

author1hash=7b5290450627c20b096f9d968825616dfamily=Hamdoun, familyi=H., given=Ouafae, giveni=O.



MASTER SAR 1^{ÈRE} ANNÉE

2024 - 2025

Rapport de Projet de Modélisation :

Conception, Modélisation et Commande d'un robot
parallèle 3RRR

Auteurs :

Baptiste BRAUN-DELVOYE
Julien SAGNES

Professeur :

Faiz BEN-AMAR

20 mai 2025

Table des matières

Introduction	2
I Conception	3
I.1 Bras du robot	3
I.2 Effecteur	3
I.3 Moteur	4
I.4 Assemblage	4
I.5 Singularités	6
II Simulation	7
II.1 Le simulateur	7
II.2 Contrôle par le clavier	8
II.3 Méthode des dessins	9
Conclusion	10

Introduction

Ce projet vise à simuler et à concevoir un robot parallèle 3RRR, composé de trois bras RRR identiques reliés à un effecteur unique. L'objectif est de pouvoir contrôler la position et l'orientation de cet effecteur dans un plan, à travers une simulation interactive.

Dans un premier temps, nous réaliserons le modèle 3D du robot sur SolidWorks, en prenant en compte plusieurs contraintes, telles que la maximisation de l'espace de travail, la réduction des collisions entre les pièces, et la limitation des flexibilités, des jeux et des frottements, tout en respectant les contraintes de l'impression 3D.

Dans un second temps, nous développerons une simulation en Python permettant de contrôler le robot en temps réel. Cette simulation implémentera le modèle géométrique inverse afin de déterminer les angles des actionneurs en fonction de la position désirée de l'effecteur. Une attention particulière sera portée à l'évitement et l'éloignement des configurations singulières, afin de garantir un mouvement fluide et contrôlable à chaque instant.

I Conception

Pour la conception, nous utilisons le logiciel SolidWorks. Nous avons décidé de suivre le modèle du TP pour dessiner les différentes pièces, en s'assurant de garder des distances de l'ordre de la dizaine de centimètre ; nous nous assurons de ne pas concevoir un robot trop grand.

I.1 Bras du robot

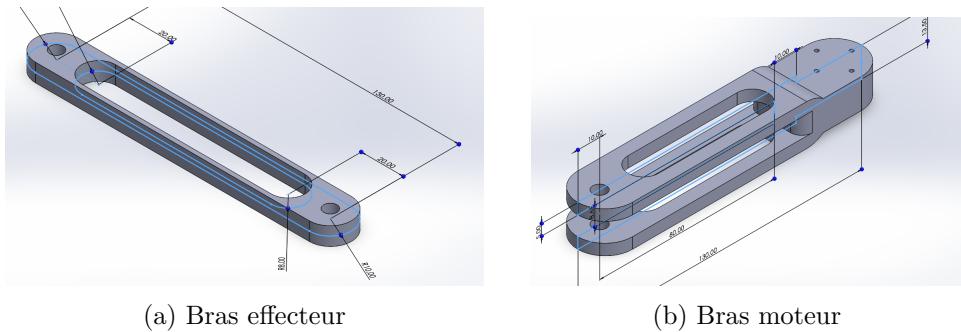


FIGURE I.1 – Allègement des bras du robot

Dans un premier temps, nous concevons les bras qui composent le robot pour décider de la taille générale de la maquette, qui ne doit pas être trop grande. Également, il est question de minimiser la quantité de matériaux utilisée pour les différentes pièces dans l'objectif de réduire le coût d'impression 3D. Nous opérons donc une optimisation topologique sur les différents bras en effectuant des allègements, comme nous pouvons le voir sur la figure I.1, qui détaille aussi les cotes des pièces en millimètres. Par ailleurs, nous utilisons des congés pour adoucir les bords des pièces afin de rendre le robot plus harmonieux.

I.2 Effecteur

Pour l'effecteur, nous optons pour une forme triangulaire, dont les côtés sont agencés de telle sorte qu'ils puissent accueillir les boulons. En effet, les trous que nous faisons sur les pièces (liaison pivot entre les bras et l'effecteur) ont pour but d'accueillir des boulons M6 (diamètre du trou 6.3 mm), auquel nous ajoutons un jeu de 0.15 mm. Dans un but de maximisation de l'espace de travail, nous effectuons des extrusions sur le bord de la pièce pour éviter les blocages et assurer une rotation libre, comme nous pouvons le voir sur la figure I.2. Nous ajoutons également un trou au centre pour accueillir un stylo que l'on serre avec une vis M5.

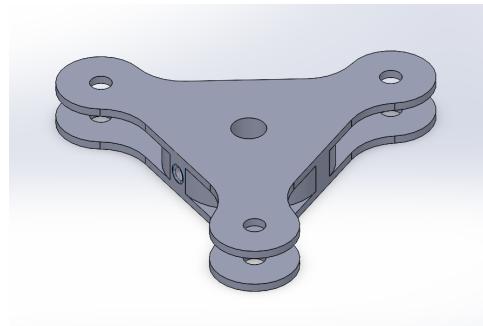
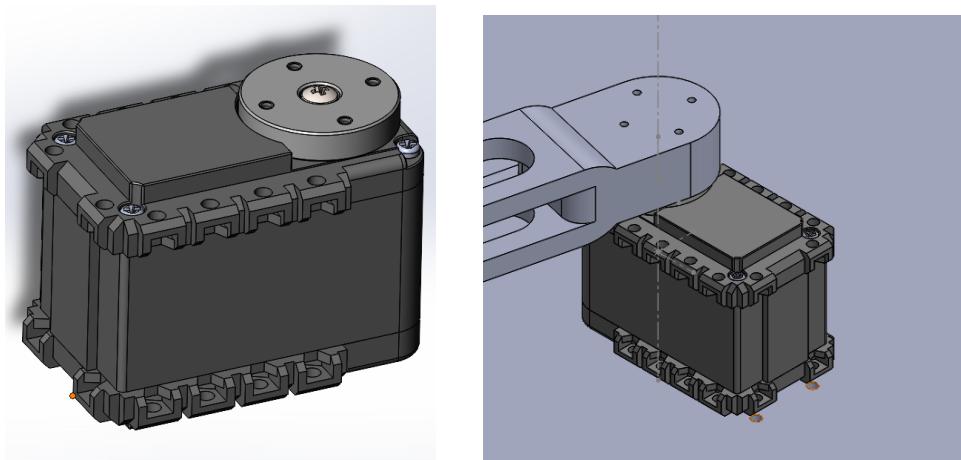


FIGURE I.2 – Effecteur



(a) Moteur assemblé

(b) Moteur accroché

FIGURE I.3 – Moteur AX12

I.3 Moteur

Quant aux moteurs, nous avons importé le moteur de type AX12 de Dynamixel que nous fixerons au bras grâce à quatre vis M2, comme nous pouvons le voir sur la figure I.3.

I.4 Assemblage

Enfin, nous effectuons l'assemblage du robot en utilisant des contraintes standards de coaxialité et de coïncidence pour les vis, et des liaisons pivot entre les bras et l'effecteur. Nous accrochons ensuite les moteurs à une base fixe pour que ces derniers restent immobiles, comme illustré sur la figure I.4.

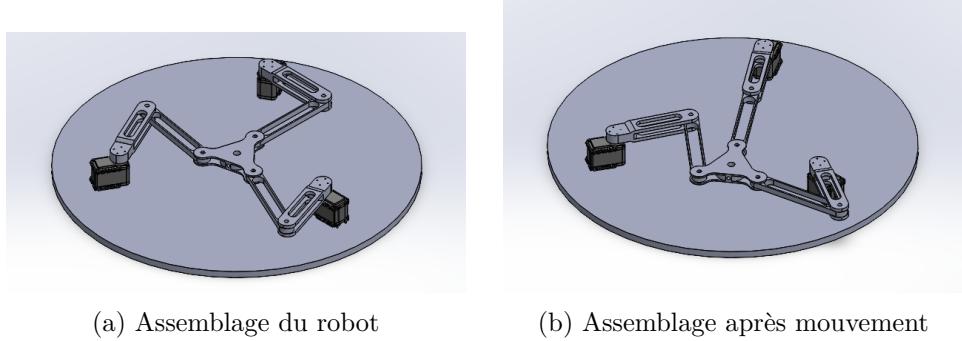


FIGURE I.4 – Assemblage sur SolidWorks

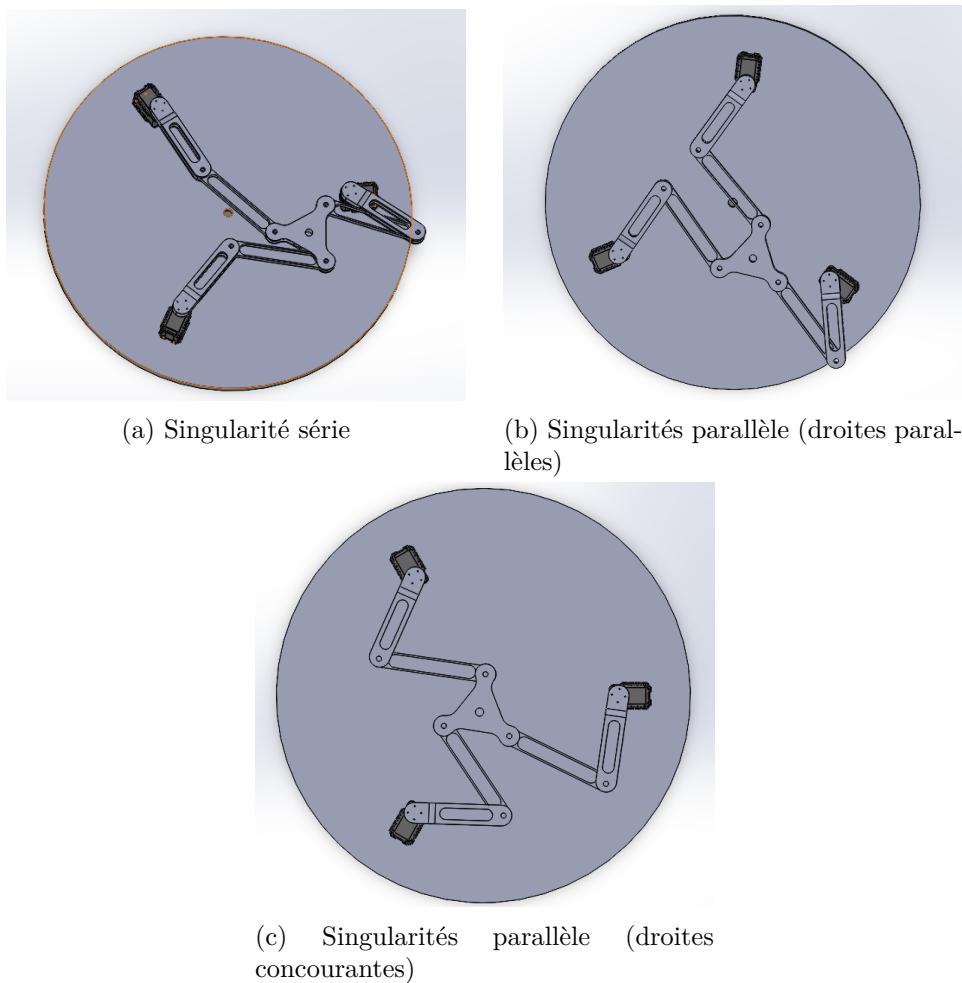


FIGURE I.5 – Singularité série et parallèles

I.5 Singularités

On propose 3 captures d'écrans des 3 différentes singularités sur la figure I.5.

II Simulation

II.1 Le simulateur

Afin de simuler le robot, nous avions accès à des codes en MatLab. Ces codes permettent de calculer le modèle géométrique inverse de façon analytique et numérique, ainsi qu'une fonction permettant de tracer la configuration de l'appareil.

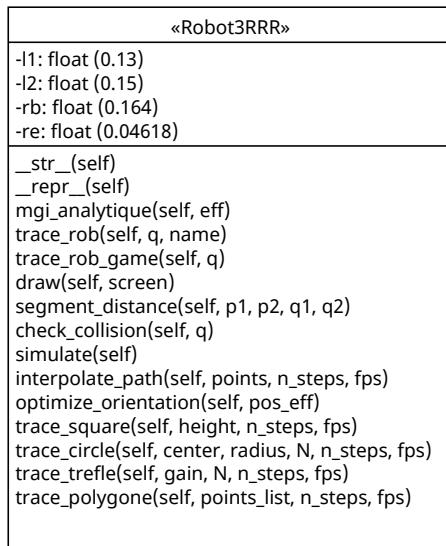


FIGURE II.1 – UML de notre classe Robot3RRR

Notre première étape fut de transformer ces codes sous Python afin de les utiliser dans notre simulation. Pour celle-ci, nous avons utilisé la bibliothèque PyGame, qui permet d'afficher des éléments graphiques avec de l'animation. Par simplicité, nous avons créé une classe Robot3RRR pour tous les calculs nécessaire à la simulation. Vous pouvez retrouver un UML simplifié de notre classe sur la Figure II.1.

Une des premières choses que nous avons fait est de comparer la méthode numérique et la méthode analytique pour voir si la représentation graphique fonctionnait bien. TODO - check si on garde ce point là.

Pour notre simulation nous avons décidé d'utiliser uniquement la méthode analytique pour résoudre le modèle géométrique inverse. Cela pourrait être intéressant de voir si la méthode numérique serait plus efficace ici.

L'affichage de notre simulateur ressemble à la Figure II.2. Au centre se trouve notre robot. Les bras sont initialement de même longueur que notre modélisation 3D. Ces dimensions peuvent être changées lors de l'appel de la classe. Au centre du robot, nous retrouvons notre effecteur qui, dans le projet, est un stylo, nous avons donc fait en sorte que le robot trace son

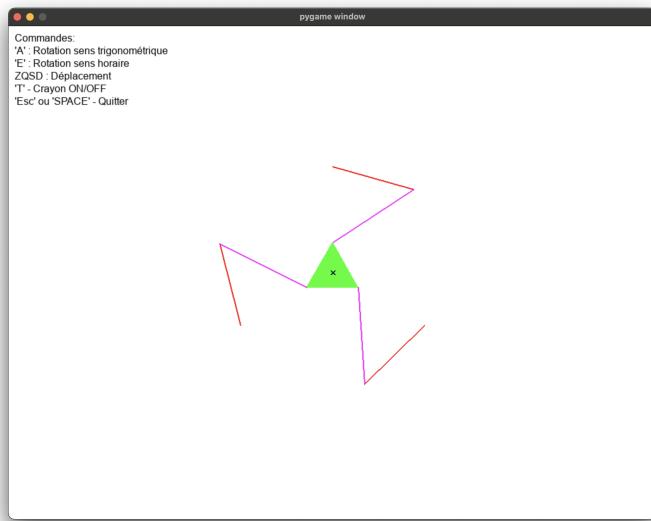


FIGURE II.2 – Image de notre simulateur - Contrôle du robot par clavier

déplacement en même temps.

Notre simulation permet de contrôler l'effecteur via les touches de notre clavier, mais aussi de dessiner des formes prédéfinis :

- un carré
- un cercle
- un polynôme quelconque
- un trèfle

Nous allons développer le fonctionnement du contrôle du clavier et la méthode pour dessiner dans les sous-parties suivantes.

II.2 Contrôle par le clavier

Comme vu dans la Figure II.2, lorsque nous lançons le contrôle par clavier, les touches de commandes s'affichent en haut à gauche de la fenêtre. Nous pouvons :

- déplacer l'effecteur avec Z,Q,S,D,A et E
- Activer le crayon ou non avec T
- Quitter la simulation avec ESC ou ESPACE

À la fin, après avoir quitté, une fenêtre Matplotlib apparaît afin de voir la dernière position du robot et le dessin tracé. Il est très simple une fois la simulation faite de sauvegarder la liste de positions de l'effecteur et d'utiliser la méthode pour tracer un polynôme afin de garder ce dessin pour une utilisation type usine.

II.3 Méthode des dessins

Pour tracer les différentes figures, nous avons une fonction pour chacune d'elles permettant de créer les points par lesquels l'effecteur devra passer. Ensuite nous utilisons une fonction d'interpolation de points, la méthode *interpolate_path*, qui va construire la ligne que le robot devra suivre entre 2 points. Cette fonction permet une automatisation de la façon dont nous traçons chaque figure.

Lors du calcul de la position, nous prenons en compte les singularités possibles du robot. Si nous sommes dans le cas de la singularité série, le robot se bloque dans la direction limité uniquement. Pour les singularités parallèles, nous calculons la valeur de l'angle de rotation de l'effecteur permettant d'avoir le déterminant de la matrice A non nulle. Nous avions initialement voulu calculer pour chaque pas de temps la position de l'effecteur donnant le déterminant le plus grand, mais cela prenait un temps considérable en calcul et nous avons donc préféré opter pour une option moins coûteuse, que nous détaillons ci-contre.

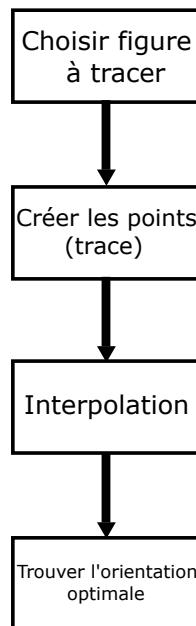


FIGURE II.3 – Diagramme de la méthode pour tracer une figure

Afin d'éviter les singularités parallèles nous modifions donc la rotation de l'effecteur. Pour faire cela, nous déterminons la matrice A de l'énoncé, et nous calculons son déterminant. De par la limitation de la simulation, les coudes des 3 bras seront toujours dans le même "sens", ainsi nous évitons naturellement le cas de singularité parallèle où les avant-bras sont parallèles. Nous devons donc uniquement regardé si le déterminant de la matrice est

proche de 0. Dans tous les cas, nous recherchons à éloigner le plus possible le robot d'une configuration de droites concourantes en évitant les collisions.

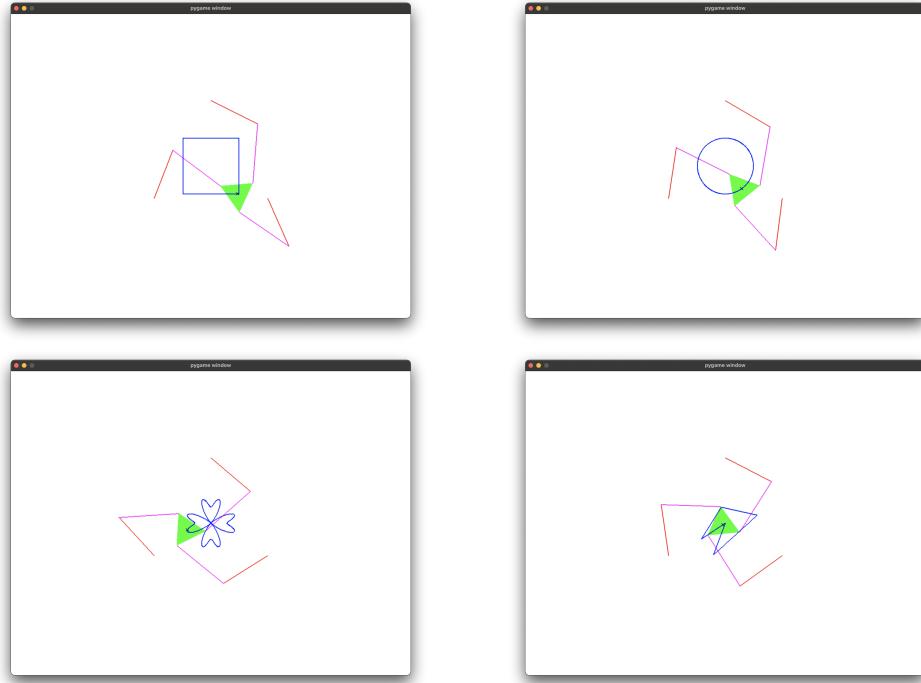


FIGURE II.4 – Image des 4 types de dessins disponibles par la simulation - dans l'ordre de lecture : carré, cercle trèfle, polynôme.

La méthode *optimize_orientation* permet d'ajuster dynamiquement l'orientation θ_e de l'effecteur afin d'éviter les configurations proches de la singularité parallèle. Pour ce faire, on ne change pas les positions (x, y) désirées, mais on fait varier θ_e dans un intervalle donné $([-\pi, \pi])$.

À chaque itération, nous allons procéder de telle manière à éviter les configurations de droites concourantes. L'objectif est donc de maximiser le déterminant de la matrice A (pour s'éloigner d'une valeur nulle et donc d'une singularité), en prenant soin d'éviter les collisions. La validation de chaque configuration est effectuée avec la méthode *check_collision* (calculée avec *segment_distance*), qui assure qu'aucune intersection entre les segments du robot n'est présente. La nouvelle orientation θ_e est alors sélectionnée comme celle qui répond le mieux à l'ensemble de ces critères.

Conclusion

Pour conclure, nous avons pu travailler sur la conception et la simulation d'un robot parallèle en appliquant nos connaissances apprises durant l'année

et en respectant un cahier des charges. Ce travail pratique nous a donc permis d'avoir un avant-goût de l'ingénierie dans le domaine de la robotique.

Notre conception étant faite avec SolidWorks, nous pourrons imprimer les différentes pièces afin de construire notre robot et l'améliorer si besoin. La simulation a une structure permettant d'être changer rapidement et efficacement. En poussant un peu plus loin de concept nous aurions pu créer un prototype de logiciel modulable pour notre robot avec une meilleure interface graphique.

Cependant notre projet peut encore être amélioré. Nous pourrions analyser en détail la différence entre la méthode analytique et numérique pour le modèle géométrique inverse afin d'opter pour le plus optimal. De plus, notre simulation ne peut pas avoir de coude opposé. Cela nous empêche de voir et de prendre en compte le deuxième type de singularité parallèle. La dernière étape de notre simulation serait de pouvoir être relié à un robot physique et de suivre ses mouvements afin de voir la qualité et l'exactitude de notre simulateur.