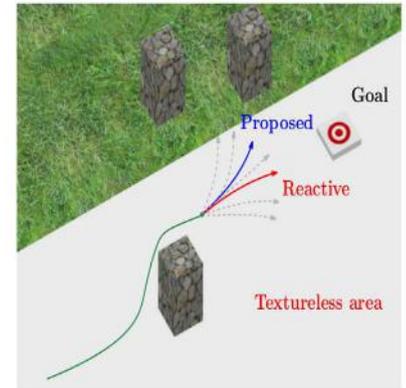
M. Kang, Y. Liu, Y. Ren, Y. Zhao, and Z. Zheng. An empirical study on robustness of uav path planning algorithms considering position uncertainty. In 2017 (ISKE)

K. Benzaid, Marie, R, Mansouri, N, Filtered Medial Surface Based Approach for 3D Collision-Free Path Planning Problem, Journal of Robotics (2018)



État de l'art

- Primitive
- Trajectoire pré-calculée [Zichao Zhang]
- Commande prédictif



Trajectoire pré-calculée

Zichao Zhang and Davide Scaramuzza. Perception-aware receding horizon navigation for mavs. 2018 (ICRA)





Sommaire

- Génération d'une trajectoire globale
- Trajectoire locale avec contraintes
- Simulation avec gazebo/ROS
- Portage sur cible réel
- Conclusions
- Perspectives



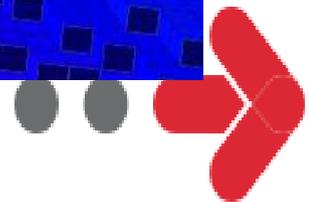
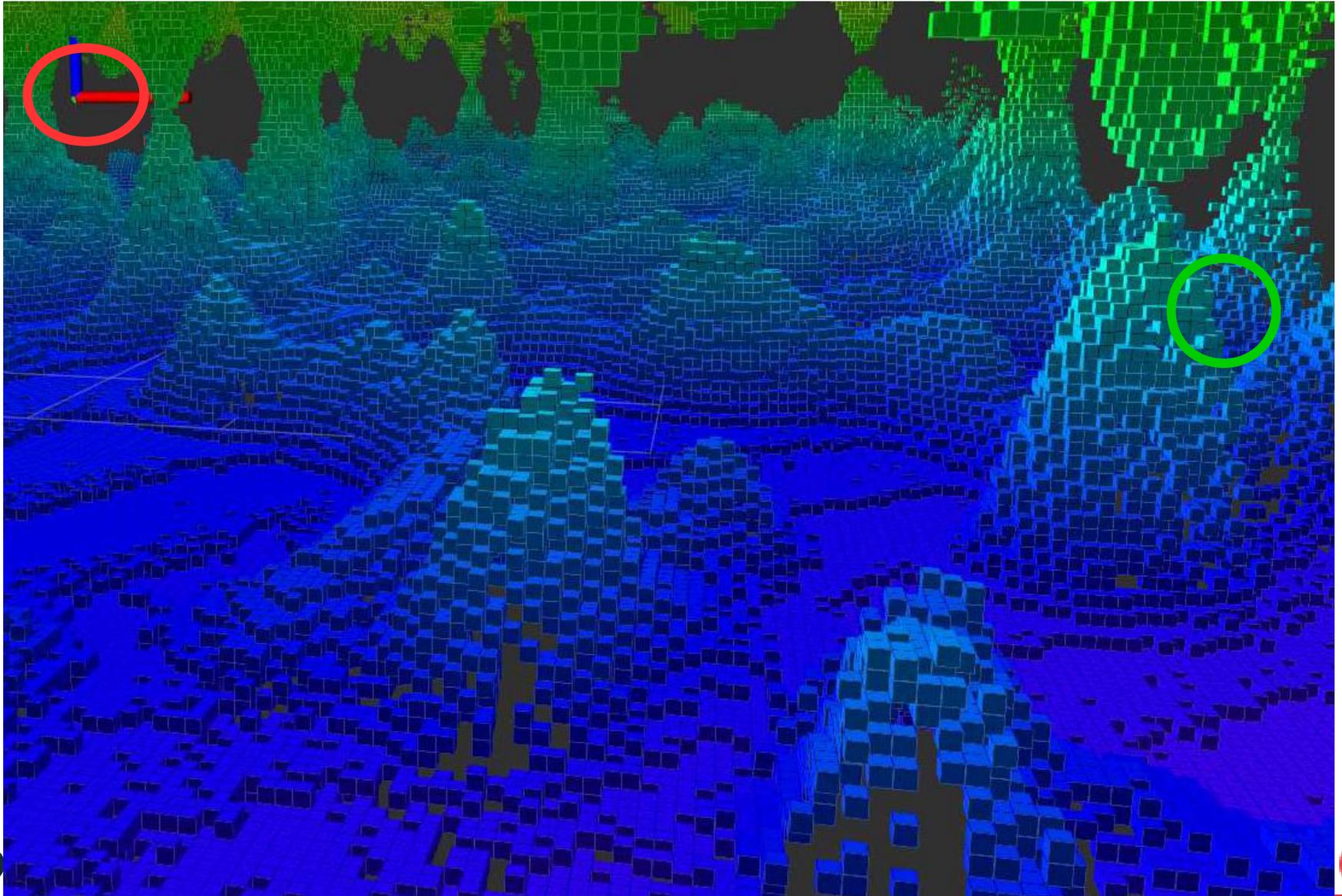


Position du problème

- **Point de départ** : position du drone dans le monde
- **Point d'arrivée** : une position (x, y, z) dans le monde
- Carte : obtenue au préalable en utilisant un SLAM et une caméra RGB-D
- Localisation du drone : simulée par gazebo



Localisation du drone





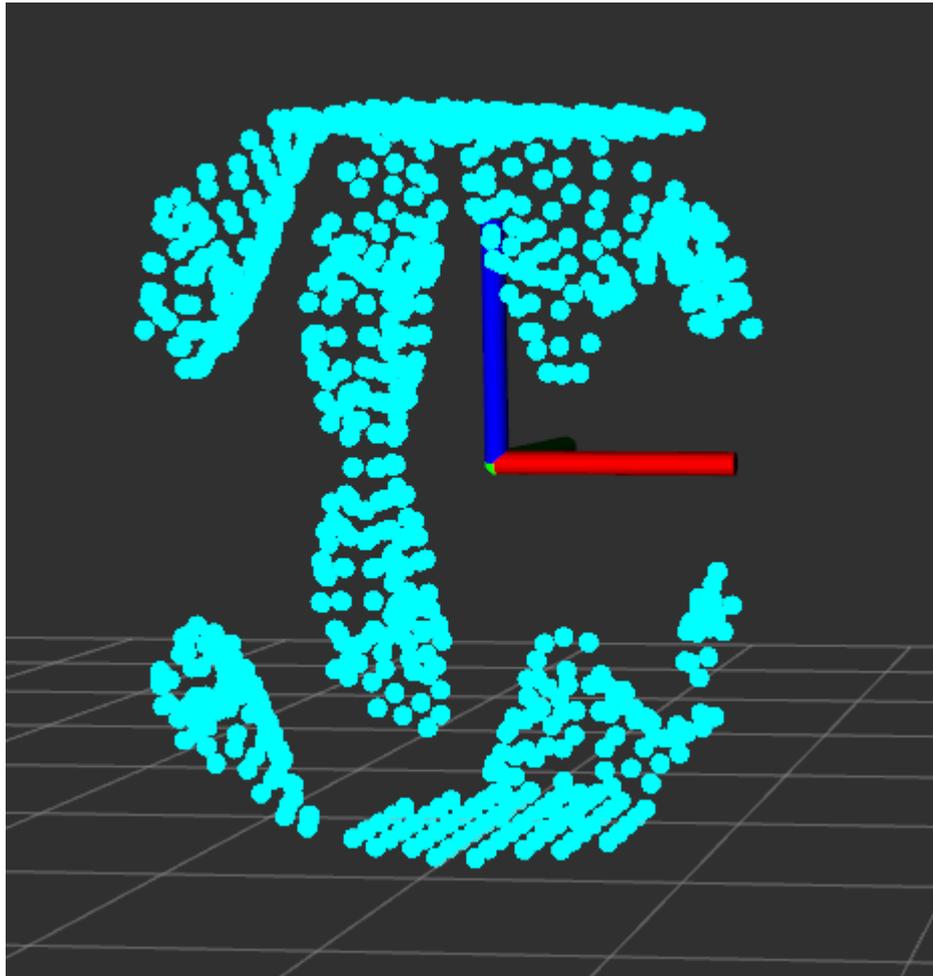
Position du problème

- **Point de départ** : position du drone dans le monde
- **Point d'arrivée** : une position (x, y, z) dans le monde
- Carte : obtenue au préalable en utilisant un SLAM et une caméra RGB-D
- Localisation du drone : simulée par gazebo
- Détection locale des obstacles : caméras stéréo

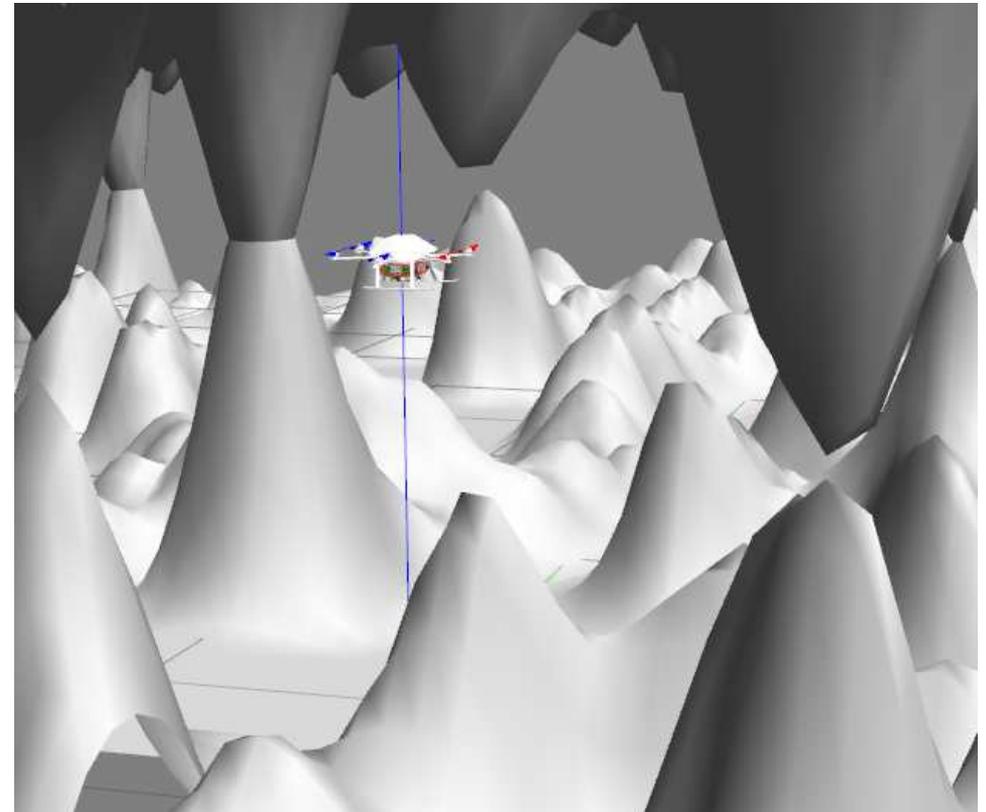


Perception par caméras stéréo

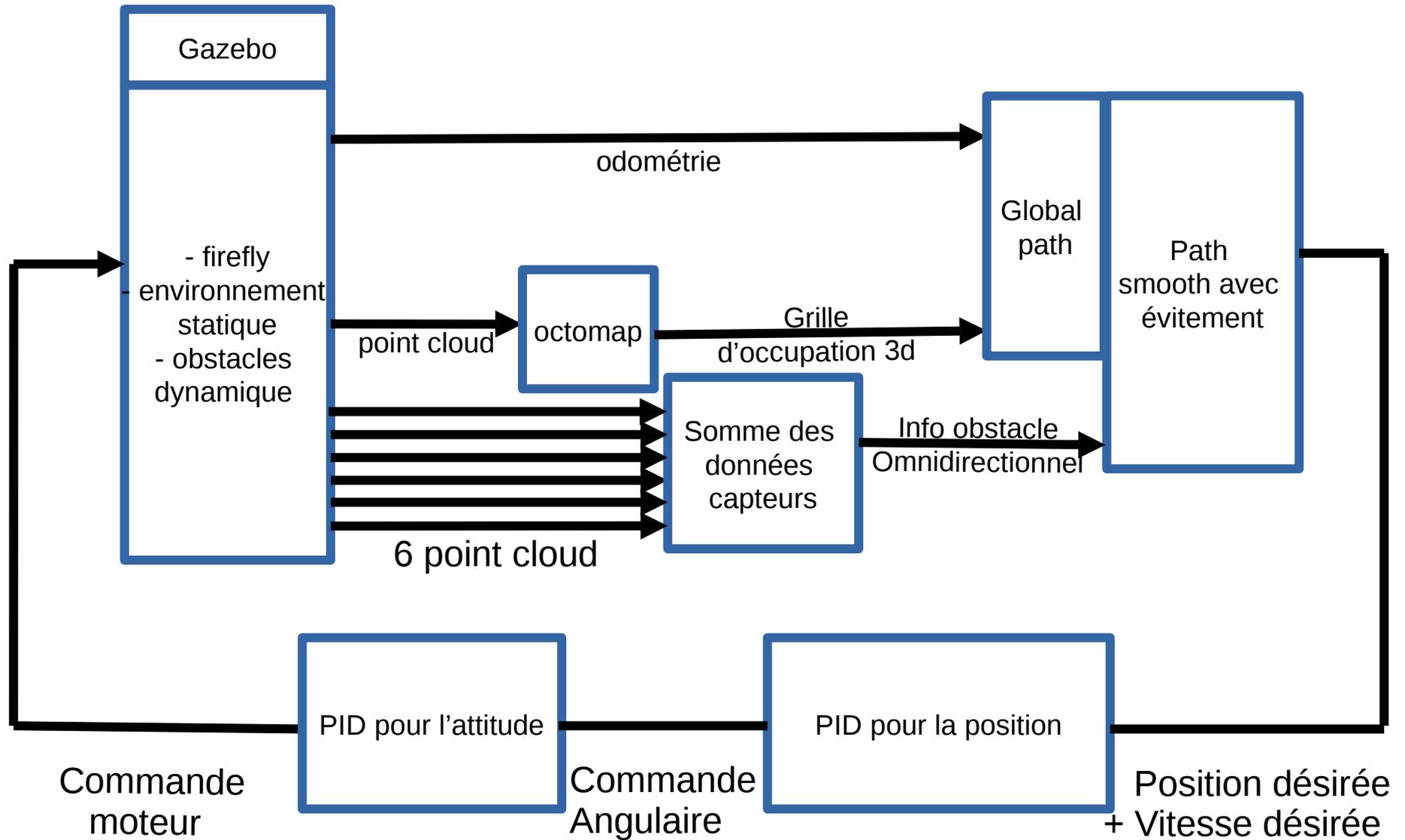
perception



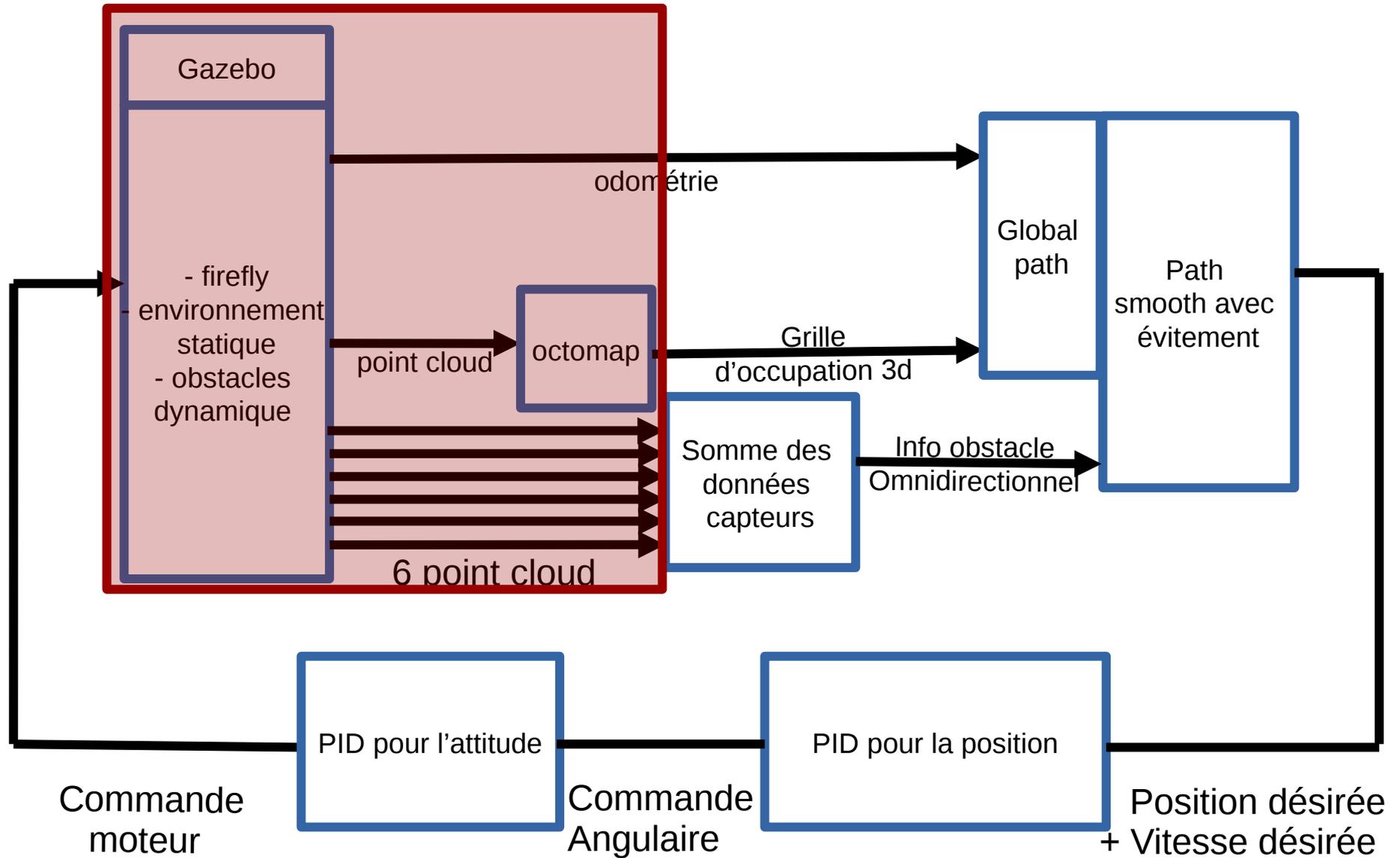
carte



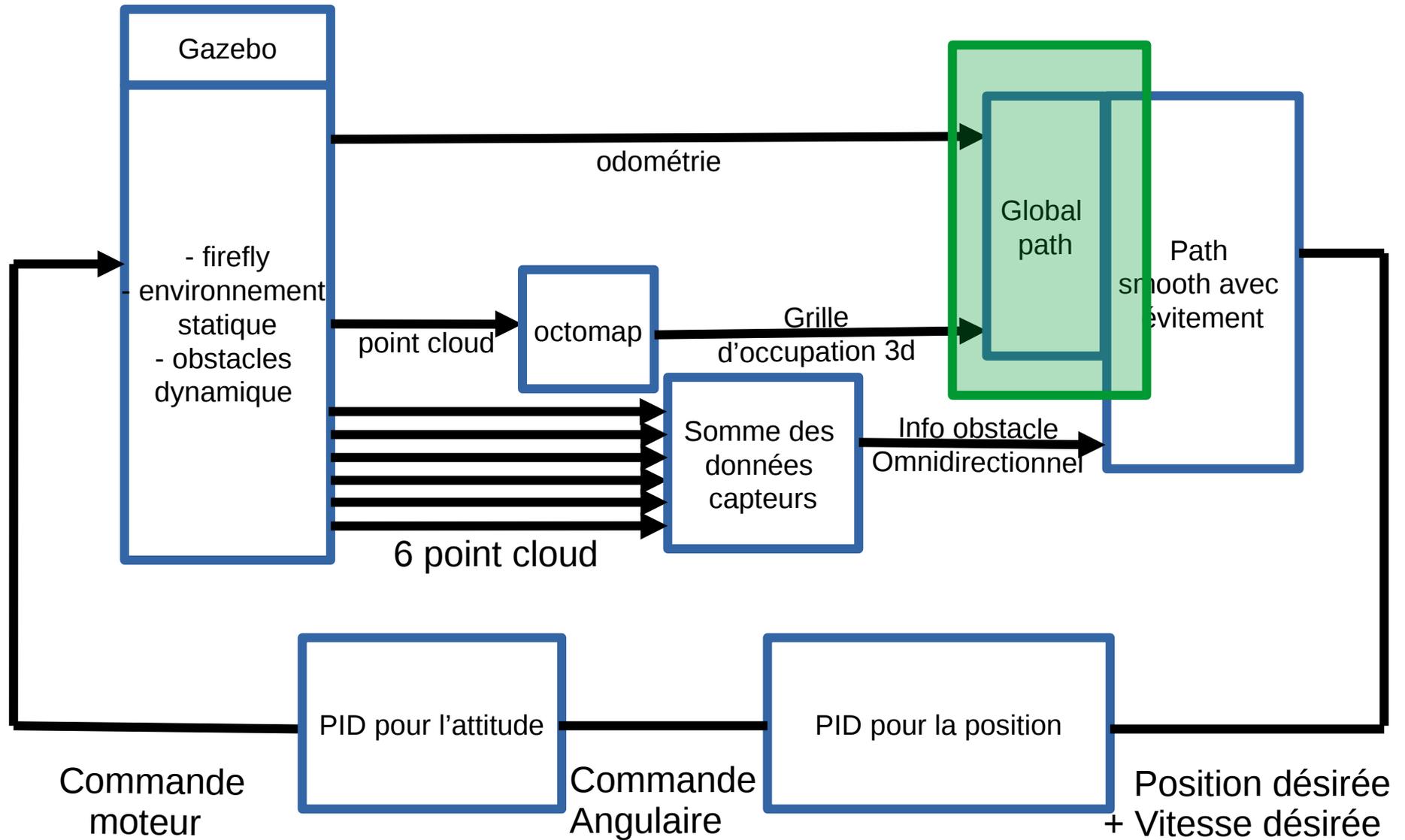
Vue d'ensemble



Vue d'ensemble

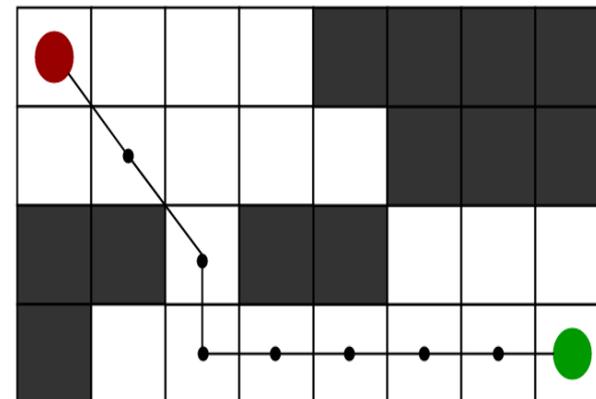
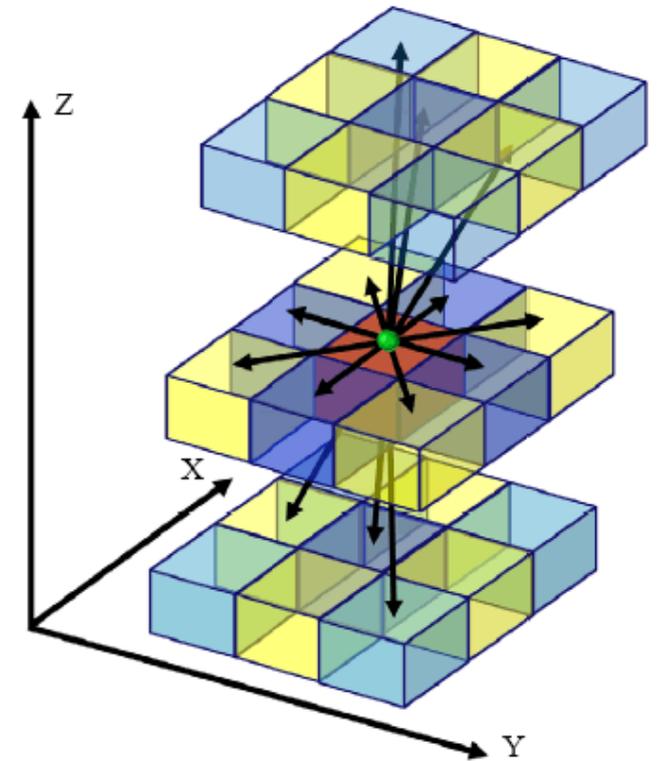


Vue d'ensemble

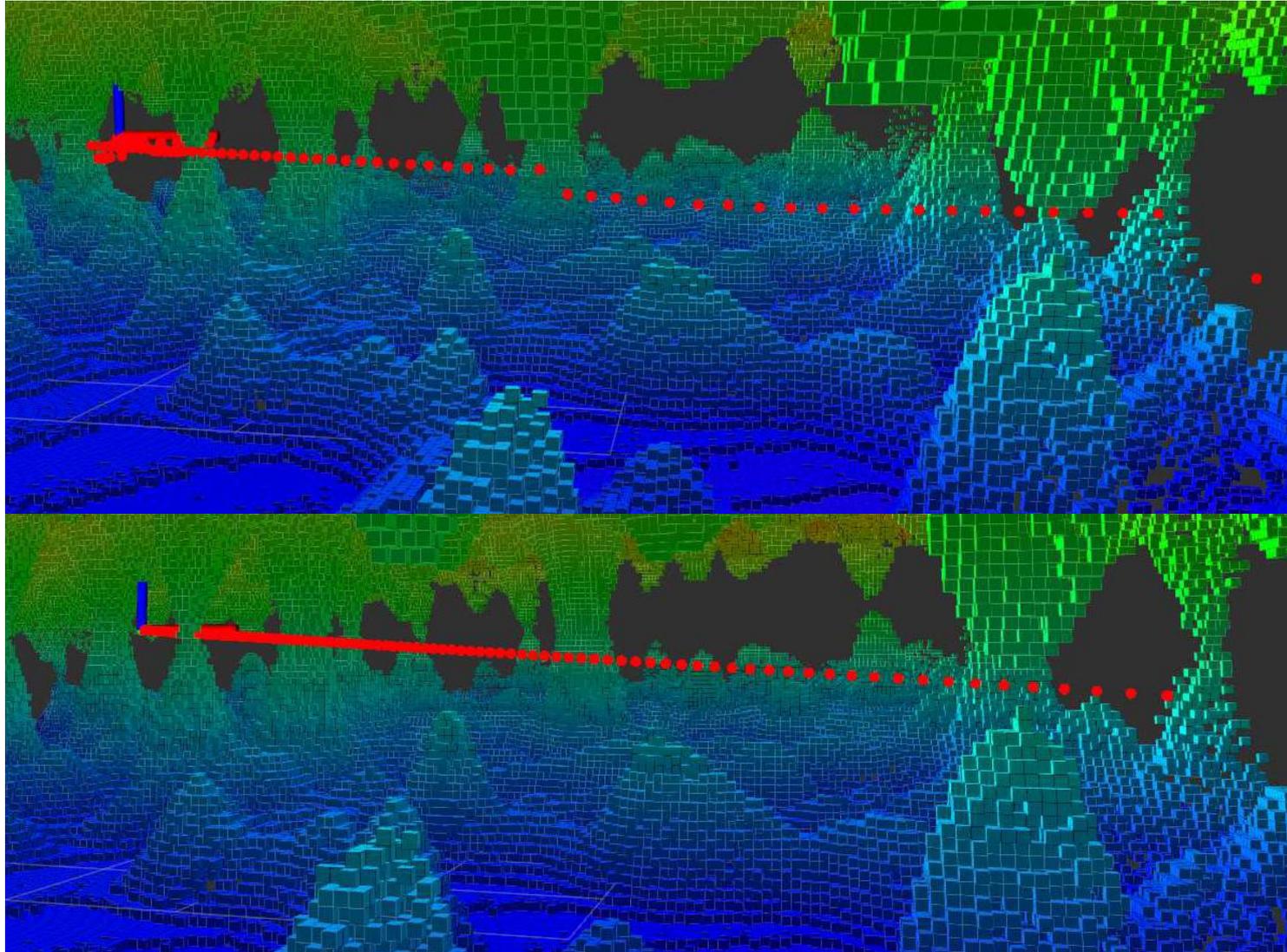


Algorithme A* : calcul d'un chemin géométriquement optimal

- Objectif : générer une trajectoire globale
- En 3D : 26 voisins
- Calcul de F pour chaque voisin
=> conserver le meilleur
- $F = A + B$
- A = distance au voisin, centre du cube
- B = distance au voisin, objectif



Trajectoire globale

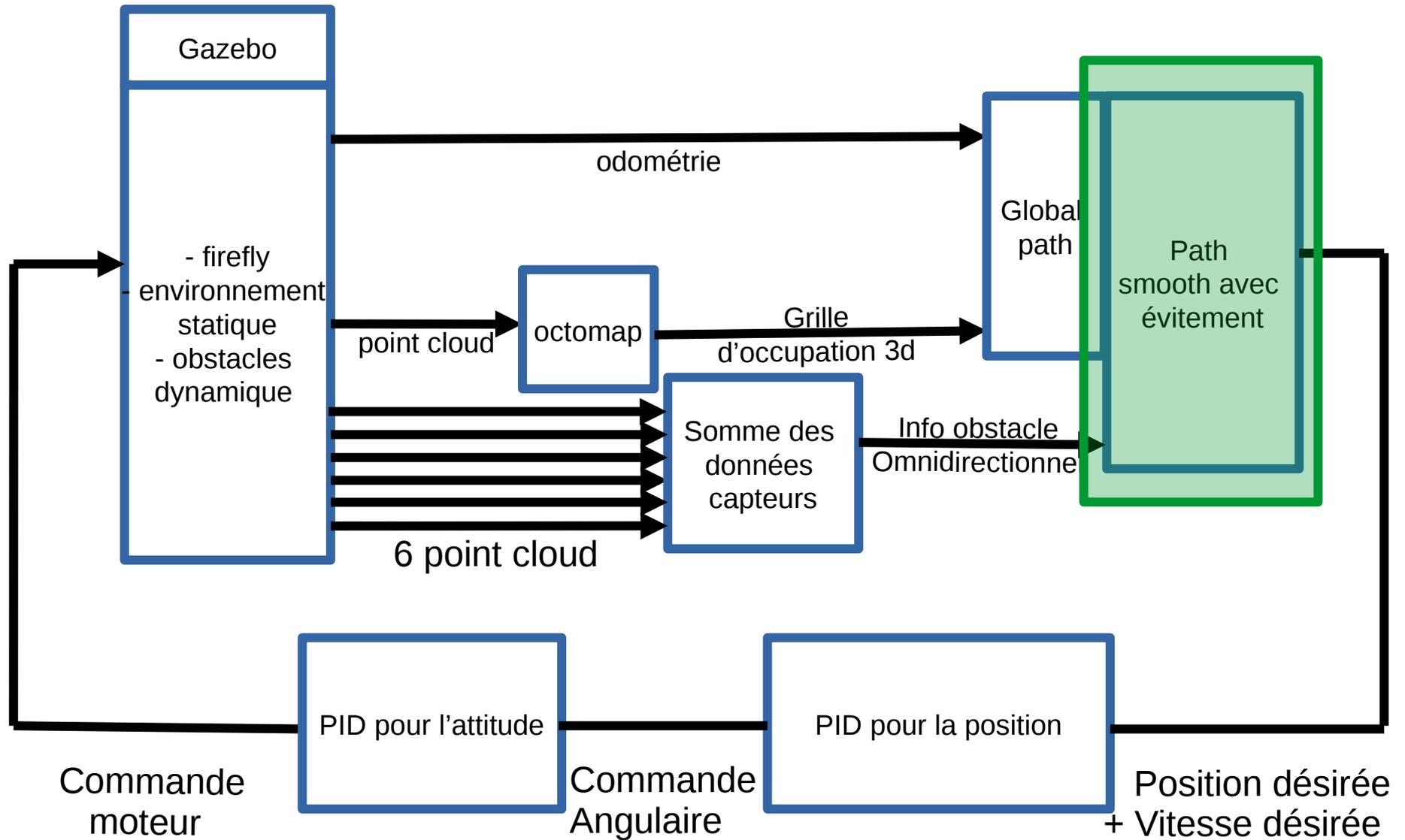


A* ,carte partiellement connue

Ligne droite/direction globale, carte inconnue



Vue d'ensemble

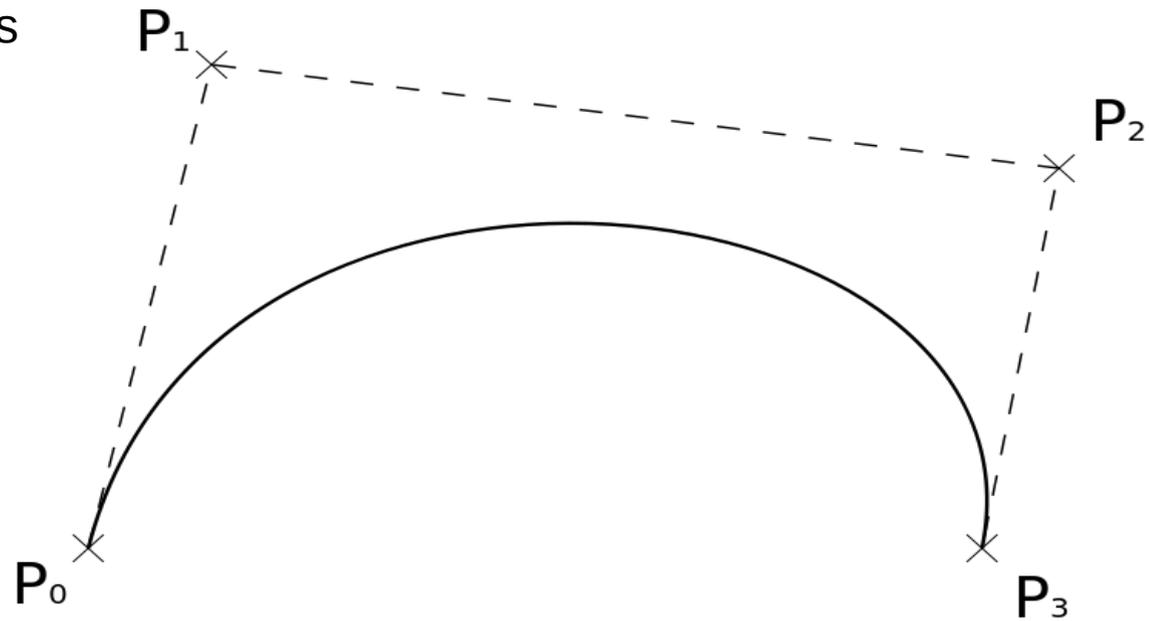


Courbe de Bézier

- Il faut une trajectoire continue et lisse pour calculer les commandes du drone => on choisit des courbes de Bézier
- n points de contrôles
- $P=(P_0 \dots P_i \dots P_{n-1})$
- Paramètre de courbe : $0 \leq t \leq 1$

Avantages :

- Toute la courbe est représentée par quelques points => peu de variables à optimiser
- Obtention d'une courbe réalisable et rapide à exécuter
- Calcul facile des dérivées et de la courbure
- Courbe continue



$$\mathbf{B}(t) = \sum_{i=0}^n b_{i,n}(t) \mathbf{P}_i$$

$$b_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}$$



Optimisation

- Le but d'une optimisation est de trouver les P qui minimisent une fonction
- $P=(P_0 \dots P_i \dots P_{n-1})$, les points de contrôle de la courbe

$$\min_P \sum_{j=0}^{N-1} \left\| Astar(j) - \sum_{i=0}^n P_i b_{i,n} \left(\frac{j}{N-1} \right) \right\|$$

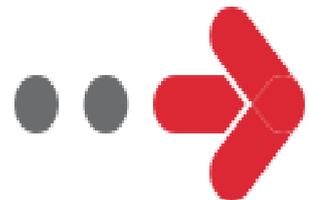
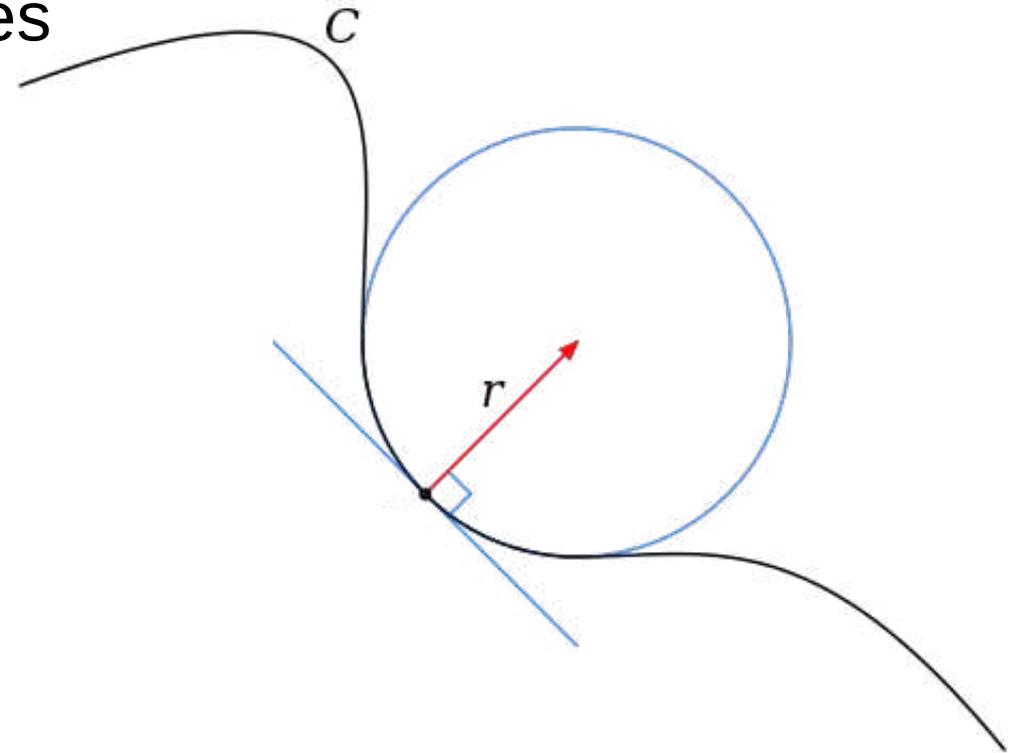
- $0 \leq j \leq N-1$, avec N le nombre de point du A^*



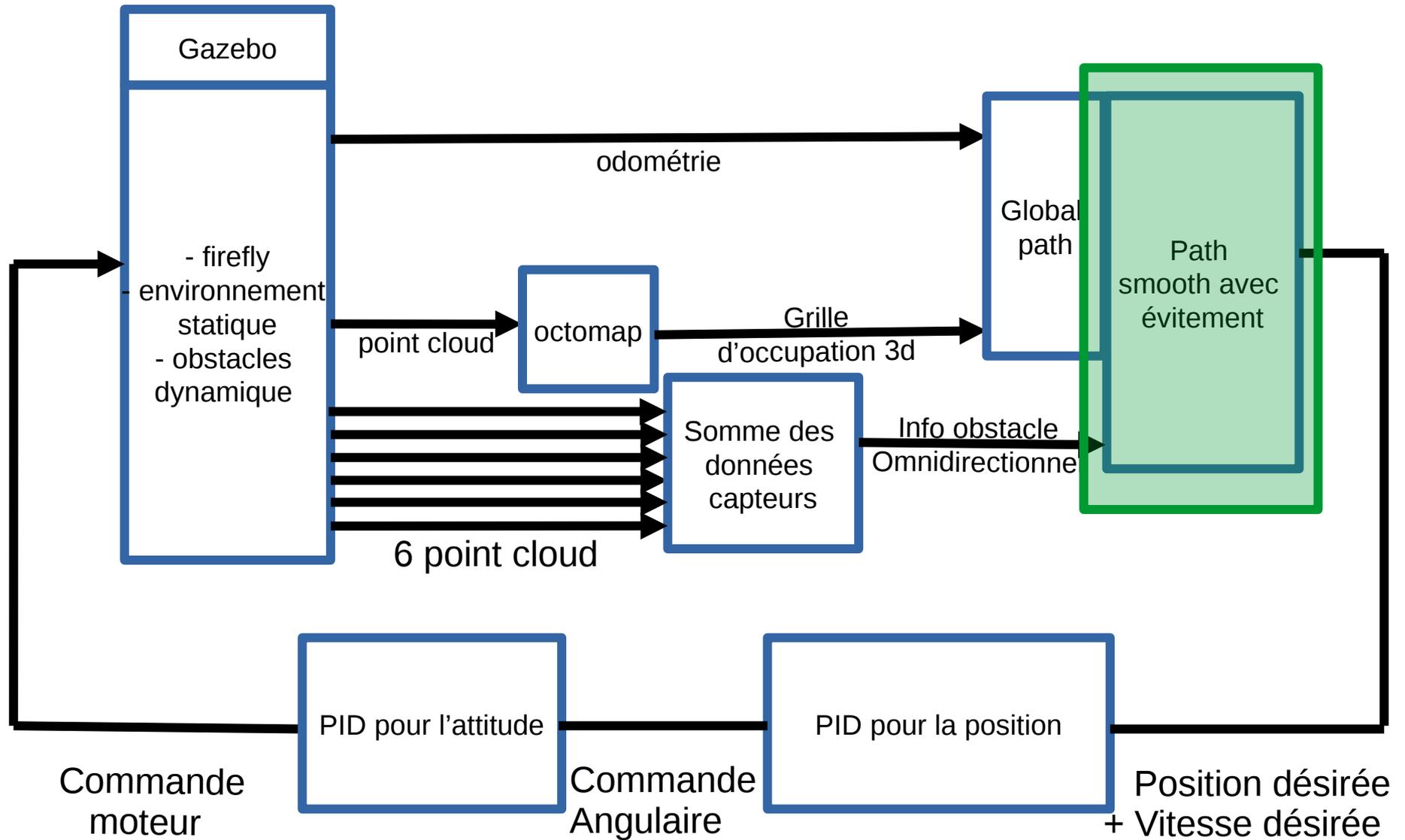
Exemple d'intégration de contrainte

- La courbure sert à limiter les accélérations radiales
- S'écrit en fonction des dérivées de la courbe

$$k = \frac{1}{r} < k_{max}$$

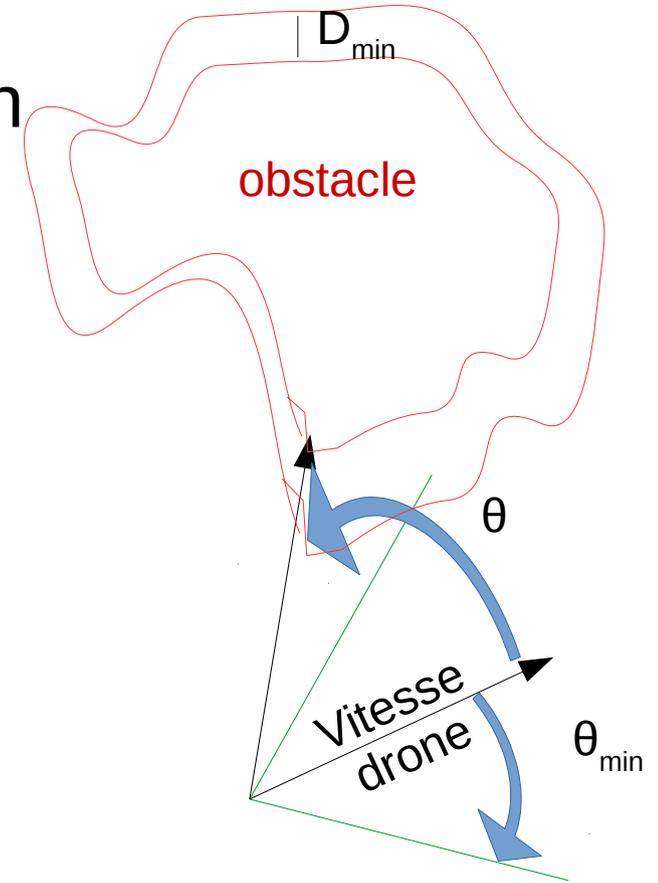


Vue d'ensemble

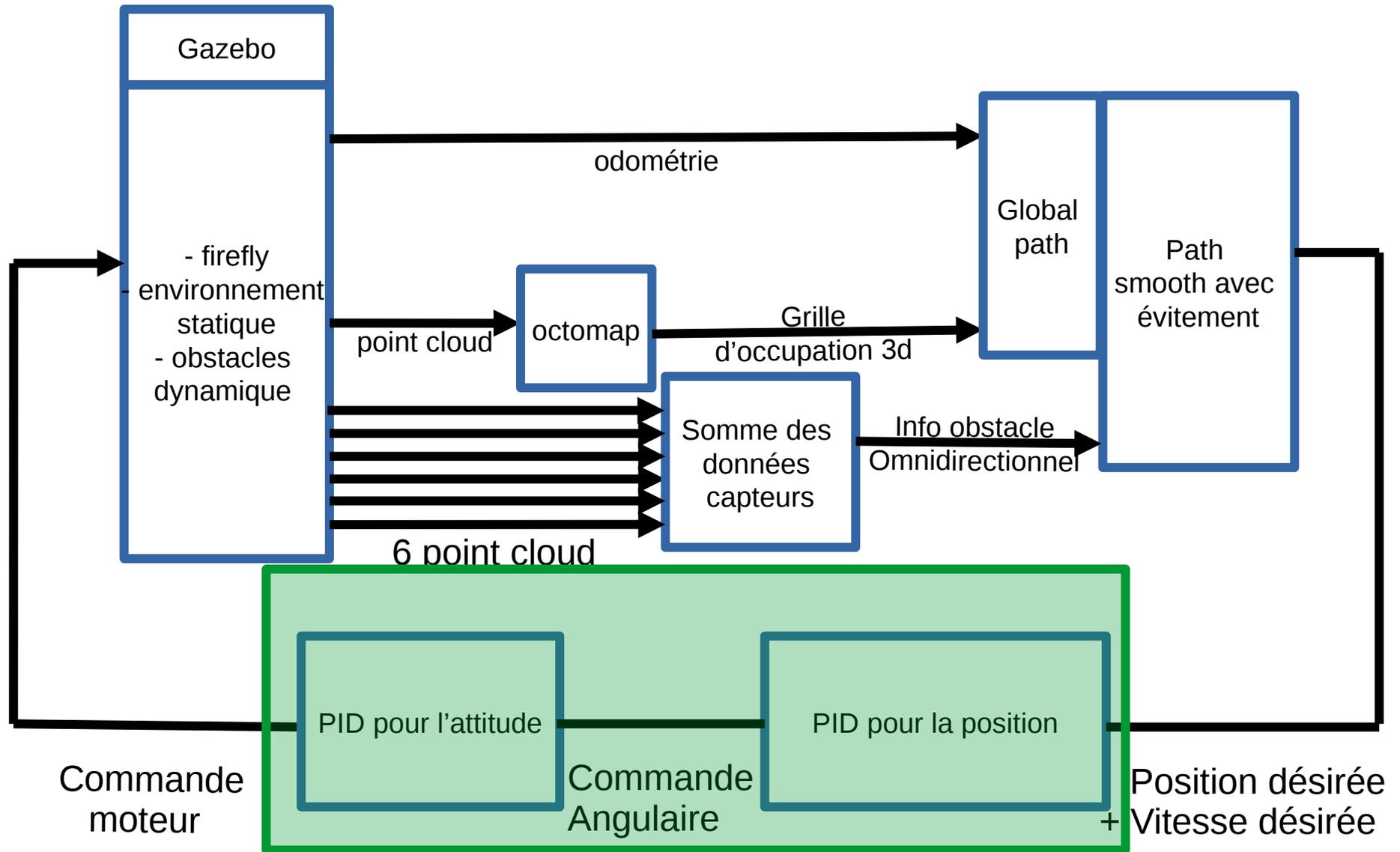


Évitement d'obstacle

- Contraintes incluses dans l'optimisation
- Optimisation locale => + rapide / + réactif
- Ne pas se diriger vers les obstacles, θ l'angle entre la direction à l'obstacle plus proche et le vecteur vitesse doit être supérieur à une valeur seuil θ_{\min}
- Distances de sécurité aux obstacles $D > D_{\min}$



Vue d'ensemble



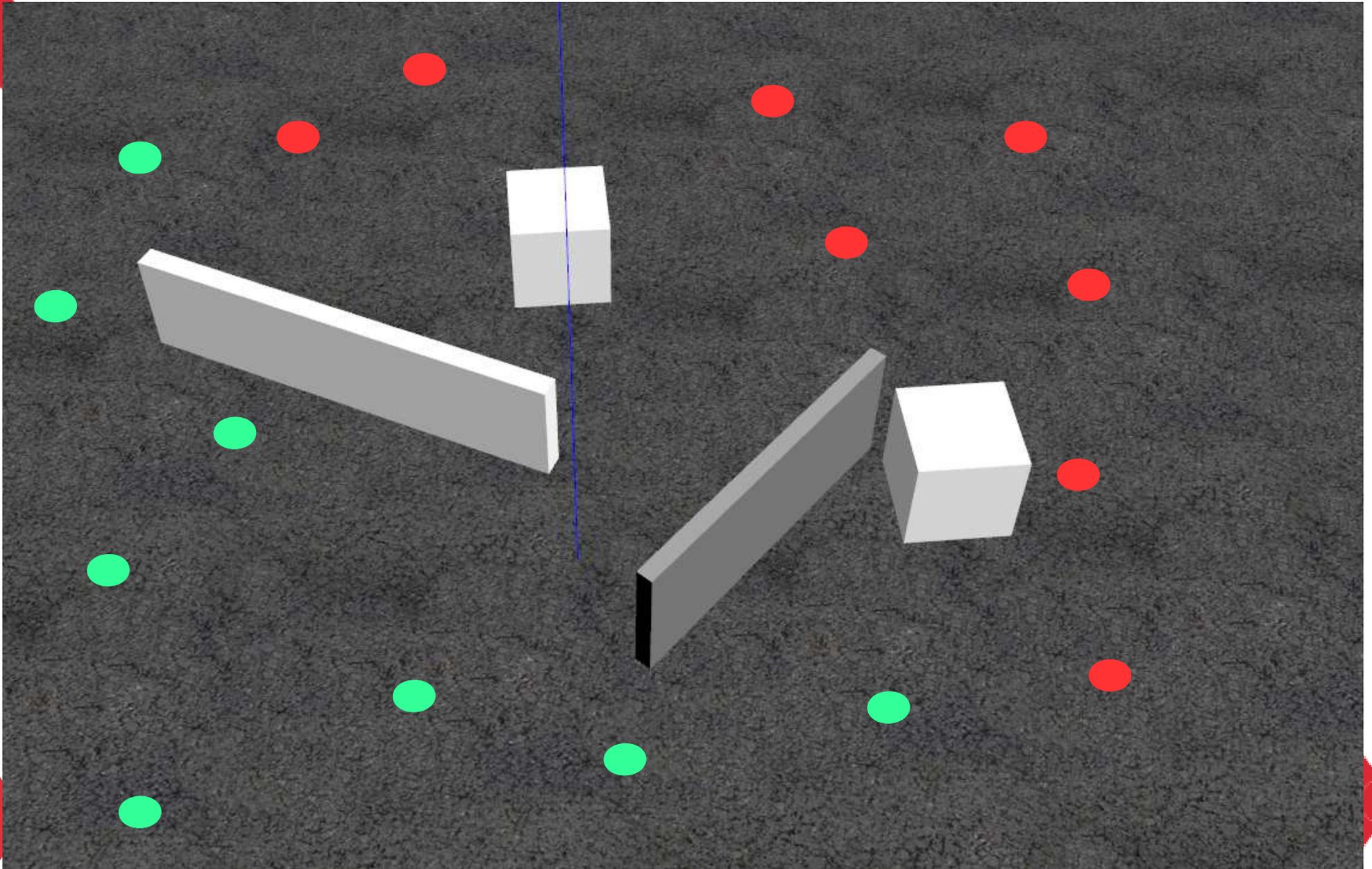


Résultats

video

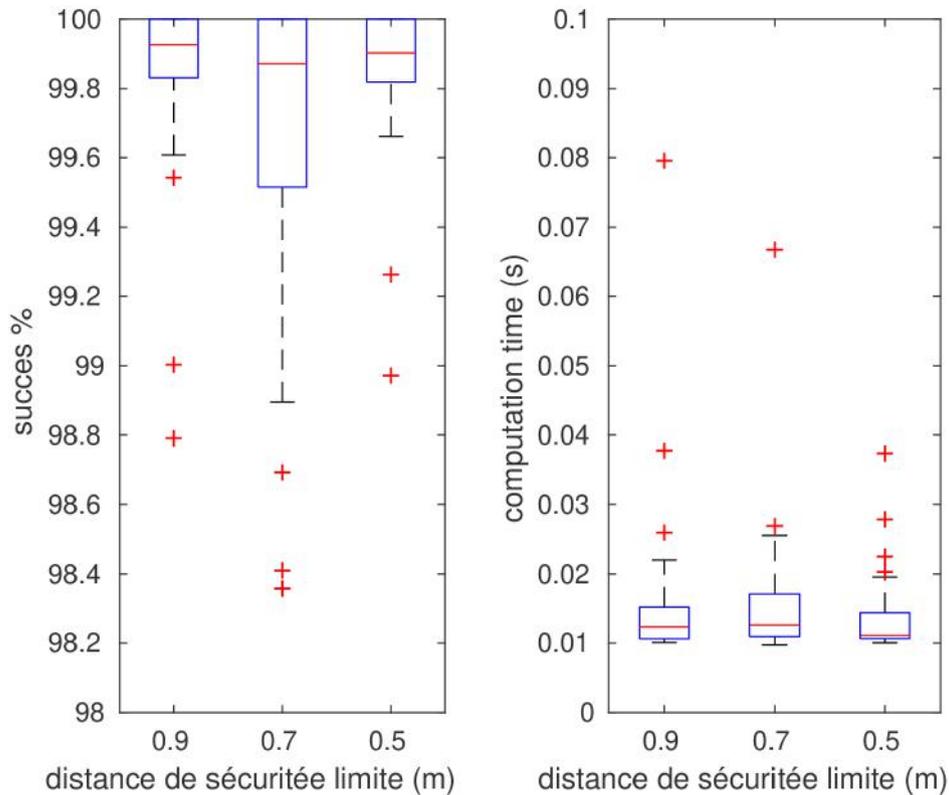


Simulations



Evaluation sur station de travail

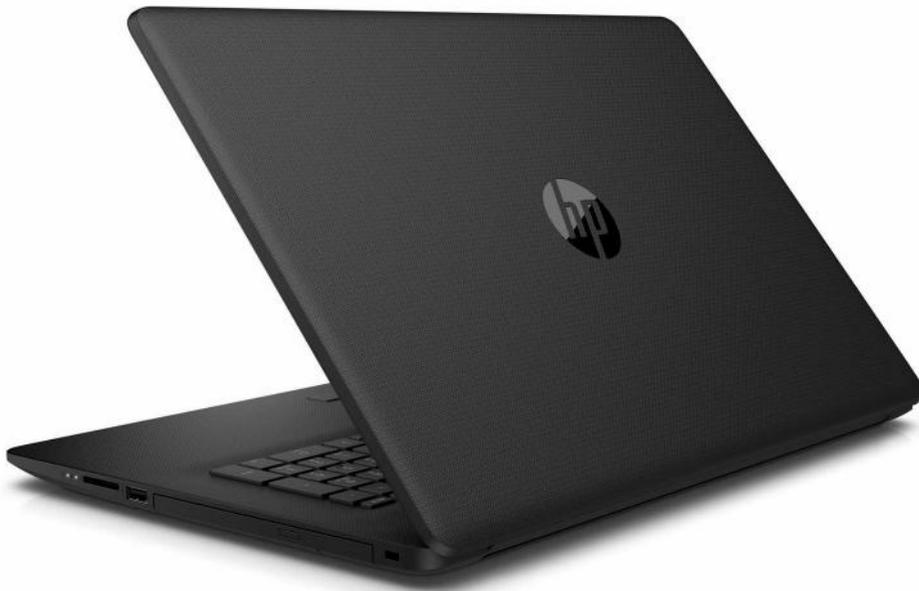
Ordinateur portable





Portage sur un drone

Ordinateur portable,
intel i7, 8 coeur 2,5 Ghz,



Gazebo

Ordinateur embarqué,
manifold DJI, nvidia tegra
K1, 4 coeur 2,3 Ghz, 2
GB Ram



Orb-slam, optimisation,
contrôle

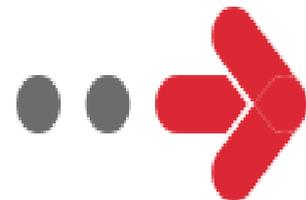
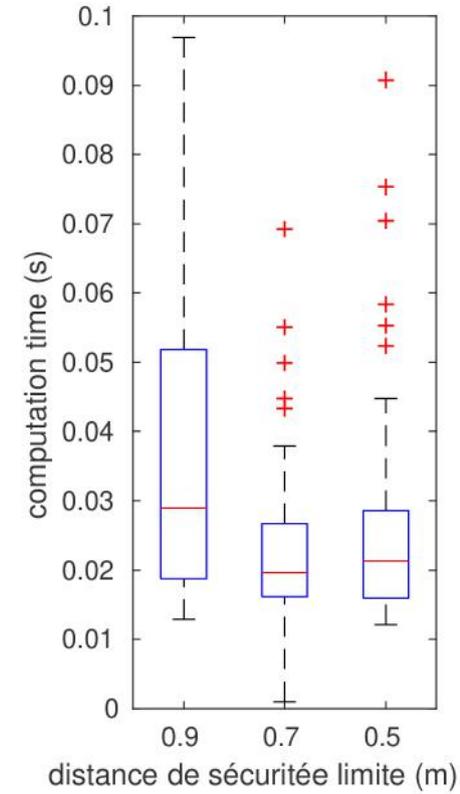
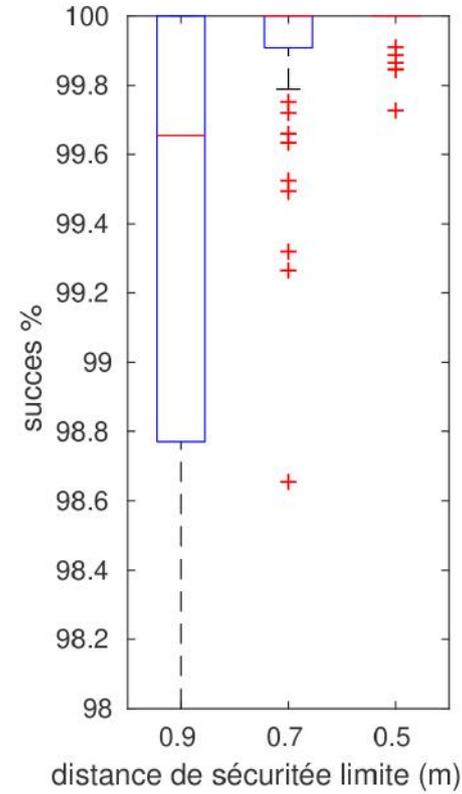
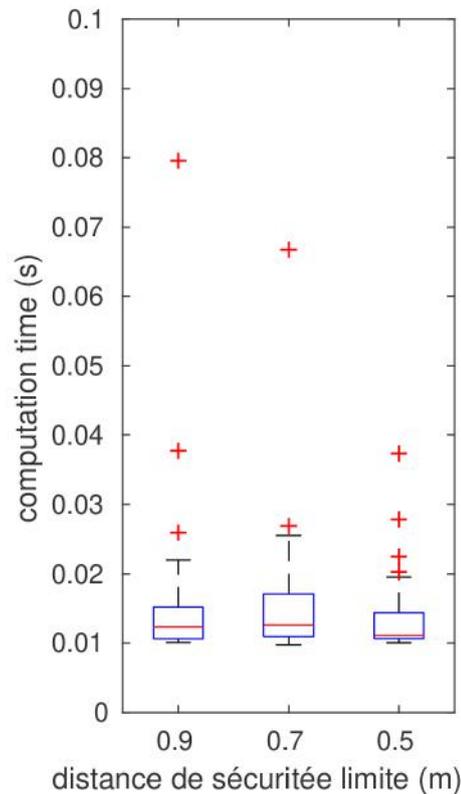
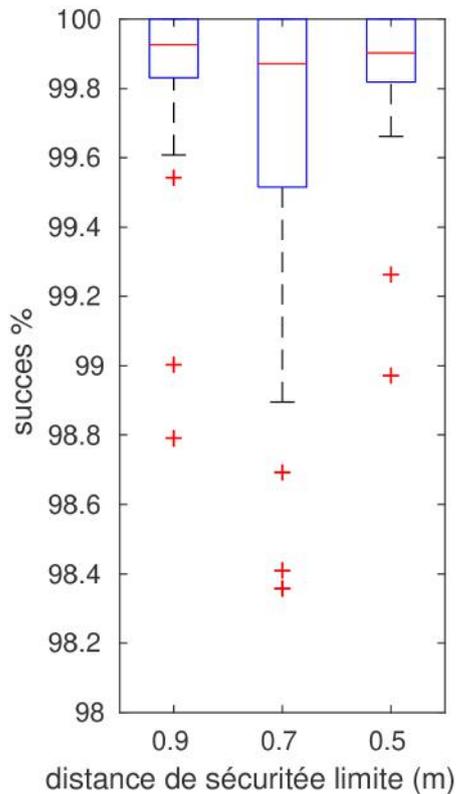




Portage sur un drone

Ordinateur portable

Ordinateur embarqué,
manifold DJI





Conclusions

- Déplacement dans un environnement connu, partiellement connu ou inconnu
- Trajectoire qui respecte les contraintes dynamiques du drone
- Évitement d'obstacles statiques/dynamiques
- Portage sur un ordinateur embarqué





Perspectives

- Essais réels
- Meilleur contrôle
- Ajouter un modèle de déplacement sur les obstacles





Merci de votre attention





Navigation autonome de drones sub-optimale avec évitement d'obstacles dynamiques basée sur des courbes de Bézier

Axe SRI, équipe REMIX :

Margraff Julien

Encadrants : Labbani-igbida Ouidad et Stéphant Joanny

GT UAV : 21 juin 2019



**Université
de Limoges**