



## Table des matières

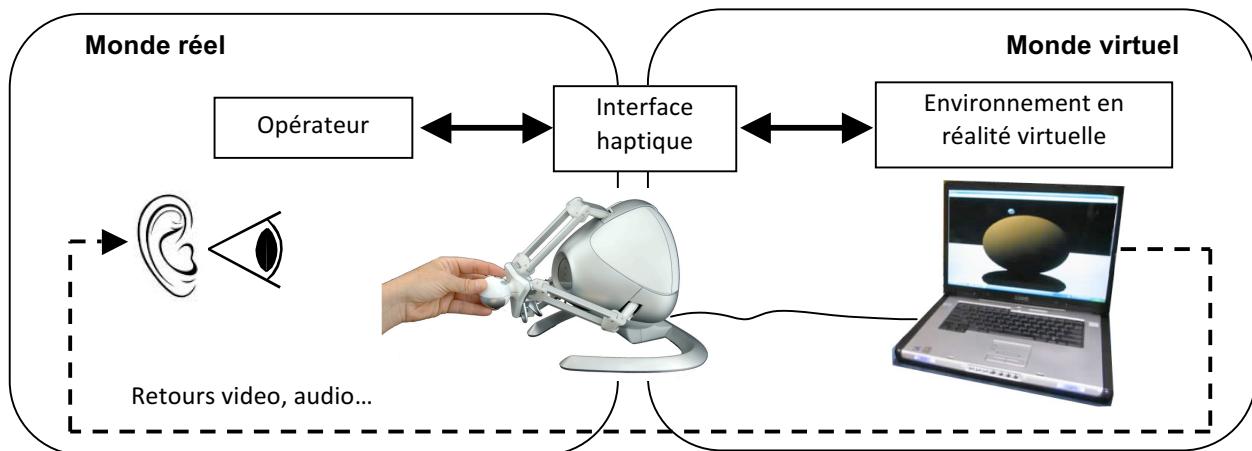
Fiche 1	Présentation Générale .....	2
	<i>Les champs de compétences de l'haptique :</i> .....	3
	Application à la téléopération .....	3
	Autres applications.....	5
Fiche 2	Analyse fonctionnelle .....	6
	Diagramme de cas d'utilisation .....	6
	Diagramme de définition de bloc .....	6
	Diagramme de séquence.....	7
	Diagramme de bloc interne.....	7
Fiche 3	Analyse structurelle.....	8
	Motorisation et réducteur .....	8
	Données complémentaires .....	9
	Architecture mécanique .....	9
	Chaine d'information chaîne d'énergie .....	10
	Données techniques fabriquant .....	11
Fiche 4	Chaîne d'acquisition .....	11
	Codeurs incrémentaux .....	11
	Pied à coulisse .....	12
	Capteur d'effort.....	13
	Quelques points à explorer : .....	13
Fiche 5	Modélisation cinématique .....	14
	Modélisation 3D .....	14
	Modélisation 2D .....	14
Fiche 6	Mise en service du Robot Haptique .....	15
	Utilisation du robot seul avec le logiciel « falcon_decouverte ».....	15
	Robot avec carte d'acquisition et de commande .....	16
Fiche 7	Réaliser une mesure de position.....	16
Fiche 8	Réaliser une mesure d'effort.....	18

# Fiche 1 PRESENTATION GENERALE

L'haptique (du grec αππομαι qui signifie « je touche ») désigne la science du toucher, par analogie avec l'acoustique ou l'optique. Au sens strict, l'haptique englobe la perception tactile et les phénomènes kinesthésiques, c'est-à-dire la perception du corps dans l'environnement. ([WIKIPEDIA](#))

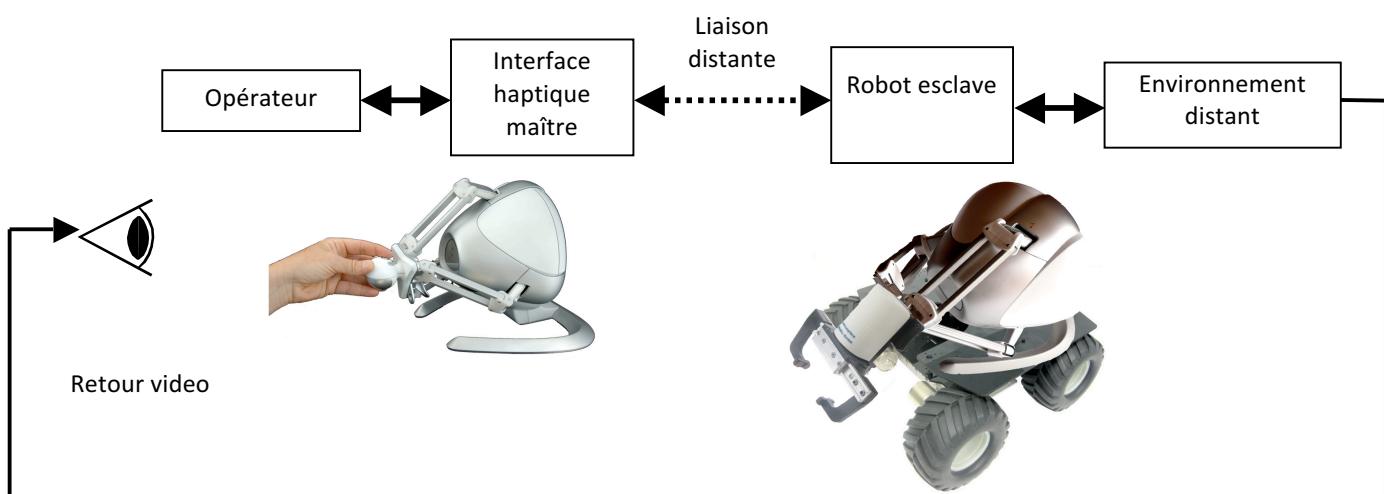
## L'interaction avec un monde virtuel :

Elle consiste à permettre à un opérateur d'agir sur un environnement virtuel généré sur PC et à renvoyer à cet opérateur des sensations haptiques liées à ses actions. Pour ce faire on utilise un dispositif appelé « interface haptique », capable de fournir à l'environnement virtuel les informations, principalement du type déplacement, découlant des actions de l'opérateur et de renvoyer à l'opérateur des effets de type effort mécanique (on parle de retour d'effort).



## La télémanipulation haptique :

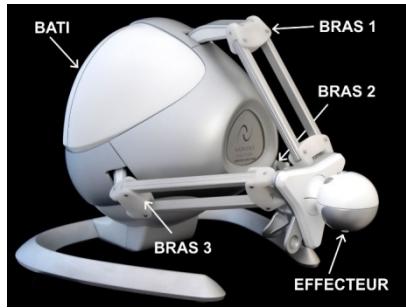
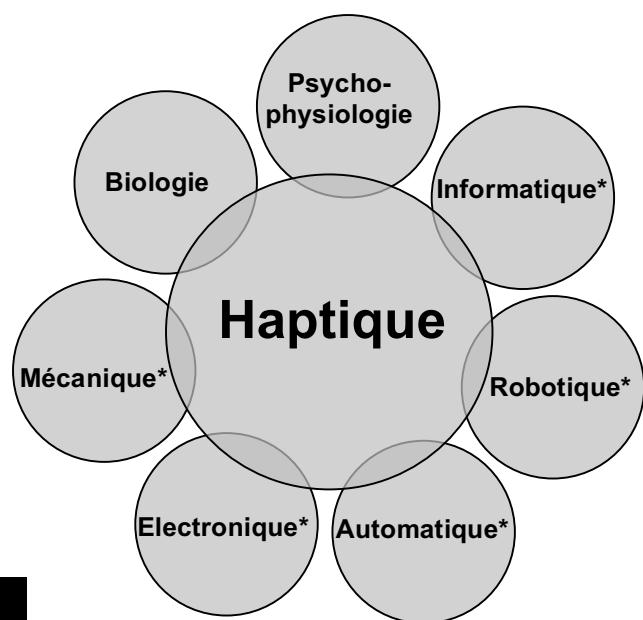
Un autre domaine de l'interaction haptique concerne la télémanipulation dans lequel l'opérateur, via l'interface haptique maître, commande un robot esclave distant qui restitue par la même chaîne en sens inverse les effets mécaniques liés aux actions de l'opérateur.



## Les champs de compétences de l'haptique :

A partir des paragraphes précédents on constate que la conception, la réalisation et la mise en œuvre de systèmes haptiques, soit en « réalité virtuelle » soit en télémanipulation, mobilisent des compétences fortement pluridisciplinaires, disciplines résumées dans le diagramme ci-contre (il est à noter que les disciplines technologiques ci-contre (\*) ne sont pas isolées les unes des autres mais comportent bien évidemment des compétences transversales à des degrés divers).

Les utilisateurs de l'haptique sont de plus en plus nombreux et pour des usages de plus en plus diversifiés : le jeu sur PC, les simulateurs (aéronautique, militaires, chirurgicaux, dentisterie...), la télérobotique (environnement dangereux, médecine, ...)



L'interface possède une architecture mécanique de type robot parallèle de structure « Delta ». Trois bras sont actionnés indépendamment et liés à un effecteur terminal par des parallélogrammes de jonctions. Les trois bras ont une constitution identique, décalée d'un angle de 120°.

## Extrait du cahier des charges

Fonction	Critère	Valeur
Acquérir la position	Degrés de liberté	3 en translation
	Espace de travail : cube	100x100x100 mm
	Résolution en position	400 dpi (points par pouce)
Piloter la position	Précision	0,5 mm
	Rapidité	0,2 s
	Bande passante à -3dB	2 rad/s
Restituer l'effort	Direction de l'espace	3
	Force maxi	9 N

## Application à la téléopération

La télé-opération est en plein développement pour l'assistance aux activités sensibles (chirurgie, nucléaire, etc.). Un système de télé-opération est avant tout un système liant un opérateur à une matière d'œuvre distante. Pour réaliser sa tâche, l'opérateur doit transmettre son intention au système. Mais aussi, la qualité de cette réalisation dépend du ressenti de l'opérateur. Les ressentis humains se classent en deux catégories :

- Ressentis à faible énergie : vision, ouïe ;

- Ressentis à forte énergie : ressenti musculaire.

Si la première catégorie est facilement réalisable avec les outils conventionnels de transmission de l'information (écran, casque vidéo et/ou audio), la deuxième nécessite des puissances plus importantes nécessitant une maîtrise et un pilotage de ces puissances.

L'interface homme-machine *Falcon* permet la transmission de ce ressenti à forte énergie.

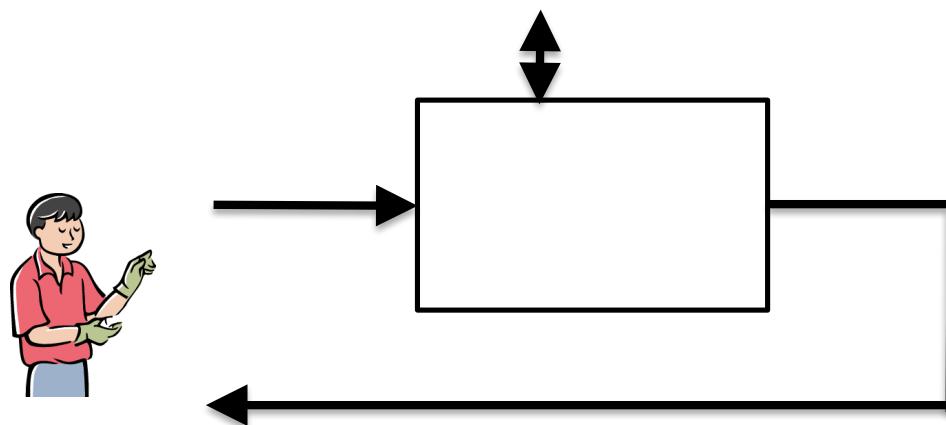
Schéma bloc synoptique :



Dans le cadre du robot *falcon*, les grandeurs d'intention et de ressenti sont :

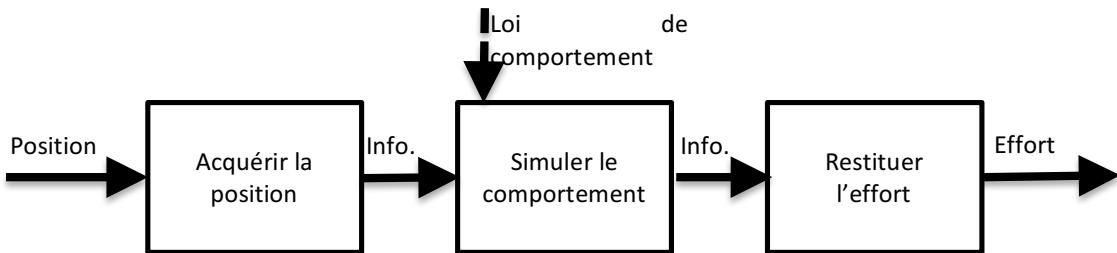
- Intention : déplacement de la poignée ;
- Ressenti : effort sur la poignée.

Le produit des deux grandeurs est l'énergie musculaire développée par l'utilisateur. L'effort est donc imposé par l'interface haptique en fonction de la position, selon une loi de comportement qui doit refléter l'environnement distant ou virtuel.



Une décomposition fonctionnelle plus détaillée de l'interface fera apparaître trois sous-fonction :

- Acquérir la position ;
- Simuler le comportement ;
- Restituer l'effort.



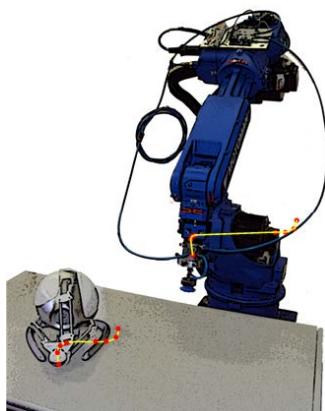
## Autres applications

L'interface homme-machine **Falcon** de la société Novint permet de capter des déplacements dans l'espace, et aussi de générer un retour d'effort à l'utilisateur. Sa structure et ses composants se déclinent en **quatre usages possibles** :

<b>Souris 3D :</b>	<b>Positionnement à distance :</b>	<b>Retour Haptique :</b>
L'interface peut acquérir des mouvements de l'utilisateur dans les trois directions de l'espace. 	L'interface est pilotée par le PC pour se positionner à des endroits précis et réaliser des tâches simples. 	L'interface capte les déplacements de l'utilisateur et lui renvoie des sensations d'effort conformes à une application virtuelle. On parle de réalité virtuelle. 

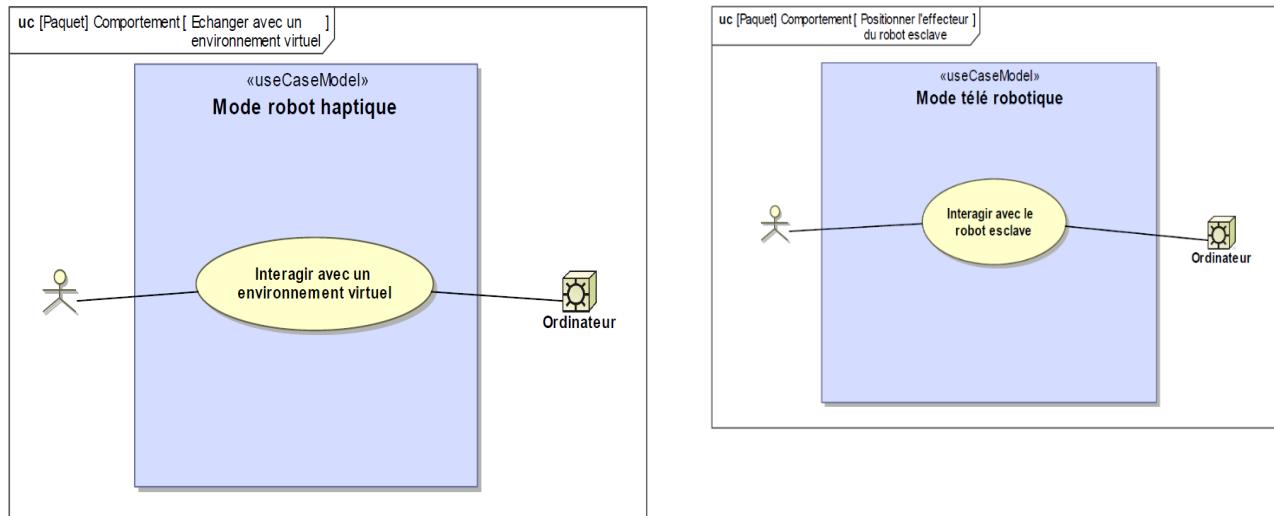
### Téléopération :

L'interface est utilisé pour piloter un robot distant.  
Elle peut aussi faire ressentir les actions du robot distant à l'utilisateur.

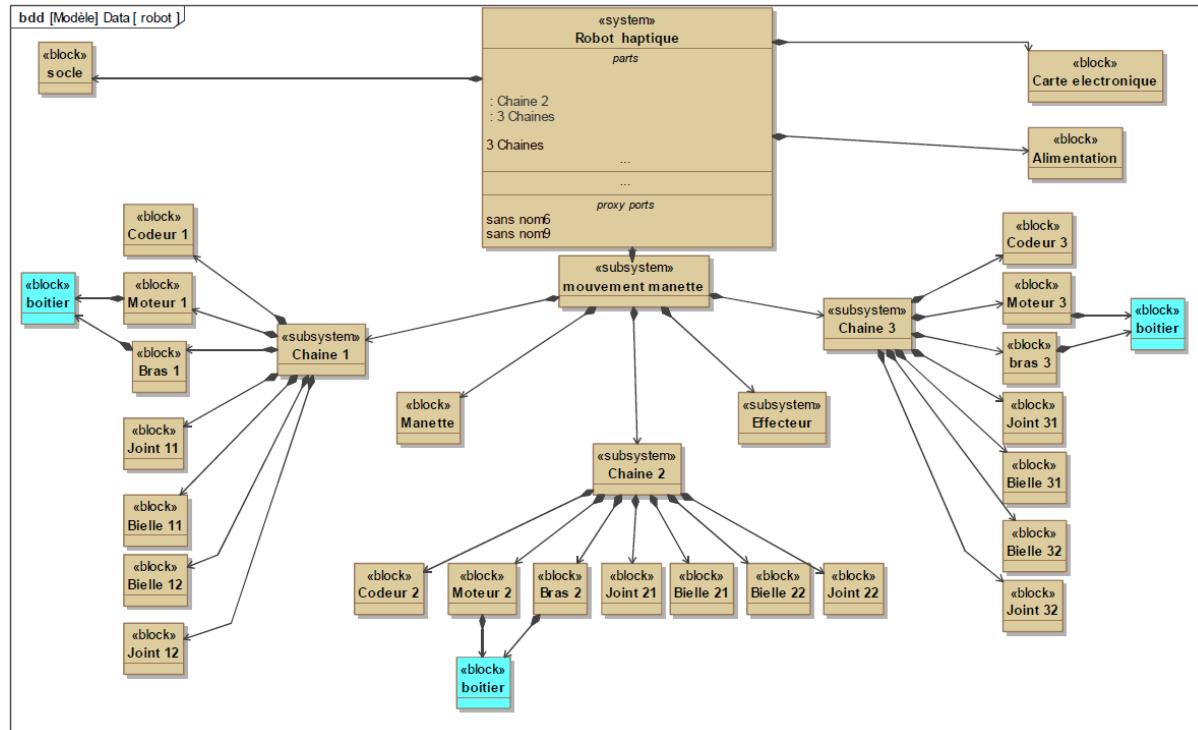


## Fiche 2 ANALYSE FONCTIONNELLE

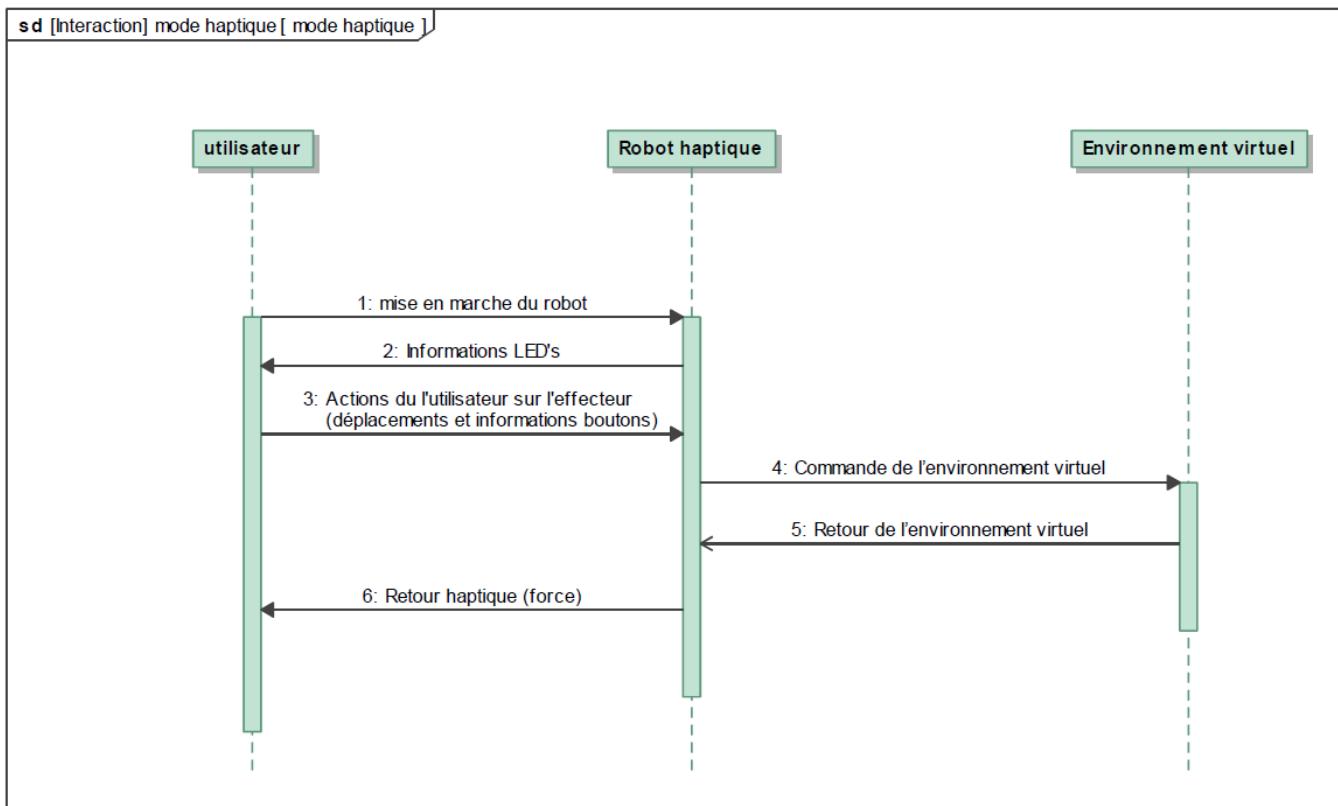
### Diagramme de cas d'utilisation



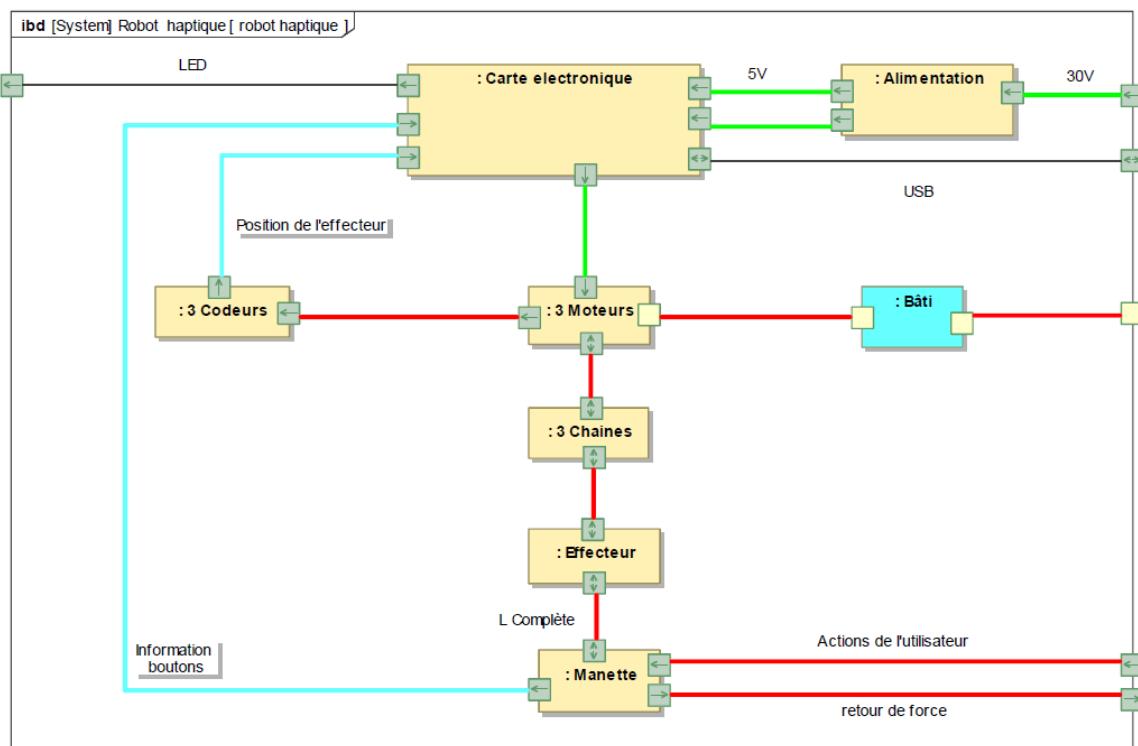
### Diagramme de définition de bloc



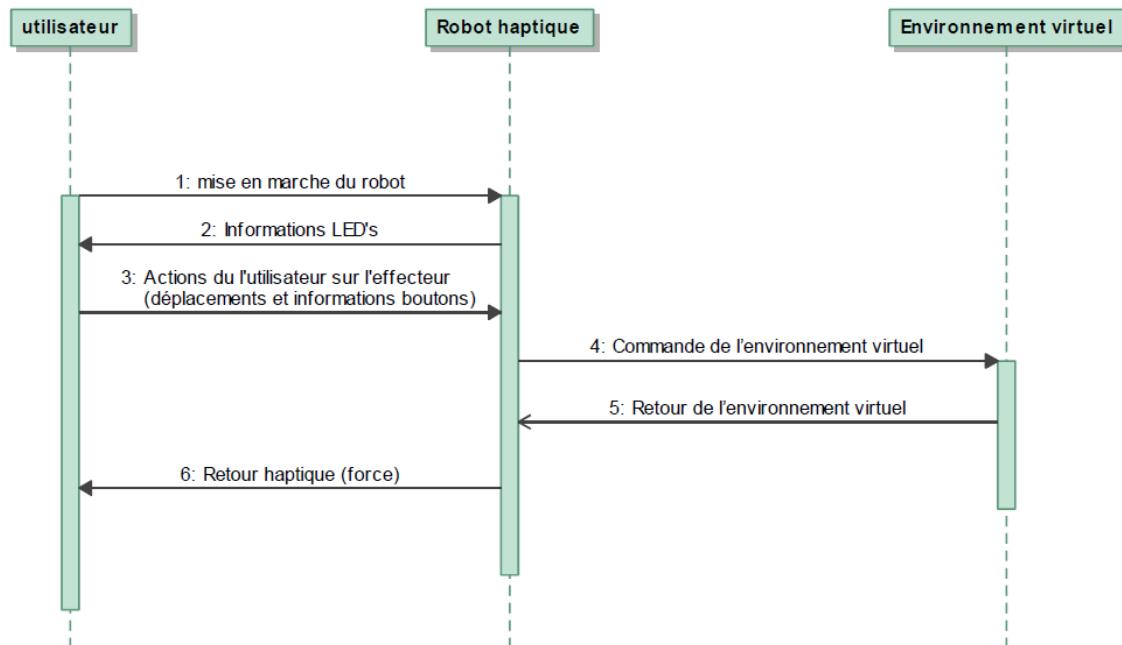
## Diagramme de séquence



## Diagramme de bloc interne

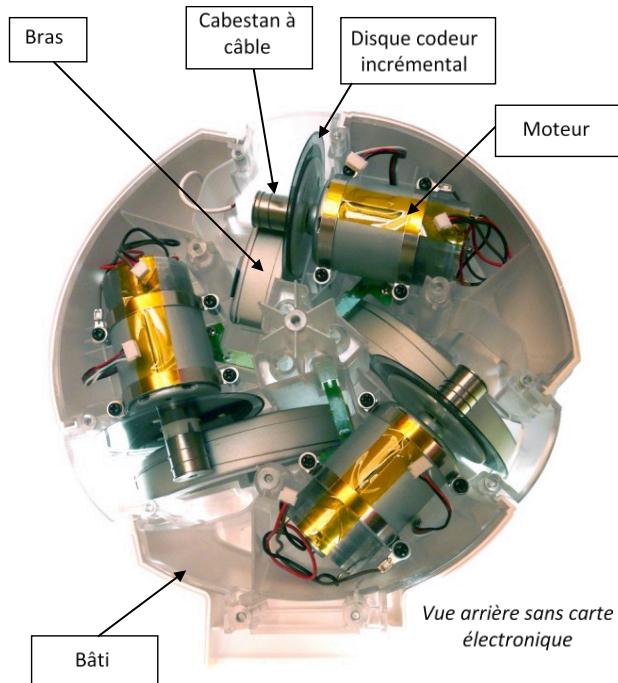


sd [Interaction] mode haptique [ mode haptique ]



## Fiche 3 ANALYSE STRUCTURELLE

### Motorisation et réducteur

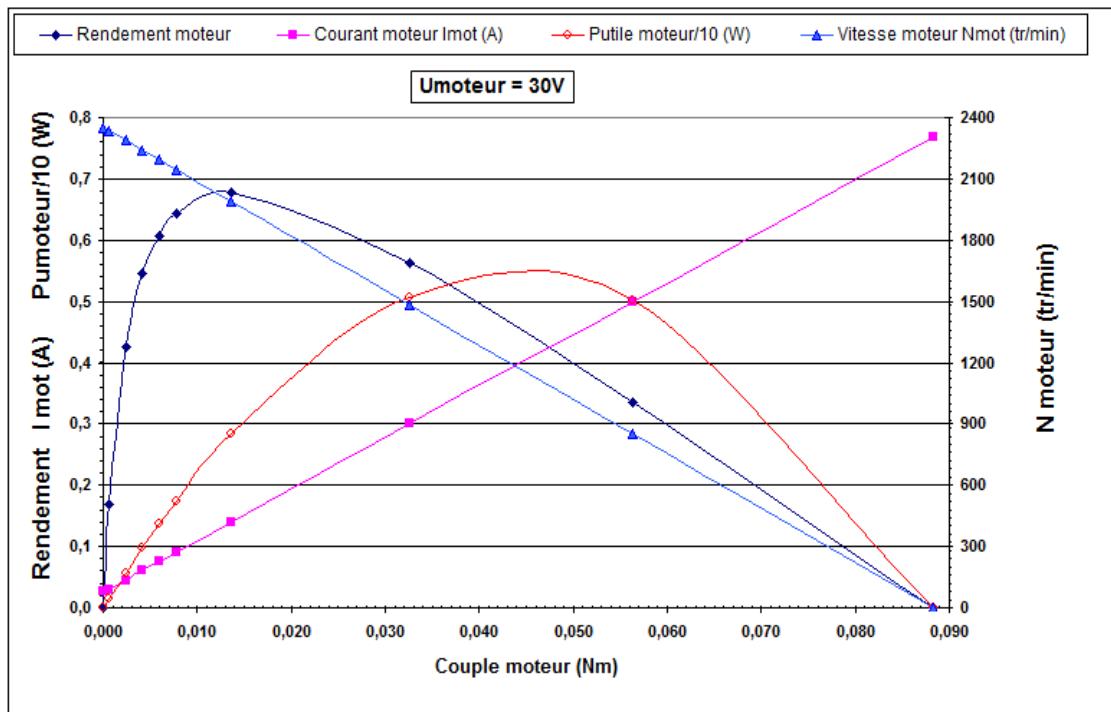


Un moteur entraîne chacun des bras via un réducteur à cabestan. De plus, l'axe de chaque moteur est équipé d'un disque gradué nécessaire au traitement d'un codeur incrémental.

**Moteurs à courant continu à aimants permanents**

Référence : Mabuchi RS-555PH-15280

TENSION Nominale	à VIDE (sous Unom)		Au régime nominal (rendement 0,53)				Rotor calé	
	Vitesse tr/min	Courant A	Vitesse tr/min	Courant A	Couple mN·m	Puissance W	Couple mN·m	Courant A
	30V	2350	0,026	1990	0,14	13,7	2,85	0,769

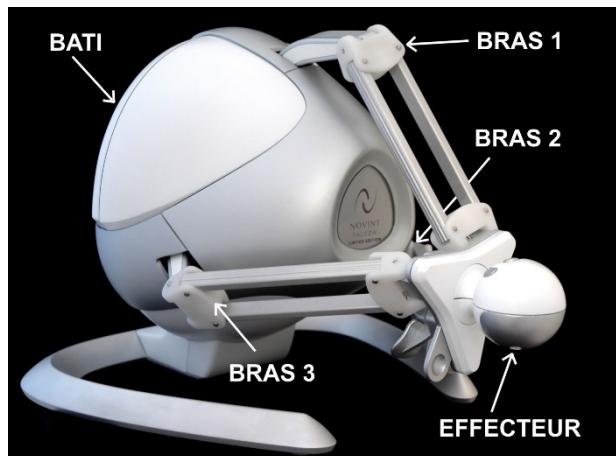

**Données complémentaires**

- Moteur :

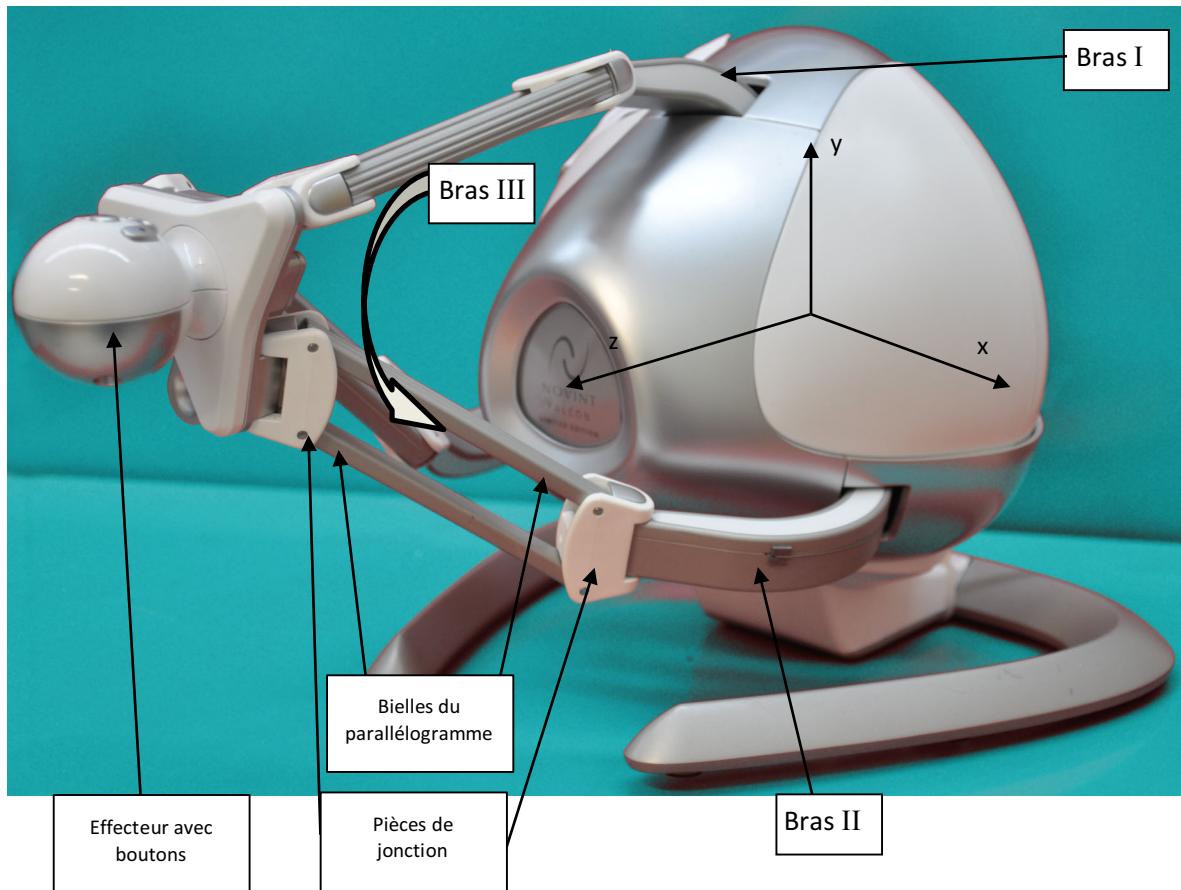
Caractéristiques électriques	Caractéristiques mécaniques
Rinduit = $38 \Omega$ Linduit = $35 \text{ mH}$	Inertie rotor = $7 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$ Constante de couple = $0,118 \text{ N.m.A}^{-1}$

- Convertisseur :

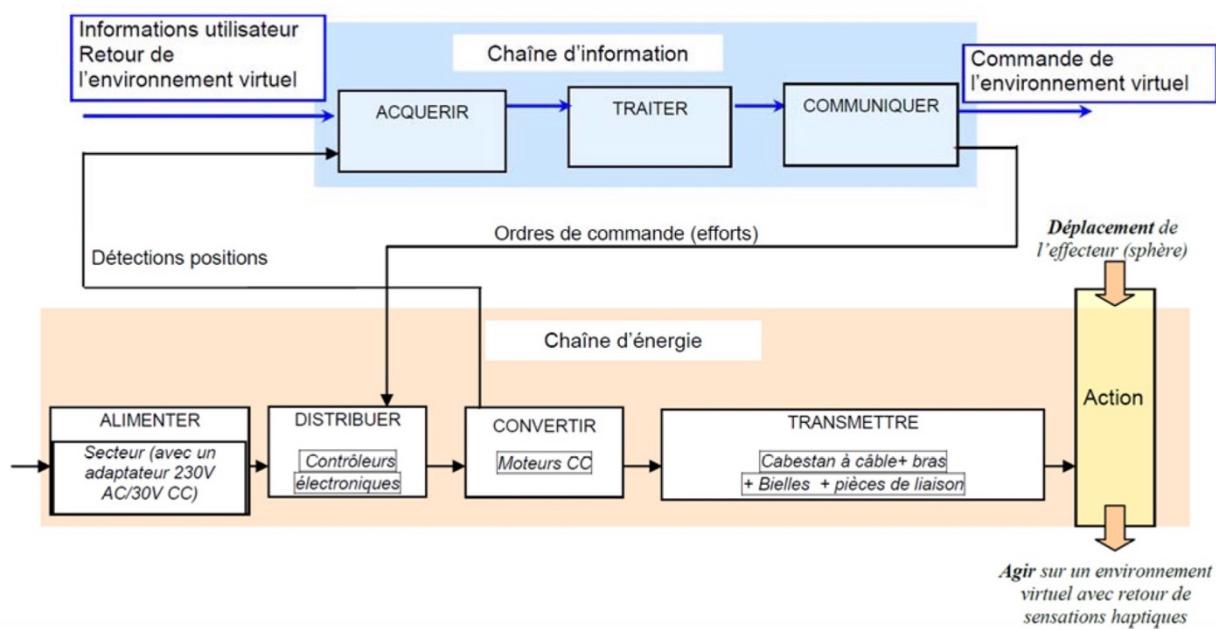
Le hacheur, asservi en courant, a un gain : 0,17 mA/inc

**Architecture mécanique**


L'interface possède une architecture mécanique de type robot parallèle de structure « Delta ». Trois bras sont actionnés indépendamment et liés à un effecteur terminal par des parallélogrammes de jonctions. Les trois bras ont une constitution identique, décalée d'un angle de 120°.



## Chaine d'information chaîne d'énergie



## Données techniques fabriquant

### Cinématique :

Degrés de liberté : 3 en translation

Facteur de réduction de vitesse moteur-cabestan-bras : 1/7,627

Espace de travail : 101x101x101 mm

Force maxi : env. 9N

### Codeurs incrémentaux (3) :

Nombre de points : 320 sur 1 piste avec double faisceau (soit 1280 pts/tr après traitement)

Résolution en position : >400 dpi

### Communication vers PC :

Fréquence de rafraîchissement de la transmission : 1000Hz

Masse totale : 2,7 kg

Alimentation électrique : 30VDC, puissance 30W

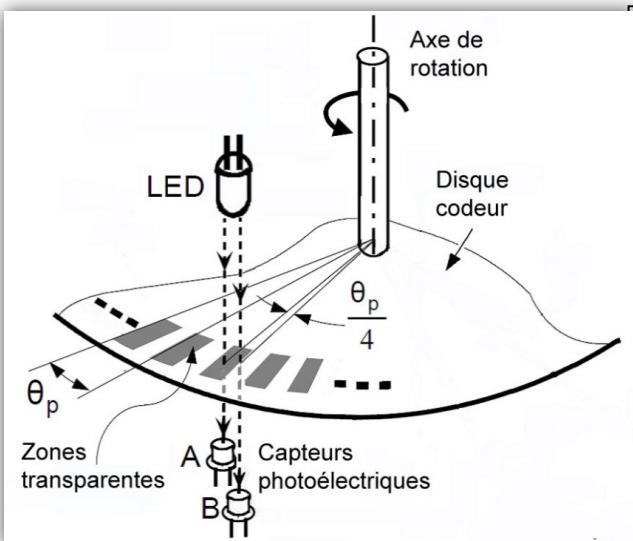
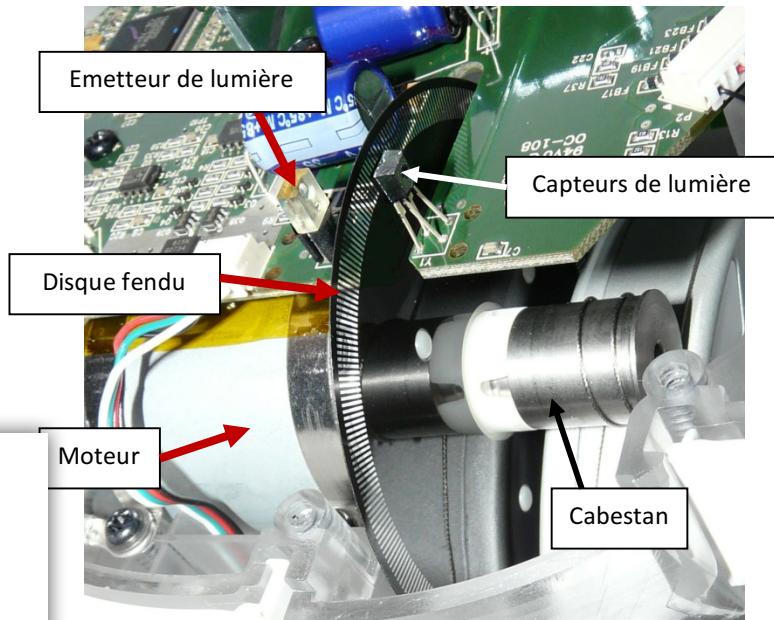
Bloc alimentation secteur : entrée : 100-240VAC 50/60Hz      sortie : 30VDC 1A

## Fiche 4 CHAINE D'ACQUISITION

### Codeurs incrémentaux

Le déplacement angulaire des axes de rotation des moteurs du robot s'obtient à partir de capteurs angulaires de type codeurs incrémentaux.

Ces codeurs sont constitués d'un disque opaque présentant des fentes transparentes régulières. Une source de lumière est placée d'un côté du disque et deux récepteurs photoélectriques accolés sont placés de l'autre côté. Le rayon

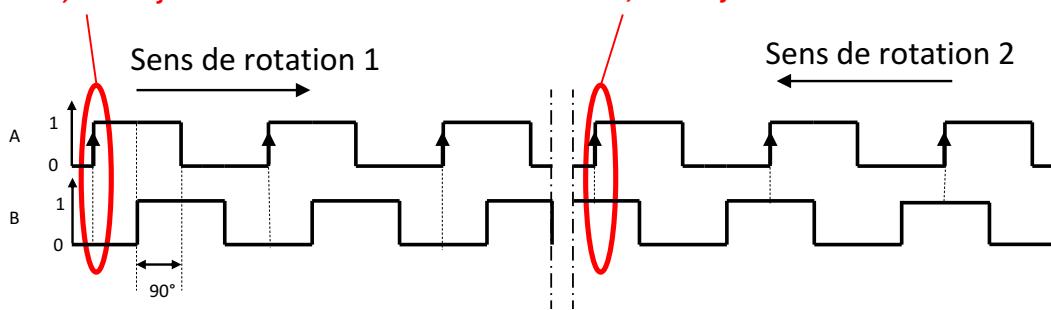


lumineux reçu par chacun des récepteurs est donc coupé à intervalles réguliers lorsque le disque, entraîné par le moteur, tourne sur son axe.

(Emetteur = référence SEP8706 et photorécepteur = référence HCL2701)

Les 2 faisceaux et leurs récepteurs sont décalés de 45° ou 90° (1/8 ou 1/4 de période). Ce décalage permet de déterminer le sens de rotation, en analysant l'état de B au moment du front montant de A (passage de l'état bas à l'état haut).

**B=0, lors du front montant de A**



**B=1, lors du front montant de A**

#### Caractéristique du codeur du robot haptique :

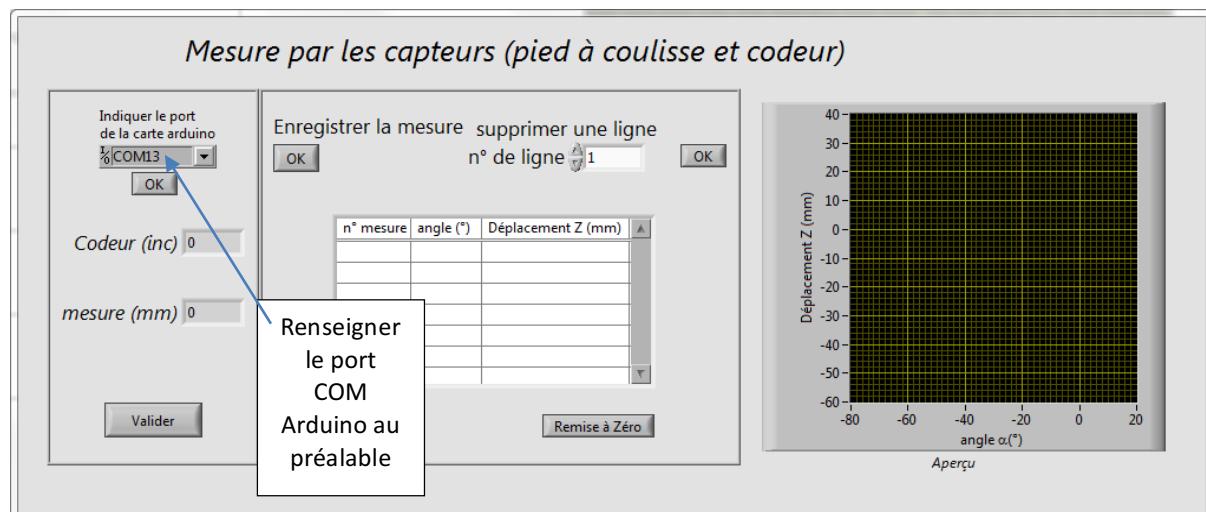
Nombre de points : 320 sur 1 piste avec double faisceau de lecture.

#### Pied à coulisse

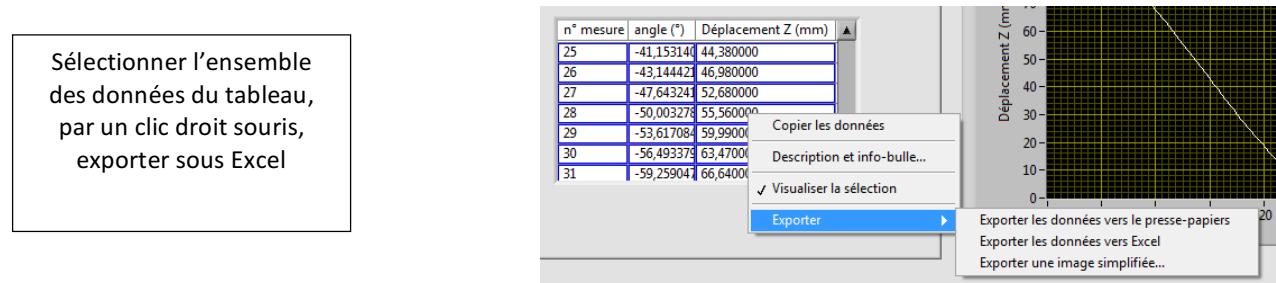


La précision du capteur est de 1/100

Pour acquérir l'information issue du pied à coulisse :



Pour exporter sous Excel les valeurs mesurées :





## Capteur d'effort

L'effort est relevé par un capteur à jauge de déformation.

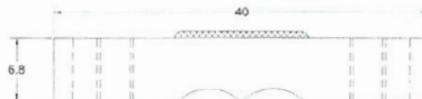
Une des extrémités du capteur est en contact avec la butée réglable

**Réglage par clé Allen (à ne pas perdre)**

L'autre extrémité est encastrée sur la plaque du robot.

L'information est traitée via la carte arduino.

Model:FMD-200N



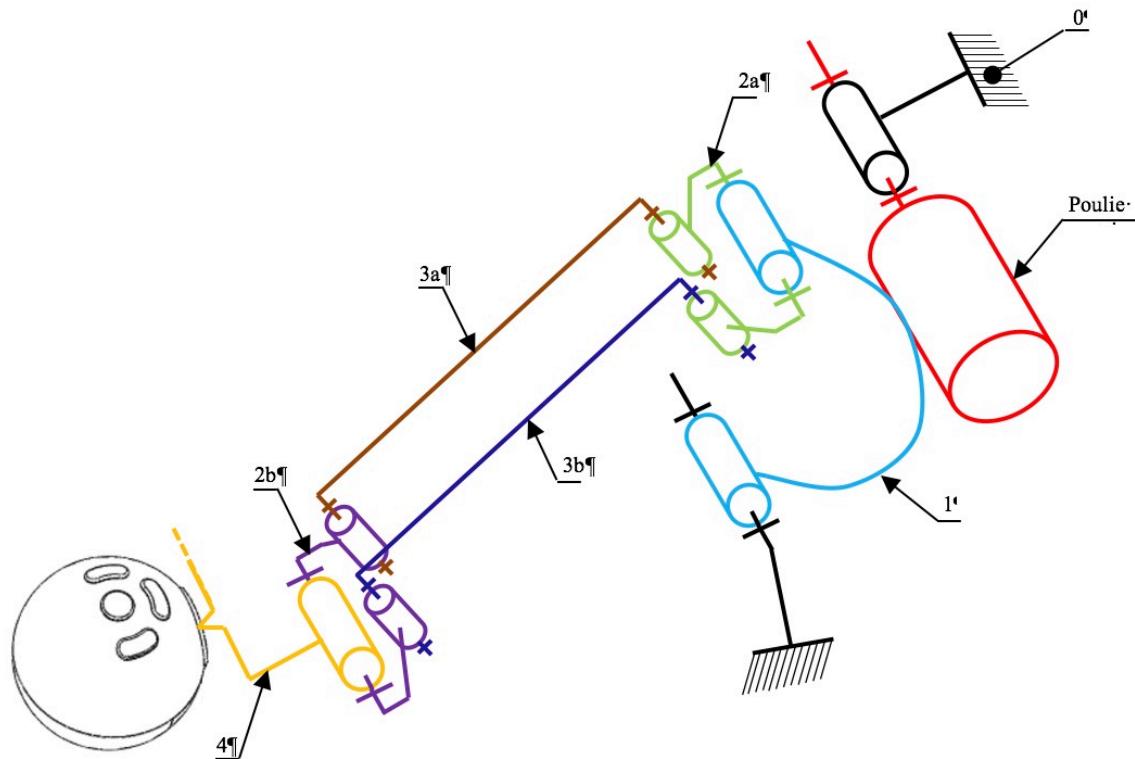
Rated Output	$2.0 \pm 10\% \text{ mV/V}$	Compensated Temp.	0...25°C
Excitation	3-6V	Operating Temp.	-10°C – 40 °C
Zero Balance	$\pm 0.1\text{mV/V}$	Temp. Shift Zero	$\pm 0.2\%$ of R.O./°C
Nonlinearity	$\pm 0.05\%$ of R.O.	Temp. Shift Span	$\pm 0.01\%$ of R.O./°C
Hysteresis	$\pm 0.05\%$ of R.O.	Input Resistance	$1000 \pm 100\Omega$
Nonrepeatability	$\pm 0.05\%$ of R.O.	Output Resistance	$1000 \pm 100\Omega$
Croop(2min)	$\pm 0.05\%$ of R.O.	Insulation Resistance	>2000M Ω (50V)
Safe Overload	150% of F.S.	Ingress Protection	IP62
Ultimate Overload	200% of F.S.	Material of Element	Aluminium alloy
Cable	30AWG*150mm		
Wiring code	Red - - EXC+ BLACK - - EXC- Green - - SIG+ White- - SIG-		
R.O. = Rated Output		F.S. = Full Scale	

## Quelques points à explorer :

- Proportionnalité entre l'angle affiché en incrément et en degrés par l'interface logicielle.
- Valider expérimentalement la résolution en positon du bras de 400 dpi soit  $63.5 \mu\text{m}/\text{pt}$

# Fiche 5 MODELISATION CINEMATIQUE

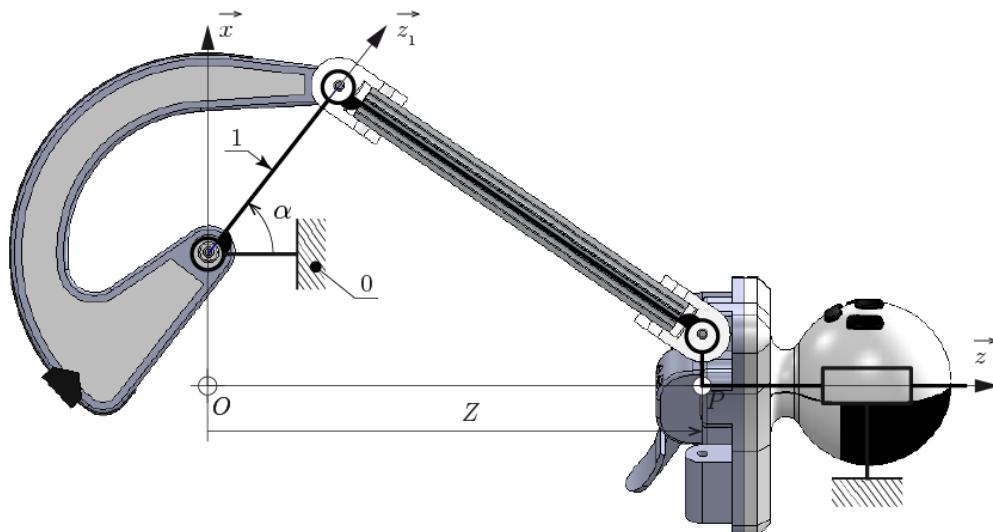
## Modélisation 3D



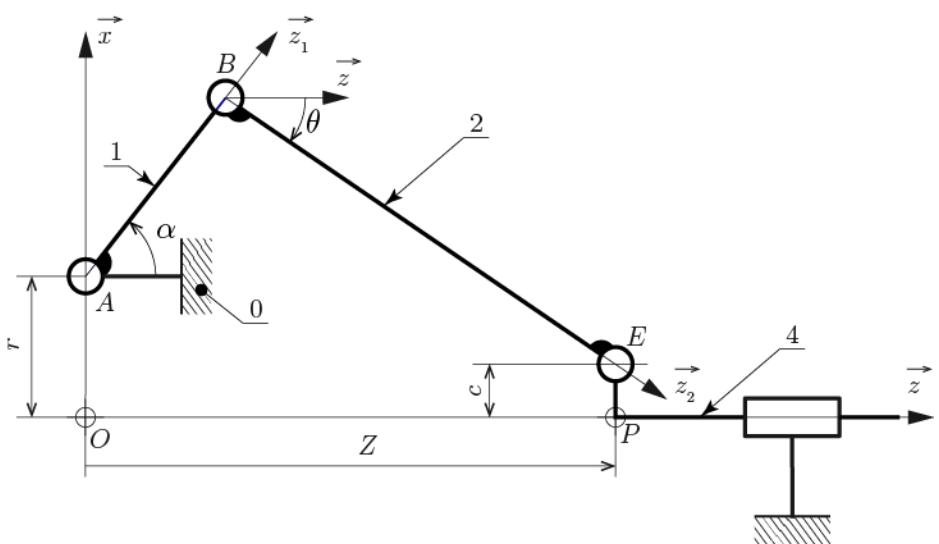
## Modélisation 2D

Le mouvement de translation rectiligne modélisé par la liaison glissière est obtenu par le guide.

Solides :	Paramétrage des liaisons :	Notations :
bâti <u>0</u> manivelle <u>1</u> tige <u>2</u> l'effecteur <u>4</u>	glissière <u>0-4</u> de direction $\vec{z}$ : $Z = \overrightarrow{OP} \cdot \vec{z}$ pivot <u>0-1</u> d'axe ( $A, \vec{y}$ ) : $\alpha = (\vec{z}, \vec{z}_1)$ . pivot <u>2-4</u> d'axe ( $E, \vec{y}$ ) : $\theta = (\vec{z}, \vec{z}_2)$ pivot <u>1-2</u> d'axe ( $B, \vec{y}$ ) : $\beta = \theta - \alpha$	$\overrightarrow{OP} = Z\vec{z}$ $\overrightarrow{OA} = r\vec{x}$ $\overrightarrow{AB} = a\vec{z}_1$ $\overrightarrow{BE} = (2d + b)\vec{z}_2$ $\overrightarrow{PE} = c\vec{x}$



distances (mm)			
a	60	e	11,25
b	102,5	f	25
c	14	r	37,23
d	11,25	s	27,33



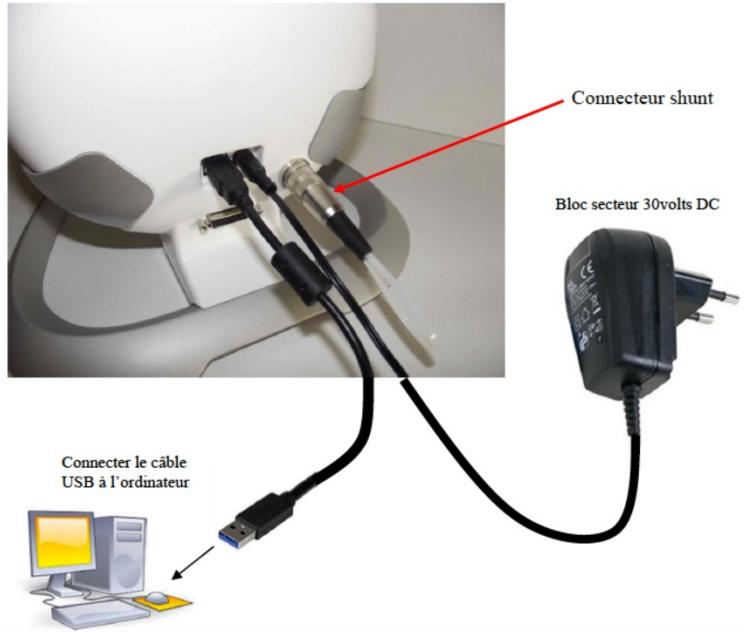
## Fiche 6 MISE EN SERVICE DU ROBOT HAPTIQUE

### Utilisation du robot seul avec le logiciel « falcon\_decouverte »

Le robot doit être connecté comme la photo ci-dessous :

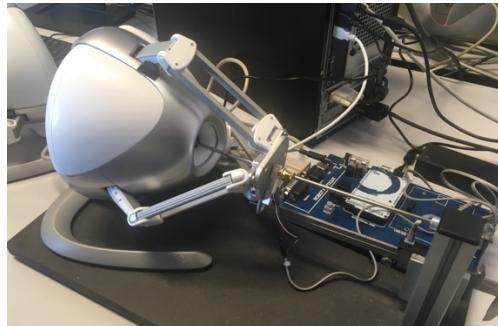
- Câble d'alimentation ;
- Câble USB vers le PC
- Connecteur shunt mis en place

Vous pouvez lancer l'application « Falcon\_decouverte » située sur le bureau



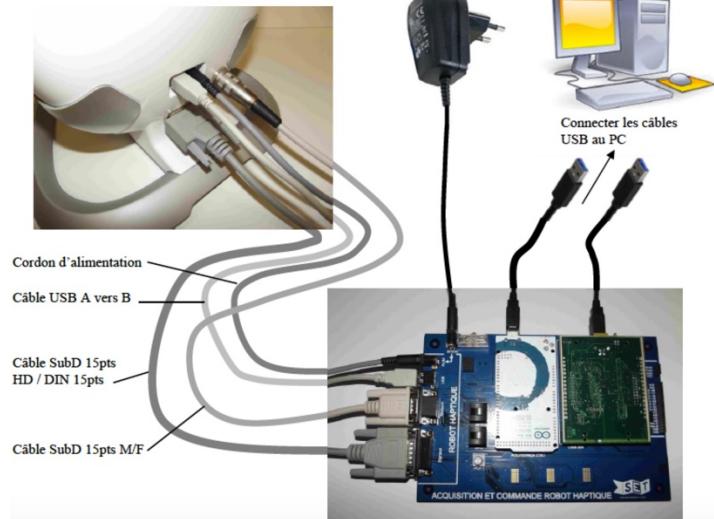
## Robot avec carte d'acquisition et de commande

Dans cette configuration : on utilise le robot disposé sur le banc d'essai :



*Le Robot s'éclaire et la carte Arduino est maintenant reconnue par le PC, relevez le numéro du port COM*

- Carte Arduino reliée à l'arrière du PC via l'USB
- Robot Haptique relié à l'arrière du PC via l'USB
- Brancher l'alimentation 30V à la prise électrique sur le mur



Le système est maintenant en service.

**A l'issue de l'activité, il est important de débrancher l'alimentation en 30V de la carte et du mur, ainsi que les ports USB du PC.**

## Fiche 7 REALISER UNE MESURE DE POSITION

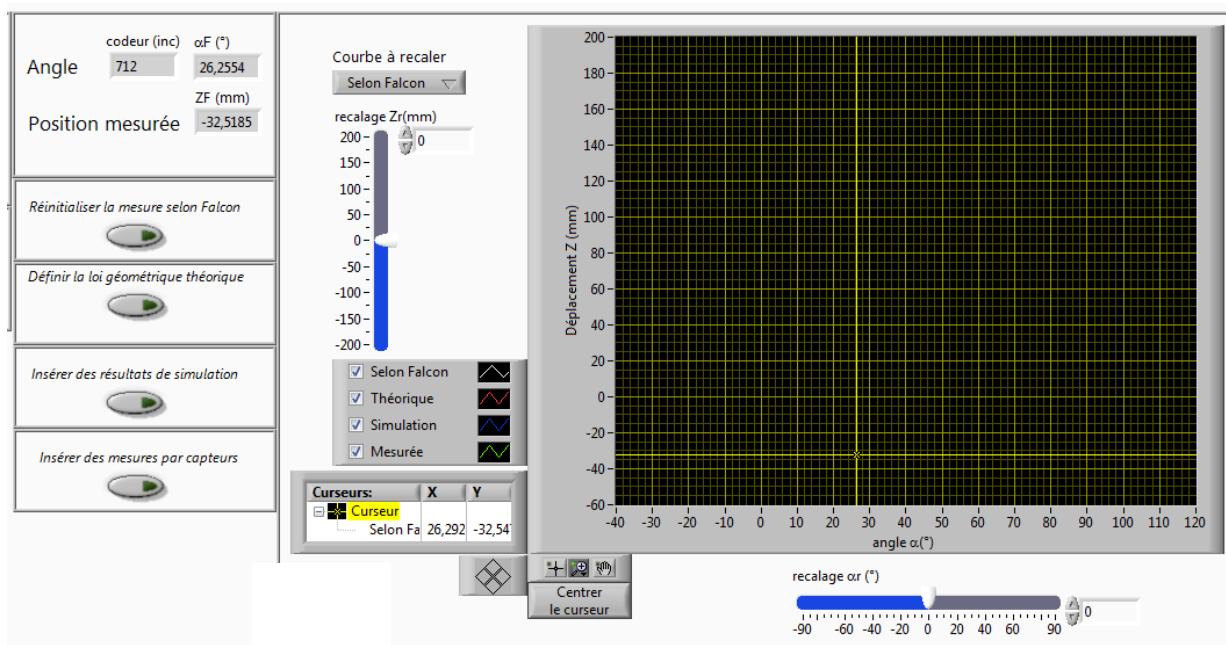
Dans le dossier « Haptique » présent sur le bureau, dans « Falcon pilotage » lancer l'application « falcon acquérir »

L'éclairage du robot devient rouge :

Il faut initialiser les codeurs, pour cela effectuer lentement un aller-retour du bras jusqu'à que l'éclairage devienne bleu.

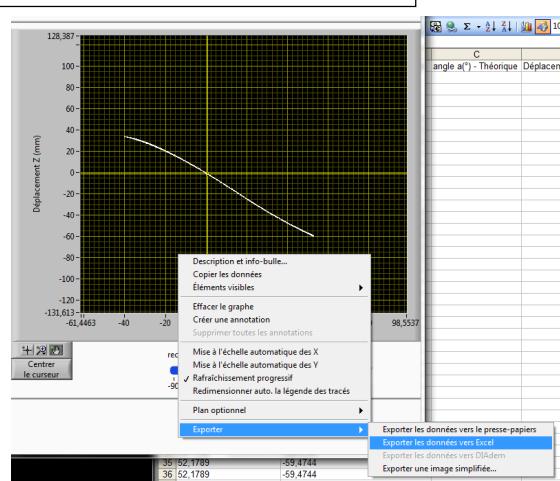
Les positions de l'effecteur se définissent à la main, aucun pilotage via l'interface n'est prévu dans ce module.

Fenêtre d'affichage des données issues du codeur et de positions calculées.  Onglets d'accès au menu de tracé de courbes	<b>Fenêtre de recalage des courbes affichées</b>	<b>Fenêtre graphique pour les courbes :</b> - selon le Robot Falcon - selon une équation théorique renseignée - selon des points récupérés de simulation Méca3D - selon des mesures issues du pied à coulisse
--	--	---



Pour sauvegarder les données sous format Excel :

- Click droit souris sur le graphique
- Exporter.....



## Fiche 8 REALISER UNE MESURE D'EFFORT

Dans le dossier « Falcon restitué » lancer l'application :

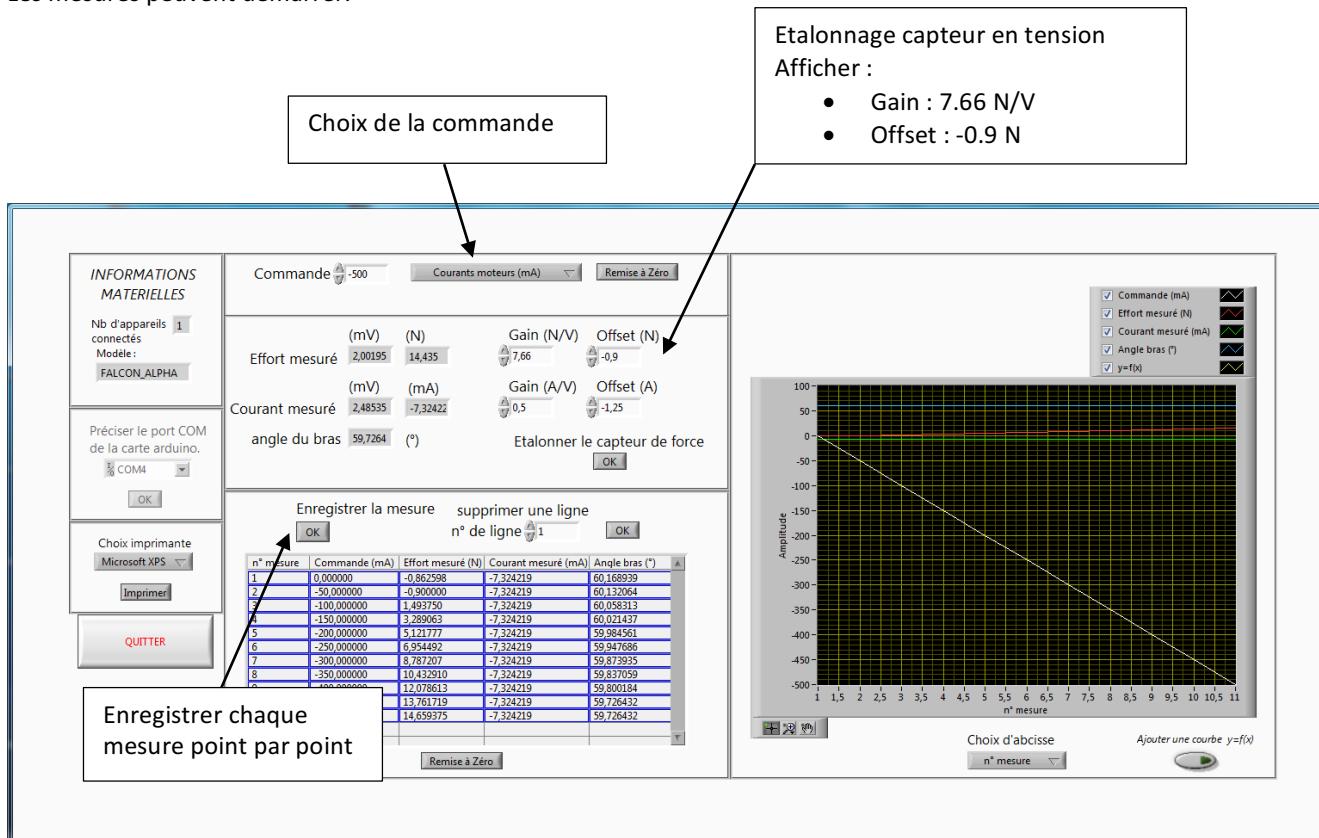
### L'éclairage du robot devient rouge :

Il faut initialiser les codeurs, pour cela effectuer lentement un aller-retour du bras jusqu'à que l'éclairage devienne bleu.

### Communication avec la carte arduino :

Dans l'onglet « préciser le port COM » renseigner le port COM de la carte arduino. Vous pouvez le retrouver dans « gestionnaire de périphérique ».

Les mesures peuvent démarrer.



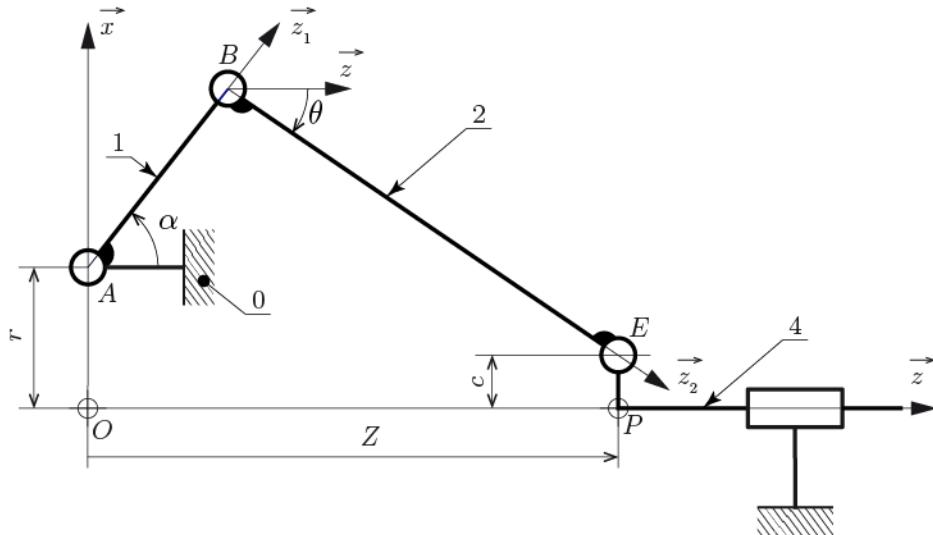
### Enregistrer les mesures :

Par un clic droit souris sur les valeurs sélectionnées, choisir *export en fichier Excel*

- Sauvegarder la mesure.
- Le fichier proposé est par défaut .txt, veiller à sélectionner format .xls

## Fiche 9 MODELE DE CONNAISSANCE

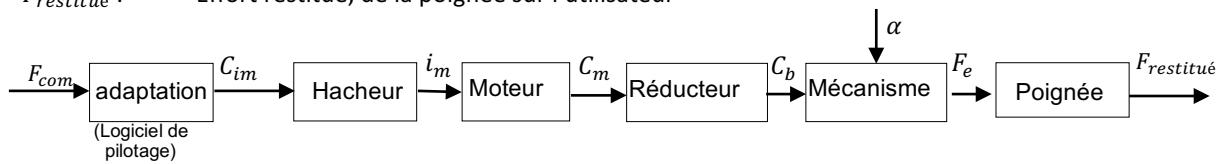
### Loi entrée – sortie selon le Principe Fondamental de la Statique



En introduction, il a été vu que le seul organe dont nous n'avons pas le modèle de connaissance est le mécanisme. Afin de justifier le comportement constaté expérimentalement, il est nécessaire de déterminer ce modèle. Le mécanisme (représenté document d'accompagnement 8) admet comme entrée le couple  $C_b \vec{y}$  du réducteur sur le bras, et en sortie  $F_e$  la composante selon  $\vec{z}$  de  $\vec{F}_{2 \rightarrow 4}$ .

Paramétrage :

- $F_{com}$  : Commande en effort ;
- $C_{im}$  : Commande du pré-actionneur ;
- $i_m$  : Courant moteur ;
- $C_m$  : Couple du moteur sur le réducteur ;
- $C_b$  : Couple du réducteur sur le bras ;
- $F_e$  : Effort d'un bras sur la poignée dans la direction  $Z$
- $F_{restitué}$  : Effort restitué, de la poignée sur l'utilisateur



- Par une étude statique partielle, on montre que {1} est en équilibre sous l'action de 3 glisseurs :

1. Torseur de l'action mécanique du bâti {0} :  $\left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{0/1} = X_{B01}\vec{x} + Y_{B01}\vec{y} + Z_{B01}\vec{z} \\ M_A(\vec{R}_{0/1}) = L_{B01}\vec{x} + N_{B01}\vec{z} \end{array} \right\}_A$
2. Torseur d'action mécanique de la tige {2} :  $\left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{2/1} = F_e \tan \theta \vec{x} - F_e \vec{z} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B$
3. Torseur d'action mécanique du moteur :  $\left\{ \begin{array}{l} \vec{0} \\ \vec{C}_b = -C_b \vec{y} \end{array} \right\}_A$

Le principe fondamental de la statique (théorème du moment statique en A) appliqué sur {1} donne :

$$\vec{0} = \vec{C}_b + \vec{AB} \wedge \vec{R}_{2/1} + \overrightarrow{M_A(R_{0/1})}$$

On notera  $C_b = K_c(\alpha)F_e$

- Par une étude géométrique, on montre que :

$$\tan \theta = \frac{c - r - a \sin \alpha}{\sqrt{(2d + b)^2 + (r - a \sin \alpha - c)^2}}$$

## Fiche 10 PENSE – BETE MECÀ3D

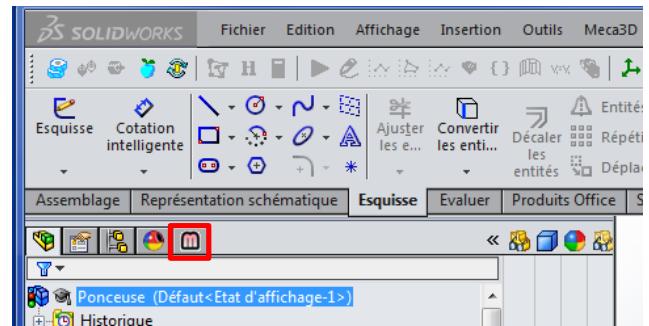
**Attention, il s'agit d'une fiche générique indépendante de votre mécanisme.**

Meca 3D permet d'avoir d'étudier le mouvement des pièces.

Pour activer Méca3D, cliquer sur l'icône ci-contre « M ».

Si l'icône n'apparaît pas :

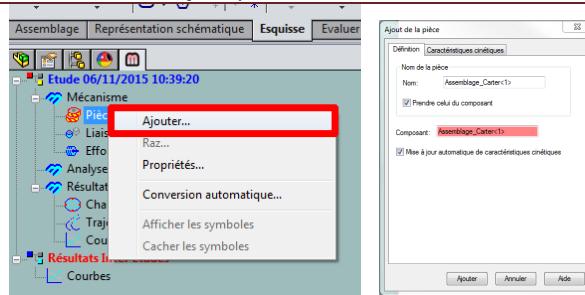
- Menu outil
- Compléments
- Autres compléments
  - o Meca 3D Cliquer la case de gauche (Compléments actifs) et la case de droite (Démarrage).
- Rouvrir l'assemblage.



### Déclaration des pièces

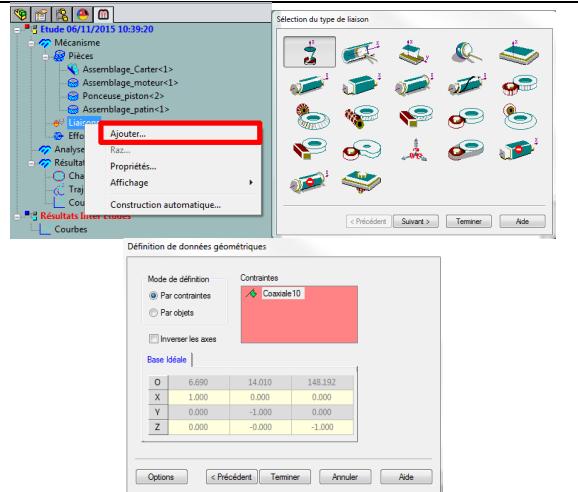
Pour commencer, il va falloir redéfinir chacun des ensembles, en commençant par le carter.

1. Clic Droit sur Pièces.
2. Ajouter ...
3. Sélectionner l'ensemble carter.
4. Cliquer sur ajouter.
5. Réaliser de même pour le moteur, le patin et le piston.
6. Cliquer sur annuler.



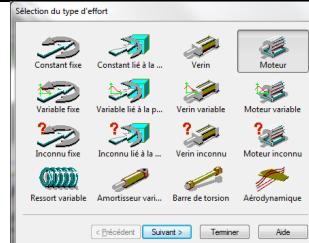
### Déclaration des liaisons

1. Clic Droit sur Liaisons.
2. Ajouter ...
3. Sélectionner le type de liaison (exemple : pivot pour la liaison Carter – Moteur).
4. Cliquer sur suivant.
5. Cliquer sur les deux ensembles considérés.
6. Cliquer sur suivant.
7. Cliquer sur la contrainte dans la case rouge.
8. Terminer.
9. Recommencer l'opération pour les autres liaisons.
10. Finir par Terminer.



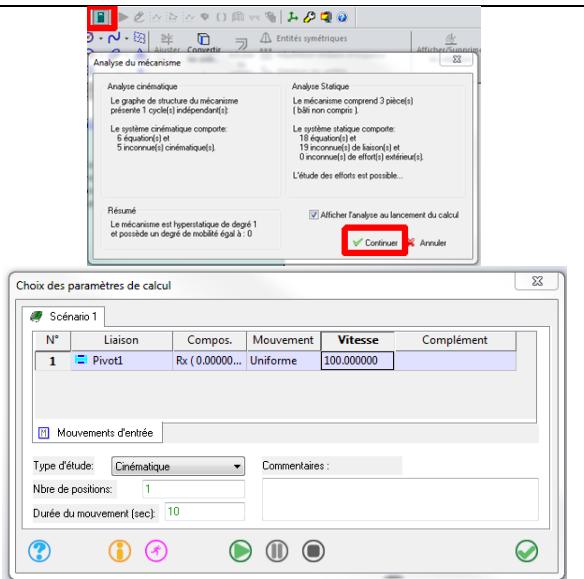
### Déclaration des efforts

1. Clic Droit sur Efforts puis Ajouter ...
2. Sélectionner le type d'effort
3. Caractériser par une valeur pour le cas des moteurs connus
4. Caractériser par des données telles que *point de réduction* et *direction de résultante* pour le cas de l'effort résultant en poignée.



## Réaliser le calcul et la simulation

1. Cliquer sur l'icône calculatrice.
2. L'étude de la fenêtre « Analyse de mécanisme » sera faite ultérieurement. Cliquer alors sur continuer.
3. La fenêtre choix des paramètres de calculs permet de :
  - a. fixer la liaison pilote (ici la liaison moteur – carter) ;
  - b. choisir la vitesse (ici 1000 tr/min uniformes) ;
  - c. choisir le type d'étude (ici cinématique) ;
  - d. nombre de positions (ici par exemple 100) ;
  - e. la durée de la simulation (par exemple 0.1 s).
4. Cliquer sur le triangle vert pour lancer le calcul.
5. Cliquer sur l'icône violet pour visualiser le mouvement en cours de calcul).

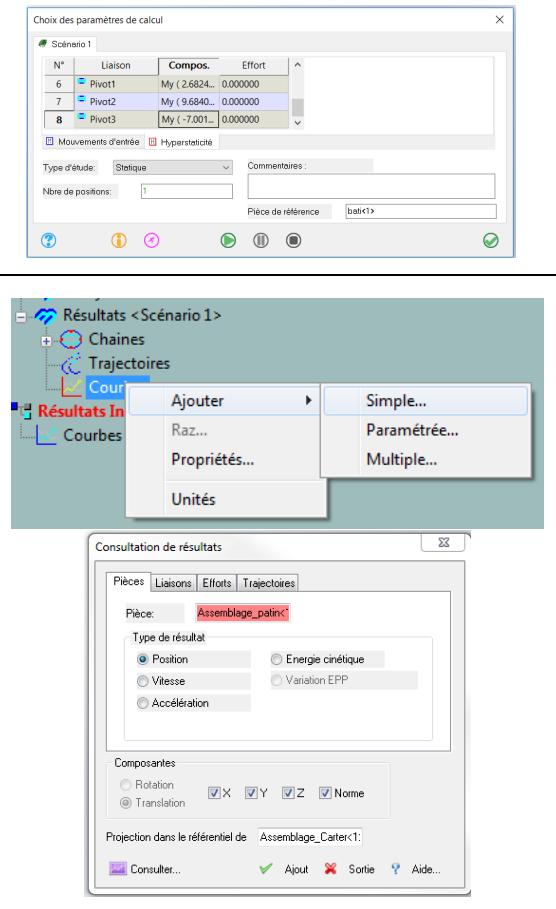


Si des degrés d'hyperstatичité sont affichés :

## Réalisation des courbes

À partir de cet instant il est possible de tracer un grand nombre de courbes. On peut par exemple tracer la vitesse de rotation du patin.

1. Clic droit sur courbe
2. Ajouter
3. Simple
4. Sélectionner l'assemblage patin.
5. Sélectionner la courbe à tracer.



## Exporter des courbes au format texte

- Ouvrir une courbe.
- Réaliser un clic droit sur les données (table à droite de la courbe).
- Cliquer sur enregistrer les données.
- Les données sont sauvegardées dans un fichier texte.