

Rapport d'étape :
Retour de force pour le préhenseur du
robot de CAPRA

PAR
Maxime Rolland ROLM19089800

Sigle du cours : GPA791
Professeur responsable : ROBERGE Jean-philippe
SESSION : ÉTÉ 2023
GROUPE : 01

MONTREAL, Le 21/08/23

RÉSUMÉ

Ce rapport a pour objectif l'amélioration du préhenseur du robot de Capra. Plusieurs objectifs ont été établis pour l'amélioration. Le préhenseur doit être en mesure de prendre des objets complexes, d'ouvrir des portes possédant 2 types de poignées et de mesurer précisément la force appliquée sur le préhenseur.

Des tests de forces maximales ont été faits sur plusieurs versions de la pince en considérant la structure interne et des paramètres d'angles et d'épaisseur inspirée de d'autres recherches. Des tests de résistance en fonction de la force appliquée sur les capteurs piézorésistifs ayant initialement pour objectif la conception du circuit d'acquisition ont été faits. À cause de problème technique à propos de l'hystérésis et de la répétabilité des capteurs, d'autres tests ont été exécutés pour tenter de les caractériser et de trouver la source de l'erreur.

Les résultats obtenus mettent en avant les avantages des pinces flexibles de type Finray pour ouvrir tous les types de portes. Les capteurs piézorésistifs démontrent une certaine difficulté concernant leur précision, leur reproductibilité et leur comportement d'hystérésis, ce qui fait en sorte que le circuit nécessaire à l'acquisition est difficilement adaptable.

Pour finir, certaines hypothèses sont explorées concernant les résultats des capteurs. La possibilité de faire des tests avec des jauges de contraintes n'est pas exclue puisqu'elles sont mieux adaptées aux déformations que les capteurs piézorésistifs.

Sommaire

1.	Introduction	6
1.1.	contexte et objectifs	6
2.	Revue de la documentation	7
2.1.	Options autres	7
2.2.	Types de pinces	7
2.3.	Types de Capteurs	8
2.4.	Solution envisagée.....	8
3.	Méthodologie de travail	10
4.	Processus de conception	12
4.1.	Conception de la pince de type FinRay	12
4.2.	Conception de l'adaptateur pour le préhenseur 2f-140.....	13
4.3.	Conception de la matrice de force piezorésistive	14
a.	tests préliminaire.....	14
b.	test de grosseur du capteur.....	15
c.	Test sur l'isolant du capteur.....	16
d.	ajout d'amplificateur.....	18
5.	Interprétations des résultats et Discussion	21
6.	Conclusion et recommandations	23
7.	Annexe I.....	24
7.1.	Brève analyse des principales difficultés rencontrée	24
7.2.	Résistance et caractéristiques des capteurs testés	26
7.3.	Programme et bibliothèques créés	27
8.	Annexe II	31
8.1.	Caractéristiques du vélostats	31
8.2.	Types de pinces rigides	31
8.3.	Types de pinces flexibles.....	32

8.4. Types de capteurs	33
9. Bibliographie.....	34

Table des illustrations

Figure 1: finray modele 1	12
Figure 2: finray modele 2.....	12
Figure 3: Finray arbre modele 1.....	12
Figure 4: finray arbre modele 2	12
Figure 5: adaptateur 2F-140.....	13
Figure 6: adaptateur 2f-140 monté.....	13
Figure 7: configuration des capteurs.....	14
Figure 8 : montage de test du capteur	15
Figure 9: résultat d'application d'une grande force pour obtenir la résolution maximale du capteur	15
Figure 10: Essai avec Isolant transparent.....	26
Figure 11: Essai avec isolant électrique #1	26
Figure 12: Essai avec isolant papier.....	26
Figure 13: Essai avec isolant électrique #2	26

Table des tableaux

Tableau 1: Tests sur les isolants.....	26
Tableau 2: variation de la Résistance (ohms) selon la force appliquée (N.).....	17
Tableau 3: variation de la tension (V) selon la force appliquée (N.).....	20
Tableau 4: général, difficultés et solutions	24
Tableau 5: Pinces, difficultés rencontrées et solution.....	24
Tableau 6: Capteurs, difficultés et solutions.....	24
Tableau 7: Avantages et inconvénient des pinces rigides.....	31
Tableau 8: Avantages et inconvénient des pinces flexibles.....	32
Tableau 9: Avantages et inconvénients des Capteurs retenus	33

1. INTRODUCTION

Dans le monde de la robotique, plusieurs types de pinces et de capteurs existent. Dans ce document ayant pour objectif d'améliorer le préhenseur robotique du robot de Capra, plusieurs sujets seront abordés. Premièrement il y aura une brève mise en contexte. Par la suite, une revue de documentation et quelques tests seront présentés. Pour finir, il y aura une conclusion et une présentation des prochaines étapes du projet.

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Durant les compétitions précédentes, le club Capra a fait plusieurs réalisations par rapport aux choses à améliorer sur leurs robots. Ils en ont conclu qu'il serait pertinent d'avoir un certain retour en force sur le bras robotique pour les raisons qui suivent :

- Durant les épreuves, à distance, il est **difficile de savoir si un objet est bien manipulé** seulement grâce à une caméra située sur le poignet.
- Le robot **n'arrive pas à ouvrir des portes** avec poignées rondes et à de la difficulté à les ouvrir avec une poignée à levier, car il ne sait pas comment se placer pour obtenir des forces égales sur chaque point de contact. C'est pourquoi les forces appliquées sur des objets statiques sont inégales et rendent la prise instable.
- Le préhenseur actuel n'arrive pas à savoir si une plus grande force peut être appliqué sans que l'objet se déforme. **Sa force de préhension est statique** et doit être ajustée manuellement dans le code.
- Certaines épreuves impliquent de prendre des **objets ronds ou sphériques**
- Certaines épreuves impliquent de **ne pas dépasser une certaine force** quand un bouton est appuyé (Armanini *et al.*, 2021)

Puisque le budget ne permet pas à l'équipe de s'équiper d'un nouveau bras collaboratif ou d'acheter un nouveau préhenseur, le mandat concédé est de modifier le préhenseur actuel « 2f-140 robotiq » de façon à résoudre la majorité des problèmes mentionnés ci-haut.

2. REVUE DE LA DOCUMENTATION

Dans cette section, les choses seront présentées selon un certain ordre, pour simplifier la présentation. Par exemple le type de pince est présenté avant les types de capteurs, car ceux-ci seront choisis en fonction de la pince.

2.1. OPTIONS AUTRES

Une certaine confrontation entre différentes options a été considérée avant d'aller plus loin dans la recherche.

Une option était d'ajouter un **capteur de couple** sur le bras actuel, mais le budget alloué est relativement petit et le fait d'ajouter ce capteur ne permet pas de prendre des objets de formes irrégulières.

Une autre option était d'équiper le bras de **jauges de contraintes** pour observer la flexion du bras, mais cela n'aide pas le robot à pouvoir ouvrir des portes à poignées rondes et à pouvoir prendre des objets de forme irrégulière.

2.2. TYPES DE PINCES

Dans l'industrie plusieurs types de pinces sont utilisées, elles ont chacune leurs avantages et inconvénients. Puisque le préhenseur actuel ne possède que 2 doigts, les options sont largement réduites. Ces options sont classées sous 2 catégories clés, les embouts **rigides** et les embouts **flexibles**. Différents avantages et inconvénient sont notés en Annexe.

L'un des choix rigides préconisés est un design comme celui étudié par (Alqasemi, Mahler et Dubey, 2007), car le robot doit être en mesure d'ouvrir des portes avec un préhenseur à 2 doigts. Puisque le club désire avoir une certaine versatilité dans la préhension d'objet, il est préférable d'aller vers un préhenseur flexible.

La pince choisie est la pince flexible fonctionnant grâce à l'**effet fin Ray** dont l'analyse cinétostatique est expliquée dans les papiers de (Shan et Birglen, 2020). Cette solution offre une forme qui peut s'adapter aux **2 types de poigné** demandés (ronde et à levier). Cette solution peut aussi permettre de **prendre des objets d'une forme différente et irrégulière**. Une étude sur

l'effet du nombre de barres transversales du modèle et de leurs angles sur la force appliquée a été faite par (Armanini *et al.*, 2021). Ce design est revisité par (Yao, Fang et Li, 2023), pour tester différentes structures internes et l'effet du changement de leurs paramètres.

2.3. TYPES DE CAPTEURS

Puisque la pince choisie est flexible, les capteurs doivent être flexibles pour conserver les propriétés. Les capteurs cités à l'Annexe II ont su retenir l'attention, car ils possèdent tous des caractéristiques désirées (léger, flexible, peu coûteux). Le choix du capteur qui sera utilisé fut un choix difficile entre les jauges de contraintes en matrice et les capteurs piézorésistifs. Les informations à propos de ces capteurs en relation avec les pinces flexibles furent difficiles à trouver. Voici un résumé des caractéristiques principales des capteurs à faible coût considérés :

TABLEAU 1: CAPTEURS CONSIDERES POUR LA PINCE

	Jauge de contrainte	Capteurs résistifs	Capteur piezorésistifs (vélostat)
précision	++	+	+
sensibilité	+	-	+
Coût	+	-	-
Réponse dynamique	-	-	++

Malgré le fait que les jauges de contraintes possèdent une meilleure précision et une relativement bonne sensibilité, les **capteurs piézorésistifs** seront choisis pour la première phase de tests grâce à leurs faibles coûts. De plus, à première vue, le circuit d'acquisition semble plus simple que celui des jauges de contraintes, car il ne nécessite pas d'amplification, le capteur et le circuit qui sera utilisé est inspiré de (Arduino & Co, 2018). (Hopkins, Vaidyanathan et McGregor, 2020) est aussi un bon exemple pour la configuration des capteurs. La précision et la répétabilité est également abordé dans (Hopkins, Vaidyanathan et McGregor, 2020) et (Dzedzickis *et al.*, 2020).

2.4. SOLUTION ENVISAGÉE

La solution envisagée est l'ajout d'une pince de type « **Fin Ray** » imprimé en 3D avec du TPU95A. Cette pince sera munie d'une matrice de capteur **piézorésistifs** conçu à l'aide de Polyéthylène-Carbon composite (VeloStat®) et de fils de cuivre. Pour faire l'acquisition des

données de la pince, un **esp32** sera utilisé, car il possède beaucoup d'entrées analogiques et un petit format. Un **multiplexeur** sera aussi utilisé afin de pouvoir lire plus d'entrées analogiques

3. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

1) Concevoir et tester la pince

Matériel : Logiciel CAO, imprimante 3D, TPU95A, PETG, Mark-10.

- a. Dessiner le modèle à imprimer avec un logiciel CAO
- b. Imprimer en 3D en TPU95A et noter les paramètres d'impression
- c. Concevoir un support et l'imprimer en PETG ou en PLA pour la pince afin de la tester sur le banc de tests.
- d. Vérifier si la pince arrive à supporter 5Kg en utilisant le mark-10 disponible en laboratoire.
- e. Modifier des paramètres en se référant à (Yao, Fang et Li, 2023) jusqu'à ce que le résultat soit satisfaisant. (Déformation et force maximale)

2) Concevoir et tester les capteurs

Matériel : Multimètre, Vélostat (8.1), Ruban adhésif en cuivre, fil d'alimentation, isolants, Mark-10.

- a. Tester la résistance maximale et minimale du capteur selon sa grosseur pour une force appliquée des 5 kg.
- b. Utiliser le mark-10 pour connaître la courbe de force appliquée sur le capteur selon différentes grosseurs et différents capteurs piézorésistifs. La résistance maximale et minimale sera importante pour la conception du circuit.
- c. Reporter les faiblesses et les points forts du capteur sortant de ce test. (Précision, hystérésis)
- d. Faire des tests de Répétabilité en appuyant instantanément une même force plusieurs fois. Ce test permettra de connaître plusieurs autres caractéristiques (écart type, exactitude)

3) Concevoir et tester le circuit électronique

Matériel : plaquette de prototypage, fils, amplificateur MCP6004, potentiomètre, Arduino due (pour les tests).

- a. Calculer la résolution du capteur sans amplificateur.

- b. Calculer les résistances nécessaires au circuit d'amplification et choisir un potentiomètre servant à ajuster le gain du circuit
- c. Trouver et commander les composants (amplis, potentiomètre et résistances).
- d. Ajouter les capteurs au circuit et ajuster le gain de façon à optimiser la résolution du capteur (voir ajout d'amplificateur).
- e. Faire la programmation orientée objet nécessaire à l'acquisition et au traitement des données de plusieurs capteurs. (Voir Programme et librairies créées en Annexe I)
- f. Faire des graphiques de tension de sortie en fonction de la force appliquée et noter les caractéristiques.

4) **Tester l'ensemble.**

Matériel : pince choisie, capteurs, circuit électronique, Arduino due, Programmes de tests.

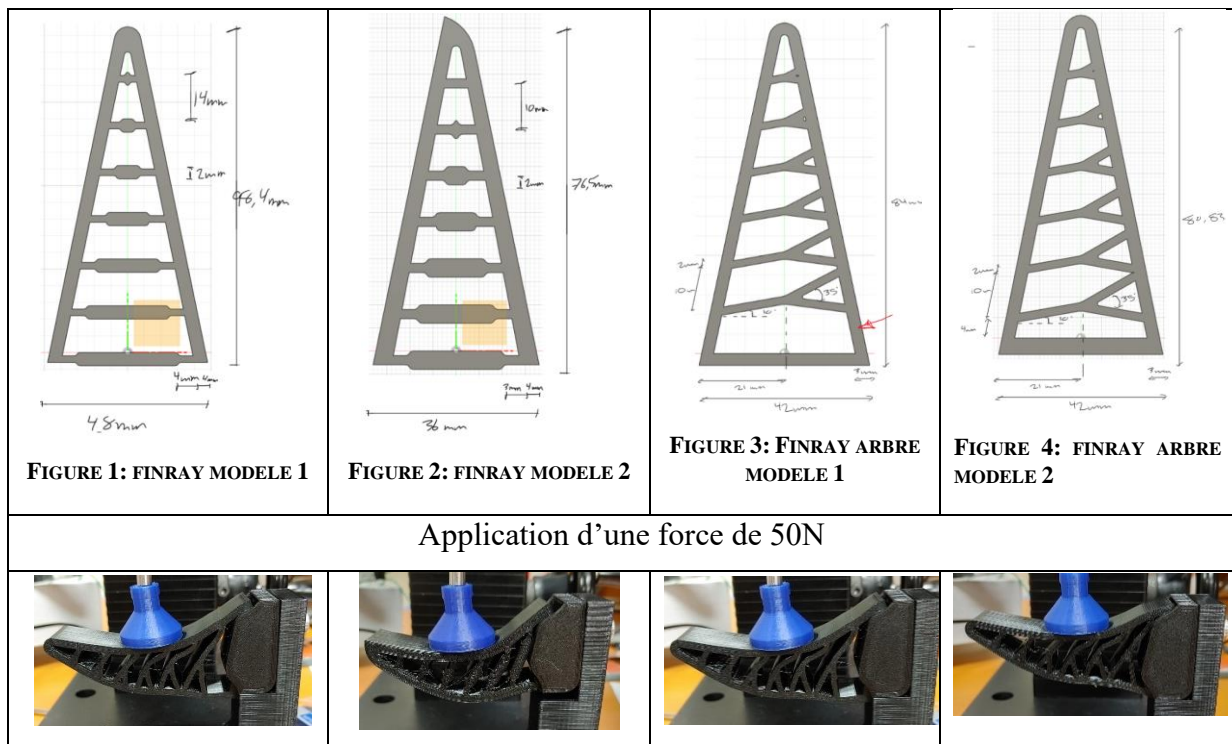
- a. Assembler les capteurs sur la pince comme dans la Figure 7
- b. Faire des graphiques de la courbe de force en fonction de la résistance des capteurs
- c. Faire des graphiques de la courbe de force en fonction de la tension à la sortie du circuit d'amplification
- d. Modifier le programme pour qu'il retourne des forces et non des voltages selon la pression sur la pince.

4. PROCESSUS DE CONCEPTION

4.1. CONCEPTION DE LA PINCE DE TYPE FINRAY

Le premier test (figure1) fut réalisé en m'inspirant du modèle à la figure 1 des papiers de (Shan et Birglen, 2020) mais le modèle semble trop grand et trop flexible pour être capable de prendre une masse de 5Kg.

Le modèle a donc été modifié pour ressembler à celui dans la Figure 2. En réduisant l'espacement de la structure interne et la largeur, le modèle est en mesure de résister à une plus grande force appliquée. Un problème reste que le bout de la pince réagit moins bien que le premier modèle. En relisant l'article de (Yao, Fang et Li, 2023) et celui de (Shan et Birglen, 2020), je me suis rendu compte que le profil de la largeur de la pince est plutôt trapézoïdal tandis que celui qui a été testé est rectangulaire. Cela a probablement pour effet de réduire la rigidité de l'extrémité, ce qui est actuellement un problème. De plus, en relisant la conclusion de (Yao, Fang et Li, 2023), j'ai décidé de démarrer une **nouvelle série de tests** avec la **structure en arbre** pour optimiser la force applicable en fonction de la déformation.



La Figure 3 est inspirée du modèle en arbre fait par (Yao, Fang et Li, 2023). En l'observant et en manipulant la pince, il est possible de voir une faiblesse au dos de la pince (là où est dessinée une flèche rouge). Lorsqu'une force est appliquée sur la pince, une grande partie de la force est transmise à cet endroit. C'est pourquoi dans la Figure 4, ce problème a été ajusté.

Le Tableau 6 démontre les difficultés et solutions aux problèmes rencontrés durant la conception.

4.2. CONCEPTION DE L'ADAPTATEUR POUR LE PRÉHENSEUR 2F-140

Puisque le modèle de la pince 2F-140 est disponible sur le web, il a été relativement facile de concevoir un adaptateur. Voici le modèle qui a été conçu :

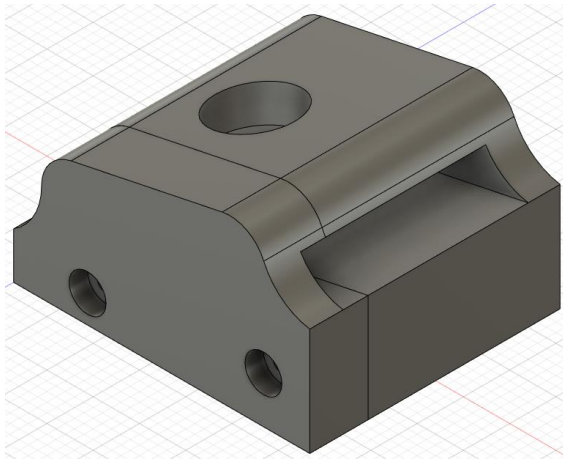


FIGURE 5: ADAPTATEUR 2F-140

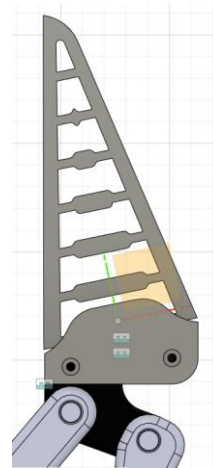


FIGURE 6: ADAPTATEUR 2F-140 MONTE

Ce modèle **devra probablement être modifié**, car si des forces en Z sont appliquées, la base de la pince a tendance à se tordre dans ce sens.

4.3. CONCEPTION DE LA MATRICE DE FORCE PIEZORÉSISTIVE

a. TESTS PRÉLIMINAIRE

L'idée initiale est de faire un capteur comme celui du tutoriel de (Arduino & Co, 2018) et de les placer en matrice.

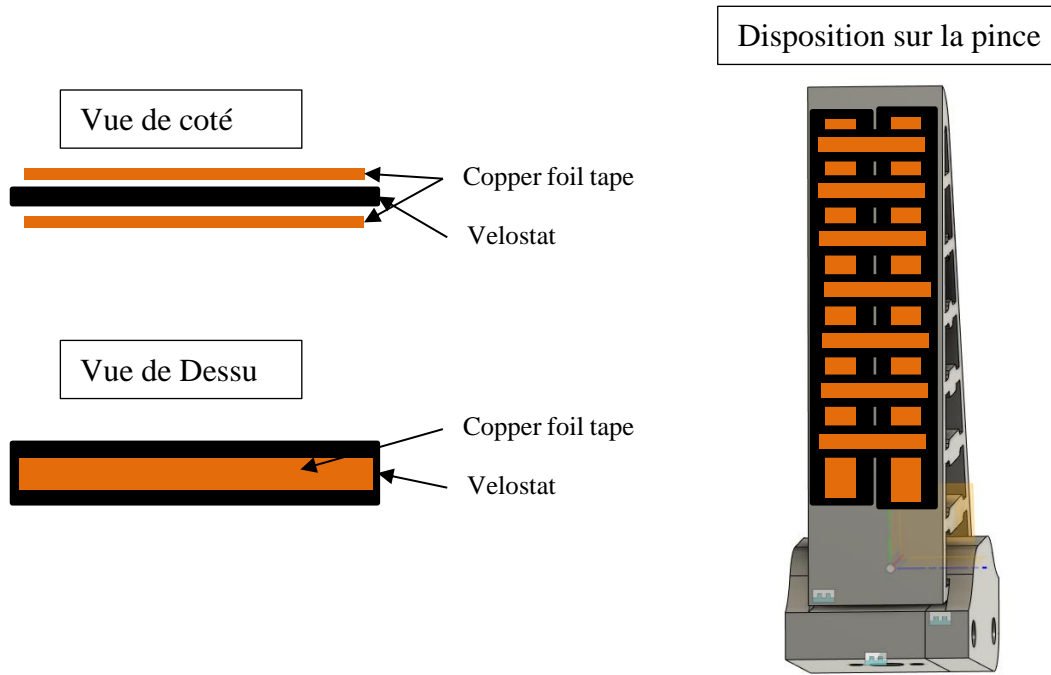


FIGURE 7: CONFIGURATION DES CAPTEURS

Un test a été fait avec seulement 1 capteur. voici les étapes à suivre inspirées de (Hopkins, Vaidyanathan et McGregor, 2020)

1. mesurer la résistance du morceau de vélostmat au repos
2. Mesurer la résistance du morceau de vélostmat a son maximum appuyé
3. Calculer la résistance du diviseur de tension pour optimiser la résolution du capteur

$$Vout_{max} = Vin * \frac{R2}{R1_{min} + R2}$$

$$Vout_{min} = Vin * \frac{R2}{R1_{max} + R2}$$

$$Range\ de\ la\ sortie = Vout_{max} - Vout_{min}$$

$$Resolution = \frac{1023 * Range\ de\ la\ sortie}{V_{in}}$$

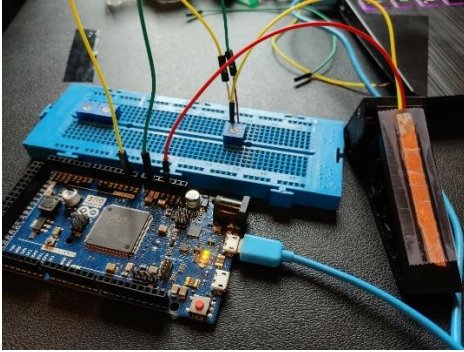


FIGURE 8 : MONTAGE DE TEST DU CAPTEUR

	Test
Dimension capteur	6,5x 1 cm
Résistance Capteur repos ($R1_{max}$)	150k Ω
Résistance Capteur appuyé ($R1_{min}$)	40k Ω
R2	80k Ω
Range de sortie	1.05 V
Résolution	326 bits

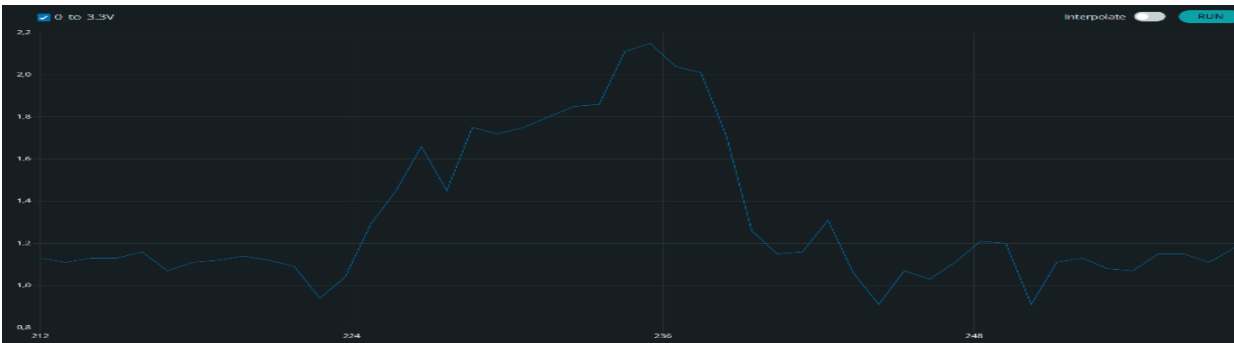


FIGURE 9: RESULTAT D'APPLICATION D'UNE GRANDE FORCE POUR OBTENIR LA RESOLUTION MAXIMALE DU CAPTEUR

Pour obtenir une meilleure plage de résolution du capteur, il serait possible de **modifier la référence de l'ADC** de l'Arduino à la valeur maximale retenue dans le graphique, comme démontré dans (ENGR TUTOR, 2022) ou de faire un circuit d'amplification. Cette méthode permettrait d'avoir une plus grande plage de résolution avec le capteur.

b. TEST DE GROSSEUR DU CAPTEUR

Le test consiste à appuyer sur le capteur jusqu'à ce que la valeur de la résistance se stabilise ou semble atteindre un plateau.

Le test a été fait avec différentes grosseurs d'appui et 2 capteurs possédant une aire différente. Les capteurs possèdent la même largeur, soit 1cm.

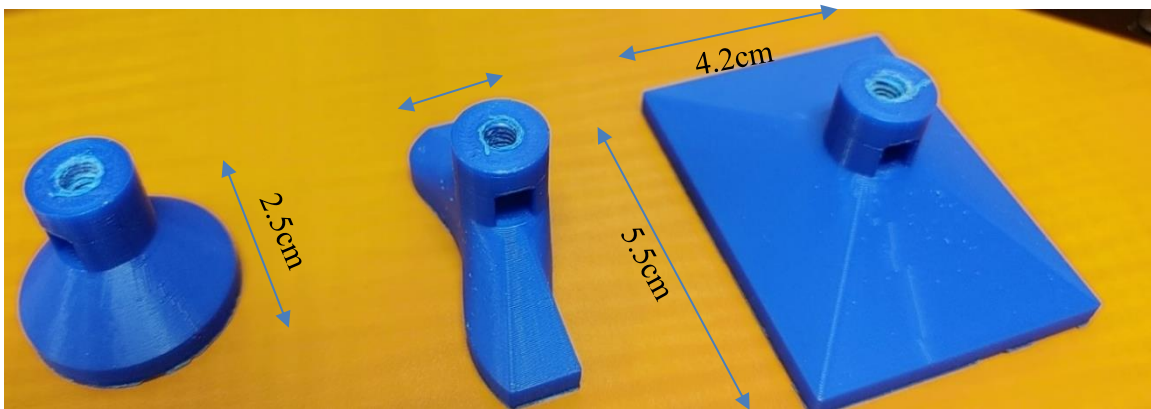
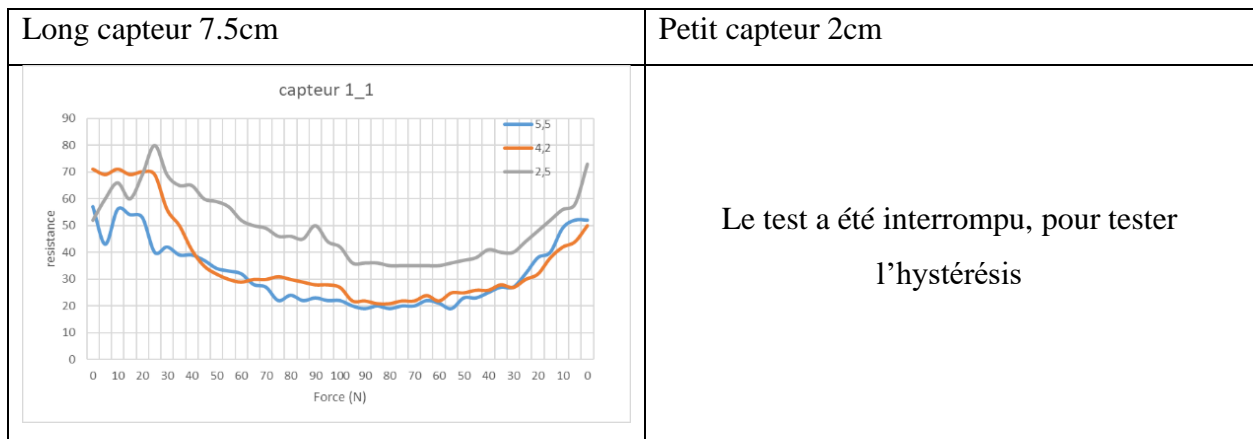


FIGURE 10: OBJETS UTILISES POUR APPUYER UNE FORCE

Un seul test a été fait, car les capteurs étaient non-répétable et variaient beaucoup trop :

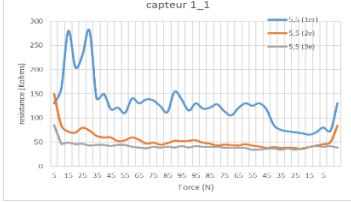
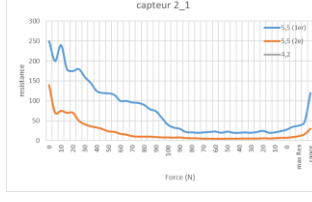
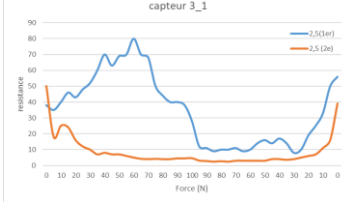
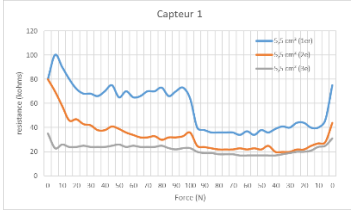
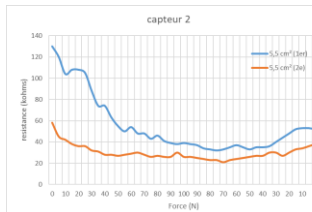
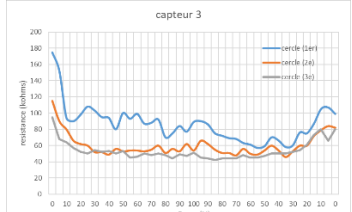


c. TEST SUR L'ISOLANT DU CAPTEUR

Pour s'assurer que la variation ne provient pas seulement de l'isolation du capteur, des tests ont été faits avec plusieurs isolants. Le Tableau 8 résume tous les tests effectués.

Puisque l'isolant adhésif papier et l'isolant électrique ont des résultats semblables, une série de tests a été performée sur chacun d'eux. Le test consiste à faire une courbe de force du capteur en débutant de 0N jusqu'à 100N et ensuite de revenir à 0N. Ce test aura pour effet de visualiser la variation de mesure des capteurs. Ce test sera répété 2 ou 3 fois pour éviter les erreurs de mesure.

TABEAU 2: VARIATION DE LA RESISTANCE SELON LE TYPE D'ISOLANT

Isolant ruban adhésif papier			
Grands capteurs		Petits capteurs	
			<p>Au moment de faire les tests, le capteur est passé à 6Mohms</p>
Isolant ruban adhésif d'électricien			
Grands capteurs		Petits capteurs	
			<p>Au moment de faire les tests, le capteur est passé à 2Mohms</p>

Dans le Tableau 2 il est possible d'observer que les capteurs réagissent de manière complètement différente face à une même force appliquée et qu'ils ne sont pas du tout répétables. Il est aussi possible de confirmer que le petit capteur atteint plus rapidement la stabilité que le grand.

Quelques jours plus tard, lors de l'implémentation des capteurs à isolation ruban adhésif d'électricien dans le circuit, la valeur maximale de la résistance du capteur 2 et 3 n'était plus la même. Le capteur 2 semble être resté à la valeur de son 2^e essai et le capteur 3 est devenu très instable et possédait une résistance entre 2Mohms et 35 MOhms.

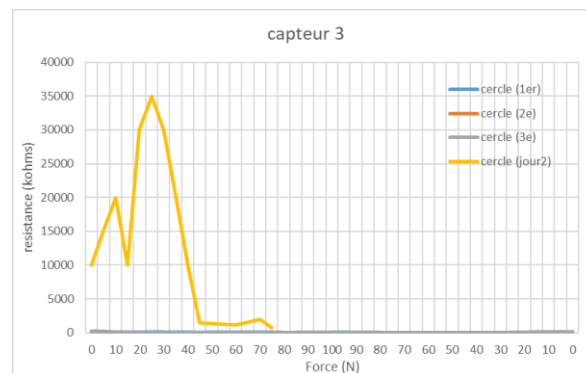
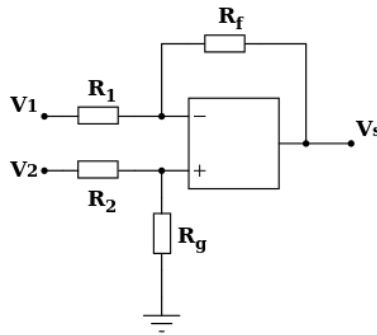


FIGURE 11: COURBE DU CAPTEUR 3 QUI SEMBLE DEFECTUEUX

d. AJOUT D'AMPLIFICATEUR

Selon mes connaissances, il est possible de faire 2 types de circuits à l'aide d'ampli-op pour amplifier notre signal et les 2 ont des avantages et inconvénients.

Le premier un circuit en mode amplificateur différentiel qui permet d'amplifier simplement le signal pour que la valeur maximale soit de 3,3V. La valeur minimale dépend de la résistance au diviseur de tension choisis



https://fr.wikipedia.org/wiki/Montages_de_base_de_l%27amplificateur_op%C3%A9rationnel

Le deuxième est un circuit possédant 2 inverseurs. Le premier inverseur ajoute un offset au centre de la plage de valeur (1,5V) en ajoutant un gain de 1,5 à 3,3V et le 2^e inverseur s'occupe du gain en dessous de 3,3V. Ce circuit est légèrement plus complexe, mais il permet d'amplifier le signal dans les 2 sens. Son plus grand défaut est qu'il nécessite une alimentation positive et négative alors qu'elle n'est pas disponible sur le Arduino.

Le circuit choisi est celui possédant un seul non-inverseur, car il est plus simple, nous possédons seulement une alimentation positive et la tâche demandée ne nécessite pas une très grande optimisation de la résolution.

Pour connaître les résistances à ajouter à notre circuit d'amplification, il faut les calculer en fonction des paramètres désirés : la tension d'alimentation, la valeur de sortie maximale (V_{omax}), la valeur du capteur au repos ($R1_{max}$), sa valeur appuyée ($R1_{min}$) et la valeur du diviseur de tension (V_{odiv}).

En se fiant aux valeurs obtenues durant la conception du capteur de force :

$$r_f = \left(\frac{v_{omax}}{v_{odiv}} * R_{1min} \right) - R_{1min} = 1088000 \text{ Ohms}$$

Avec une tension de $V_{odiv} = 0.1V$ à la pin positive de l'ampli-op, nous obtenons une tension de sortie minimale de :

$$v_{omin} = \frac{r_{1max} + R_f}{R_{1max}} * V_{odiv} = 1.188V$$

Nous possédons donc une plage de données allant de 1.188V à 3,3V. Il est possible d'augmenter cette plage de données en diminuant V_{odiv} , mais cela a pour effet d'augmenter R_f . Nous ne voulons pas trop augmenter R_f , car la valeur se rapprocherait de l'impédance d'entrée de l'ampli-op.

Le circuit qui sera utilisé pour les prochains tests se fie sur la valeur R_{max} mesurée avant le test.

TABLEAU 3: VALEURS R_{MAX} OBTENUES AVANT LE TEST SUR LA TENSION DE SORTIE

	surface appuy	R_{max} (0N)	R_{min} (100N)	deltaR	R_f	V_{omin}	Resolution
capteur 1	grand	135	65	70	2080	1,64074074	514,37037
capteur 2	grand	64	30	34	960	1,6	527
capteur 3	petit	35000	98	34902	3136	0,10896	989,2224
capteur 4	petit	2000	560	1440	17920	0,996	714,24

Note : Puisque la valeur R_{max} a énormément changé pour le capteur 3 et 4, il faudrait reprendre la mesure de R_{min} pour trouver R_f .

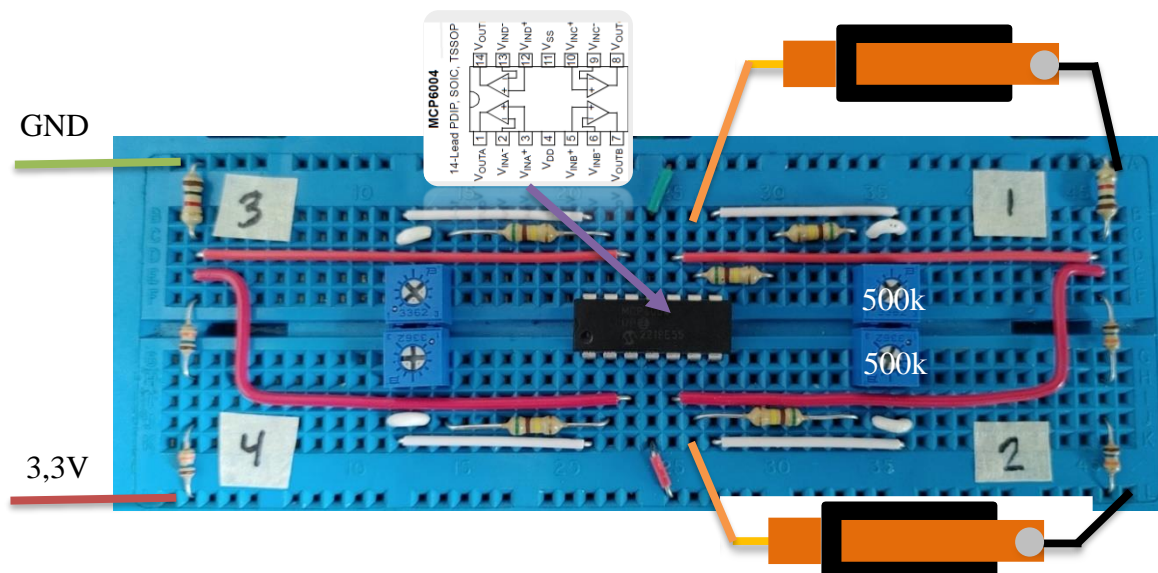


FIGURE 12: CIRCUIT UTILISE POUR MESURER LA TENSION EN FONCTION DE LA FORCE

Note : ans le circuit de la Figure 12, R_f du capteur 3 et 4 ne sont pas ajusté selon les valeurs obtenues au Tableau 3.

TABLEAU 4: VARIATION DE LA TENSION (V) SELON LA FORCE APPLIQUEE (N)

Grands capteurs	
<p>capteur 1</p>	<p>capteur 2</p>
Petits capteurs	
<p>La résistance du capteur a augmenté à 2Mohms, il faut modifier le circuit afin de bien mesurer</p>	<p>4</p>

5. INTERPRÉTATIONS DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pinces

Plusieurs modèles de pince ont été conçus en ajustant des paramètres incrémentalement. Comme mentionné par (Yao, Fang et Li, 2023), pour les mêmes dimensions, la structure en arbre résiste beaucoup mieux aux forces appliquées, surtout lorsqu'il est temps d'appliquer une force loin de la base de la pince.

Dans un futur rapproché, il serait possible, même très intéressant de faire une version des pinces en arbre moulé ayant comme squelette des lamelles métalliques et comme corps, un gel se comportant comme le tpu95A. Cela permettrait d'intégrer les capteurs directement dans la pince afin d'éviter les chances de bris et d'accrochage des fils conducteurs.

Capteurs

Selon les tests qui ont été faits, le matériel Vélostat est un matériel qui possède des caractéristiques variables. Sa résistivité varie beaucoup selon l'échantillon utilisé. Comme mentionné par (Dzedzickis *et al.*, 2020), le matériel est peu répétable et possède une très grande hystérésis. La figure 6 dans l'article de (Lacasse, Duchaine et Gosselin, 2010), démontre une courbe typique pour ce type de capteur.

De plus, un phénomène quelconque fait en sorte que sa résistance augmente énormément d'un moment à un autre. Comme proposé par (Lacasse, Duchaine et Gosselin, 2010), il est possible que cette augmentation soit reliée à un bris réversible de la structure interne du matériel. En se compressant, les structures conductrices s'éloignent. Dans notre cas, il semble que ce soit en retrouvant son repos que les particules s'éloignent.

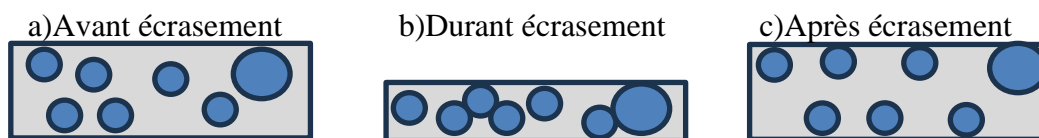


FIGURE 13: HYPOTHESE POUR LE PROBLEME

Selon les tests qui ont été faits, la variation durant la mesure ne semble pas être causée par le type d'isolant. Il n'est tout de même pas impossible que les 2 isolant adhésifs et que le ruban adhésif en cuivre utilisé introduit un bruit considérable en se décollant de la surface. Pour

vérifier que ce n'est pas ce phénomène, il serait possible de faire d'autres capteurs qui mesurent la résistance sur la longueur du capteur et non sur son épaisseur. Le problème reste que dans ce cas, la résistance serait beaucoup plus grande pour une grande surface. Le capteur serait donc moins adapté au circuit.

Circuit

Puisque le matériel piézorésistifs ne possède pas une résistance constante en fonction de sa surface, il est extrêmement difficile de concevoir un circuit adapté, car les valeurs fluctuent. De plus, à cause de ces fluctuations dans les capteurs, il serait préférable de faire un montage qui utilise 2 ampli-op en mode inverseur, cela malgré le fait qu'il nécessite une alimentation négative.

Ensemble

Lorsque tout est assemblé, puisque la pince est flexible, elle a pour effet d'aplatir la courbe de tension de sortie des capteurs piézorésistifs (Tableau 4), ce qui fait en sorte que la mesure est encore plus difficile à lire et à interpréter. Pour éviter d'aplatir la courbe du capteur, il faudrait le mettre au dos de la pince en mesurant son étirement, mais dans ce cas, la jauge de contrainte est mieux adaptée et plus précise.

6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Bref les objectifs de projet étaient de concevoir une pince qui est adaptée pour l'ouverture de portes, qui peut prendre des objets ronds et des objets de 5Kg. Cette pince doit aussi permettre de savoir la force qui est appliquée et approximativement l'endroit de l'application.

La pince a été conçue pour être capable de prendre des objets de 5 kg et être capable d'ouvrir des portes, peu importe le type de poigné. Il est à noter que pour l'optimisation de la pince, certains tests peuvent être faits. Par exemple il serait important de tester le coefficient de friction et d'ajouter une protection pour recouvrir les capteurs. Malheureusement, la pince actuelle n'arrive pas à reconnaître la force appliquée par un objet sur la pince, car les capteurs qui ont été testés possèdent une grande incertitude, leurs valeurs lues varient beaucoup et ont une grande hystérésis.

Plusieurs pistes peuvent être suivies pour améliorer le projet. La première chose à faire serait de faire des tests avec une jauge de contrainte triaxiale aussi appelée jauge de contrainte en rosette. L'utilisation d'une jauge de contrainte permettrait de connaître la force exercée en caractérisant la déformation en flexion et en torsion. Il serait aussi nécessaire de faire un circuit optimisé et adapté aux jauges de contraintes.

7. ANNEXE I

7.1. BRÈVE ANALYSE DES PRINCIPALES DIFFICULTÉS RENCONTRÉE

TABLEAU 5: GENERAL, DIFFICULTES ET SOLUTIONS



Général	
Difficulté	Solution
Manque de connaissances dans le domaine	-Prendre beaucoup plus de temps pour faire de la recherche. -Utiliser Google scholar et remonter les sources d'un article intéressant

TABLEAU 6: PINCES, DIFFICULTES RENCONTREES ET SOLUTION

Conception de la pince	
Difficulté	Solution
Choix des dimensions de la pince	-M'inspirer d'un modèle utilisé dans une étude et le modifier pour obtenir les caractéristiques que je veux.
L'adaptateur réagit mal aux forces perpendiculaires	TBC

TABLEAU 7: CAPTEURS, DIFFICULTES ET SOLUTIONS

Conception des capteurs		
Difficulté	Causes possibles	Solution
Choix du capteur (beaucoup de ressemblances dans les avantages et inconvénients)		-Commander le Velostat pour faire des tests et voir s'il me convient réellement.
Conception du circuit utilisé avec le Velostat		-Voir plus d'exemples en lignes.
Résolution du capteur trop basse	Différence entre la résistance maximale et la	Faire un circuit d'amplification.

	résistance minimale trop basse	
La lecture de la résistance du capteur varie extrêmement	Mauvaise isolation du capteur. Si l'isolant n'isole pas bien, la résistance a tendance à augmenter quand la pression appliquée augmente.	<p>Tester différents isolants :</p> <ul style="list-style-type: none"> -ruban adhésif (mauvais) -ruban adhésif électrique (semble trop flexible et déforme le capteur) -ruban adhésif de style papier (semble bien isoler jusqu'à un certain point)
	Erreur de conception (le courant prend le plus court chemin)	<p>-Mettre l'entrée a une extrémité et la lecture analogique a l'autre extrémité</p> 
La surface du capteur utilisé n'est pas optimale	Les soudures bloquent la flexion du capteur	<p>Agrandir le ruban en cuivre de chaque côté</p> 
Les capteurs possèdent une page de donnée valeurs qui varient beaucoup.	???	Faire plusieurs capteurs pour tenter d'obtenir des valeurs qui se rapprochent de la valeur désirée.

7.2. RÉSISTANCE ET CARACTÉRISTIQUES DES CAPTEURS TESTÉS

TABLEAU 8: TESTS SUR LES ISOLANTS

<table><tr><th colspan="4">Ruban adhesif transparent</th></tr><tr><th colspan="4">Grand capteur</th></tr><tr><th colspan="4">Valeurs mesuré</th></tr><tr><th></th><th>surface appuyé (cm²)</th><th>Rmax (0N)</th><th>Rmin (100N)</th></tr><tr><td>capteur 0</td><td>5,5</td><td>180</td><td>550</td></tr></table> <p>FIGURE 14: ESSAIE AVEC ISOLANT TRANSPARENT</p>	Ruban adhesif transparent				Grand capteur				Valeurs mesuré					surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)	capteur 0	5,5	180	550	<p>-Non fonctionnel</p> <p>-Capteur non adapté à la pince</p>																												
Ruban adhesif transparent																																																	
Grand capteur																																																	
Valeurs mesuré																																																	
	surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)																																														
capteur 0	5,5	180	550																																														
<table><tr><th colspan="4">Ruban adhesif d'electricien</th></tr><tr><th colspan="4">Grand capteurs</th></tr><tr><th colspan="4">Valeurs mesuré</th></tr><tr><th></th><th>surface appuyé (cm²)</th><th>Rmax (0N)</th><th>Rmin (100N)</th></tr><tr><td>capteur 1</td><td>5,5</td><td>57</td><td>19</td></tr><tr><td>capteur 2</td><td>5,5</td><td>250</td><td>20</td></tr><tr><th colspan="4">Petits capteurs</th></tr><tr><th colspan="4">Valeurs mesuré</th></tr><tr><th></th><th>surface appuyé (cm²)</th><th>Rmax (0N)</th><th>Rmin (100N)</th></tr><tr><td>capteur 3</td><td>2,5</td><td>80</td><td>8</td></tr></table> <p>FIGURE 15: ESSAIE AVEC ISOLANT ELECTRIQUE #1</p>	Ruban adhesif d'electricien				Grand capteurs				Valeurs mesuré					surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)	capteur 1	5,5	57	19	capteur 2	5,5	250	20	Petits capteurs				Valeurs mesuré					surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)	capteur 3	2,5	80	8	<p>-Fonctionnel</p> <p>-Capteur non adapté à la pince</p>								
Ruban adhesif d'electricien																																																	
Grand capteurs																																																	
Valeurs mesuré																																																	
	surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)																																														
capteur 1	5,5	57	19																																														
capteur 2	5,5	250	20																																														
Petits capteurs																																																	
Valeurs mesuré																																																	
	surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)																																														
capteur 3	2,5	80	8																																														
<table><tr><th colspan="4">Ruban adhesif papier</th></tr><tr><th colspan="4">Grand capteurs</th></tr><tr><th colspan="4">Valeurs mesuré</th></tr><tr><th></th><th>surface appuyé (cm²)</th><th>Rmax (0N)</th><th>Rmin (100N)</th></tr><tr><td>capteur 4</td><td>2,5</td><td>90</td><td>70</td></tr><tr><td>capteur 5</td><td>2,5</td><td>25</td><td>22</td></tr><tr><th colspan="4">Petits capteurs</th></tr><tr><th colspan="4">Valeurs mesuré</th></tr><tr><th></th><th>surface appuyé (cm²)</th><th>Rmax (0N)</th><th>Rmin (100N)</th></tr><tr><td>capteur 6</td><td>2,5</td><td>76</td><td>40</td></tr><tr><td>capteur 7</td><td>2,5</td><td>220</td><td>93</td></tr><tr><td>capteur 8</td><td>2,5</td><td>2200</td><td></td></tr></table> <p>FIGURE 16: ESSAIE AVEC ISOLANT PAPIER</p>	Ruban adhesif papier				Grand capteurs				Valeurs mesuré					surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)	capteur 4	2,5	90	70	capteur 5	2,5	25	22	Petits capteurs				Valeurs mesuré					surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)	capteur 6	2,5	76	40	capteur 7	2,5	220	93	capteur 8	2,5	2200		<p>-Fonctionnel</p> <p>-Capteur adapté à la pince</p>
Ruban adhesif papier																																																	
Grand capteurs																																																	
Valeurs mesuré																																																	
	surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)																																														
capteur 4	2,5	90	70																																														
capteur 5	2,5	25	22																																														
Petits capteurs																																																	
Valeurs mesuré																																																	
	surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)																																														
capteur 6	2,5	76	40																																														
capteur 7	2,5	220	93																																														
capteur 8	2,5	2200																																															
<table><tr><th colspan="4">Ruban adhesif Électrique</th></tr><tr><th colspan="4">Grand capteurs</th></tr><tr><th colspan="4">Valeurs mesuré</th></tr><tr><th></th><th>surface appuyé (cm²)</th><th>Rmax (0N)</th><th>Rmin (100N)</th></tr><tr><td>capteur 1</td><td>5,5</td><td>100</td><td>34</td></tr><tr><td>capteur 2</td><td>5,5</td><td>130</td><td>32</td></tr><tr><th colspan="4">Petits capteurs</th></tr><tr><th colspan="4">Valeurs mesuré</th></tr><tr><th></th><th>surface appuyé (cm²)</th><th>Rmax (0N)</th><th>Rmin (100N)</th></tr><tr><td>capteur 3</td><td>2,5</td><td>175</td><td>57</td></tr><tr><td>capteur 4</td><td>2,5</td><td>2000</td><td>500</td></tr></table> <p>FIGURE 17: ESSAIE AVEC ISOLANT ELECTRIQUE #2</p>	Ruban adhesif Électrique				Grand capteurs				Valeurs mesuré					surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)	capteur 1	5,5	100	34	capteur 2	5,5	130	32	Petits capteurs				Valeurs mesuré					surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)	capteur 3	2,5	175	57	capteur 4	2,5	2000	500	<p>-Fonctionnel</p> <p>-Capteur adaptés à la pince</p>				
Ruban adhesif Électrique																																																	
Grand capteurs																																																	
Valeurs mesuré																																																	
	surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)																																														
capteur 1	5,5	100	34																																														
capteur 2	5,5	130	32																																														
Petits capteurs																																																	
Valeurs mesuré																																																	
	surface appuyé (cm²)	Rmax (0N)	Rmin (100N)																																														
capteur 3	2,5	175	57																																														
capteur 4	2,5	2000	500																																														

7.3. PROGRAMME ET LIBRAIRIES CRÉÉS

```
/*
Écrit par: Maxime rolland
Date: 2023-08-12
But: Ce programme lit 4 capteurs et affiche leurs moyennes en volt
*/
#include <piezoSensors.h>

int nbLecture = 20;
piezoSensors sensor1(1,nbLecture,1.188,3.3);//long capteur
piezoSensors sensor2(2,nbLecture,0.887,3.3);//long capteur
piezoSensors sensor3(3,nbLecture,1.14,3.3);//petit capteur
piezoSensors sensor4(4,nbLecture,1.45,3.3);//petit capteur

//variable pour delai
const unsigned long delaiAffichage =100;
unsigned long previousTimeAffichage = 0;
const unsigned long delaiLecture = 10;
unsigned long previousTimeLecture = 0;

long valMap = 0;

void setup() {
  // initialize the serial communications:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  // read the value from the sensor:
  unsigned long timer = millis();
  //lecture des capteurs chaque 10 ms
  if (timer - previousTimeLecture >= delaiLecture) {

    sensor1.readMoyMob(nbLecture);
    sensor2.readMoyMob(nbLecture);
    sensor3.readMoyMob(nbLecture);
    sensor4.readMoyMob(nbLecture);

    previousTimeLecture = timer;
  }
  //affichage chaque 100ms
  if (timer - previousTimeAffichage >= delaiAffichage) {
    Serial.print("sensor1:");
```

```

Serial.print(sensor1.moyVolt);
//Serial.print(sensor1.moyPourcent);
Serial.print(",");
Serial.print("sensor2:");
Serial.print(sensor2.moyVolt);
//Serial.println(sensor2.moyPourcent);
Serial.print(",");
Serial.print("sensor3:");
Serial.println(sensor3.moyVolt);
//Serial.println(sensor3.moyPourcent);
Serial.print(",");
Serial.print("sensor4:");
Serial.println(sensor4.moyVolt);
//Serial.println(sensor4.moyPourcent);
//Update the timing for the next time around
previousTimeAffichage = timer;
}
}

```

```

/*
Écrit par: Maxime rolland
Date: 2023-08-12
But: le programme crée un objet appelé piezosensor ayant plusieurs caractéristiques.
Entête de piezoSensors.cpp,
*/
#ifndef piezoSensors_h
#define piezoSensors_h

#include "Arduino.h"

class piezoSensors {
public:
    //constructeur
    piezoSensors(int pin, int nbRead, float minVolt, float maxVolt); //(pin, nb de lecture max)
    // Destructeur
    ~piezoSensors();

    //fonctions
    float readValue(); //(tableau a remplir, pin de lecture)
    float readMoyMob(int nbRead); //(tableau a lire, nombre de lecture)
    float convertVolt(float value);
    float voltToPourcent(float value);
    float moyADC; //calcule dans readMoyMob
    float moyVolt; //calcule dans readMoyMob
    float moyPourcent; //calcule dans readMoyMob
    void init(int nbLecture); //execute plusieurs lectures pour modifier _minVolt

    //float convertN(float value); //TROUVER COMMENT (courbe calibration selon force et grosseur appuyé?)

```

```

private:
//valeurs choisis
int _pin;
float _minVolt;
float _maxVolt;

int _nbRead;
float _adcValue;
float* _readings; // Tableau pour stocker les lectures

int _grosueur; //en cm2//NOT USED
};

#endif

/*
Écrit par: Maxime rolland
Date: 2023-08-12
But: le programme crée un objet appelé piezosensor et fais des conversions
*/

#include "Arduino.h"
#include "piezoSensors.h"

piezoSensors::piezoSensors(int pin, int nbRead, float minVolt, float maxVolt){
    _pin = pin;
    _minVolt = minVolt;
    _maxVolt = maxVolt;
    _nbRead = nbRead;
    _readings = new float[_nbRead]; // Initialiser le tableau avec la taille _nbRead
}

piezoSensors::~piezoSensors() {
    delete[] _readings; // Libérer la mémoire allouée pour le tableau
}

/*****
Lecture de données provenant du arduino
*****/
float piezoSensors::readValue(){
    _adcValue = analogRead(_pin);
    return _adcValue;
}

/*****
Lecture de données provenant du arduino
Calcul d'une moyenne mobile et stockage des résultats dans moyADC, moyVolt,
moyPourcent
*****/
float piezoSensors::readMoyMob(int nbRead){

    float moyenne = 0;
    float somme = 0;
    int nb = 0;

```

```

//décale les bit dans le tableau de grosseur _nbRead
for (int i = _nbRead - 1; i > 0; i--)
{
    _readings[i] = _readings[i - 1];
}

_readings[0] = piezoSesSensor::readValue();

//calcule la moyenne de i a nbRead
for(int i=0; i<nbRead ; i++)//pour ca faut initialiser tableau a 0
{
    somme=somme+ _readings[i];
    if(_readings[i]!=0)//si la valeur lue n'est pas 0 (peut causer erreur)
    {
        nb++;
    }
}

if(nb!=0)//si on a plus que 0 chiffre dans le tableau
{
    moyenne=somme/((float)nb);
}
else
{
    moyenne =0;
}
moyADC = moyenne;
moyVolt =piezoSesSensor::convertVolt(moyenne);
moyPourcent = piezoSesSensor::voltToPourcent(moyVolt);

return moyenne;
}

float piezoSesSensor::convertVolt(float value) {
return value* (3.3 / 1023.0);
}

float piezoSesSensor::voltToPourcent(float value) {
return (value*100)/(_maxVolt - _minVolt);
}

void piezoSesSensor::init(int nbLecture) {
    for (size_t i = 0; i < nbLecture; i++)
    {
        piezoSesSensor::readMoyMob(nbLecture);
    }
    _minVolt = moyVolt;
}

```

8. ANNEXE II

8.1. CARACTÉRISTIQUES DU VÉLOSTATS




Technical Details

- Dimensions: 11" x 11" (280mm x 280mm)
- 8 mil / 0.2mm thick
- Weight: 18.66g
- Temperature Limits : -45°C to 65°C (-50°F to 150°F)
- Heat Sealable : Yes
- Volume Resistivity : <500 ohm-cm
- Surface Resistivity : < 31,000 ohms/sq.cm

<https://www.farnell.com/datasheets/1815591.pdf>



8.2. TYPES DE PINCES RIGIDES

TABEAU 9: AVANTAGES ET INCONVENIENT DES PINCES RIGIDES

Planes	Avantages	Inconvénients	
	Solide	Peu adapté pour objet complexe	
Multiple	Avantages	Inconvénients	
	Plusieurs utilité	Plus lourd	
	https://www.humarobotics.com/boutique/prehenseurs-pour-robots/dual-gripper-onrobot/		
Ventouses	Avantages	Inconvénients	
	Grande force	Pièce doit être plane	
		Aucun pneumatique dans le robot actuel	
	https://www.humarobotics.com/boutique/prehenseurs-pour-robots/prehenseur-ecbpm-schmalz/		

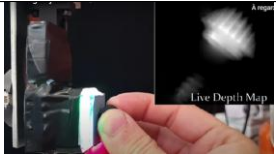
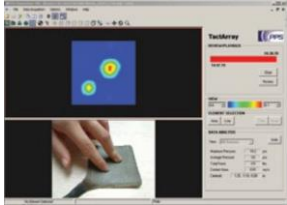


8.3. TYPES DE PINCES FLEXIBLES

TABLEAU 10: AVANTAGES ET INCONVENIENT DES PINCES FLEXIBLES

Pneumatique	Avantages	Inconvénients	
	Pièces fragiles	Aucun pneumatique dans le robot actuel	
	Pièce complexes		
	Forme non répétable		
	https://www.humarobotics.com/boutique/soft-robotics/soft-robotics-m-grip-parallel-kit/		
Fin Ray Effect	Avantages	Inconvénients	
	Forme adaptative	Solidité?	
	https://www.mdpi.com/2072-666X/12/10/1141		

8.4. TYPES DE CAPTEURS

TABLEAU 11: AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES CAPTEURS RETENUES

GelSight	Avantages	Inconvénients	
	Haute résolution	Fabrication complexe	
		Prix	
		Peu compacte	
		Besoin d'un neural network	
https://news.mit.edu/2017/gelsight-robots-sense-touch-0605			
Textiles Capacitifs	Avantages	Inconvénients	
	Peu couteux	Ne mesure pas les moments	
	Fabrication relativement simple	Besoin d'un t4500 (ce modèle)	
	Résolution relativement bonne (2mm a 10mm)	beaucoup trop cher	
		Modèles « home made » complexe à fabriquer	
https://pressureprofile.com/sensor-systems/sensors			
Strain Gauge en matrice (résistifs)	Avantages	Inconvénients	
	Peu couteux	Fabrication relativement simple	
	Bonne précision	Résolution de basse	
	Stable à long terme	Nécessite ampliCAN et MUX (plus d'électronique)	
Source			
Piezorésistifs (velostat)	Avantages	Inconvénients	
	Peu couteux	Résolution basse	
	Relativement simple à fabriquer	Doit être refait en cas de bris	
	Faible consommation energie	Nécessite MUX	
	Sensible		
https://www.youtube.com/watch?v=zUN2ZYdYAUo			

9. BIBLIOGRAPHIE

- Alqasemi, Redwan, Sebastian Mahler et Rajiv Dubey. 2007. « Design and Construction of a Robotic Gripper for Activities of Daily Living for People with Disabilities ». In *2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics*. (juin 2007), p. 432-437. <<https://doi.org/10.1109/ICORR.2007.4428461>>.
- Anon. 2018. *Arduino DIY Bend Flex Pressure Sensor Velostat*. <<https://www.youtube.com/watch?v=zUN2ZYdYAUo>>. Consulté le 2 juillet 2023.
- Anon. 2022. 6 *ARDUINO ANALOG analogReference*. <<https://www.youtube.com/watch?v=qtQ7of4LIi0>>. Consulté le 3 juillet 2023.
- Armanini, Costanza, Irfan Hussain, Muhammad Zubair Iqbal, Dongming Gan, Domenico Prattichizzo et Federico Renda. 2021. « Discrete Cosserat Approach for Closed-Chain Soft Robots: Application to the Fin-Ray Finger ». *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 37, n° 6, p. 2083-2098. <<https://doi.org/10.1109/TRO.2021.3075643>>.
- Dzedzickis, Andrius, Ernestas Sutinys, Vytautas Bucinskas, Urte Samukaite-Bubniene, Baltramiejus Jakstys, Arunas Ramanavicius et Inga Morkvenaite-Vilkonciene. 2020. « Polyethylene-Carbon Composite (Velostat®) Based Tactile Sensor ». *Polymers*, vol. 12, n° 12, p. 2905. <<https://doi.org/10.3390/polym12122905>>.
- Hopkins, Matthew, Ravi Vaidyanathan et Alison H. McGregor. 2020. « Examination of the Performance Characteristics of Velostat as an In-Socket Pressure Sensor ». *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, n° 13, p. 6992-7000. <<https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2978431>>.
- Lacasse, Marc-Antoine, Vincent Duchaine et Clément Gosselin. 2010. « Characterization of the Electrical Resistance of Carbon-Black-Filled Silicone: Application to a Flexible and Stretchable Robot Skin ». In *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*. (1 mai 2010), p. 4842-4848. <<https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509283>>.
- Shan, Xiaowei et Lionel Birglen. 2020. « Modeling and analysis of soft robotic fingers using the fin ray effect ». *The International Journal of Robotics Research*, vol. 39, n° 14, p. 1686-1705. <<https://doi.org/10.1177/0278364920913926>>.
- Yao, Jiaqiang, Yuefa Fang et Luquan Li. 2023. « Research on effects of different internal structures on the grasping performance of Fin Ray soft grippers ». *Robotica*, vol. 41, n° 6, p. 1762-1777. <<https://doi.org/10.1017/S0263574723000139>>.