

Projet de conception d'un mécanisme articulé pour une pince

Analyse et synthèse cinématique des mécanismes
GMC-4048

Présenté à:

M. Philippe Cardou

Par:

Équipe 4

111 265 952 David Breton
111 246 676 Nicolas Sicard

23 décembre 2022

Table des matières

Présentation de la problématique	2
Contexte	2
Présentation du concept de solution	3
Modélisation de la situation et contraintes	5
Identification des contraintes géométriques de la trajectoire	5
Identification des contraintes du mécanisme	5
Identification des contraintes mécaniques des doigts	6
Méthodologie de résolution	7
Conception d'un mécanisme à 4 barres réalisant la trajectoire désirée	7
Déplacement de la trajectoire et positionnement vertical des doigts	7
Génération du mécanisme à 4 barres traçant la trajectoire	9
Résolution graphique par la méthode de Zimmerman	9
Présentation et analyse des résultats	10
Confirmation des résultats avec MotionGenPro	11
Déplacement de la courbe par l'ajout de 4 barres au mécanisme	12
Modélisation du mécanisme dans MotionGenPro	12
Réalisation d'un prototype par impression 3D	13
Discussion des résultats	13
Conclusion	14
Références	15
Annexe A - Images des esquisses complètes	16

Présentation de la problématique

Contexte

Les bras robotisés sont de plus en plus utilisés dans les chaînes de production. On les retrouve dans les chaînes de montage de voiture, dans des procédés d'usinage et bien d'autres. Ils permettent d'automatiser des tâches comme le déplacement d'objets, le perçage, l'assemblage, etc.

Tout dépendamment de la tâche, le robot peut demander plus de degrés de mobilité. Par exemple, un robot qui a comme objectif de pousser des boîtes sur un tapis roulant n'a besoin que d'un seul degré de liberté. Au contraire, un robot qui assemble des pièces de voiture comporte souvent plus de 3 degrés de liberté. Cependant, augmenter le nombre de degrés de liberté augmente aussi la complexité du robot. Notamment, il faut augmenter le nombre d'actionneurs pour chaque degré de liberté supplémentaire. Ainsi, pour une tâche spécifique, il est préférable de rendre le mécanisme le plus simple en réduisant le nombre de degrés de liberté nécessaires.

Les robots de déplacement d'objet ont souvent ce problème de multiplication des degrés de liberté. Dans le cas d'une table avec des objets que nous voulons déplacer dans un bac, on peut opter pour un robot cartésien à 3 axes comme présenté à la [figure 1](#). Deux de ces axes permettent le déplacement dans le plan horizontal tandis que le dernier permet de déplacer le robot verticalement. Un autre axe de rotation peut aussi être ajouté au niveau de la pince pour lui permettre de prendre les objets dans n'importe quelle direction.



Figure 1 - Exemple de robot 3 axes

By Yamaha Motors (année inconnue) [URL](#)

Cependant, l'actionnement de la pince nécessite aussi un autre degré de liberté pour saisir les objets. Ceci demande l'ajout d'un autre moteur à l'effecteur. Ainsi, nous arrivons à un total de 5 degrés de liberté, ce qui semble exagéré pour une tâche aussi simple.

Alors, serait-il possible de réduire le nombre de moteurs nécessaires en couplant certains mouvements et avec un mécanisme bien conçu ?

Présentation du concept de solution

Le cas étudié dans ce travail est celui pris en exemple plus haut, soit celui des objets sur une table devant être déplacés dans un bac. Pour cette situation, l'on peut encore utiliser un robot cartésien. Les deux axes horizontaux permettent de déplacer la pince partout au-dessus de la table et un axe de rotation permet d'ajuster l'angle de la pince dans l'axe vertical. Ainsi, les axes de déplacement horizontal sont toujours à la même hauteur au-dessus de la table. En considérant des objets de taille similaire, un axe vertical découplé est non nécessaire, car le mouvement vertical est toujours le même. Ainsi, il serait possible de coupler le mouvement d'actionnement de la pince avec le mouvement vertical en réalisant la conception d'un système à 4 barres. Un schéma de la situation est présenté à la [figure 2](#).

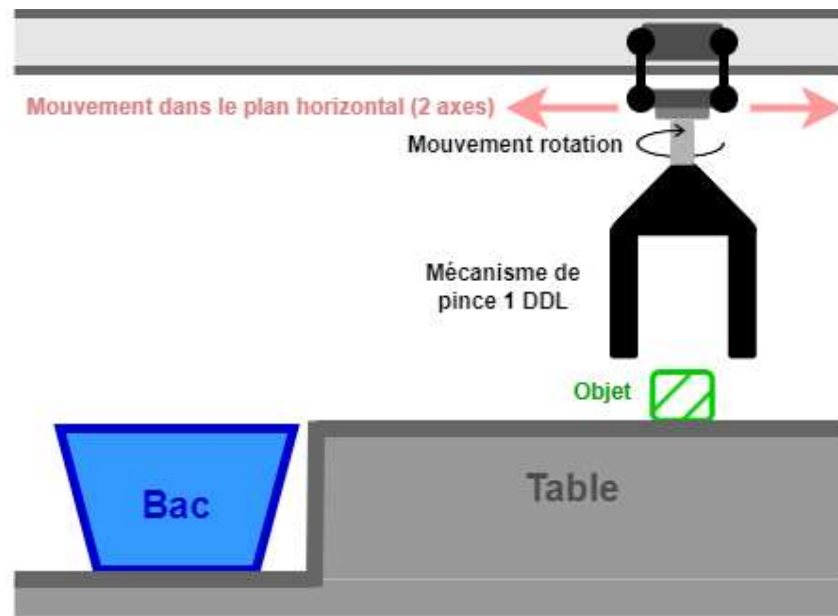


Figure 2 - Schéma du cas étudié et du robot utilisé pour réaliser la tâche.

En utilisant un mécanisme à 4 barres, il est possible de réaliser un mouvement des doigts permettant de saisir et de soulever un objet sans l'ajout d'un axe de mouvement vertical. La trajectoire des doigts doit ressembler à celle présentée à la [figure 3](#). Les doigts commencent à la position #1 et descendent au niveau de la table en s'éloignant les uns des autres (position #2). Ensuite, ils se rapprochent en restant près de la table jusqu'à saisir l'objet (position #3). Par la suite, ils montent le plus verticalement possible afin de garder la même distance entre les doigts durant l'élévation jusqu'à la position #4. Il est important de garder cette distance la plus constante possible pour maintenir la saisie de l'objet. Finalement, les doigts lâchent l'objet en retournant à la position #1.

Une couche élastique ou des ressorts pourront être ajoutés sur les surfaces des doigts pour assurer un bon contact avec l'objet lors de la montée ou pour pouvoir saisir des objets de tailles légèrement différentes.

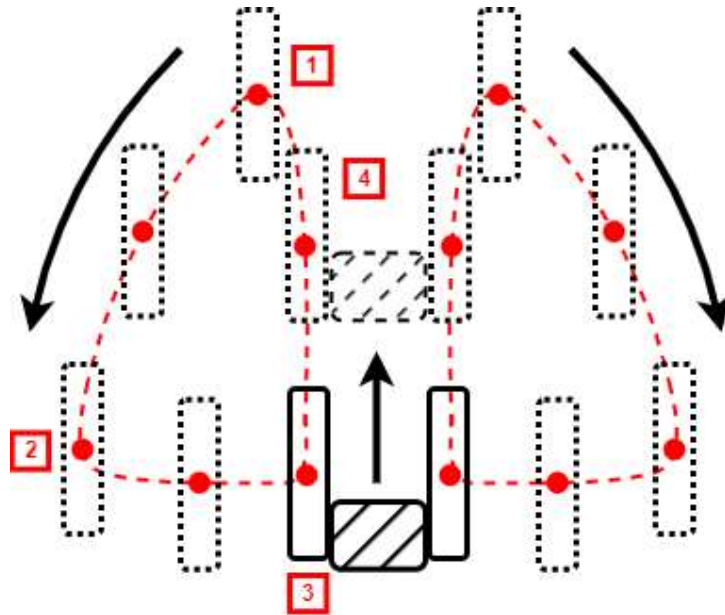


Figure 3 - Trajectoire devant être réalisée par les doigts pour saisir et soulever l'objet.

Lors d'un cycle d'opération, la pince commence dans la position #1 au-dessus du bac. Le robot réalise ensuite les actions suivantes :

- 1) La pince se déplace horizontalement sur les axes cartésiens et en rotation avec l'axe vertical de rotation pour se positionner dans la bonne orientation au-dessus de l'objet sur la table.
- 2) La pince réalise le mouvement de descente et de saisie de l'objet en passant par la position #2 et #3.
- 3) L'objet est levé jusqu'à la position #4.
- 4) La pince se déplace horizontalement jusqu'au-dessus du bac.
- 5) La pince lâche l'objet dans le bac en retournant à la position #1.

Pour y arriver, il est important que les doigts de la pince réalisent une trajectoire qui se rapproche le plus possible de celle présentée à la [figure 3](#). Ceci est très important, car un mouvement non linéaire entre la position #3 et #4 pourrait briser le mécanisme en serrant trop l'objet ou pourrait ne pas être en mesure de garder la saisie sur l'objet en écartant trop les doigts. Secondement, le mouvement « rase-motte » au-dessus de la table entre les positions #2 et #3 permet de bien saisir l'objet sur les côtés. Cependant, la trajectoire de ce mouvement n'a pas besoin d'être aussi précise que pour la montée.

Modélisation de la situation et contraintes

Identification des contraintes géométriques de la trajectoire

Pour simplifier le problème, la forme de l'objet sera limitée à celle d'un **cube avec une longueur d'arête de 30 mm**. Les doigts de la pince devront donc être séparés de cette distance entre la position #3 et #4.

Comme les objets sur la table auront tous la même hauteur de 30 mm et que le robot doit déplacer un objet au-dessus des autres, la distance d'élévation entre la position #3 et #4 doit être supérieure à 30 mm. Afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de collision dans des situations où l'objet glisse un peu, cette distance d'élévation est 1,5 fois la hauteur de l'objet. Ainsi, la distance entre les positions #3 et #4 doit être de 45 mm.

Il est nécessaire de laisser assez d'espace entre les doigts pour ne pas qu'ils frappent le dessus de l'objet lors de la descente. Ainsi, la distance entre les doigts dans la position #2 doit être d'environ 50 mm. De même, la distance entre la position #2 et #3 doit être d'environ 10 mm.

Pour ce qui est de la distance entre les doigts à la position #1, celle-ci doit être au minimum légèrement plus grande que la largeur de l'objet. Cependant, cette distance peut être plus grande sans problème. On pose alors une distance horizontale entre les positions #1 et #4 d'au moins 3 mm. Les contraintes géométriques sont présentées à la figure 4.

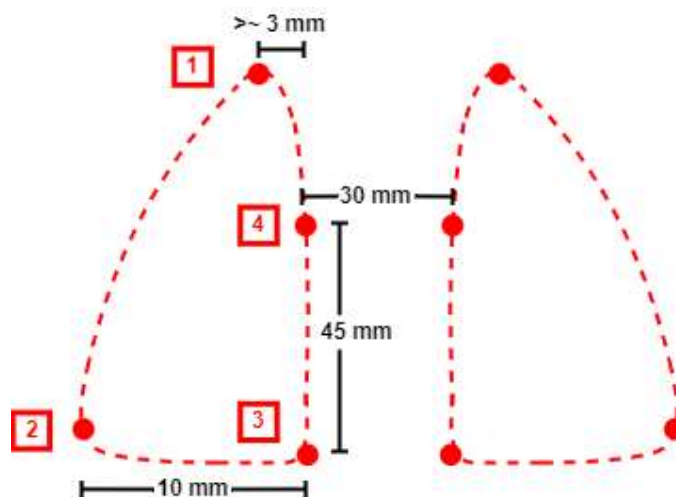


Figure 4 - Résumé des contraintes géométriques sur la trajectoire des doigts de la pince.

Identification des contraintes du mécanisme

En plus de respecter la bonne saisie et le bon déplacement des objets, le mécanisme généré doit suivre les contraintes suivantes:

- L'aire occupée par le mécanisme doit pouvoir rentrer approximativement dans une aire 3 fois plus grande que l'aire occupée par la trajectoire. Autrement, le mécanisme serait jugé trop volumineux et lourd pour l'application.
- Tout le mécanisme pour les deux doigts doit être installé sur le même bâti. Ce bâti doit préférablement être éloigné et être au-dessus de la table.
- L'actionnement de chaque doigt doit être réalisé par un seul actionneur en rotation sur un des pivots fixes du bâti. L'actionnement se fait de manière continue en sens unique (pas d'aller-retour). Si possible, il ne faudrait utiliser qu'un seul moteur pour actionner les deux doigts.

Identification des contraintes mécaniques des doigts

Pour être en mesure de bien saisir les objets, les contraintes suivantes s'appliquent aux doigts:

- Le mécanisme ne doit pas encombrer le mouvement des doigts. Inversement, ceci veut dire que les doigts doivent être éloignés du mécanisme pour limiter l'interférence du mécanisme dans la saisie des objets.
- Les doigts doivent rester verticaux en tout temps pour maximiser la surface de contact avec les objets.

Méthodologie de résolution

Conception d'un mécanisme à 4 barres réalisant la trajectoire désirée

Détermination des longueurs de barre

La conception du mécanisme est réalisée en utilisant la **méthode de Zimmerman**. Pour y arriver, 3 points sont sélectionnés sur la trajectoire désirée comme présenté à la [figure 4](#). Pour mettre l'accent sur les mouvements plus rectilignes des doigts, les points sélectionnés se situent aux extrémités des mouvements rectilignes, soit aux positions #2, 3 et 4. Les points choisis sont illustrés à la [figure 5](#).

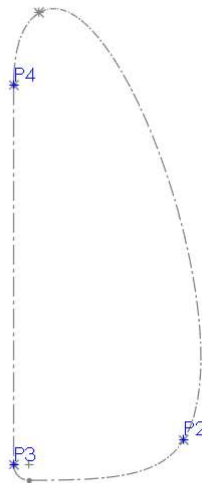


Figure 5 - Esquisse des points choisis pour tracer la trajectoire désirée.

Le point correspondant à la position #2 est sélectionné comme pose de base pour la résolution. Ainsi, la méthode permettra de positionner les pivots fixes et mobiles par rapport à cette pose du mécanisme.

Tracé de la trajectoire du mécanisme obtenu

La trajectoire obtenue peut être tracée dans Maple en obtenant l'équation de la courbe de bielle. Cette équation peut être obtenue à partir d'équations de fermeture de boucle. Par une étude préliminaire sur MotionGenPro, il semble clair que la forme optimale pour obtenir la courbe désirée est celle présentée à la [figure 6](#).

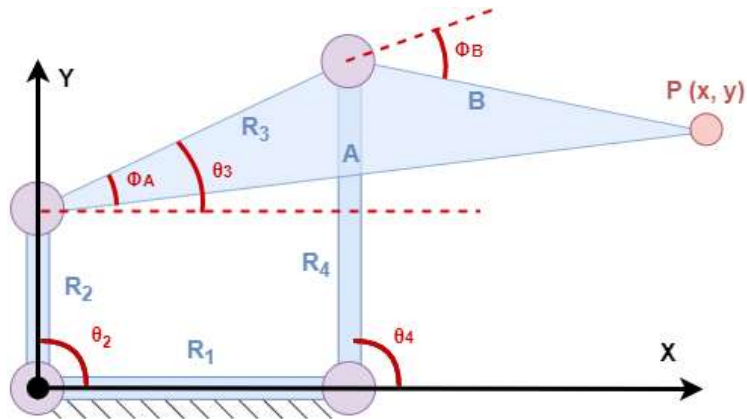


Figure 9 - Schéma de la forme obtenue du mécanisme obtenu ainsi que la nomenclature de la longueur des barres.

Déplacement de la trajectoire et positionnement vertical des doigts

Comme il est nécessaire que les doigts restent verticaux durant toute la trajectoire, 4 autres barres doivent être ajoutées au mécanisme pour chaque doigt. Ces barres ajoutées doivent aussi former 2 parallélogrammes comme présenté à la [figure 6](#). Ainsi, en plus de permettre de garder le parallélisme entre les doigts, ceci permet aussi de déplacer la courbe de manière à rendre le mécanisme non encombrant.

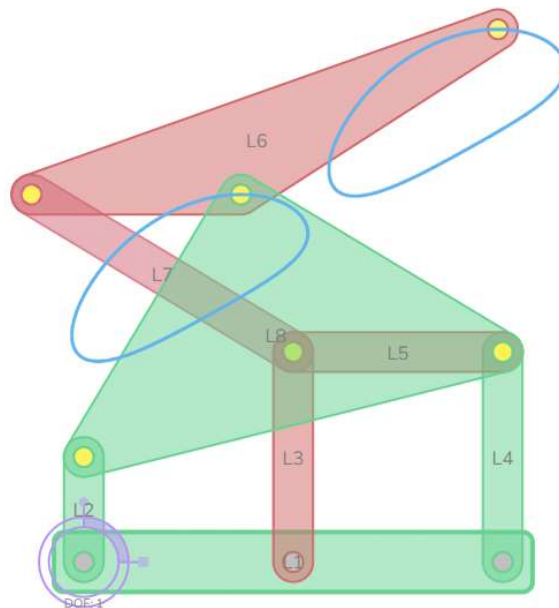


Figure 6 - Exemple de mécanisme à 8 barres permettant de déplacer la trajectoire réalisée par un mécanisme 4 barres (barres vertes). Les barres rouges sont celles ajoutées.

Génération du mécanisme à 4 barres traçant la trajectoire

Résolution graphique par la méthode de Zimmerman

La résolution est réalisée sur le logiciel Solidworks (le fichier est disponible avec ce rapport). Les lignes de pôle sont tracées pour tous les déplacements entre la pose de base et les autres poses. La position des pôles sur ces lignes est présentée à la figure 7. À partir de ces pôles et des contraintes géométriques d'angle, la position des pivots est déterminée. Le résultat de cette résolution est présenté à la figure 8.

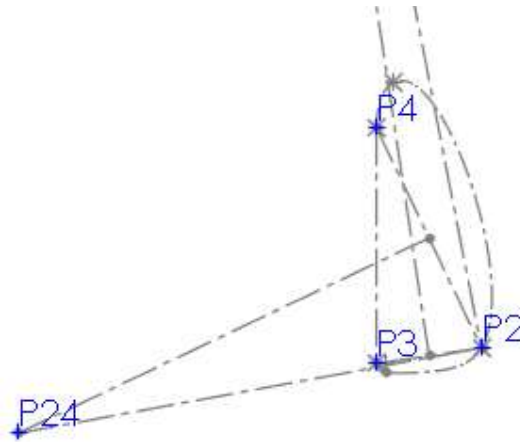


Figure 7 - Esquisse de la position des pôles pour tous les déplacements entre la pose de base et les autres poses. Comme le pôle supérieur est très éloigné, l'image est coupée (voir figure A-1 pour esquisse complète).

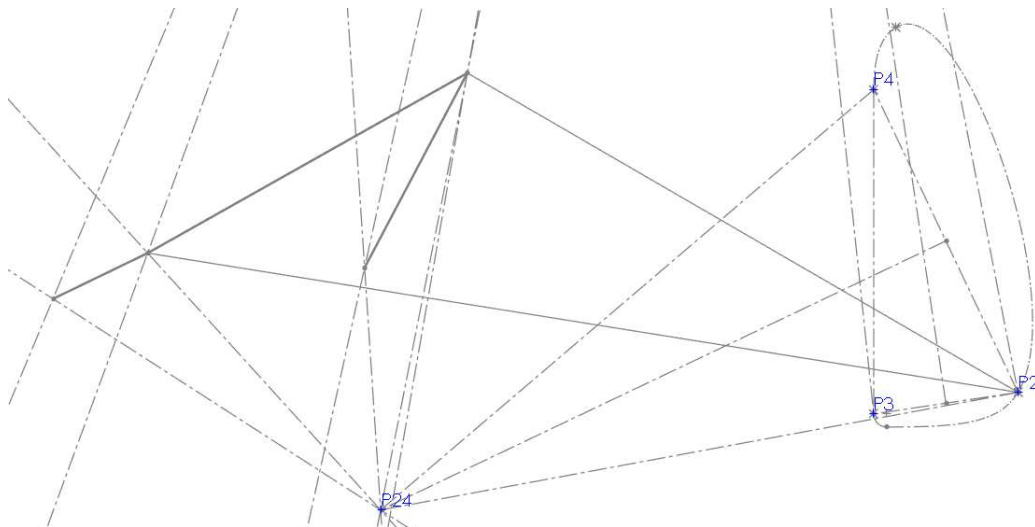


Figure 8 - Esquisse résolue présentant le mécanisme à 4 barres obtenu (voir figure A-2 pour esquisse complète).

Présentation et analyse des résultats

Le mécanisme obtenu possède la forme présentée à la figure . Les dimensions obtenues sont tabulées dans le tableau 1.

Barre	Dimension (mm)	Barre selon le critère de Grashof
R1	43,42	P
R2	14,58	S (Barre la plus courte)
R3	50,88	L (Barre la plus longue)
R4	30,52	Q
A	122,21	N/A
B	88,27	N/A

Tableau 1 - Valeurs obtenues pour les barres du mécanisme permettant de tracer la trajectoire désirée. Les longueurs sont assignées à une variable du critère de Grashof pour analyse du mécanisme.

En appliquant le **critère de Grashof**, il est possible d'identifier ce mécanisme comme un mécanisme de **type 1**. Plus précisément, comme le membre le plus court se trouve sur le bâti (barre R_2), il s'agit d'un mécanisme de type **manivelle-oscillateur**.

$$P + Q > S + L \quad (1)$$

$$\begin{aligned} 43,42 + 30,52 &> 14,58 + 50,88 \\ 73,94 &> 65,46 \end{aligned}$$

Ce type de mécanisme est adéquat pour l'application, car l'actionnement du mécanisme pourra être réalisé avec un seul actionneur à sens unique au pivot fixe de la barre R_2 du mécanisme comme demandé dans les contraintes.

Confirmation des résultats avec MotionGenPro

Pour confirmer que le mécanisme passe bien par tous les points choisis et trace une courbe adéquate, il est modélisé dans le logiciel MotionGenPro. Ce logiciel permet entre autres de modéliser des mécanismes et de tracer la trajectoire des pivots en sélectionnant un actionneur. Dans ce cas-ci, le mécanisme est modélisé à partir des dimensions obtenues et un actionneur en rotation est placé sur le pivot fixe de la barre R_2 .

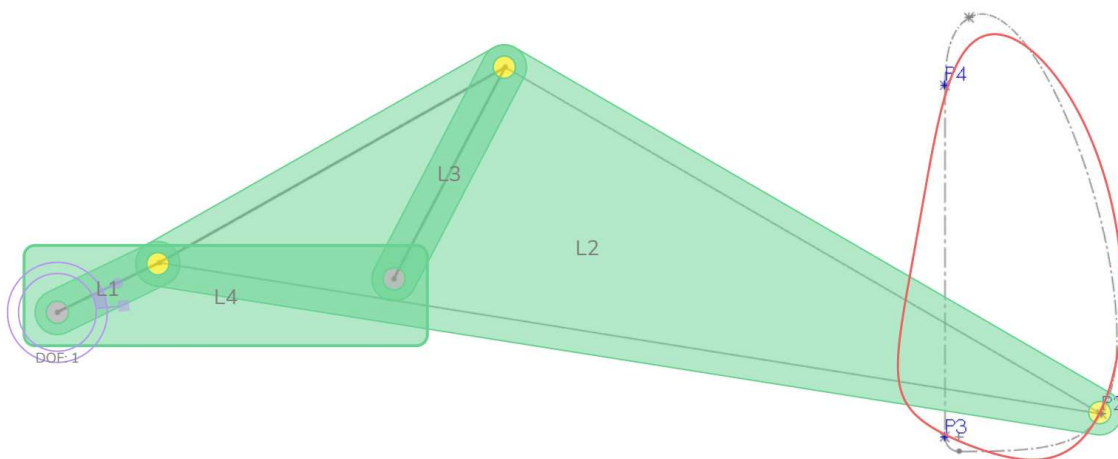


Figure 10 - Modélisation du mécanisme et de la trajectoire obtenue à l'effecteur sur MotionGenPro. L'esquisse des points choisis et de la trajectoire désirée est superposée sur la courbe pour confirmer le résultat.

Comme présenté à la figure 10, la trajectoire obtenue permet bien de passer par tous les points choisis. Cependant, en comparant les trajectoires, on remarque que celle obtenue ne fait qu'approximer celle désirée, ce qui est attendu. Notamment, la courbe ne réussit pas à réaliser les mouvements rectilignes entre les positions #2 et #3 ainsi qu'entre les positions #3 et #4.

En revanche, la courbe obtenue peut tout de même être utilisée, car des mouvements rectilignes se trouvent bien aux endroits désirés, mais de manière inclinée. Il ne s'agit alors que de réaliser une petite rotation du système dans le sens antihoraire pour que la partie de la trajectoire rectiligne entre les positions #3 et #4 soit à la verticale. Cette courbe devient alors adéquate pour l'utilisation à l'exception de la partie rectiligne inférieure, qui n'est pas exactement parallèle au sol. Toutefois, comme le mouvement de montée rectiligne est beaucoup plus important pour le fonctionnement du mécanisme, ce défaut est acceptable. De même, le coin autour de la position #3 n'est pas très pointu, ce qui risque de réduire l'efficacité de la saisie des objets.

Pour ce qui est du reste de la trajectoire, elle permet parfaitement de réaliser la tâche requise. Le mouvement de descente des doigts entre les positions #1 et #2 n'est pas critique et l'approximation obtenue est très satisfaisante.

Déplacement de la courbe par l'ajout de 4 barres au mécanisme

Comme discuté précédemment, les doigts doivent rester verticaux en tout temps pour être en mesure de bien saisir les objets. De même, pour rendre le mécanisme moins encombrant dans la saisie des objets, la trajectoire doit être déplacée.

Modélisation du mécanisme dans MotionGenPro

La modélisation du mécanisme à 8 barres est réalisée directement dans MotionGenPro. Comme la méthode pour obtenir le déplacement de la trajectoire est connue, une méthode itérative de conception peut être réalisée sur le logiciel. En ayant la conception mécanique en tête ainsi que le changement de configuration, la longueur des barres supplémentaires peut être ajustée.

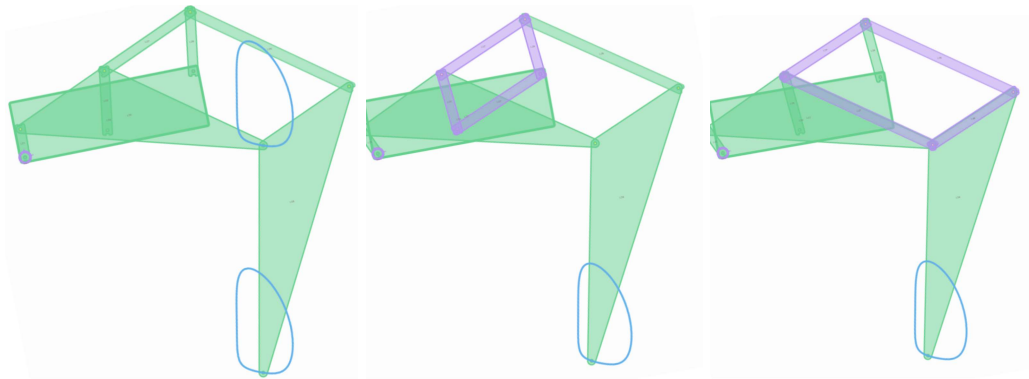


Figure 11 - Mécanisme à 8 barres permettant de garder le doigt vertical et de déplacer la position de la trajectoire du doigt. Les barres ajoutées forment deux parallélogrammes comme mis en évidence (barres mauves).

Comme présenté à la [figure 11](#), l'ajout des 4 barres permet de déplacer la trajectoire obtenue avec le premier système 4 barres. Ainsi, le mouvement de saisie de l'objet n'est plus obstrué par le mécanisme. Le positionnement des nouvelles barres ne contraint pas le mouvement désiré et ne permet pas le changement de configuration. De plus, le nouveau membre triangulaire ne subit aucune rotation. Ainsi, en fixant le doigt dessus, il restera vertical tout le long de la trajectoire.

Réalisation d'un prototype par impression 3D

Afin de juger de la qualité de la solution produite, un prototype en impression 3D est réalisé. Ce prototype est jugé au niveau de la reproductibilité du mouvement désiré, de sa capacité à saisir les objets, du respect des conditions contraintes initiales ainsi que les efforts nécessaires pour l'actionnement. La modélisation par ordinateur et l'image du prototype imprimé sont respectivement illustrées à la [figure 12](#) et la [figure 13](#) et une animation du mécanisme en action est disponible publiquement[2].

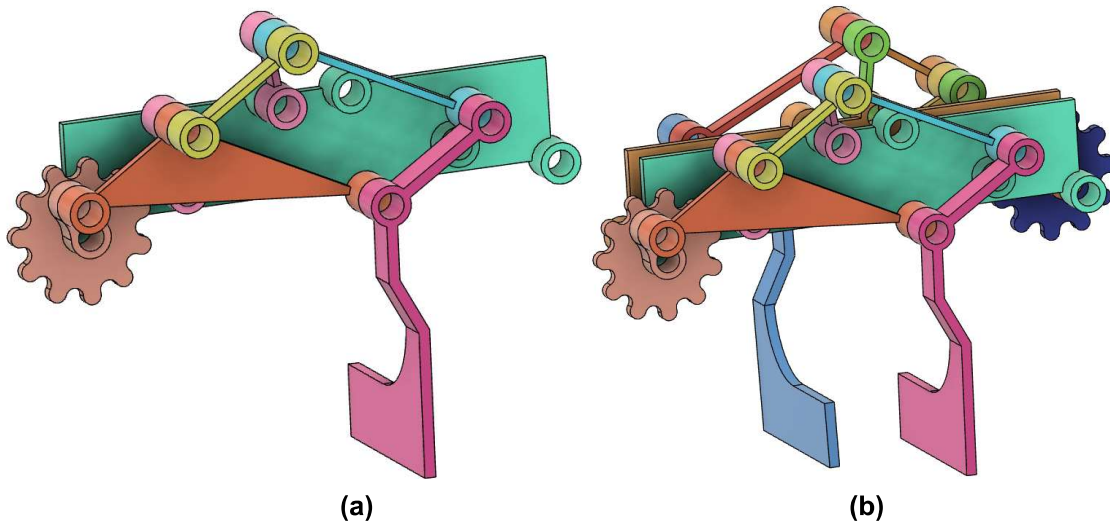


Figure 12 - Modélisation par ordinateur du prototype pour un doigt (a) et avec les deux doigts (b).

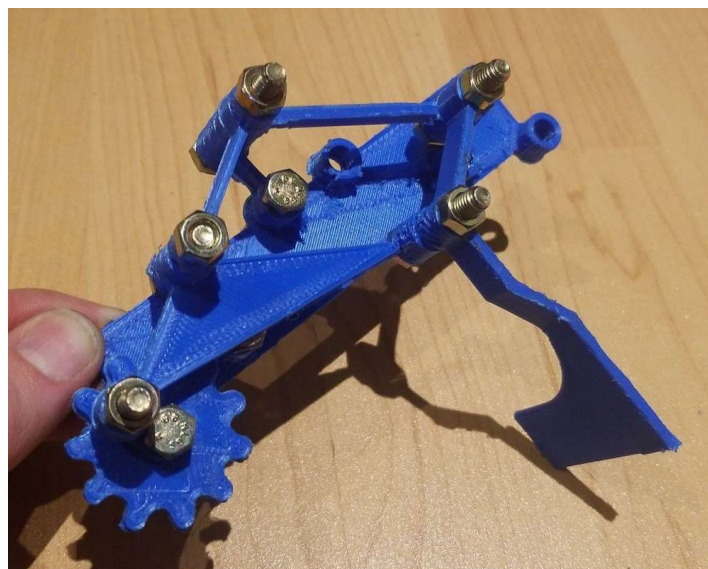


Figure 13 - Prototype en impression 3D.

Discussion des résultats

Le prototype permet bien de réaliser la trajectoire obtenue par la méthode de Zimmerman. Ainsi, le mécanisme permet de garder une bonne saisie de l'objet lors de la montée. Comme simulé sur MotionGenPro, le mécanisme ne peut pas changer de configuration, ce qui est un

avantage. Un vidéo du prototype en fonctionnement est fournie avec ce travail et elle est également disponible publiquement [3].

Le produit final permet généralement de respecter les contraintes établies. Notamment, le mouvement de saisie n'est pas encombré par le mécanisme et ce mécanisme est positionné au-dessus de la table. De plus, les doigts restent verticaux lors du mouvement et l'actionnement ne nécessite qu'un seul actionneur sur la barre manivelle. Il est à noter qu'une conception mécanique plus poussée peut être réalisée pour permettre l'utilisation d'un seul moteur pour actionner les deux doigts à l'aide d'engrenages ou d'une courroie. Le mécanisme produit un rapport de force plus élevé autour du point 3, ce qui favorise l'utilisation d'un moteur de petite taille.

Le prototype met en évidence un aspect important; la rigidité des pivots est essentielle au maintien de la trajectoire désirée. Pour obtenir un système plus rigide, il serait possible de doubler le mécanisme de part et d'autre de la barre de la pince, comme présenté ci-dessous. Ainsi, le mécanisme serait supporté par 2 cotés rigides et aurait une précision accrue.

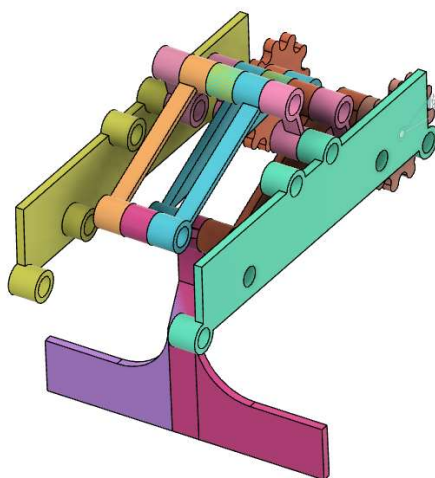


Figure 14 - Exemple de modification pouvant accroître la précision du mécanisme en augmentant la rigidité de ses joints.

Cependant, le mécanisme est déjà volumineux. Même en empilant le mécanisme simple des doigts l'un sur l'autre, la surface occupée par ce mécanisme reste assez grande. De manière approximative, l'aire occupée par ce mécanisme est 6 fois plus grande que celle occupée par la trajectoire des deux doigts. Ceci peut être expliqué par la forme spécifique de la trajectoire désirée. En effet, le changement de direction brusque autour de la position #3 nécessite un grand bras de levier et d'une petite manivelle. Ainsi, il est difficile de justifier l'utilisation de ce mécanisme pour cette application. En effet, l'utilisation de deux moteurs linéaires pour le mouvement vertical et l'actionnement de la pince serait une solution beaucoup moins volumineuse et beaucoup plus polyvalente.

Conclusion

L'objectif de ce travail était d'étudier la possibilité d'utiliser un mécanisme à 4 barres pour réduire le nombre d'actionneurs dans des applications de déplacement d'objet avec hauteur fixe. En réalisant une trajectoire spécifique et dimensionnée selon l'objet devant être déplacé, un mécanisme à 4 barres doublé peut réaliser un mouvement de descente, saisie et montée de l'objet dans un cycle de mouvement du mécanisme.

Le mécanisme, réalisé avec la méthode de Zimmerman, permet de réaliser une trajectoire adéquate pour l'utilisation comme le prouve le prototype en impression 3D. Le résultat obtenu est assez volumineux et difficile à justifier au-dessus des solutions plus simples et polyvalentes. Cependant, ce travail permet de prouver la possibilité de cette solution.

Donc, il serait possible de l'étudier plus en profondeur avec différents outils. En effet, la méthode de Zimmerman, bien que facilement applicable, n'est pas pratique pour obtenir des trajectoires précises. Il serait intéressant de réaliser une autre résolution par une méthode numérique ou par l'utilisation d'outils numériques. Par exemple, MotionGenPro permet de générer des systèmes à 4 barres en lui fournissant une courbe. Ainsi, il serait possible de réaliser un mécanisme compact et plus pratique.

Références

1. Straight line mechanism. (17 novembre 2022). Dans *Wikipédia*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Straight_line_mechanism
2. Vidéo de l'animation du modèle 3D. (21 décembre 2022),
https://drive.google.com/file/d/1GADZwGV-F28petNCgn1PJ8xcY9Vtv2aO/view?usp=share_link
3. Vidéo de prototype en action. (21 décembre 2022).
https://drive.google.com/file/d/19VIIWJPCaKipr0aHJ0kFUtSjwKM-zNYH/view?usp=share_link

Annexe A - Images des esquisses complètes

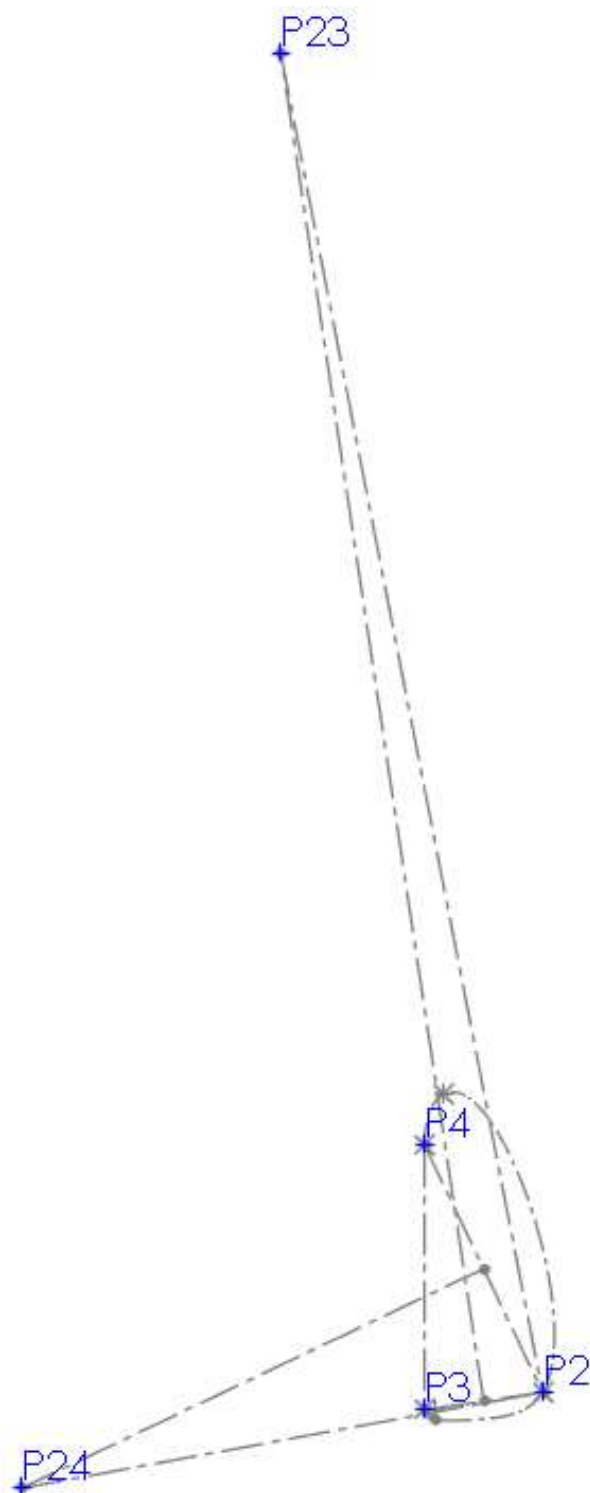


Figure A-1 - Esquisse complète de la position des pôles pour tous les déplacements entre la pose de base et les autres poses.

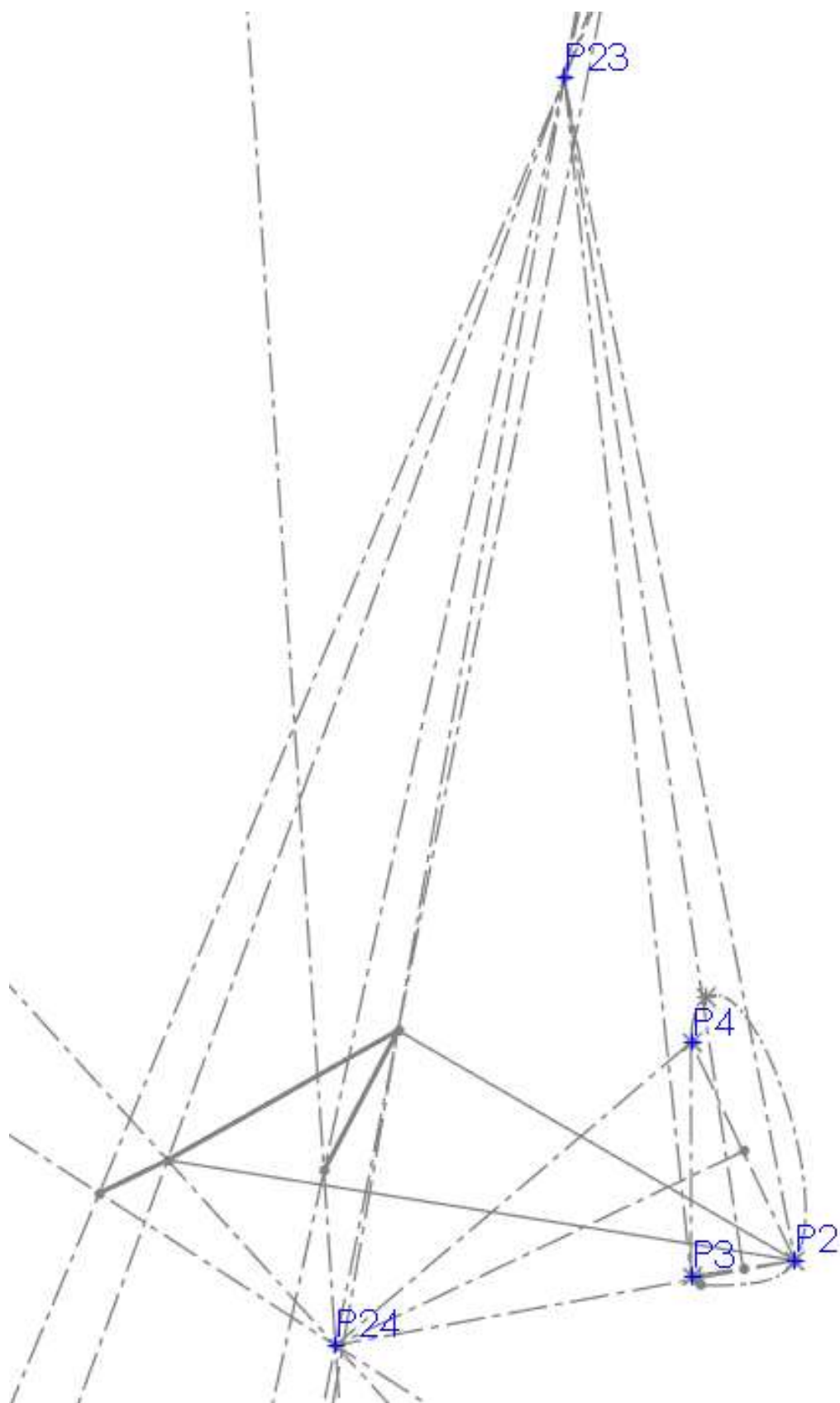


Figure A-2 - Esquisse complète résolue présentant le mécanisme à 4 barres obtenu.