

# ETAT DE L'EXISTANT

Projet Transpromotion n°2 - Conception  
d'une pince avec retour de force adaptée  
à l'UR3

Thomas Fochesato - Zuzanna Muszynska - Jérémy Quintin - Thierry  
Rouch - Enzo Constant - Vincent Da Silva Pinto - Valentin  
Debenay - Nicolas Delcombel - Julien Doche

## Table des matières :

Introduction	2
Partie 1 : Pince	3
A. Les types de pinces	4
1) Le nombre de mâchoires	4
2) Le type	7
3) Pinces dédiées à l'UR3	8
B. Différents types de moteurs	14
1) Les moteurs à mouvement rotatif	14
2) Les moteurs à mouvement linéaire	15
C. Méthodes de contrôle	16
1) Méthodes électroniques	16
2) Méthodes informatiques	16
Partie 2 : Contrôle haptique	18
A. Utilisation des Interfaces haptiques	18
B. Les méthodes de mesure des forces	19
C. Méthodes pour rendre compte de la force mesurée à l'utilisateur	20
1) Méthodes existantes	20
2) Le cas particulier du joystick	22
D. Des projets similaires (et accessible à notre niveau)	24
1) Arduino main robotisée avec retour haptique	24
2) Gant haptique (avec capteurs flexibles faits soi-même)	26
3) Pince robot pneumatique	27
Bilan	28
Synthèse des choix techniques pour la pince	28
Synthèse des choix techniques pour le système de contrôle	29
Bibliographie	30

## Introduction

---

Dans le cadre du projet Transpromotion se déroulant à l'ENSC (École Nationale de Cognitique), nous avons décidé de fabriquer une pince à contrôle haptique pour le robot UR3 présent au laboratoire du bâtiment Nord.

Ce projet est né de notre envie d'étudier un sujet de robotique en rapport avec la cognitique. De plus, si notre pince est mise en œuvre, elle pourra être l'occasion d'améliorer les équipements existants du robot UR3 et ainsi d'accroître son potentiel en matière d'étude.

En effet, pour que le robot avec la pince soit capable d'effectuer de la téléopération, il faut nécessairement lui associer une interface haptique. Les premières interfaces haptiques sont apparues dans les années 1950 avec les systèmes mécaniques maître/esclave puis électroniques utilisés dans l'industrie nucléaire.

Elles se sont ensuite développées dans des domaines comme la médecine où elles remplissent des tâches d'entraînement pour les élèves (d'après l'article "Améliorer le geste du chirurgien" de Françoise Dupuy Maury, paru dans le Journal du CNRS le 04/03/2014, [source](#)).

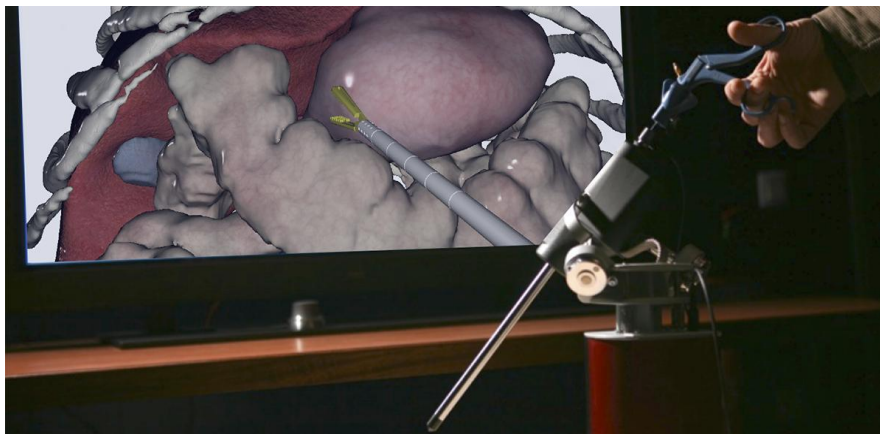


Fig. 1 : Illustration du retour haptique en médecine

Aujourd'hui, les interfaces haptiques sont utilisées dans de nombreux milieux tels que ceux nécessitant des manipulations en milieux extrêmes (fonds marins, espace), dans la chirurgie non invasive (téléopération), dans la création par CAO, dans l'industrie vidéoludique (impacts de balles), on encore dans la création d'un exosquelette. Ces améliorations sont aux applicables aux cobots de l'ENSC ce qui permettra d'améliorer la qualité des activités de téléopérations.

Cet état de l'art découle des connaissances provenant des études scientifiques sur les systèmes de contrôle haptique (dont la manette Saitek X52) de l'école mais également de la documentation sur le robot UR3 et du système de pince correspondant.

## Partie 1 : Pince

Notre projet est donc de concevoir une pince à retour haptique qu'on puisse installer sur le robot UR3 de l'école. La pince est donc l'un des piliers les plus importants du projet. Par conséquent, il convient d'étudier l'architecture et le fonctionnement des pinces existantes afin de déterminer celle qui sera la plus adaptée à l'utilisation prévue. Nous nous intéresserons par la suite au système de retour de force qu'on installera sur la pince.

D'une manière générale, une pince est un outil mécanique dont la fonction est de serrer pour saisir, déformer ou découper. En effet, nous allons nous intéresser uniquement aux pinces permettant la préhension, c'est-à-dire qui ont la faculté de saisir un objet.

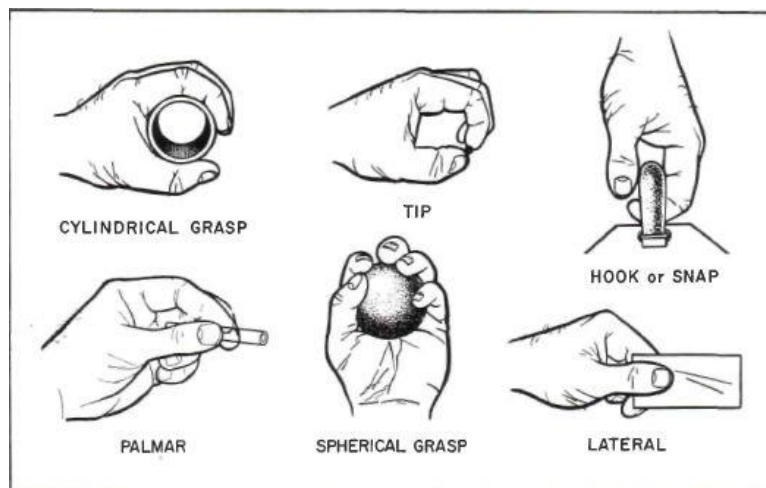


Fig. 2 : Différents modes de préhension

Notons que le fonctionnement mécanique des pinces robotiques s'inspire grandement du mécanisme de préhension animale, notamment humaine. La reproduction de cette faculté biologique artificiellement est complexe notamment à cause des problématiques telles que la stabilité de la prise et la juste-mesure de l'effort à exercer. L'ajout de capteurs aux pinces robotiques permet alors de minimiser ces difficultés en copiant artificiellement le fonctionnement global de la préhension animale, assurée par le traitement des stimulations par le système nerveux.

Nous allons étudier ici les pinces existantes selon trois points de vue. Tout d'abord, il convient d'analyser les différents styles mécaniques des pinces modernes. Ensuite, nous nous intéresserons aux divers moteurs utilisés pour actionner celles-ci. Enfin, nous verrons quelles sont les méthodes de contrôle de ces dispositifs.

## A. Les types de pinces

L'aspect architectural externe c'est-à-dire le design d'une pince peut être traduit selon deux modalités : le nombre de mâchoires et le type de la pince. Le mode d'actionnement *n'a pas d'incidence sur ces deux modalités (A VOIR SI C'EST VRAI)* et sera étudié dans la partie B.

### 1) Le nombre de mâchoires

Le nombre de mâchoires d'une pince traduit le nombre d'extrémités qui participent au serrage de l'objet à saisir. Les pinces robotiques utilisées dans l'industrie comportent typiquement entre 2 et 6 mâchoires. Voici quelques exemples de pinces fabriquées par SCHUNK GmbH & Co :

			
SCHUNK - Pince de préhension pneumatique parallèle à 2 mâchoires	SCHUNK - Pince de préhension pneumatique concentrique à 3 mâchoires	SCHUNK - Pince de préhension pneumatique concentrique à 4 mâchoires	SCHUNK - Pince de préhension pneumatique parallèle à 6 mâchoires

Fig. 3 : Tableau présentant des pinces avec un nombre différent de mâchoires

Le nombre de doigts adapté doit être déterminé en fonction de la tâche à effectuer. En effet, comme la force délivrée par la pince n'est pas la somme des forces délivrées par chaque mâchoire, il est inutile d'augmenter le nombre de doigts afin de délivrer une force plus grande.

Sur le marché, on trouve une multitude de morphologies de pinces, développées pour les différents besoins de l'industrie.



**ABB - Pince de préhension pneumatique pour robot de palettisation haute vitesse**



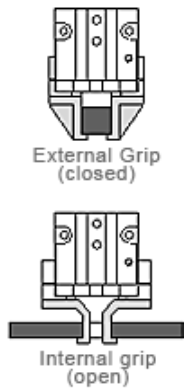
**FESTO - OctopusGripper**



**SCHUNK - Pince de préhension électrique compacte de précision**

Fig. 4 : Tableau présentant des pinces plus sophistiquées

La configuration des mâchoires permet tout d'abord de définir les modes de maintien possibles :



- Extérieur : l'objet est tenu de l'extérieur par les mâchoires. Ce mode de serrage convient à tout type d'objet
- Intérieur : l'objet est tenu de l'intérieur par les mâchoires. Ce mode ne convient pas aux objets convexes tels que les objets sphériques, cubiques, plans...

Ensuite, elle permet de déterminer le mode de préhension de la pince :

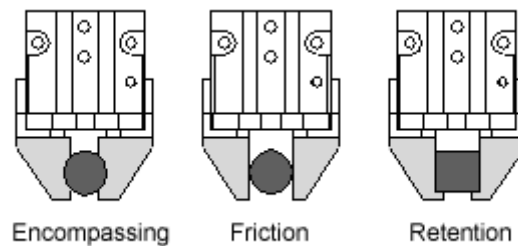


Fig. 5 : Modes de préhension

- **Par englobement :**

L'objet à maintenir est entièrement entouré par les mâchoires de la pince, sans maintien par le dessous. C'est un mode de préhension très stable à condition que la taille de la pince soit adaptée à la taille de l'objet. En effet, pour que l'objet puisse tomber, la force exercée doit être en mesure de surpasser la force des mâchoires.

- **Par friction :**

C'est le mode le plus facile à mettre en œuvre pour la fabrication d'une pince. Il repose sur la force des mâchoires, et donc de la pince, à maintenir l'objet. Toutefois, ce design peut nécessiter plus de force que les deux autres, notamment pour les objets qui n'ont pas de surfaces planes.

- **Par rétention :**

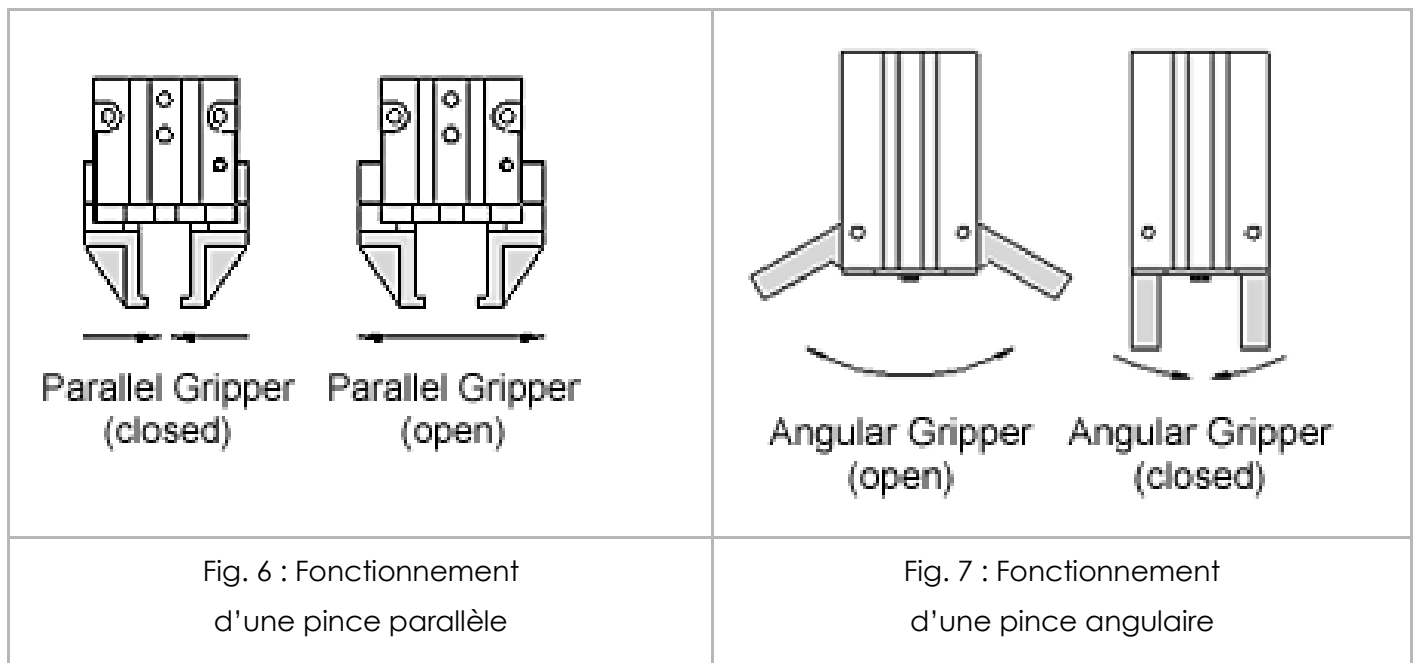
Semblable à l'englobement, la rétention consiste à maintenir l'objet entouré par les mâchoires de la pince, tout en le retenant par en dessous. C'est également un mode de préhension très stable.

En règle générale, les pinces par friction **nécessitent 4 fois plus de force** que les pinces utilisant les deux autres modes de préhension. De plus, les pinces les plus utilisées

possèdent 2 ou 3 mâchoires (ou doigts). En effet, ce design, convient à de nombreuses tâches courantes. D'ailleurs, nous allons voir dans la partie c) que la majorité des pinces dédiées aux robots UR sont de ce type.

## 2) Le type

On peut différencier facilement deux types de pinces : les pinces parallèles et les pinces angulaire. Il s'agit de types les plus répandus et les plus utilisés bien que d'autres types existent comme les pinces concentriques.



Les pinces parallèles (s'ouvrent et se ferment parallèlement à l'objet manipulé. Ce design permet de compenser les variations dimensionnelles des objets à saisir et s'adapte particulièrement bien aux objets à surfaces planes. De plus, il réduit l'espace nécessaire pour la manipulation.

Les mâchoires des pinces angulaires (Fig. 2.) se déplacent de manière radiale pour saisir l'objet. Ce design nécessite plus d'espace afin d'assurer l'ouverture correcte des mâchoires.



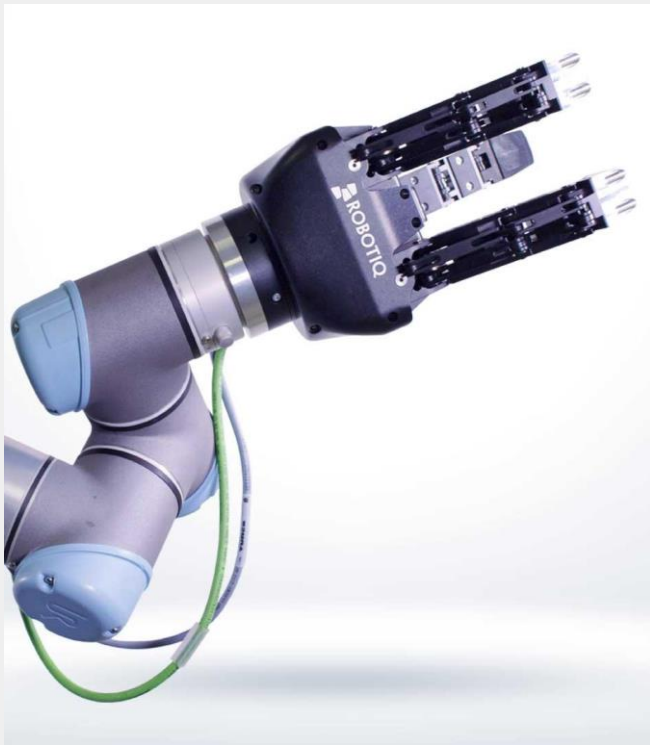
### 3) Pinces dédiées à l'UR3

La popularité des bras robotiques d'Universal Robots explique le grand nombre d'extensions disponibles pour les robots URX. La plupart ne sont pas fabriquées directement par Universal Robots mais elles sont certifiées par eux.

- **ROBOTIQ**

L'entreprise Robotiq fabrique deux modèles classiques pour les robots UR3 : **2-Finger Gripper Kit for Universal Robots** et **3-Finger Gripper Kit for Universal Robots**, certifiées par Universal Robots. Les caractéristiques principales de ces deux pinces sont répertoriées dans les tableaux ci-dessous.

	<b>ROBOTIQ</b>	
	UR3 2-Finger Gripper Kit for Universal Robots	
	<b>Compatibilité :</b>	UR3, UR5, UR10, CB2, CB3.0, CB3.1
	<b>Ouverture :</b>	Deux ouvertures distinctes : 0-85mm et 0-140mm
	<b>Force maximale :</b>	Non renseignée
	<b>Package :</b>	2-Finger Gripper, hardware d'installation, software à télécharger
	<b>Avantages :</b>	Possibilité d'installer plusieurs Grippers sur le même bras
	<b>Prix :</b>	Plus de 4000 € <a href="#">(source)</a>



ROBOTIQ	
UR3 3-Finger Gripper Kit for Universal Robots	
<b>Compatibilité :</b>	UR3, UR5, UR10, CB2, CB3.0, CB3.1
<b>Ouverture :</b>	0-155mm
<b>Force maximale :</b>	Non renseignée
<b>Package :</b>	3-Finger Gripper, hardware d'installation, software à télécharger
<b>Avantages :</b>	<p>4 types de prise:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mode « Pincement » (Pinch)</li> <li>- Mode « Large » (Wide)</li> <li>- Mode « Ciseaux » (Scissor)</li> <li>- Mode « Basique » (Basic)</li> </ul> <p>Mâchoires contrôlées de manière indépendante</p>
<b>Prix :</b>	Environ 15 500 € <a href="#">(source)</a>

- **ON ROBOT**

L'entreprise ON ROBOT fabrique deux modèles pour les robots UR3 : **RG2 Gripper** et **RG6 Gripper**, certifiées par Universal Robots et qui s'intègrent avec le software de l'UR. Les caractéristiques principales de ces deux pinces sont répertoriées dans les tableaux ci-dessous.

ON ROBOT RG2 Gripper	
<b>Compatibilité :</b>	UR3, UR5, UR10, CB2, CB3.0, CB3.1
<b>Ouverture :</b>	0-110mm
<b>Force maximale :</b>	40N
<b>Package :</b>	RG2 + hardware d'installation
<b>Avantages :</b>	Possibilité d'installer plusieurs RG2 sur le même bras Détection automatique de largeur et de force
<b>Prix :</b>	Sur devis



ON ROBOT RG6 Gripper	
<b>Compatibilité :</b>	UR3, UR5, UR10, CB2, CB3.0, CB3.1
<b>Ouverture :</b>	0-160mm
<b>Force maximale :</b>	120N
<b>Package :</b>	RG2 + hardware d'installation
<b>Avantages :</b>	<p>Possibilité d'installer plusieurs RG2 sur le même bras</p> <p>Détection automatique de largeur et de force</p>
<b>Prix :</b>	Sur devis



- **WEISS ROBOTICS**

L'entreprise WEISS ROBOTICS fabrique deux modèles pour les robots UR3 : **GRIPKIT-E Series** (pinces à servo-moteurs) et **GRIPKIT-P Series** (pinces pneumatiques), certifiées par Universal Robots et qui s'intègrent avec le software de l'UR. Elle fabrique également la pince **WSG 25-CR** qui n'est pas certifiée. Les caractéristiques principales de ces deux pinces sont répertoriées dans les tableaux ci-dessous.

WEISS ROBOTICS WSG 25-CR	
<b>Compatibilité :</b>	UR3, UR5, UR10, CB2, CB3.0, CB3.1
<b>Ouverture :</b>	0-64 mm
<b>Force maximale :</b>	20 N
<b>Package :</b>	WSG 25-CR, hardware d'installation, clé USB avec le software
<b>Avantages :</b>	La garantie de non-dépassement de la force au-delà de 75N.
<b>Prix :</b>	Sur devis

WEISS ROBOTICS GRIPKIT-E Series	
<b>Compatibilité :</b>	UR3, UR5, UR10, CB3.1
<b>Ouverture :</b>	Modèle E1 : 0-20mm Modèle E2 : 0-30mm
<b>Force maximale :</b>	Modèle E1 : 30N Modèle E2 : 200N
<b>Package :</b>	Pince, hardware d'installation, clé USB avec le software
<b>Avantages :</b>	Interface intuitive et facile d'utilisation du plug-in URCaps
<b>Prix :</b>	Sur devis



## WEISS ROBOTICS

### GRIPKIT-P Series

<b>Compatibilité :</b>	UR3, UR5, UR10, CB3.1
<b>Diamètre :</b>	Non renseigné
<b>Ouverture :</b>	Modèle P1 : 0-12mm Modèle P2 : 0-20mm Modèle PZ1 : 0-12mm
<b>Force maximale :</b>	Modèle P1 : 220N Modèle P2 : 550N Modèle PZ1 : 550N
<b>Package :</b>	Pince, hardware d'installation, clé USB avec le software
<b>Avantages :</b>	Interface intuitive et facile d'utilisation du plug-in URCaps
<b>Prix :</b>	Sur devis

- **Autres fabricants**

Universal Robots certifie d'autres fabricants de pinces comme : Nonead, Gimatic, Schunk, Zimmer Group, semblables à celles qui ont été présentées ci-dessus en termes de compatibilité à l'UR3, de force et de morphologie.

## B. Différents types de moteurs

Dans un souci de performance et de faisabilité, il est nécessaire de trouver le moteur compatible le plus adapté pour mettre en mouvement la pince de notre robot. Le moteur doit permettre d'effectuer des opérations le plus naturellement possible, dans le sens où la pince téléguidée va être utilisée pour reproduire un mouvement de préhension.



Fig. 8 : Une pince et son moteur

Choisir le bon type de moteur nécessite une compréhension des capacités de chacun, afin de déterminer lequel correspond le plus à notre cas d'usage.

On distingue deux grandes familles, les moteurs à **mouvement rotatif** et les moteurs à **mouvement linéaire**.

### 1) Les moteurs à mouvement rotatif

Ces moteurs vont transformer l'énergie électrique en mouvement rotatif, ils se distinguent les uns des autres selon deux principaux paramètres : Le couple (force de rotation du moteur qui s'exprime en Newton/Mètre) et la vitesse de rotation (qui correspond au nombre de tour sur une période de l'arbre moteur, souvent exprimée en tour/min).

Les principaux moteurs à mouvement rotatif :

- **Le moteur à Courant Alternatif (AC)**, principalement utilisé dans l'industrie, ils permettent de fournir un couple très important et sont souvent connectés sur secteur. Du fait de ces caractéristiques ce moteur est très peu utilisé en robotique.
- **Le moteur à Courant Continu (DC)**, son arbre de sortie tourne à des vitesses élevées mais en retour il n'offre pas un couple important. En associant le moteur avec des

engrenages on peut cependant augmenter le couple en réduisant la vitesse de rotation.

- **Les servomoteurs** possèdent un arbre de sortie dont on connaît la position et où celle-ci est vérifiée et corrigée en continu. En général la rotation de l'arbre se fait uniquement sur 180°. Ce débattement limité pose problème pour par exemple faire avancer une voiture électrique mais pour ouvrir/refermer une pince c'est très intéressant.



Fig. 9 : Servomoteur HS-422 Hitec

## 2) Les moteurs à mouvement linéaire

Ces moteurs sont très bons pour déplacer des objets sur une ligne droite. Au lieu de produire un couple ils vont produire une force (translation). Quelques exemples de moteurs à mouvement linéaire :

- **Le moteur solénoïde**, en alimentant une bobine un champ magnétique va être créé à l'intérieur de celle-ci et ainsi est produit un mouvement rectiligne. Ce type de moteur ne permet pas un retour de position et ne présente pas d'intérêt en robotique.
- **Les moteurs pneumatiques et hydrauliques**. Principalement utilisés dans l'industrie, ils permettent des déplacements très rapides avec beaucoup de force.



Fig. 10 : Moteur pneumatique



## C. Méthodes de contrôle

Pour contrôler le moteur, et donc pouvoir décider quand ouvrir ou refermer la pince, il est nécessaire d'utiliser un dispositif spécifique. En effet il ne suffit pas de simplement mettre sous tension le moteur pour que celui-ci soit utilisable. Les outils utilisés pour le contrôle de la pince vont varier selon les caractéristiques intrinsèques du moteur choisi.

### 1) Méthodes électroniques

Dans cette partie il s'agit de présenter quelques composants électroniques utiles pour le contrôle d'un moteur.

- Potentiomètre : il s'agit d'une résistance variable, qui rend possible de faire varier la valeur de la résistance à l'aide d'un curseur et ainsi d'agir sur le courant électrique qui la traverse. Il existe différents types de potentiomètres (linéaire, logarithmique, numérique).
- Pont en H : Afin de pouvoir contrôler le sens de rotation d'un moteur (et ainsi ouvrir ou fermer une pince) il est nécessaire de pouvoir inverser le courant électrique à l'infini, c'est ce que permet de faire le pont en H.
- Double pont en H : sa fonction est la même que celle du pont simple en H mais il permet de contrôler deux moteurs (on peut par exemple imaginer un moteur pour faire bouger la partie supérieure d'une pince et un autre pour la partie inférieure)

### 2) Méthodes informatiques

Les méthodes informatiques ne se suffisent pas à elles-mêmes, en effet on va utiliser ces outils pour contrôler les composants électroniques.

Les principales méthodes vont fonctionner de manière similaire, il s'agira d'équiper la pince d'une carte entrée/sortie afin qu'elle puisse communiquer avec le dispositif de contrôle (recevoir des informations, retourner des informations : les deux ne sont pas forcément possible).

Les principales méthodes de contrôle informatique :

- L'utilisation d'un Ordinateur peut être pratique car de nos jours il s'agit d'une machine largement démocratisée. Cependant, son utilisation présente des désavantages conséquents : encombrant, forte consommation énergétique...
- Carte Arduino, facile d'utilisation et peu chère, directement installée sur le dispositif. Les Arduinos ont fait naître une grande communauté d'utilisateurs et donc très grande documentation facilement accessible.

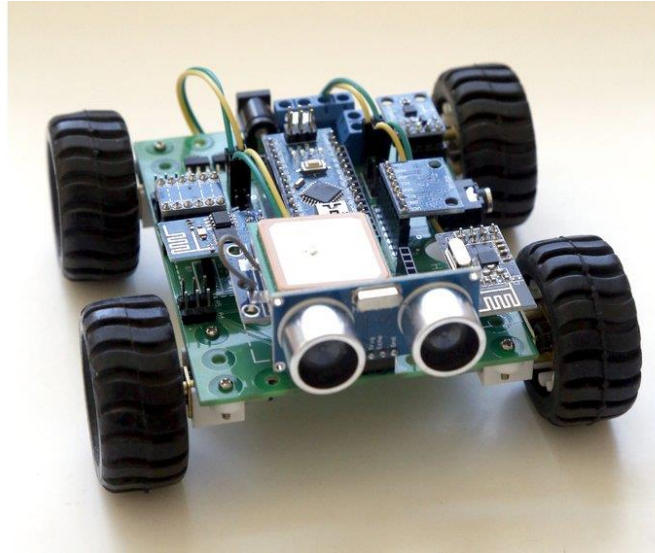


Fig. 11 : Hackabot nano

- Raspberry-pi, peu cher et permet d'allier les avantages d'un ordinateur avec ceux d'un microcontrôleur. Il est possible de développer directement sur le Raspberry ou de connecter nativement des périphériques (prises USB incluses...)

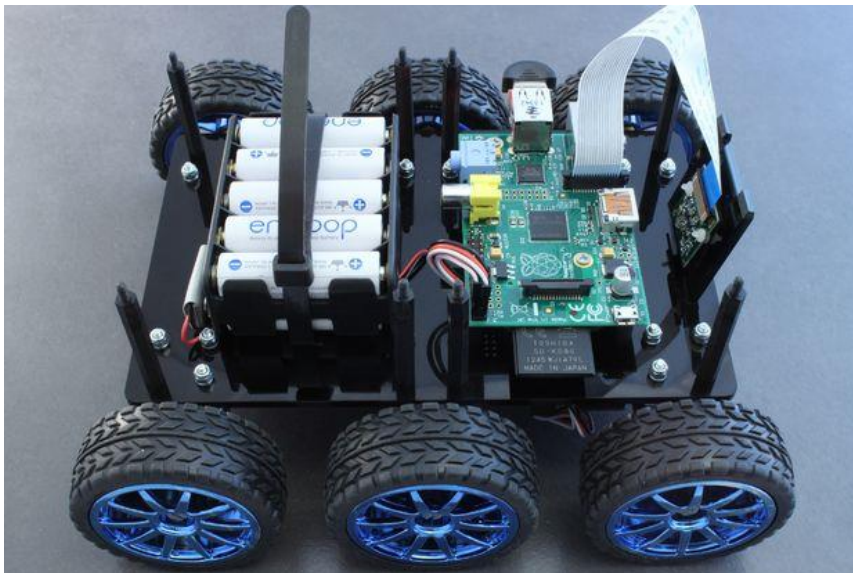


Fig. 12 : DiddyBorg : le Mini 6 roues utilisant un Raspberry-Pi

## Partie 2 : Contrôle haptique

### A. Utilisation des Interfaces haptiques

Il existe deux types d'interfaces haptiques : tactiles et kinesthésiques. Les premières permettent de stimuler les capteurs sensoriels sous-cutanés des mains afin de transmettre une sensation de pression.



Fig. 13 : Illustration des types d'interfaces haptiques

Les secondes, qui nous intéressent dans ce projet, sont liées aux fonctions motrices corporelles : la perception d'un effort extérieur se fait grâce aux capteurs situés dans nos muscles et d'autres parties du corps. Une interface kinesthésique (ou interface à retour d'effort) permet de transmettre des forces (et/ou des couples) à l'utilisateur afin de restituer l'interaction physique entre le système qu'il contrôle et son environnement en fonction de ses mouvements.

Si seule la restitution d'une résistance au geste de l'utilisateur est demandée, une interface haptique passive peut être utilisée : elle contrôle la dissipation d'énergie. Si des réactions plus nombreuses sont attendues, une interface active est nécessaire. Les interfaces actives ont deux types d'architectures : refermé sur l'utilisateur (portable comme un exosquelette) ou à socle fixe, ce qui sera notre cas.

Les caractéristiques d'une interface haptique dépendent des interactions désirées entre l'opérateur et l'environnement.

Parmi elles :

- le nombre de degrés de liberté, ici un seul, le serrage de la pince,
- la posture de l'opérateur et l'accessoire de prise en main,
- la réversibilité et la souplesse du mécanisme,
- la qualité des capteurs,
- la stabilité du système,
- la résolution de position.

## B. Les méthodes de mesure des forces

Pour pouvoir réaliser notre pince à retour haptique, il nous faut premièrement pouvoir mesurer la force appliquée par la pince par rapport au courant qui alimente l'appareil.

Il existe différentes méthodes pour mesurer et capter les forces qui sont appliquées à l'extrémité du bras robot :

### **Méthode Position-Position**

La méthode de contrôle Position-Position se base exclusivement sur l'échange des mesures de positions entre le maître et l'esclave. Le retour d'effort est alors créé sur la base de l'erreur de position entre les deux entités. C'est la méthode avec l'implémentation matériel la plus simple et la plus grande stabilité, mais cela se fait au détriment des sensations de l'utilisateur.

### **Méthode Force-Position**

Par impédance (aussi appelée force-position), l'utilisateur donne une consigne de vitesse et de position et le système lui renvoie un effort, pour obtenir de meilleures performances haptiques avec cette méthode, il faut utiliser une interface avec peu d'inertie et de friction ; et d'autre part, et augmenter les gains du contrôleur de position de l'esclave, mais cela peut nuire à la stabilité.

### **Méthode par admittance**

Par admittance, l'utilisateur donne une consigne de force et le système lui renvoie une vitesse et une position. Celle-ci présente la restitution la plus fidèle de la dynamique du système, mais présente des problèmes de stabilité.

### **Méthode à 4 canaux**

Pour augmenter la stabilité et la justesse de la restitution des sensations, la méthode à 4 canaux a été inventée. Elle consiste à échanger simultanément les quatre informations de position et de force entre le maître et le système. Cela nécessite donc un capteur de position et un capteur de force de chaque côté. Cette méthode a ensuite été améliorée en la combinant avec les précédentes.

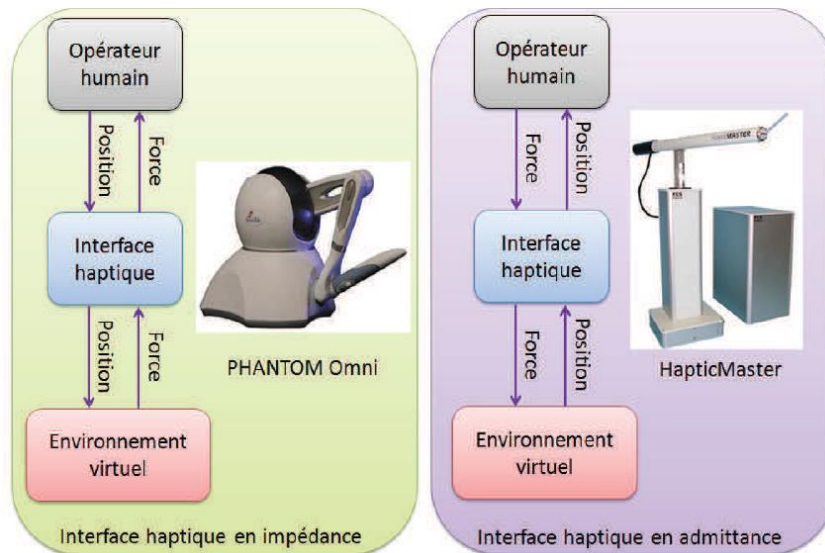


Fig. 14 : Schéma d'interfaces haptiques en impédance et en admittance

## C. Méthodes pour rendre compte de la force mesurée à l'utilisateur

Une fois la force captée depuis la pince et traitée par l'ordinateur, il faut pouvoir faire en sorte que l'utilisateur ressente de façon qualitative la sensation de résistance comme s'il tenait réellement l'objet. Sur les systèmes de téléopération existants, on peut relever plusieurs méthodes pour transmettre cette force.

### 1) Méthodes existantes

#### Vibration

La solution la plus simple et la plus répandue dans la plupart de systèmes électroniques proposant un feedback haptique est l'utilisation de moteurs vibrants. La vibration peut être assurée par des actionneurs à masse excentrique rotative (ERM), des actionneurs linéaires résonants (LRA) ou des actionneurs piézoélectriques.

Cette méthode se distingue de technologies d'avertissement vibrant (utilisé par exemple pour les notifications sur les téléphones portables) par la complexité du motif de vibration. Dans le cadre d'un dispositif haptique, les modes vibratoires sont souvent multiples et permettent de communiquer différents messages à l'utilisateur, alors que l'objectif des alertes vibrantes est tout simplement d'alerter.



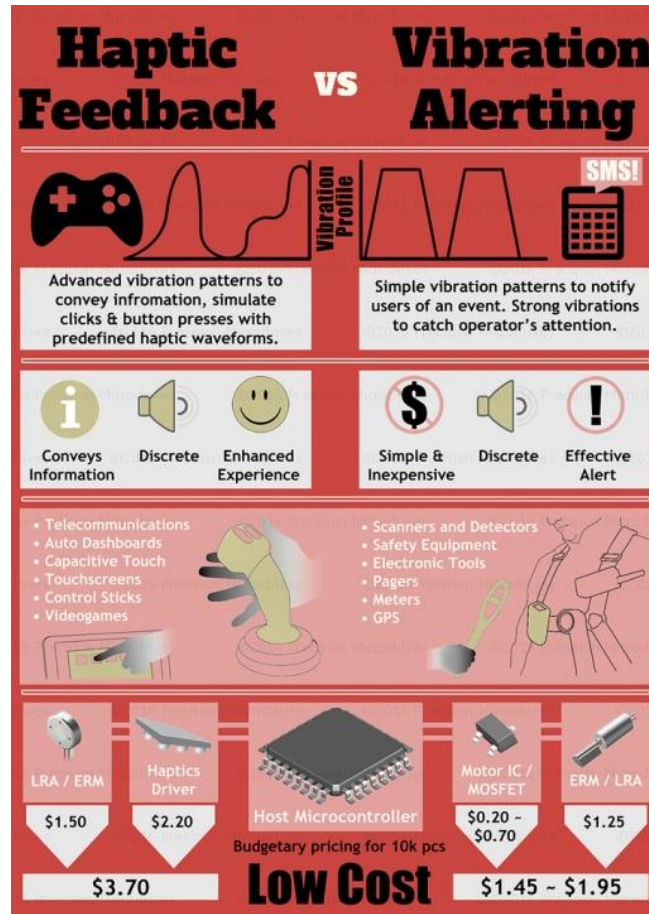


Fig. 15 : Infographie présentant les différences majeures entre les dispositifs haptiques vibrants et les alertes vibrantes de Precision Microdrives

## Retour de force

Le retour de force est employé en particulier dans le domaine des télémanipulateurs et téléopérations. L'interface haptique est alors conçue de manière à reproduire les forces de contact du système commandé sur l'interface elle-même. L'objectif de ces dispositifs est de simuler la rétroaction de force que l'utilisateur aurait pu ressentir en situation réelle.

La restitution de la force dépend grandement du système commandé et de l'interface de contrôle. Une manière de procéder est d'agir directement sur l'interface elle-même : c'est le cas dans certains volants pour simulation de conduite qui vont tourner si on heurte un objet au sein de la simulation. Cette méthode est intéressante car elle permet de marquer facilement les mouvements interdits par blocage de l'interface.

## Méthodes sans contact direct

Les technologies haptiques sans contact direct utilisent le toucher pour fournir un feedback dans les systèmes 3D, très souvent en réalité virtuelle.

En 2013, Disney et Microsoft ont travaillé sur l'utilisation de poches d'air **Air Vortex Rings** dans un contexte de réalité augmentée et virtuelle. L'objectif derrière l'étude de Disney était surtout d'ouvrir cette voie de recherche à d'autres chercheurs, tandis que l'étude

de Microsoft était focalisée sur la théorie de formation de vortex et les paramètres permettant d'obtenir le meilleur feedback haptique.

Depuis 2013, la société Ultrahaptics explore également la possibilité d'un feedback haptique sans contact direct en utilisant les ultrasons pour modifier l'air ambiant et créer des interfaces invisibles et objets virtuels.



Fig. 16 : Kit « Evaluation Program » d'Ultrahaptics

## 2) Le cas particulier du joystick

Dans le cadre du projet, nous avons l'accès aux manettes Saitek X52 Pro Flight Control System. Ce système est composé d'un joystick et d'une manette des gaz, il est destiné aux amateurs de simulateurs de vols ou simulateurs spatiaux et comporte la possibilité d'un retour de force. Notre objectif sera de l'utiliser pour contrôler le bras robot UR3.

## Elite: Dangerous X-52 Pro Stick & Throttle Bindings

<http://www.mcdee.net/elite/binds/jgmirk>

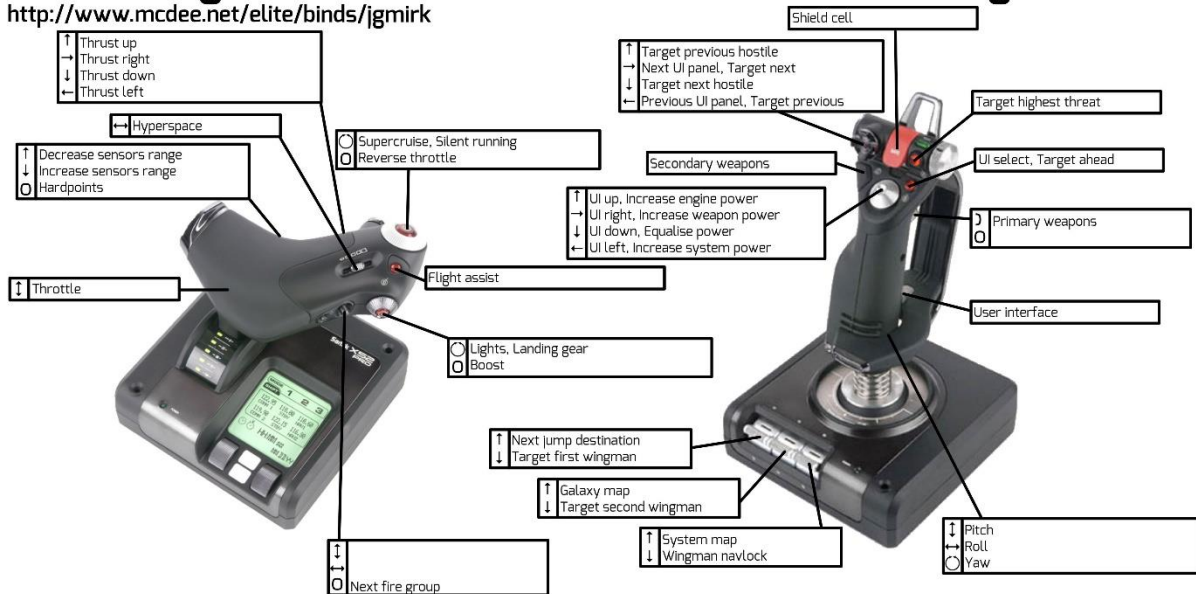


Fig. 17 : Exemple de configuration de contrôles des manettes trouvé sur <http://www.mcdee.net/elite/binds/jgmirk>

### Le joystick

D'après le test de Fabien Pionneau sur la plateforme *Les Numériques*, le joystick offre une interface agréable et ergonomique. Tout d'abord, il s'adapte à toute taille de main grâce à son repose-main réglable sur 5 niveaux. Cela permet à l'utilisateur d'ajuster la hauteur afin de pouvoir accéder aux touches disponibles sur le joystick de manière aisée.

Le joystick comporte un nombre important de boutons, notamment, la gâchette à deux niveaux de déclenchement. La majorité des contrôles comporte une LED ce qui permet à l'utilisateur de retrouver plus facilement les touches.

On trouve également trois interrupteurs T1, T2 et T3 à la base du joystick. En effet, il s'agit ici d'un défaut de conception car l'utilisateur est dans l'obligation de quitter sa position de travail sur le joystick afin de pouvoir actionner ces boutons.



En situation de travail, le joystick se caractérise par un axe assez souple et une inclinaison maximale importante. Sa souplesse peut être vue comme un défaut, d'autant plus que la rigidité du ressort n'est pas réglable.



### La manette des gaz :

Son socle imposant possède un écran LCD, et assure une bonne prise au bureau. La manette des gaz en elle-même est très large, permet de se poser dessus et d'avoir accès sans fatigue à tous les boutons et autres molettes. Le grip est vraiment agréable au toucher. La poignée de gaz contient un chapeau multidirectionnel, trois molettes, une glissière, et un simulateur de souris (pouvant aussi servir de chapeau multidirectionnel). Cependant, le simulateur de souris n'est pas très précis, ni très pratique à utiliser. L'écran LCD permet d'afficher par exemple le mode, le profil actif, l'heure, ainsi que le chronomètre. Ses fonctionnalités étant assez limitées, son intérêt ne semble pas clairement identifié.

### La configuration

Le logiciel, le Saitek SST Programming Software, permet de mettre en correspondance n'importe quelle touche aux boutons, molettes, chapeau multidirectionnel et axes. Cela permet alors à l'utilisateur de se passer entièrement du clavier et de la souris en situation de simulation. De plus le logiciel permet d'assigner aussi bien des touches que des macros (macro-instruction c'est à dire l'association d'un texte de remplacement à un identificateur). Des profils tout faits sont téléchargeables gratuitement sur le site de Saitek ; des passionnés de la communauté mettent également à disposition leurs configurations sur le web.

## D. Des projets similaires (et accessible à notre niveau)

### 1) Arduino main robotisée avec retour haptique

Le but de ce projet est de créer un système pour fournir la rétroaction haptique d'une main robotique. L'auteur du projet, connu sous l'alias njkl44 sur la plateforme tubefr.com, a mis à disposition un tutoriel consultable à cette adresse : <http://www.tubefr.com/comment-construire-une-main-robotisee-avec-retour-haptique.html>

### Matériel utilisé :

- Arduino Mega ou 2\* Arduino uno
- (x4) FSR (Force Sensing Resistor) ([datasheet](#))
- (x4) résistance souple de 4.5"
- (x4) Mini moteurs de vibration
- (x10) Bornes à vis PCB
- (x4) 22 k résistances
- (x4) 10 k résistances
- Fil de 24AWG dans une paire torsadée (les paires de le rendre plus facile à gérer les fils)
- (x4) Servos de Hobby ( [tutoriel](#) )
- Matériel de breadboarding divers.
- Source d'alimentation de 6V (support de batterie 4xAA)

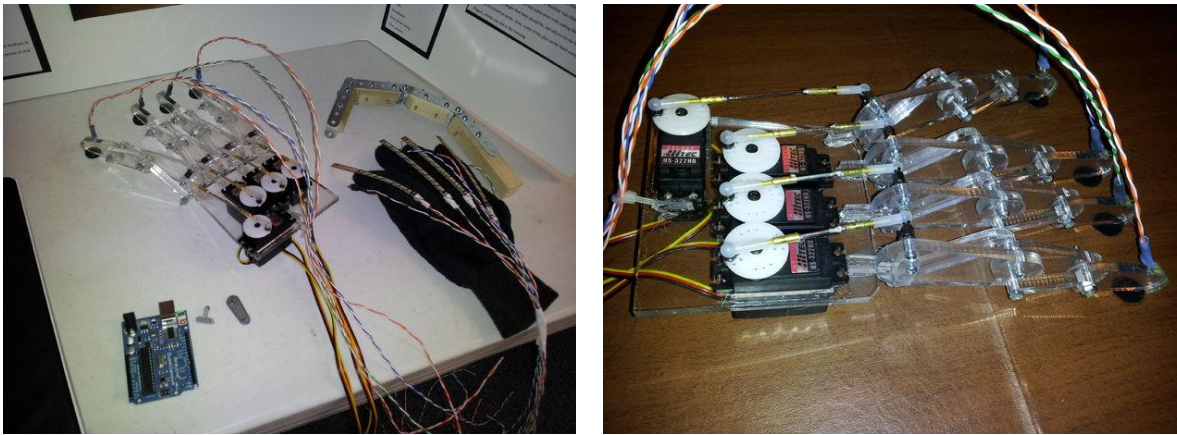


Fig. 18 : Main robotisée conçue par njkl44

### Description :

La main robotique est contrôlée par les capteurs flexibles situées sur un gant et un premier Arduino qui convertit des positions de doigts sur le gant en positions de doigts sur la main robotique. Ce gant est porté par l'opérateur qui contrôle désormais la main robotique.

Chacun des bouts des doigts de la main robotique a sa propre résistance sensible à la force (FSR) afin de recueillir des informations sur la pression à chaque bout du doigt. Un second Arduino convertit les pressions aux impulsions pour moteurs vibrants situés sur les doigts des gants de contrôle.

Un Arduino possède 6 entrées analogiques, or le projet nécessite 8 entrées, d'où la nécessité d'utiliser deux Arduinos. Un Arduino Mega ou un multiplexeur auraient également pu compenser les manques d'entrées analogiques.

Les lectures de pression sont effectuées une fois par seconde et la position des moteurs est mise à jour à la même fréquence. Cela signifie que l'exactitude du système n'est pas extraordinaire, mais elle aurait pu être améliorée en modifiant les intervalles de mesure dans le code.

La main robotique a été modélisée de manière basique avec le logiciel Autodesk. Sa fabrication a nécessité la découpe laser des pièces à partir d'une feuille d'acrylique d'environ 5 mm d'épaisseur. Les pièces ont ensuite été boulonnées et/ou collées ensemble.

Le câblage a été réalisé avec un câble CAT-5 dénudé, un peu raide, mais il sort sous forme de paires de câbles de fil.

Enfin, il y a seulement quatre doigts robotiques puisqu'il y a place que pour quatre servomoteurs sur la paume.

## 2) Gant haptique (avec capteurs flexibles faits soi-même)

Le but de ce projet est de proposer une alternative « Do It Yourself » pour remplacer les capteurs flexibles Sensor Flex très coûteux, utiles dans la conception d'interfaces type gant haptiques. En effet, ces capteurs fonctionnent comme une résistance variable en fonction de la flexion. L'auteur du projet, connu sous l'alias vu2aeo sur la plateforme instructables.com, a mis à disposition un tutoriel consultable à cette adresse :

<http://www.instructables.com/id/Haptic-Glove-With-DIY-Flex-Sensors/>

### Matériel utilisé :

- Un Arduino
- Une borne à vis PCB
- Colliers de serrage
- Fils d'âme (x10)
- Cellophane
- (x5) résistance 10 k
- Sac en plastique conducteur
- Un gant
- Source d'alimentation de 6V (support de batterie 4xAA)



Fig. 19 : Gant haptique de vu2aeo

## Description :

L'auteur du projet est parti du constat que le coût d'un gant possédant 5 capteurs souples est proche de 100€ car ces capteurs ont un coût élevé. Or, ils sont la solution la plus facile pour capter la flexion des doigts et exploiter ces mouvements.

La version « fait soi-même » proposée ici est basée sur l'utilisation du plastique conducteur traversé par un courant délivré par des fils. Le coût faible de ce dispositif permet alors d'utiliser une résistance propre à chaque doigt. Par ailleurs, le circuit électrique global e comporte comme un diviseur de tension.

Les capteurs sont cousus en place sur un gant quelconque. Les fils sont branchés sur un Arduino qui lit les informations des capteurs et les convertit en données lisibles.

Ce gant est utilisé pour contrôler une main robotique, conçue par la même personne. On remarque que la réactivité du système est très satisfaisante, la latence semble très faible. Cependant ce dispositif comporte beaucoup de bruit ce qui semble assez gênant. L'auteur explique la présence du bruit par l'utilisation de ressorts dans la main robotique et l'absence de traitement de données de capteurs.

### 3) Pince robot pneumatique

Le but de ce projet est de créer une main robotique et son interface de contrôle sous forme de gant à bas prix. L'auteur du projet, connu sous l'alias nithomas sur la plateforme instructables.com, a mis à disposition un tutoriel consultable à cette adresse : <http://www.instructables.com/id/Glove-Controlled-Robotic-Hand-Cheap-and-Simple-Ver/>

## Matériel utilisé :

- Un Arduino Uno
- Un jouet : main en plastique
- (x5) servo-moteur
- (x5) capteurs flexibles (Flex Sensor)
- Un gant
- Une borne à vis PCB
- (x5) 22 k résistances
- Des fils
- Un Breadboard
- Fil de pêche
- Fer à souder
- Colliers de serrage
- Superglue
- Perceuse
- Ruban d'isolation
- Gaine thermorétractable



Fig. 20 : Main robotique et son gant de contrôle de njthoma

### Description :

Ce projet est né d'une volonté de construire une main robotique et son interface de contrôle à moindre coût. L'auteur du projet a voulu construire une alternative moins coûteuse du projet de schurman, basé originellement sur un effecteur imprimé en 3D ([voir le projet initial](#)).

Globalement, le système se base sur le matériel utilisé dans les projets présentés précédemment : des servo-moteurs, un Arduino et des capteurs flexibles. Par ailleurs, l'idée d'utiliser du fil de pêche pour contrôler la main robotique comme une marionnette semble intéressante et facile à mettre en œuvre.

Enfin, il aurait été facile de rajouter le retour de force au niveau du gant à ce dispositif pour améliorer l'expérience de commande du robot.

## Bilan

---

### Synthèse des choix techniques pour la pince

D'après l'étude des pinces existantes, le choix se porte sur une pince angulaire à 2 mâchoires actionnée par des servo-moteurs :

- les pinces à 2 mâchoires sont les plus courantes
- 2 mâchoires permettent de simplifier l'interface haptique de contrôle contrairement à une pince à 3 mâchoires ou plus
- une pince parallèle semble mal adaptée aux types d'objets que nous serons amenés à manipuler lors du protocole des tests



- nous n'avons pas l'accès aux moteurs hydrauliques ou pneumatiques, les servo-moteurs sont donc plus accessibles en termes de praticité et de conception

Ces choix techniques nous ont amené à rechercher des modèles 3D de pinces en libre accès. Notre choix s'est porté sur le modèle type "Mantis" de Andreas alias Andreas Hölldorfer, disponible sur la plateforme Thingiverse à l'adresse : <https://www.thingiverse.com/thing:1480408>

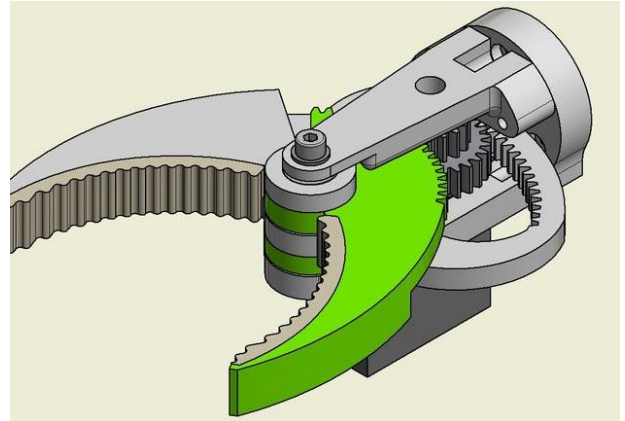


Fig. 21 : Mantis Gripper d'Andreas Hölldorfer

## Synthèse des choix techniques pour le système de contrôle

Parmi les systèmes de contrôle, nous avons rencontré beaucoup de projets utilisant un gant pour contrôler le système. Cependant, cette solution nous a semblé surdimensionnée et coûteuse par rapport à l'objectif de notre projet.

En effet, elle est parfaitement adaptée au contrôle d'une pince robotique anthropomorphe, or la pince retenue pour le projet n'a besoin du contrôle que de deux mâchoires. Nous avons donc décidé de baser le fonctionnement de notre système sur le mécanisme à servo-moteurs et fils de pêche, utilisé dans le contrôle de la main robotique de nithoma et de njkl44.



Fig. 22: Main robotique de nithoma

## Bibliographie

### Partie 1 : Pince

- Préhension. (2017, août 21). Wikipédia, l'encyclopédie libre. Page consultée le 21 octobre, 2017 à partir de <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pr%C3%A9hension&oldid=139948057>.
- Pince. (2017, juin 16). Wikipédia, l'encyclopédie libre. Page consultée le 21 octobre 2017 à partir de <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pince&oldid=138221203>.
- Types de préhension.OANDPLIBRARY. Page consultée le 21 octobre, 2017 à partir de <http://www.oandplibary.org/>
- Pinces de préhension. Direct INDUSTRY, le salon online de l'industrie. Page consultée le 21 octobre, 2017 à partir de <http://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/pince-prehension-73804.html>
- Robotic Gripper Sizing: The Science, Technology and Lore de ZAJAC Ted Jr. ZAYTRAN AUTOMATION. Page consultée le 27 octobre, 2017 à partir de <http://www.grippers.com/size.htm>
- Grippers in Automation. OMEGA, Engineering Technical Reference. Page consultée le 27 octobre, 2017 à partir de [https://mx.omega.com/prodinfo\\_eng/grippers.html](https://mx.omega.com/prodinfo_eng/grippers.html)
- End-Effectors. Universal Robots. Page consultée le 27 octobre, 2017 à partir de <https://www.universal-robots.com/plus/products/end-effectors/grippers/>
- Comment fabriquer un Robot – Leçon 3 : Donner un sens aux actionneurs par Coleman Benson sur RobotShop. Page consultée le 19 octobre, 2017 à partir de <http://www.robotshop.com/blog/fr/comment-fabriquer-un-robot-lecon-3-actionneurs-2-4304>
- Comment fabriquer un Robot – Leçon 5 : Choisir un contrôleur de moteur par Coleman Benson sur RobotShop. Page consultée le 19 octobre, 2017 à partir de <http://www.robotshop.com/blog/fr/comment-fabriquer-un-robot-lecon-5-controleur-de-moteur-4307>
- Arduino. (2017, octobre 30). Wikipédia, l'encyclopédie libre. Page consultée le 19 octobre, 2017 à partir de <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino&oldid=142099382>.
- Arduino. (2017, octobre 30). Arduino. Page consultée le 19 octobre, 2017 à partir de <https://www.arduino.cc/>

### Partie 2 : Contrôle haptique

- Pierre LETIER. Bras Exosquelette Haptique : Conception et Contrôle. Sciences de l'Ingénieur. Université Libre de Bruxelles. Juillet 2010. Français
- Introduction To Haptic Feedback. Precision Microdrives. Page consultée le 22 octobre, 2017 à partir de <https://www.precisionmicrodrives.com/haptic-feedback/introduction-to-haptic-feedback>
- Haptic technology. Wikipédia, l'encyclopédie libre. Page consultée le 20 octobre 2017 à partir

de [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Haptic\\_technology&oldid=812736431](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Haptic_technology&oldid=812736431)

- Saitek X52 Pro : Test Complet. *Les Numériques*. Page consultée le 23 octobre, 2017 à partir de <https://www.lesnumeriques.com/joystick/saitek-x52-pro-p24823/test.html>
- Comment construire une main robotisée avec retour haptique. *Tubefr*. Page consultée le 24 octobre, 2017 à partir de <http://www.tubefr.com/comment-construire-une-main-robotisee-avec-retour-haptique.html>
- Haptic Glove With DIY Flex Sensors. *Instructables*. Page consultée le 25 octobre, 2017 à partir de <http://www.instructables.com/id/Haptic-Glove-With-DIY-Flex-Sensors/>
- Glove Controlled Robotic Hand - Cheap and Simple Version. *Instructables*. Page consultée le 25 octobre, 2017 à partir de <http://www.instructables.com/id/Glove-Controlled-Robotic-Hand-Cheap-and-Simple-Ver/>
- Mantis Gripper. *Thingiverse*. Page consultée le 20 octobre, 2017 à partir de <https://www.thingiverse.com/thing:1480408>