

*Ce mini-projet, à effectuer en binôme au sein du même groupe de PC, fera l'objet d'un rapport incluant notamment équations et graphiques obtenus par des simulations sous Python. La forme de ce rapport est laissée libre (pdf, notebook...). Plusieurs rendus intermédiaires sont attendus auprès de votre chargé de PC.*

## Optimisation de la trajectoire d'un robot

Dans ce sujet, l'objectif est de calculer la trajectoire d'un robot à partir de deux types de mesures : des mesures d'odométrie (représentant les déplacements itératifs d'un robot) et des mesures de fermeture de boucle (lorsque le robot détecte le fait d'être revenu à un endroit déjà visité). La trajectoire est discrétisée en un ensemble fini de poses. On définit alors les différentes poses du robot par une position 2D et un angle représentant la direction du robot.

Lors de son exploration, le robot va mesurer ses différents déplacements au cours du temps : on appelle cela l'odométrie. A certains moments, le robot va repasser par des endroits déjà visités. Lorsque la détection d'un endroit déjà visité se passe correctement, on appelle cela une fermeture de boucle. Nous allons alors créer une relation entre la pose  $j$  et une pose déjà connue  $i$ . Une transformation est calculée (par l'algorithme de détection de boucle) et est considérée comme connue.

L'ensemble de ces relations peuvent se mettre sous la forme d'un graphe que l'on appelle graphe de poses (voir Figure 1).

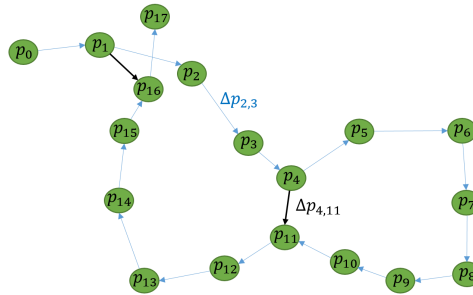


FIGURE 1 – Exemple d'un graphe de poses avec 18 poses, 17 relations d'odométrie et 2 relations de fermeture de boucle.

## 1 Modélisation

1. Formaliser les inconnues du problème.
2. Trouver la relation liant une pose et la pose suivante à parti d'une transformation relative connue.
3. Formuler la fonction objectif à minimiser permettant de vérifier au mieux les relations d'odométrie et de fermeture de boucle. Justifier votre choix.

## 2 Etude et résolution numérique

Pour ce projet, nous allons travailler sur un jeu de données appelé INTEL. Il s'agit d'optimiser la trajectoire d'un robot qui a exploré le laboratoire de recherche d'INTEL (la Figure 2 montre une carte de l'environnement).

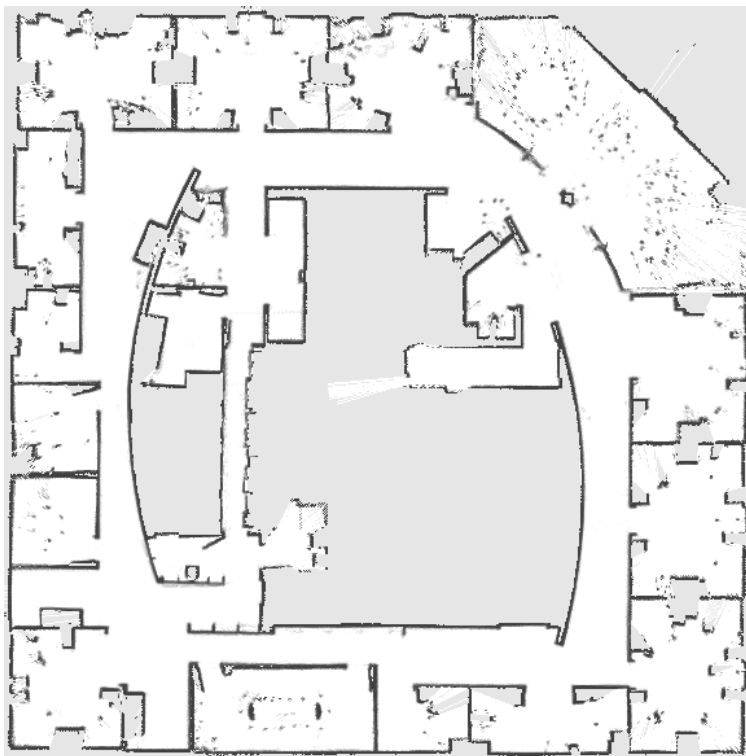


FIGURE 2 – Carte du laboratoire de recherche d'INTEL.

1. Récupérer le fichier "INTEL.txt" à l'URL suivante : <https://cloud.mines-paristech.fr/index.php/s/MrmDh4fkQ0XXK0d>.  
Il contient les données d'odométrie et de fermeture de boucle. Il s'agit d'un fichier sous format ASCII avec deux types de ligne :  
EDGE\_ODO i i+1 dx dy dtheta où  $\Delta p_{i,i+1} = (dx, dy, dtheta)^T$  (relation d'odométrie)  
EDGE\_LOOP i j dx dy dtheta où  $\Delta p_{i,j} = (dx, dy, dtheta)^T$  (relation de fermeture de boucle)  
Implémenter une fonction de lecture de fichier pour récupérer les données du graphe.
2. A partir des données d'odométrie, calculer une première estimation de la trajectoire du robot. Utiliser Matplotlib pour afficher le graphe. Commenter les résultats.
3. Etudier le problème d'optimisation (convexité, conditionnement, existence et unicité d'une solution) par la méthode, analytique ou numérique, de votre choix.
4. Développer un algorithme de résolution du problème. Justifier votre choix. Afficher le graphe optimisé. Commenter les résultats obtenus (en comparant votre trajectoire avec la carte de la Figure 2).

## 3 Etude avancée

1. Changer le produit scalaire utilisé dans ce problème pour y associer une matrice symétrique définie positive. Justifier l'intérêt.

2. Modifier votre algorithme en conséquence et tester le sur le dataset suivant "MIT.txt" : <https://cloud.mines-paristech.fr/index.php/s/0ZcYrTk3C3ft9J1> Commenter les résultats obtenus (en comparant votre trajectoire avec la carte de la Figure 3).

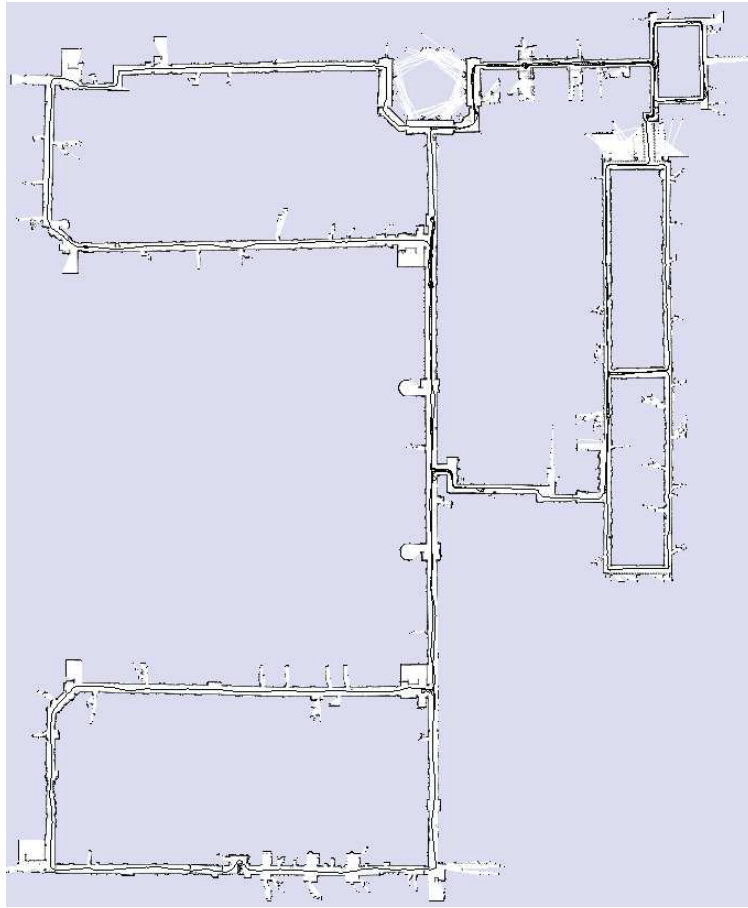


FIGURE 3 – Carte du MIT Killian Court.