

Robot haptique

Dossier technique





Table des matières

L'HAPTIQUE : GENERALITES	1
I – Définition :	1
II – La perception haptique :	1
III – La restitution de sensations haptiques artificielles :	1
IV – L'interaction haptique :	2
V – Les champs de compétences de l'haptique :	3
LE ROBOT HAPTIQUE SET.....	4
I – Présentation générale :	4
II – Approche fonctionnelle :	5
III – Description SYSML :	12
IV – Approche matérielle :	16
V – Données techniques fabricant :	26



L'HAPTIQUE : GENERALITES

I – Définition :

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)

II – La perception haptique :

La perception haptique met en œuvre à la fois des récepteurs spécifiques et des processus psychophysologiques. Il est à noter qu'à la différence de la vision ou de l'audition le prélèvement d'information haptique nécessite une interaction « mécanique » avec le support de l'information, donc susceptible de modifier le support.

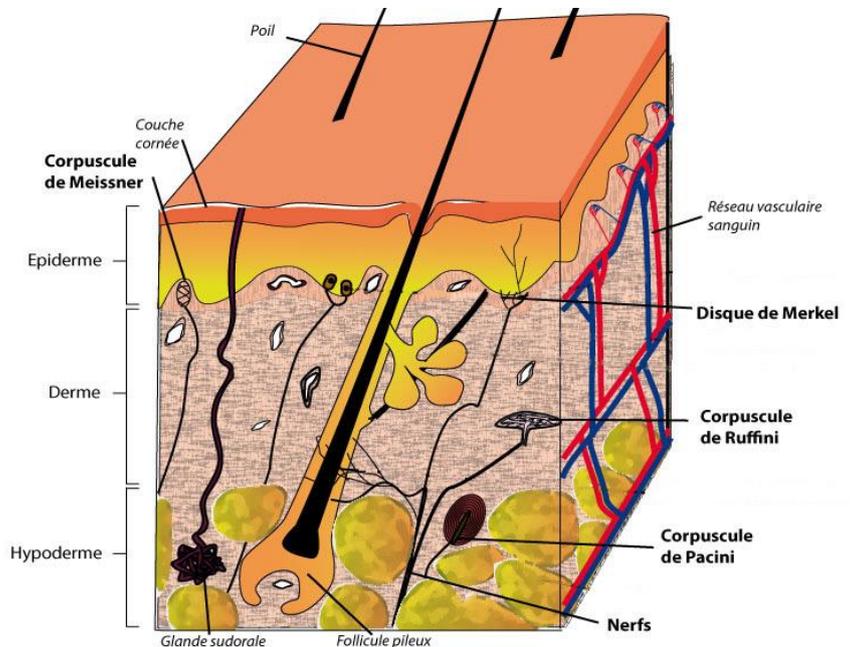
Les récepteurs de la perception haptique :

La perception tactile : elle s'effectue au moyen de mécanorécepteurs situés dans la peau.

La peau comporte un grand nombre de mécanorécepteurs : environ 500000 sur tout le corps et 17000 pour les seules parties glabres de la main. Il existe 4 types de mécanorécepteurs situés dans les différentes couches de la peau.

Chaque type permet de percevoir des phénomènes spécifiques :

- le toucher léger (disques de Merkel)
- la pression (corpuscules de Meissner)
- l'élongation (corpuscules de Ruffini)
- les vibrations (corpuscules de Pacini)



<http://biologiedelapeau.fr>

La perception kinesthésique : elle s'effectue au moyen de mécanorécepteurs situés dans les muscles et les tendons, mais elle a également une composante psychophysologique car elle relève aussi de la perception de la commande motrice issue du cerveau et de la position, de la vitesse et des efforts ressentis dans les différentes parties du corps.

III – La restitution de sensations haptiques artificielles :

Elle nécessite d'utiliser un dispositif, dit « à retour d'effort », générant des forces dont l'amplitude et la fréquence reproduisent les sensations réelles. Il s'agit généralement d'actionneurs mettant en œuvre des convertisseurs électro-mécaniques de taille variable selon la partie du corps à stimuler : extrémité du doigt (fig 1), main (fig 2), bras (fig 3)...). Sur le plan technologique on rencontre des dispositifs piézo-électriques, à lévitation magnétique, à électroaimants, à moteurs électriques...

Pour enrichir la perception globale d'une réalité virtuelle on peut combiner différents « canaux » sensoriels : par exemple haptique + visuel + auditif...

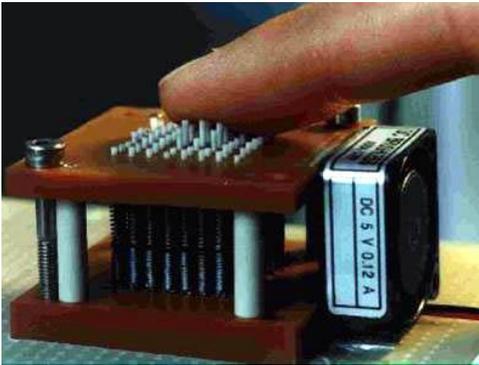


Fig 1 : « Touchpad » vibrotactile



Fig 2 : « Cybergant »



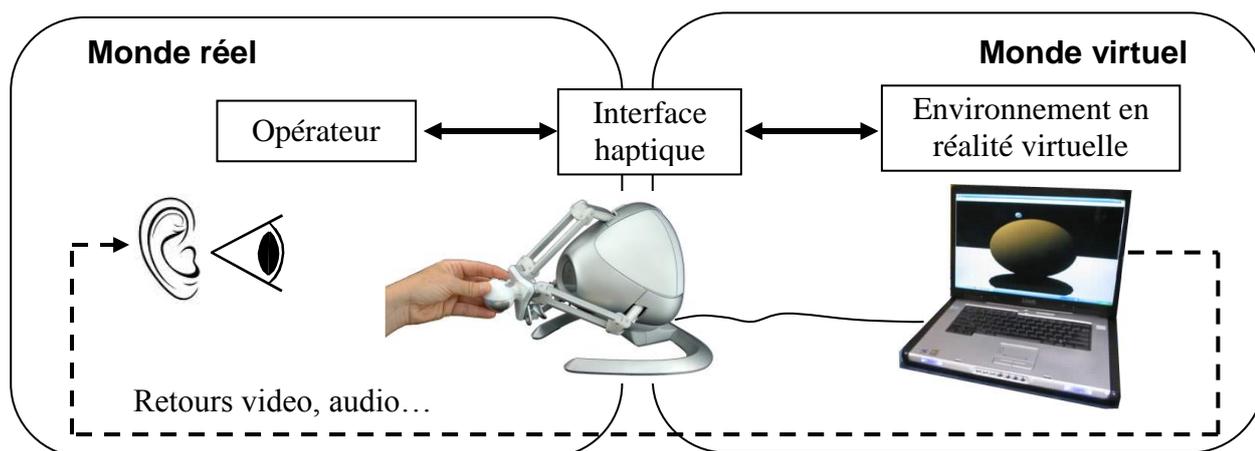
Fig 3 : Bras exosquelette

Nota : le rendu haptique nécessite des performances en fréquence de boucle assez élevées, de l'ordre de 1kHz. Par comparaison une boucle visuelle nécessite une fréquence de 25 à 50Hz. En terme de force, selon le type d'interface haptique, la valeur à générer est de quelques N pour un touchpad, d'une dizaine de N pour une manette de jeu et peut atteindre plusieurs centaines de N pour un exosquelette.

IV – L'interaction haptique :

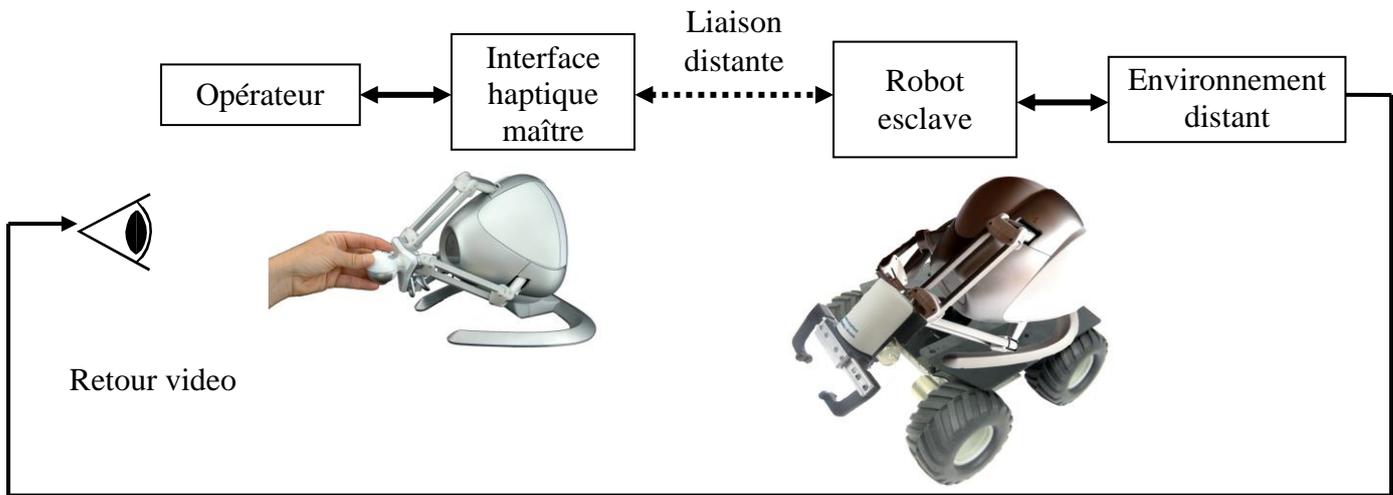
4.1 L'interaction avec un monde virtuel :

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).



4.2 La télémanipulation haptique :

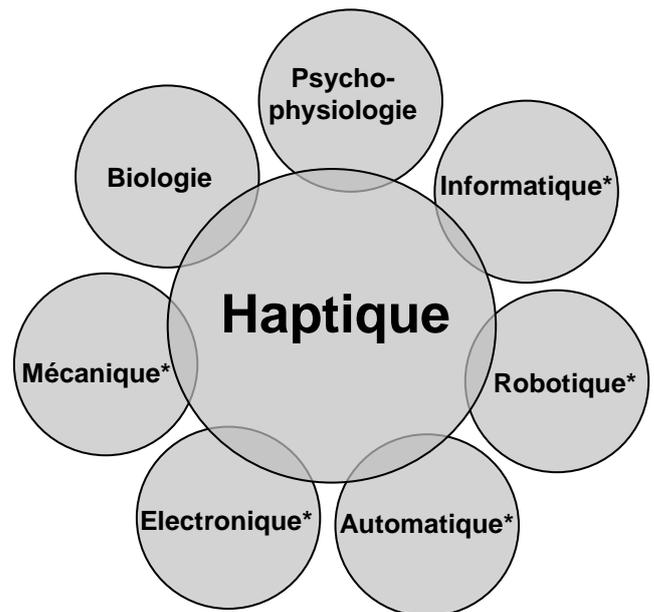
Un autre domaine de l'interaction haptique concerne la télémanipulation dans lequel l'opérateur, via l'interface haptique maître, commande un robot esclave distant qui restitue par la même chaîne en sens inverse les effets mécaniques liés aux actions de l'opérateur.



V – 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, ...)





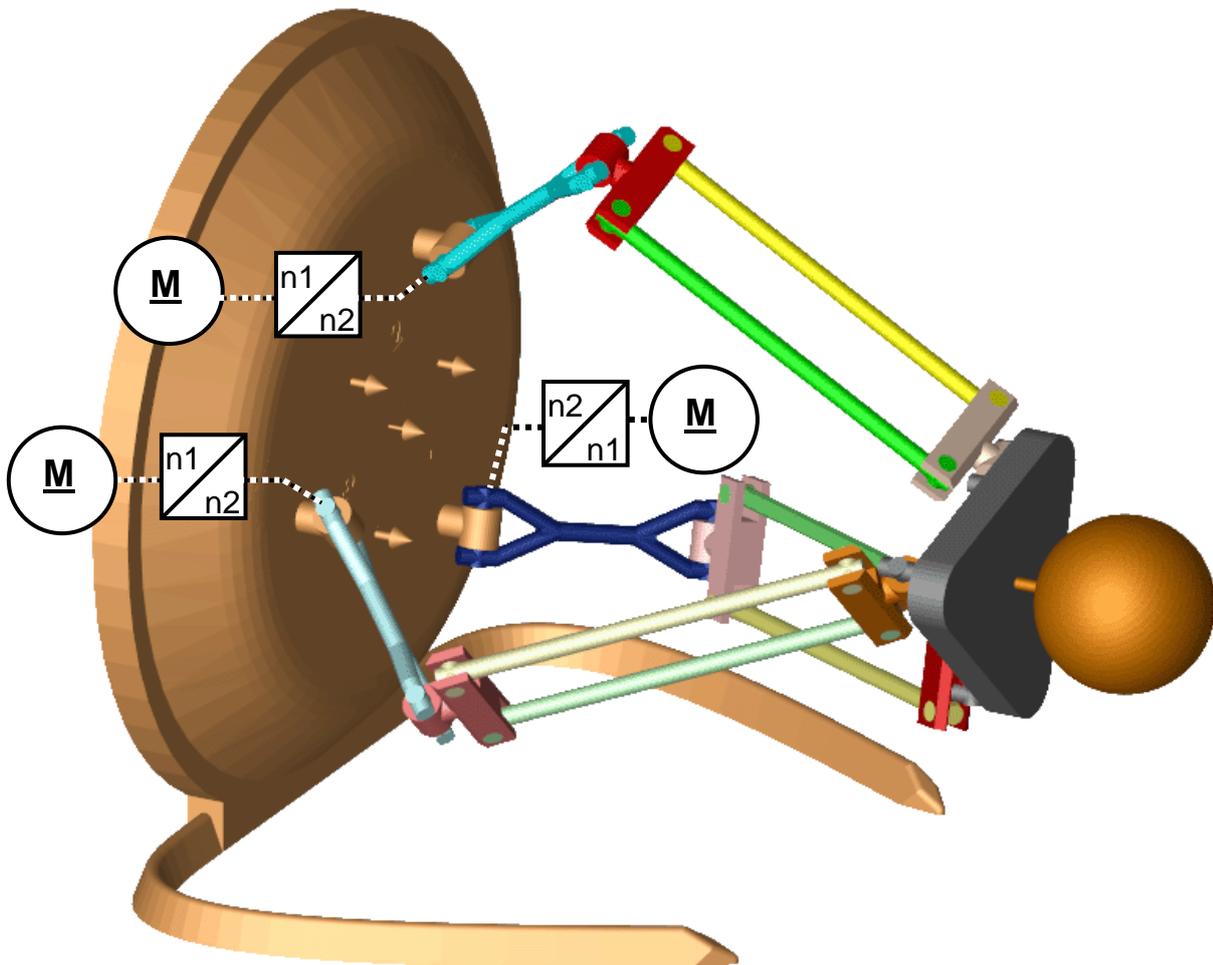
LE ROBOT HAPTIQUE SET

I – Présentation générale :

Le robot haptique didactisé proposé par SET peut être utilisé comme **interface haptique** mais on peut également réaliser un **télémanipulateur**, en associant deux robots distants, un en maître et un en esclave.

La conception de ce robot haptique est de type « robot delta », c'est-à-dire à structure parallèle avec 3 chaînes cinématiques identiques fermées reliant la base à l'organe terminal amovible (effecteur), offrant 3 degrés de liberté en translation. Chaque chaîne cinématique comporte un moteur et un codeur incrémental.

Vue schématisée d'ensemble





II – Approche fonctionnelle :

EXPRESSION DU BESOIN FONDAMENTAL (DIAGRAMME "BETE A CORNES")

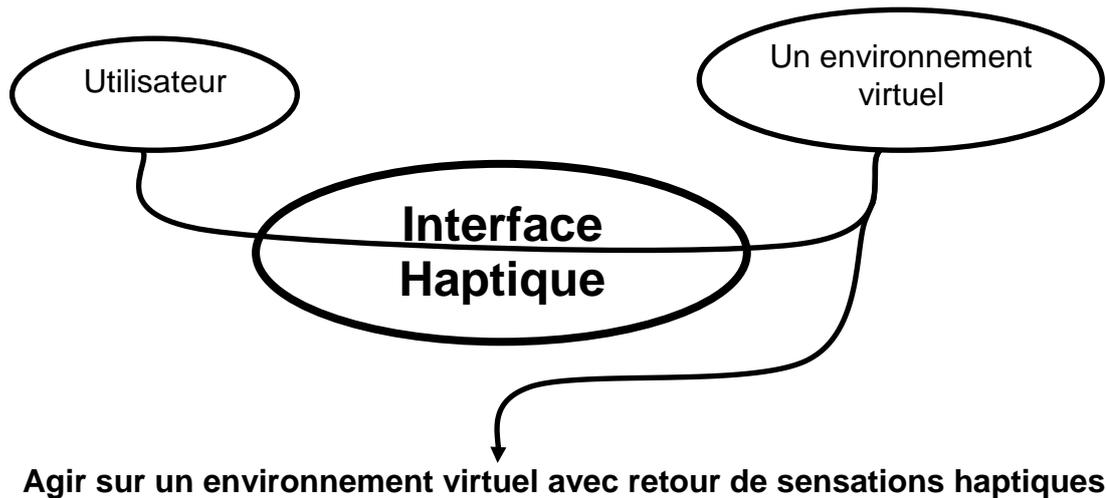
En mode interface haptique

De quoi s'agit-il ? D'une interface haptique

A qui sert-il ? A un utilisateur

Sur quoi agit-il ? Sur un environnement virtuel

Pour quoi faire ? Agir sur un environnement virtuel avec retour de sensations haptiques



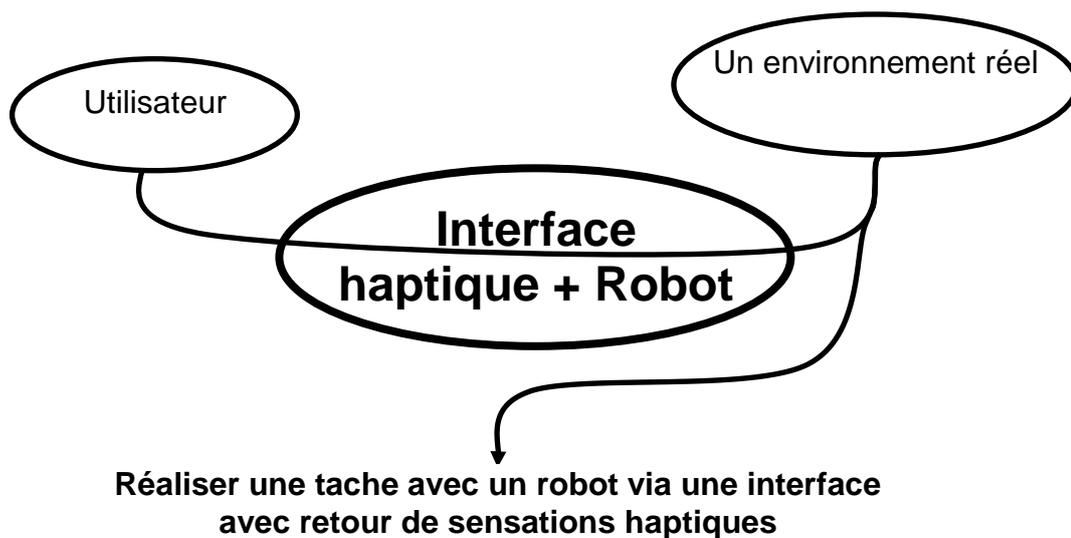
En mode télémanipulation

De quoi s'agit-il ? D'une interface haptique et d'un robot

A qui sert-il ? A un utilisateur

Sur quoi agit-il ? Sur un environnement réel

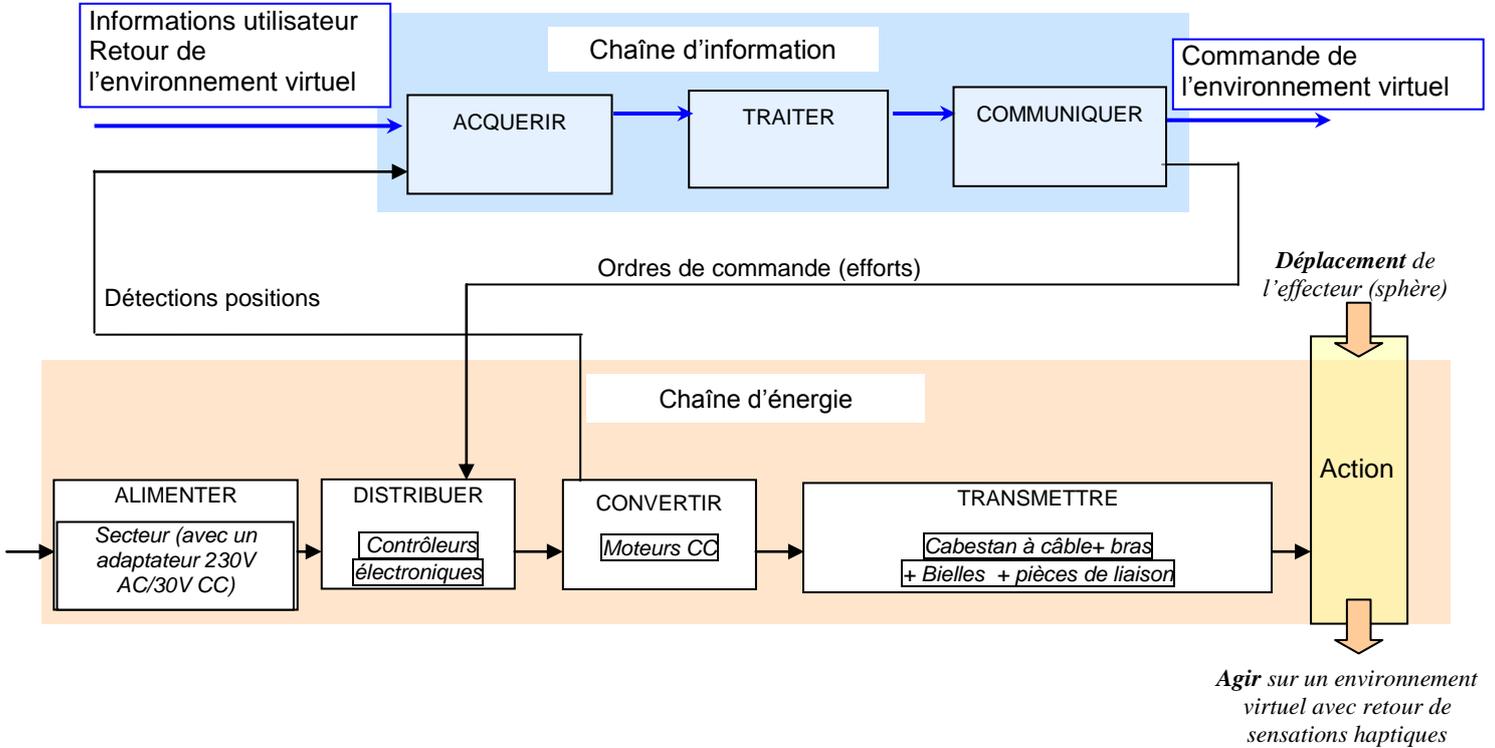
Pour quoi faire ? Réaliser une tâche avec un robot via une interface avec retour de sensations haptiques





ARCHITECTURE FONCTIONNELLE
DES CHAÎNES D'ENERGIE ET D'INFORMATION

En mode interface haptique





ARCHITECTURE FONCTIONNELLE
DES CHAÎNES D'ENERGIE ET D'INFORMATION

En mode télémanipulation

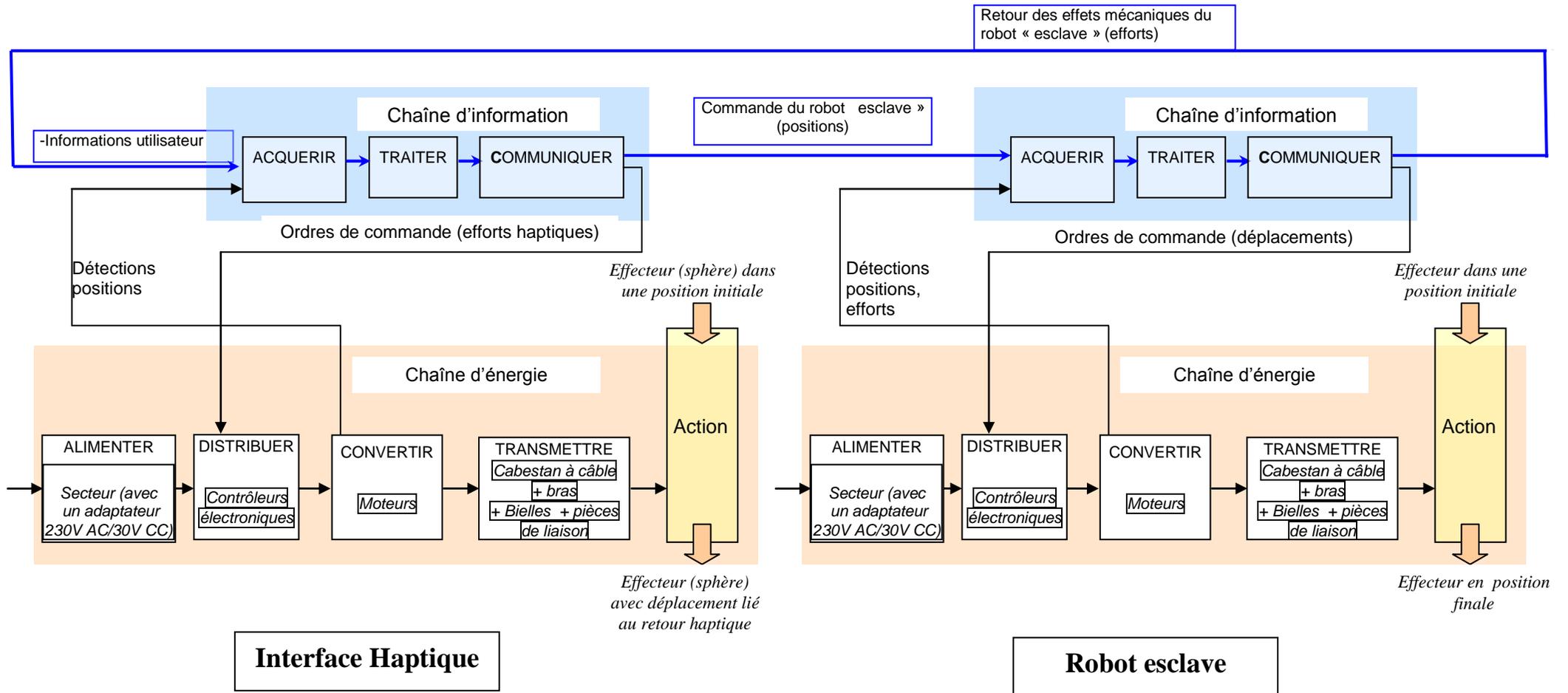
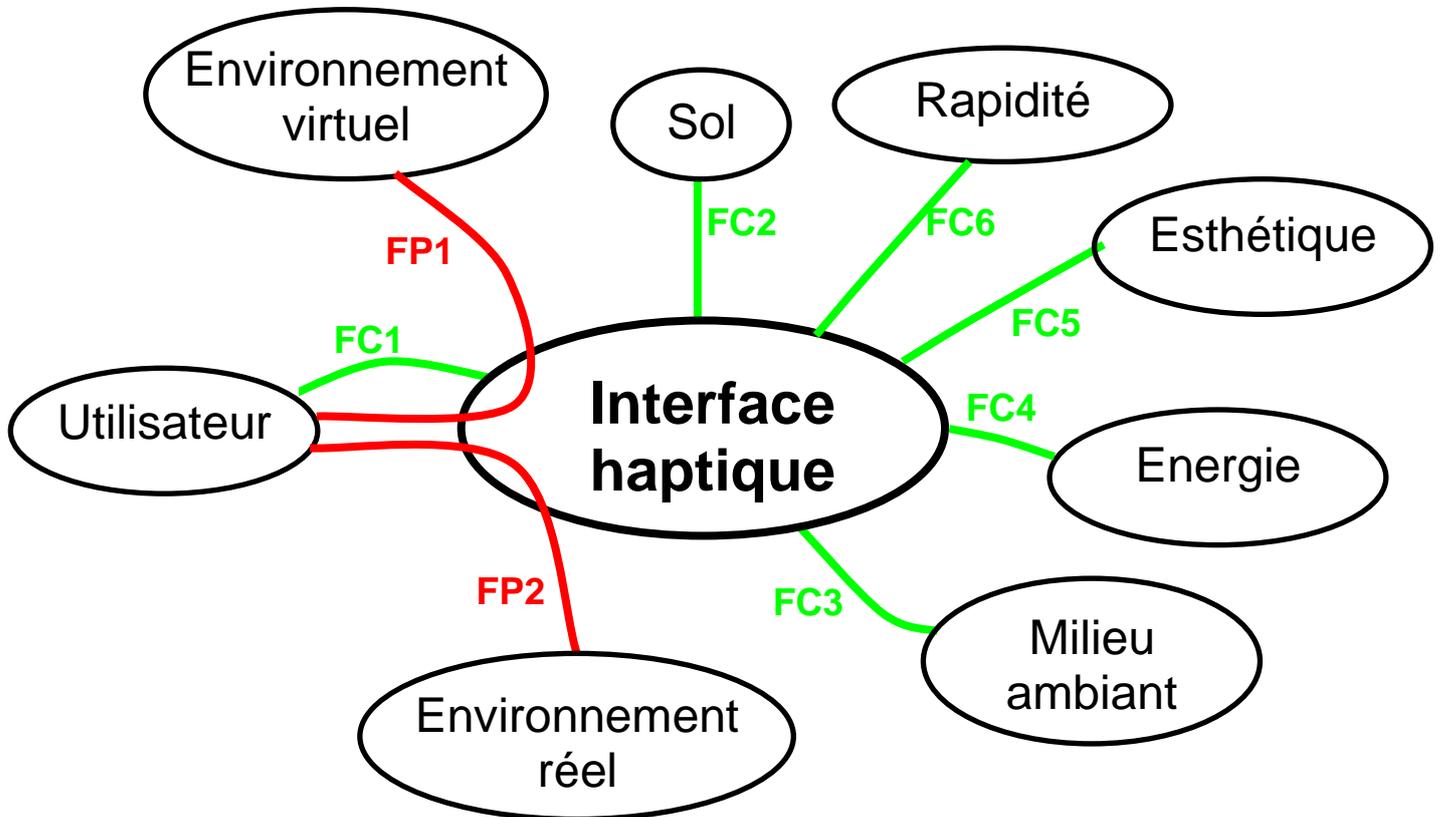




DIAGRAMME DES INTERACTEURS SIMPLIFIE (DIAGRAMME "PIEUVRE")



FP1 : **Agir** sur un environnement virtuel avec retour de sensations haptiques

FP2 : **Réaliser** une tache avec un robot via une interface avec retour de sensations haptiques

FC1 : Doit être simple à utiliser

FC2 : Etre stable / sol

FC3 : Doit résister au milieu ambiant

FC4 : Etre raccordé au réseau électrique

FC5 : Doit plaire à l'œil

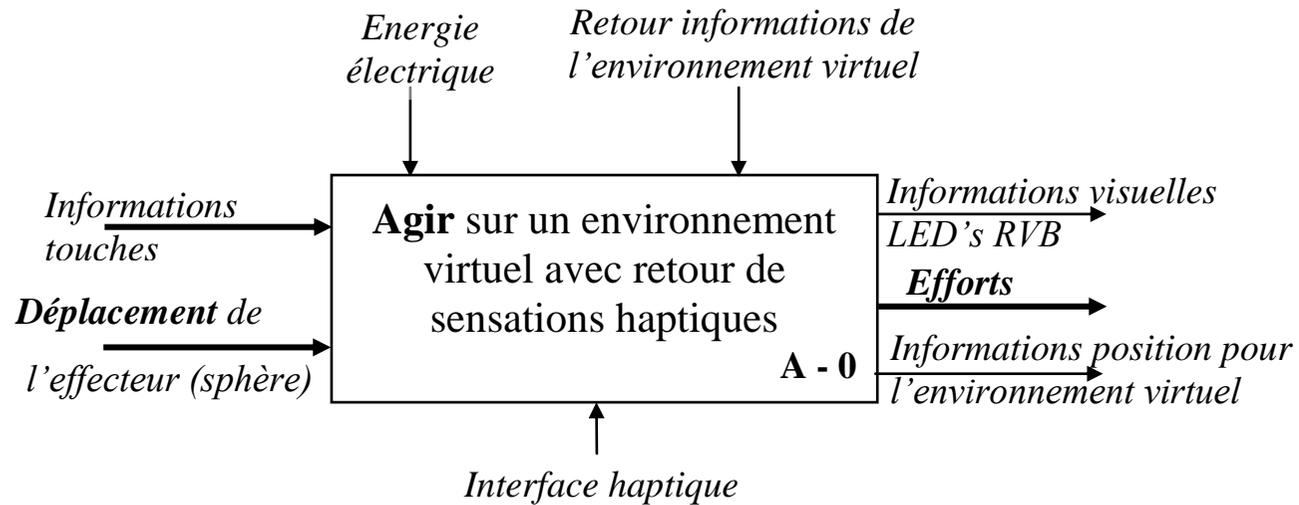
FC6 : Rapidité élevée pour un rendu haptique (course de 100mm en 0,15 seconde)



ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE Analyse descendante

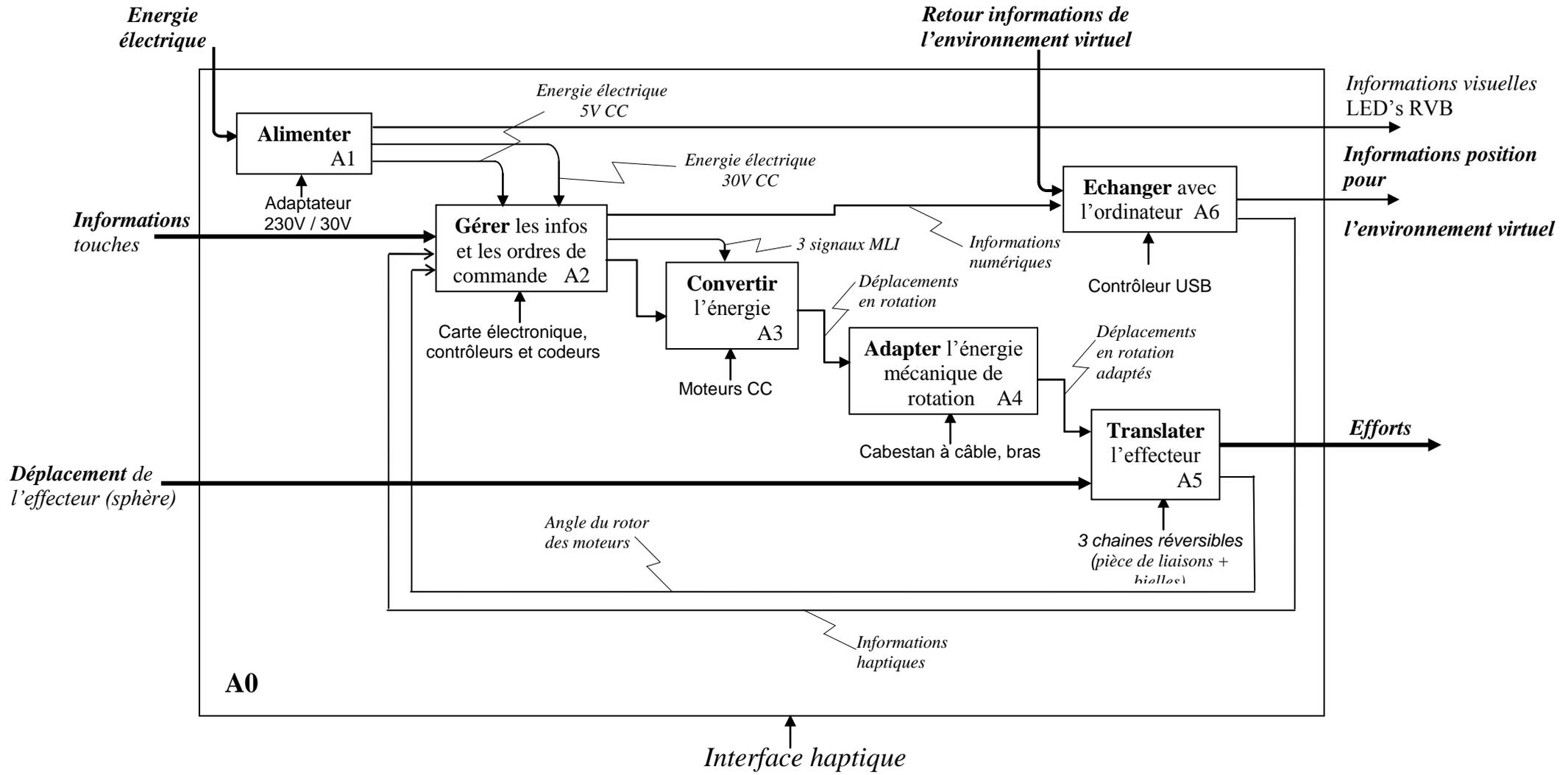
Niveau A-0 : fonction d'usage

En mode interface haptique





ACTIGRAMME A0





III – Description SYSML :

DIAGRAMMES DE CAS D'UTILISATION

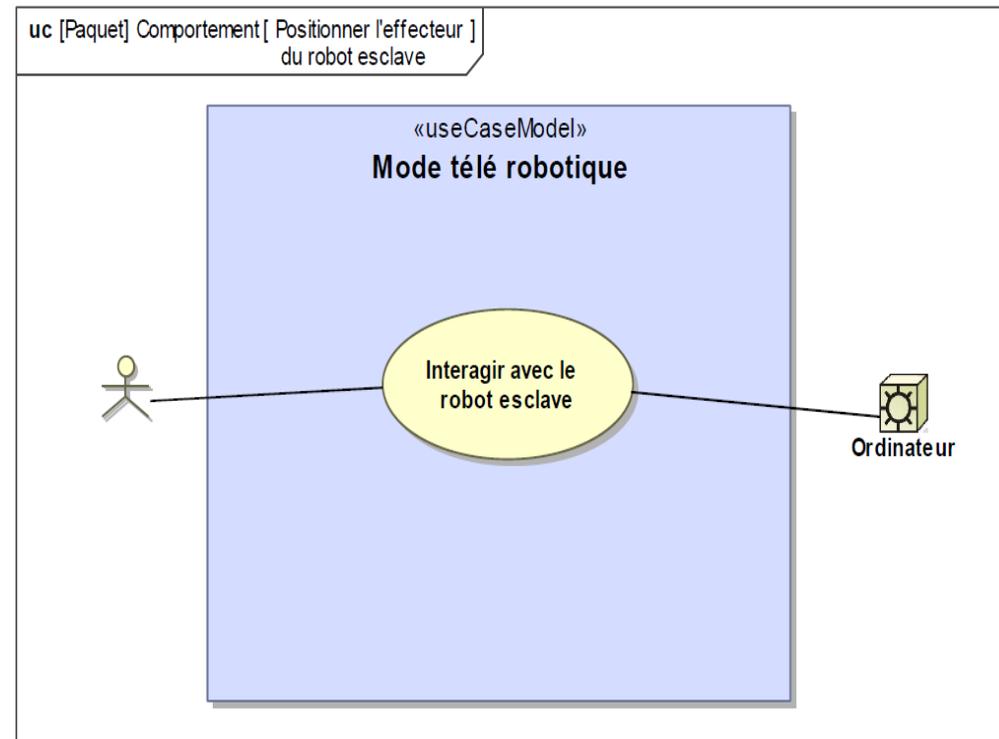
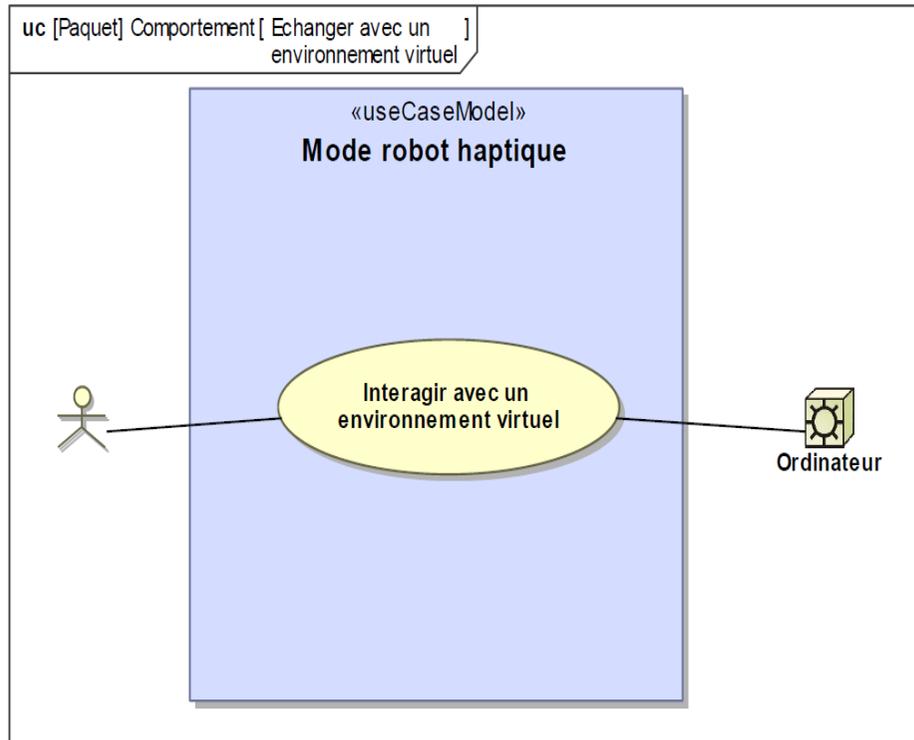




DIAGRAMME DE SEQUENCE

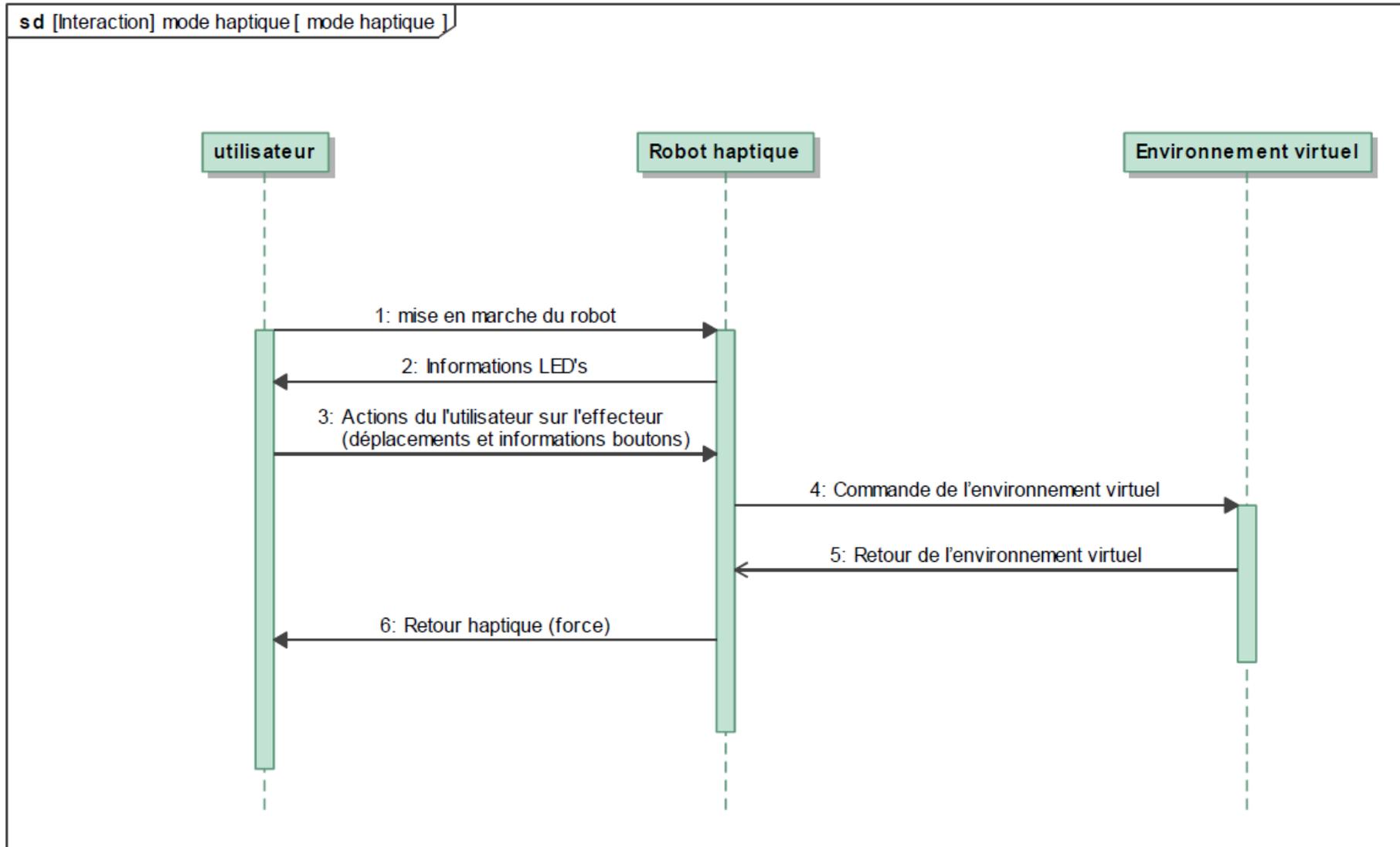




DIAGRAMME DE DEFINITION DE BLOCS

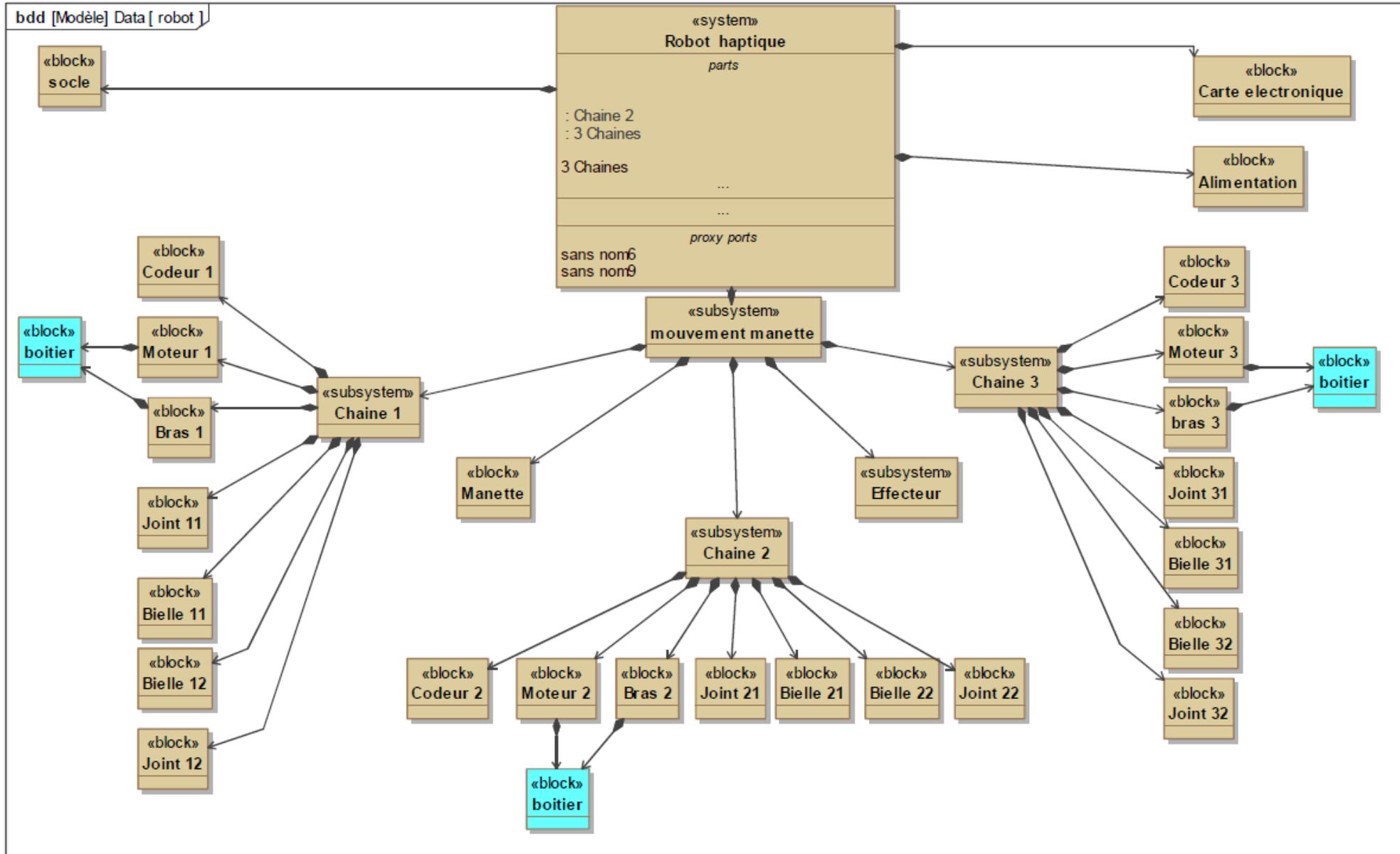
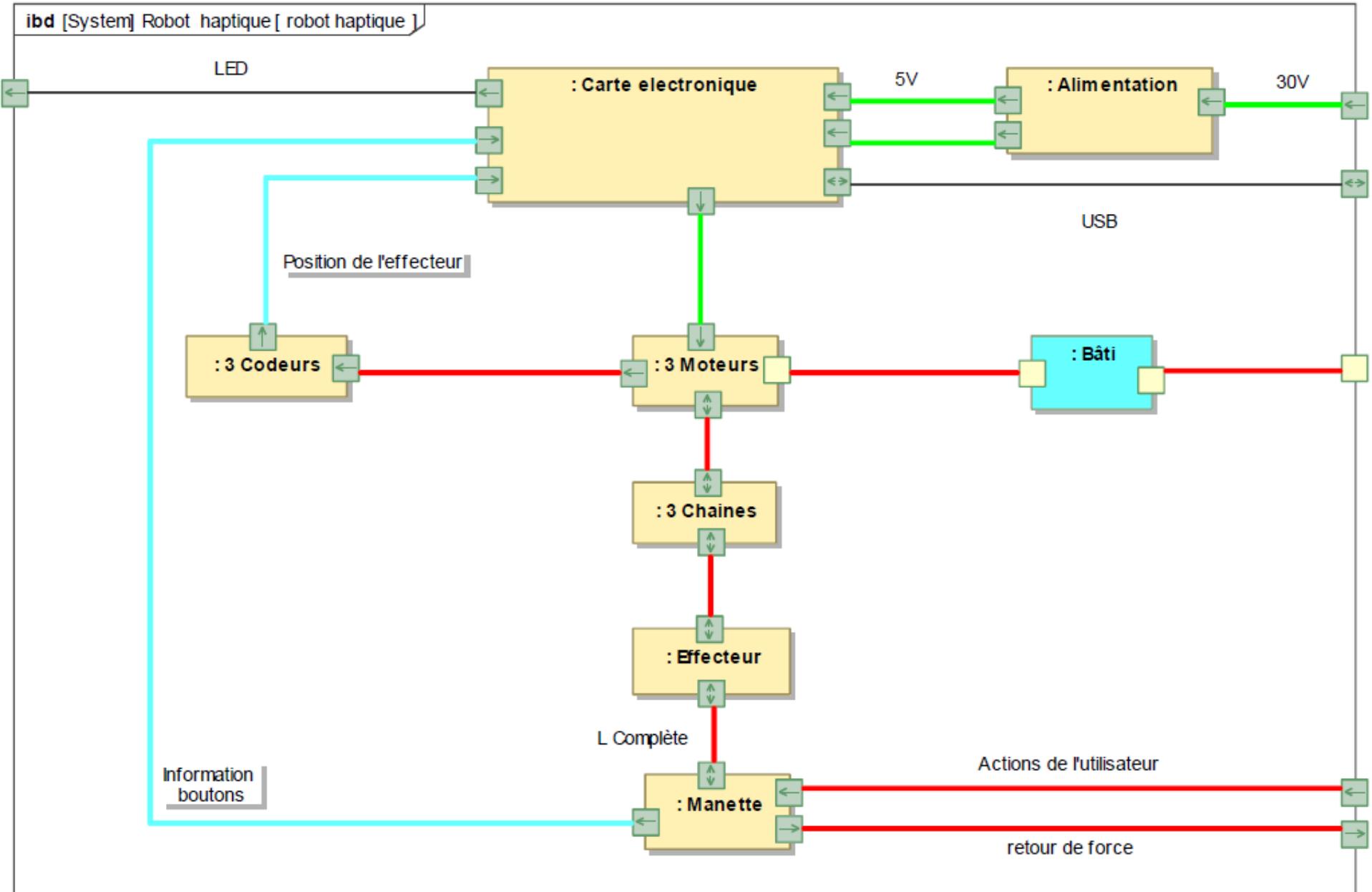


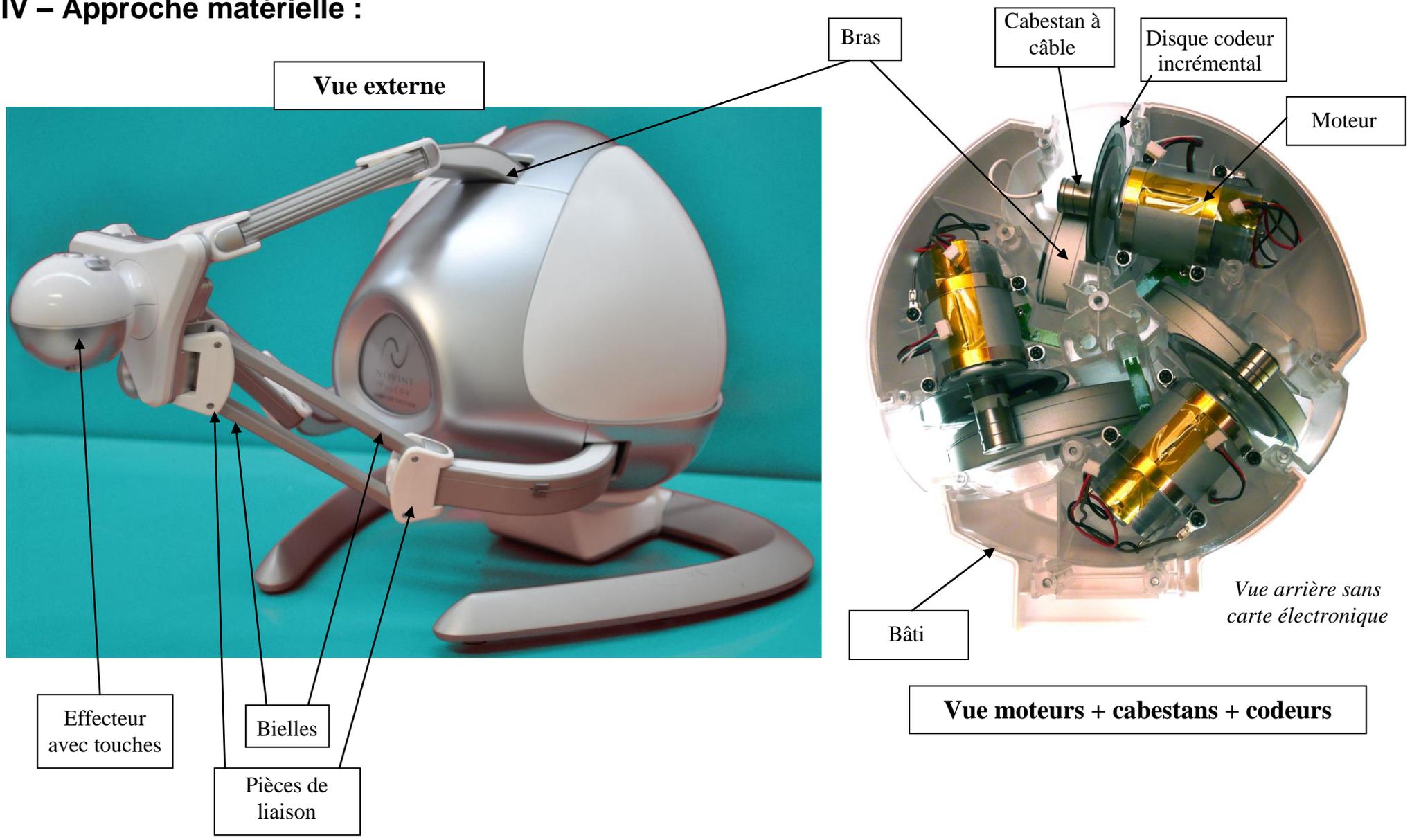


DIAGRAMME DE BLOCS INTERNES



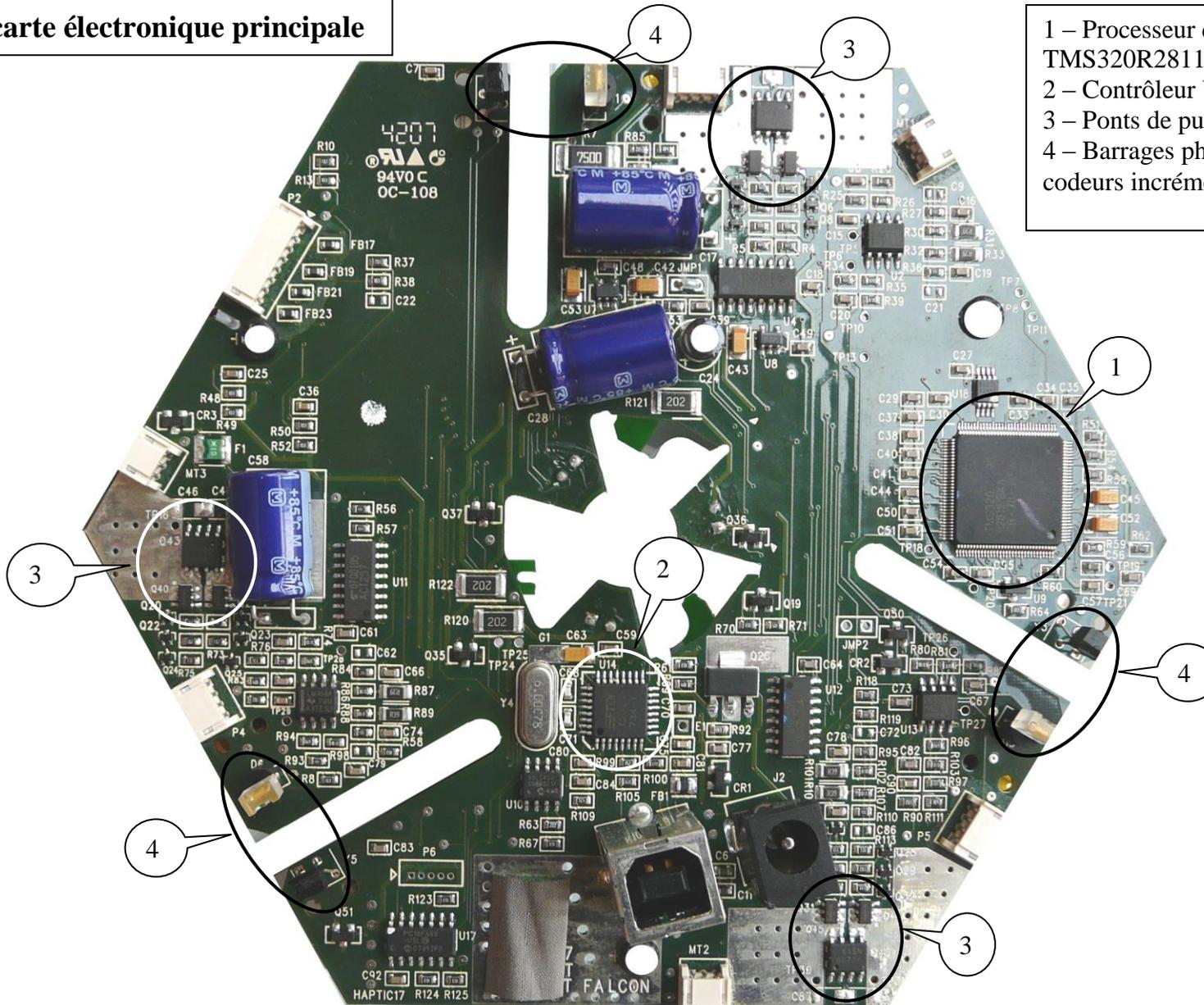


IV – Approche matérielle :





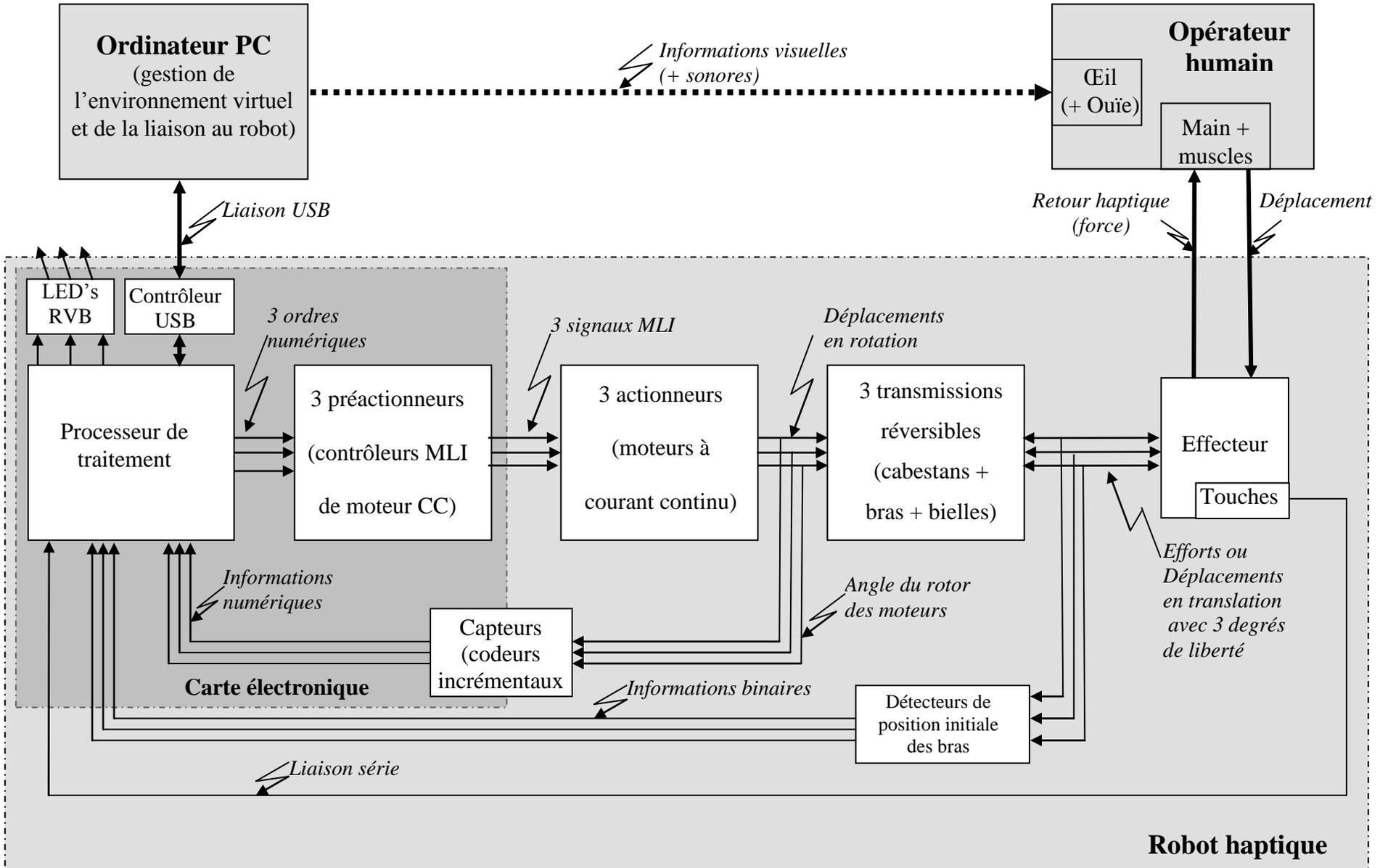
Vue carte électronique principale



- 1 – Processeur de traitement TMS320R2811 (DSP)
- 2 – Contrôleur USB FT232BL
- 3 – Ponts de puissance MLI
- 4 – Barrages photoélectriques des codeurs incrémentaux



Schéma synoptique en mode « interface haptique »

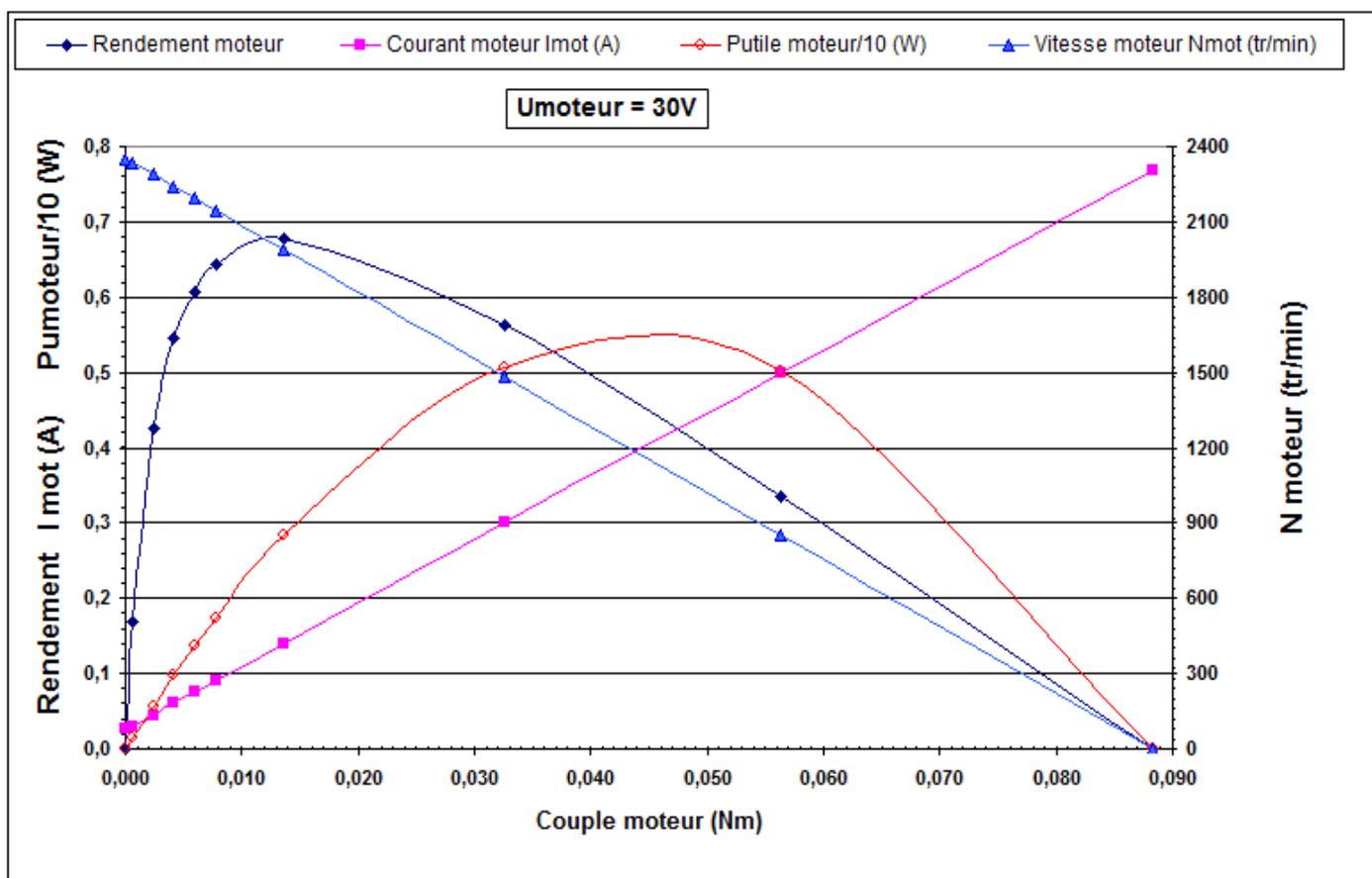




Caractéristiques techniques des moteurs

Moteurs à courant continu à aimants permanents Référence : Mabuchi RS-555PH-15280

TENSION	à VIDE (sous U_{nom})		Au régime nominal (rendement 0,68)				Rotor calé	
Nominale	Vitesse	Courant	Vitesse	Courant	Couple	Puissance	Couple	Courant
	tr/min	A	tr/min	A	mN·m	W	mN·m	A
30V	2350	0.026	1990	0.14	13.7	2.85	88	0.769



Nota : ces courbes ont été tracées par modélisation connaissant la résistance d'induit, la constante de vitesse, les couples de frottements secs et dynamiques (obtenus par essai à vide), le couple rotor bloqué (mesuré au dynamomètre).

Données complémentaires :

Rinduit = 39Ω

Linduit = 35 mH

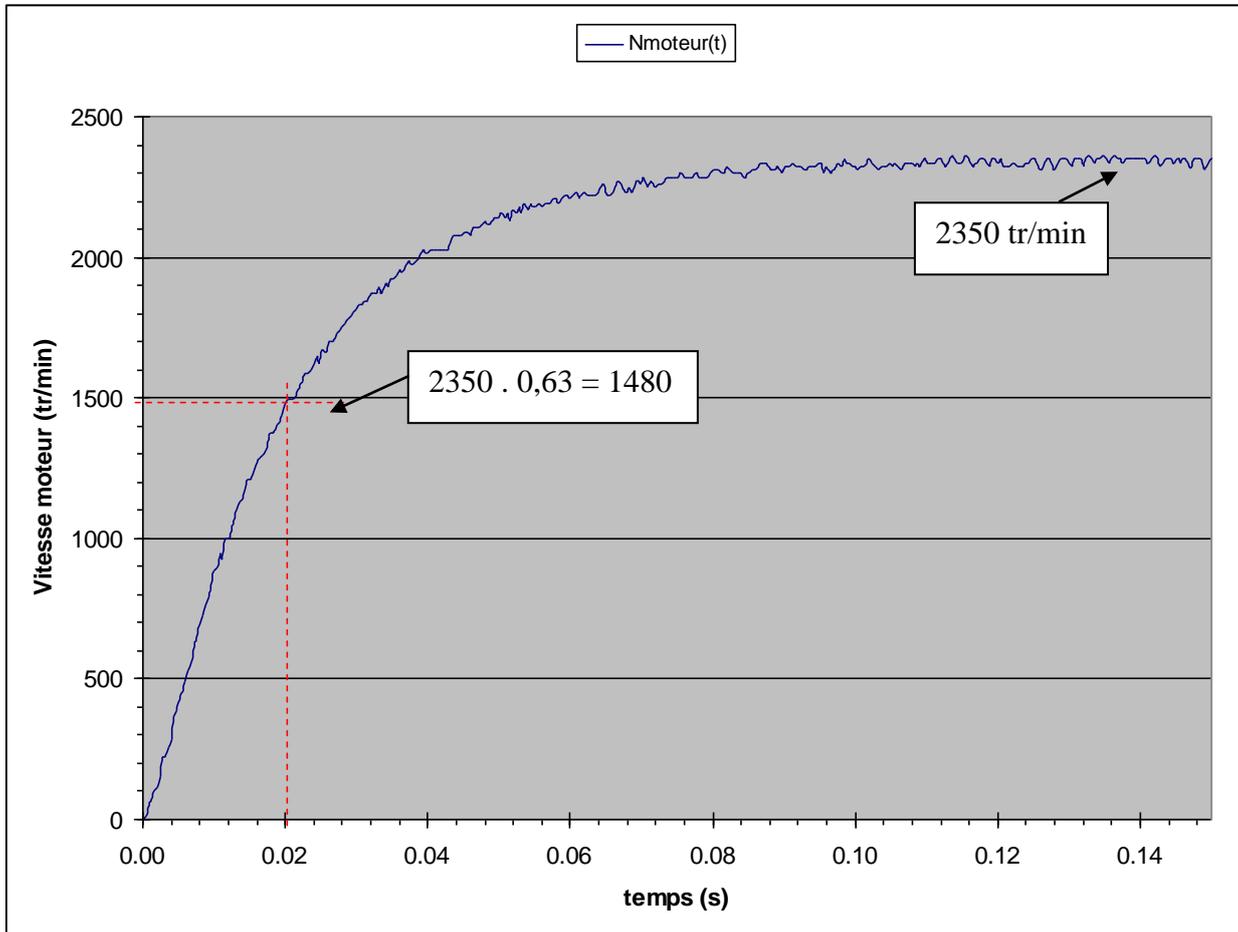
Inertie rotor = $7 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$

Constante de vitesse = $0,118 \text{ V.s.rad}^{-1}$



Détermination de l'inertie du rotor

À partir de la courbe de montée en vitesse à vide (en désaccouplant le câble de transmission du cabestan, il reste l'inertie du rotor, de la poulie et du disque codeur) :



En assimilant la réponse à un 1^{er} ordre on mesure une constante de temps = 20ms. Cette assimilation à un 1^{er} ordre est valable puisque la cste de temps électrique vaut $L/R = 0,035/38 = 0,92\text{ms}$

Il vient Cste de tps méca = $RJ/K^2 \Rightarrow J = \text{Cste méca} \cdot K^2 / R = 0,02 \cdot 0,118^2 / 38 = 7,3 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$

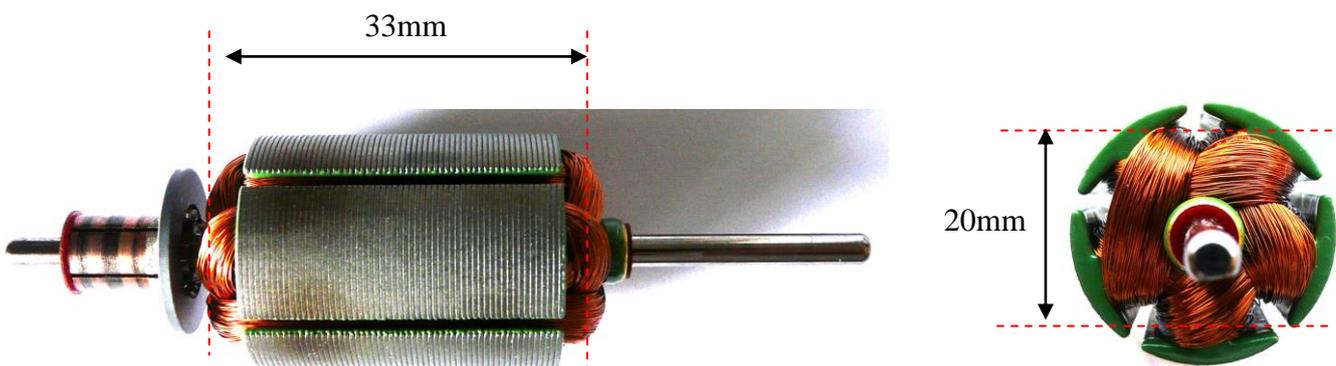
Vérification sur rotor démonté :

Longueur moy = 30mm Diam moyen = 20mm Masse mesurée = 75g

(on vérifie que l'on a Masse vol moy = 8,3 donc cohérent vu que le rotor est constitué d'acier et de cuivre)

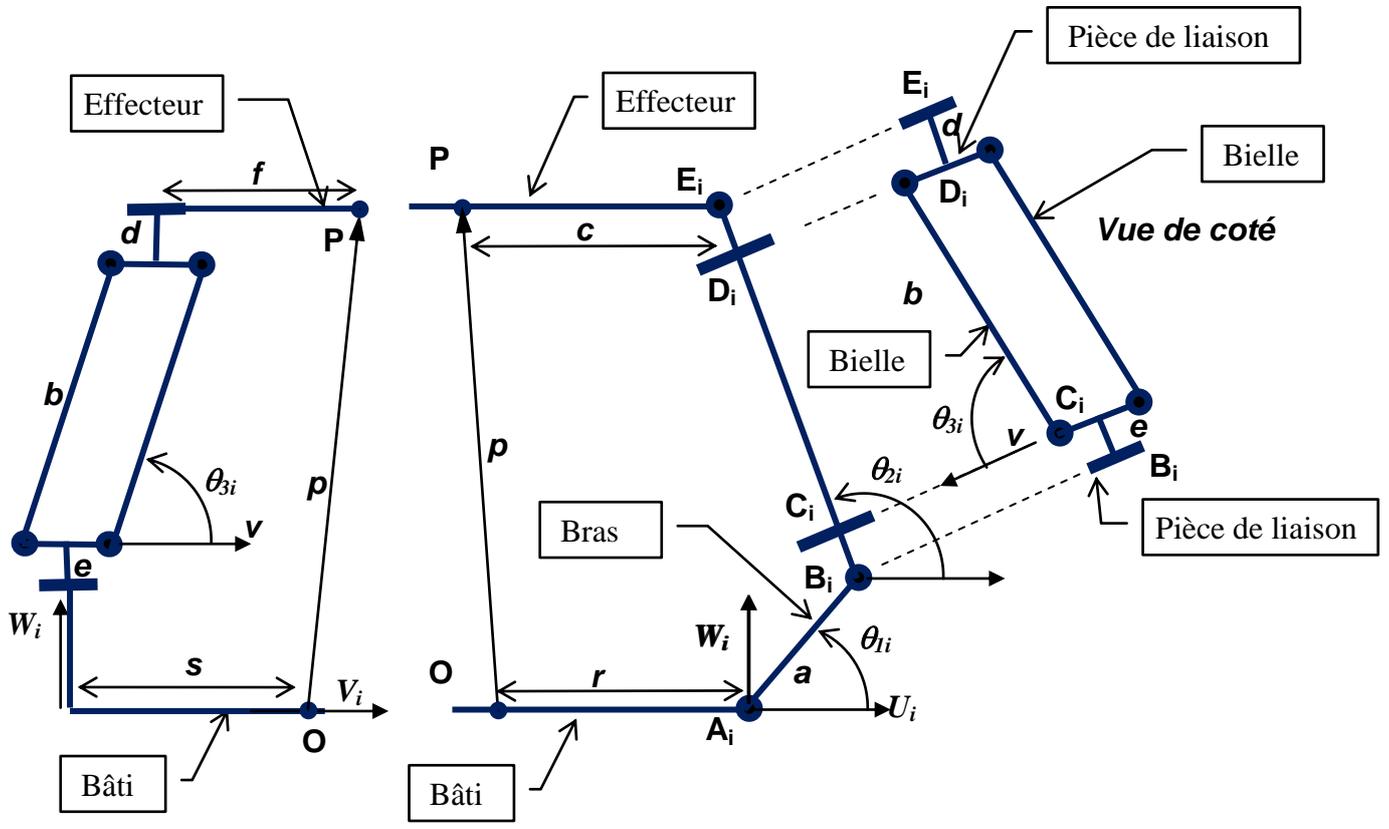
Jrotor seul = $0,5 \cdot mr^2 = 0,5 \cdot 0,075 \cdot 9,5^2 \cdot 10^{-6} = 3,75 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$

Si on rajoute la poulie + le disque du codeur il est donc cohérent de mesurer $7,3 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$

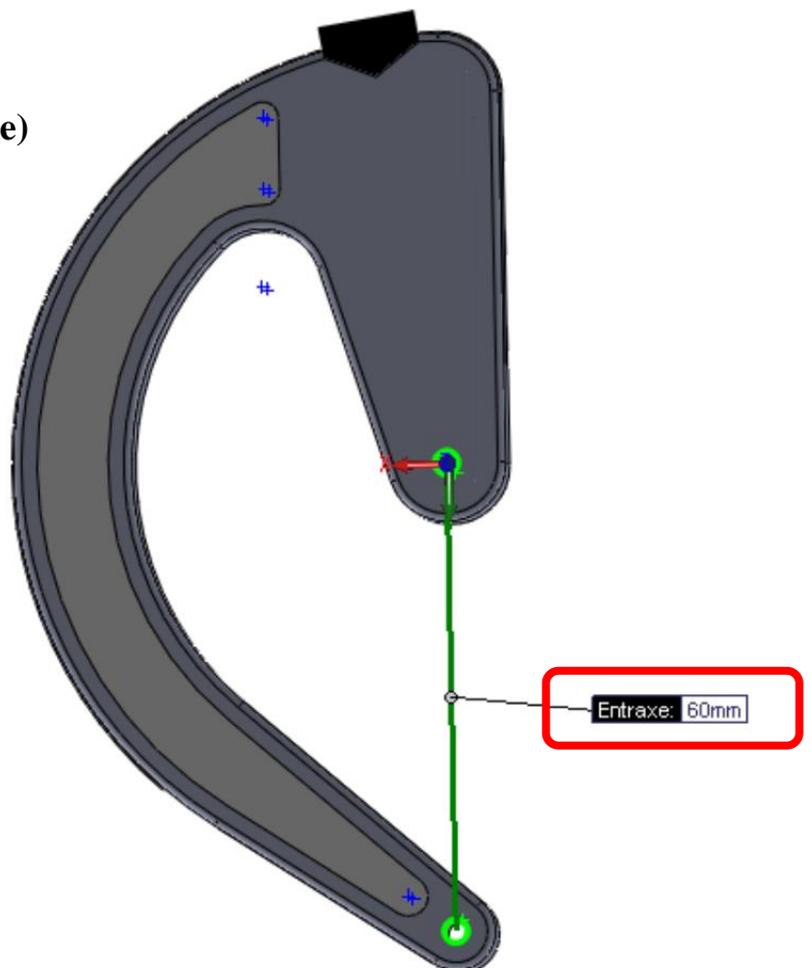




Les mesures fonctionnelles

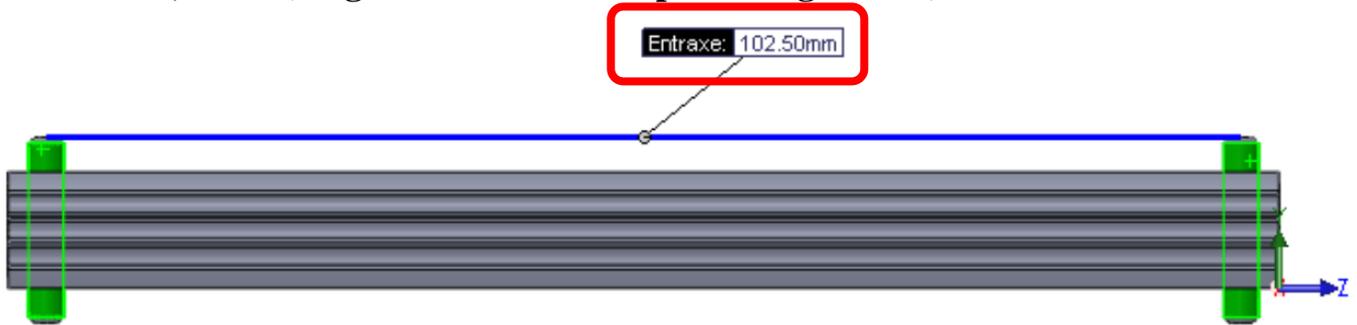


$a = 60 \text{ mm}$ (rayon du bras actualise)

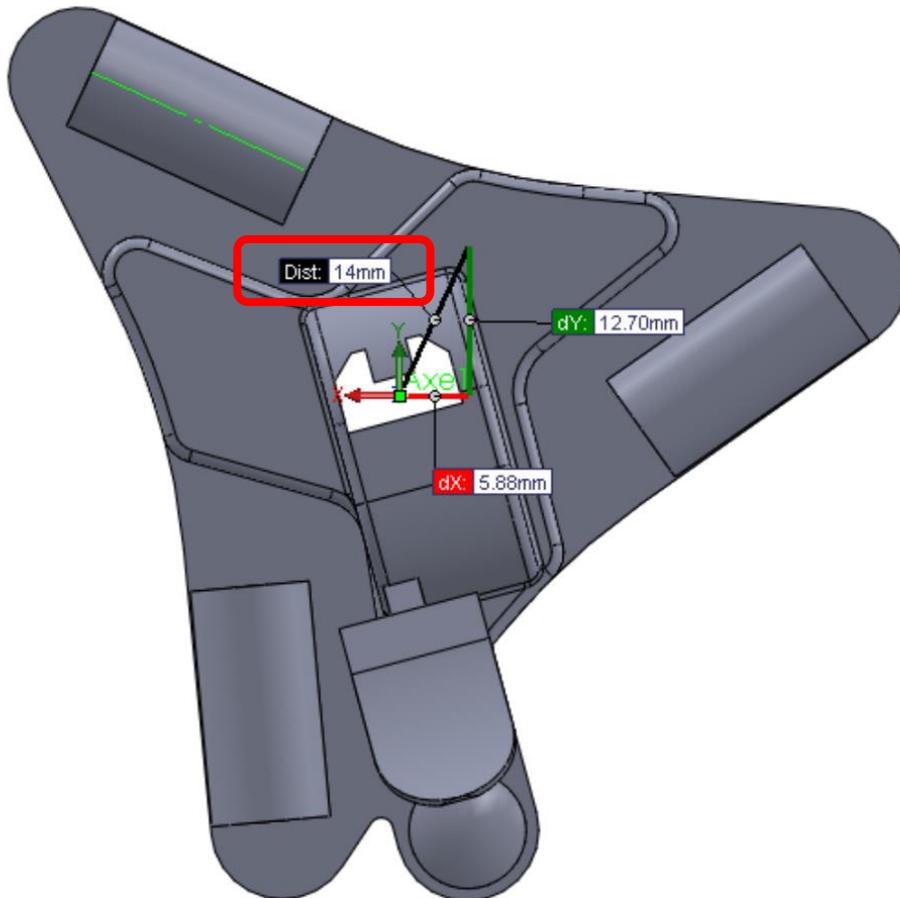




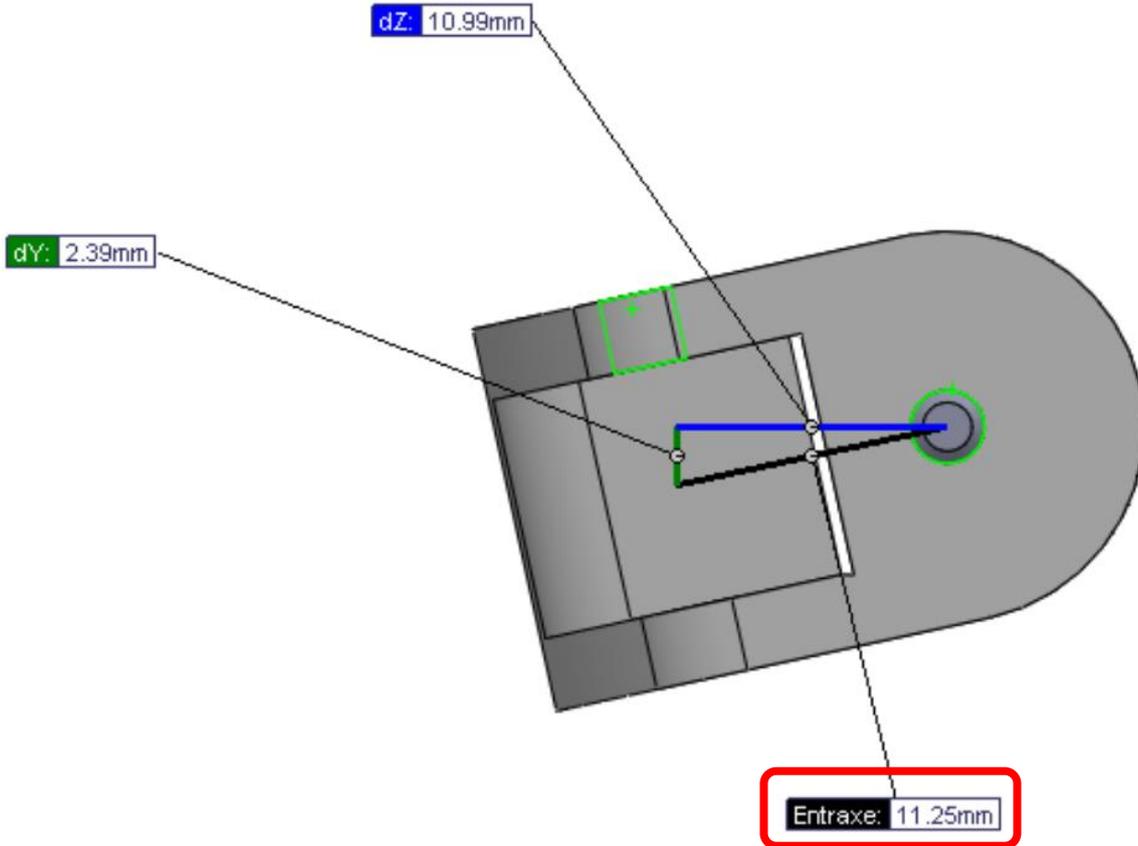
b = 102,5 mm (longueur d'un côté du parallélogramme)



c = 14 mm (décalage parallèle à U_i de la pièce de liaison par rapport au référentiel de l'effecteur)

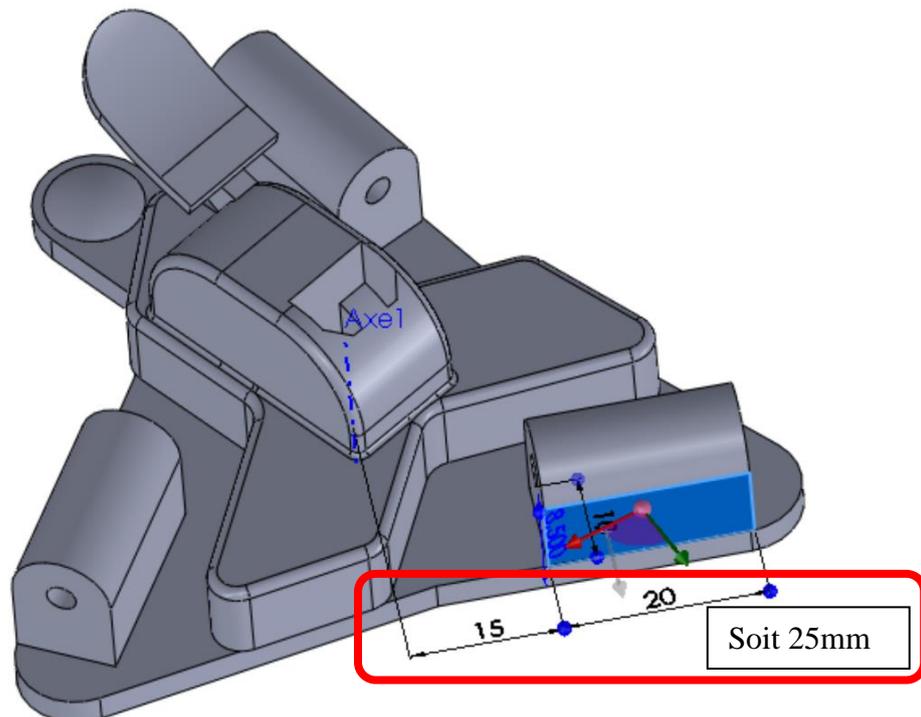


d = 11,25 mm (décalage de la pièce de liaison de l'effecteur)



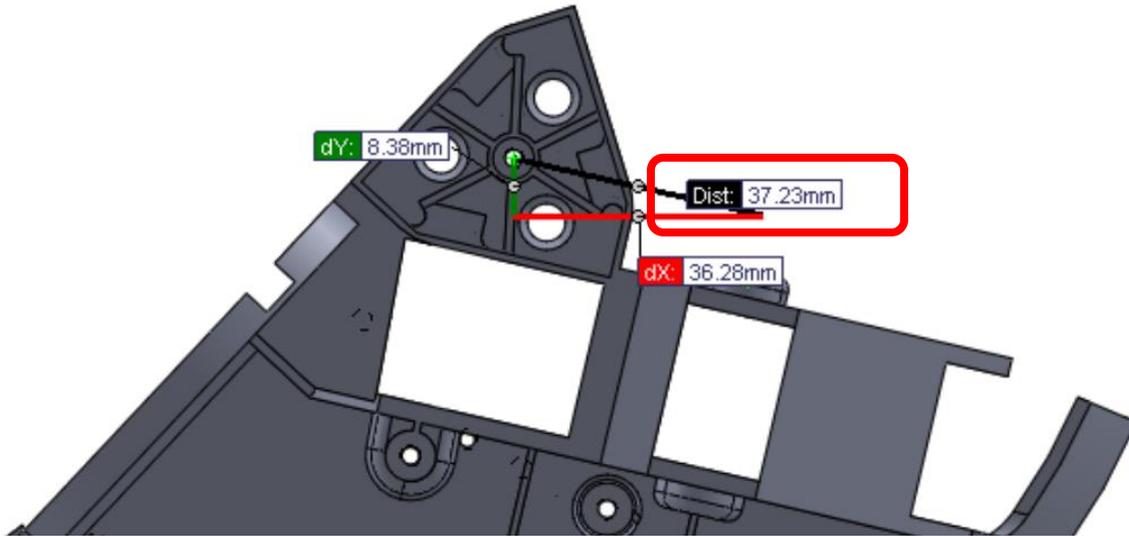
$e = d$ (décalage de la pièce de liaison du bras actualise)

$f = -25$ mm (décalage parallèle à V_i de la pièce de liaison par rapport au référentiel de l'effecteur)

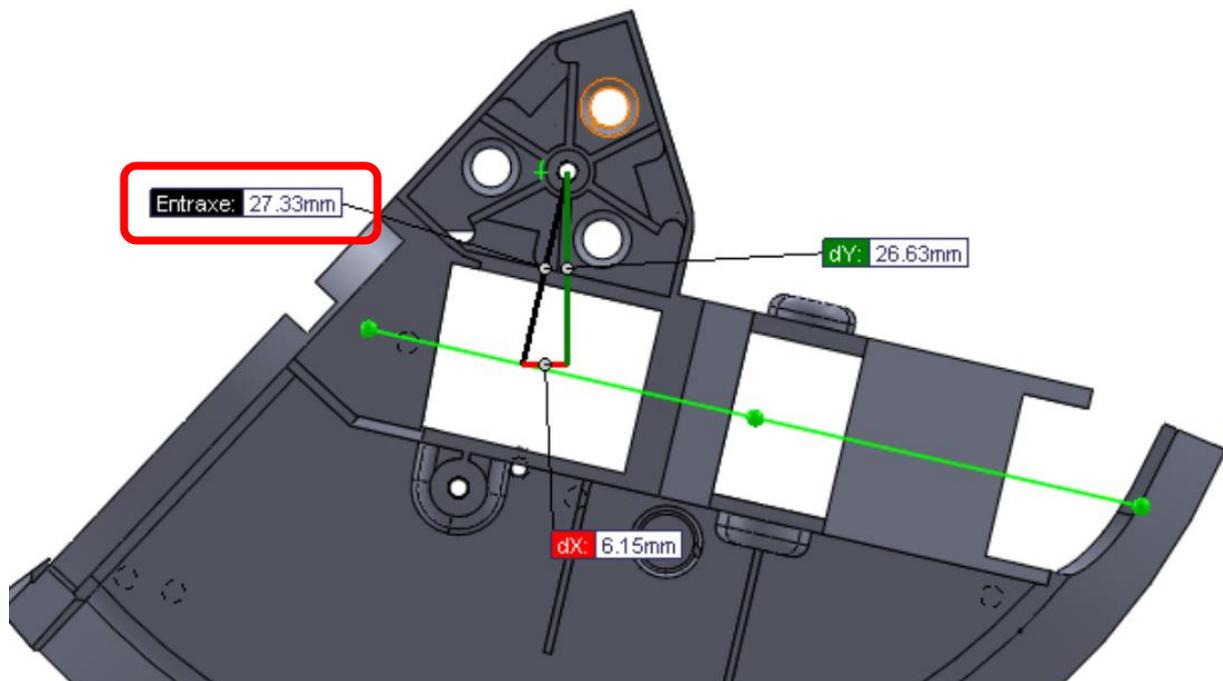




$r = 37,23$ mm (décalage parallèle à U_i du bras actualisé par rapport au référentiel des moteurs)



$s = -27,33$ mm (décalage parallèle à V_i du bras actualisé par rapport au référentiel des moteurs)



Les paramètres f et s ont été ajoutés car il existe un décalage dans la position des bras actualisés par rapport au référentiel des moteurs ainsi que dans la position de la pièce de liaison par rapport au référentiel

Rapport de réduction entre le moteur et le bras : $(56+0.25)/((14.25+0.5)/2) = 7,627$



V – Données techniques fabricant :

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 rafraichissement 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