

Laboratoire de Mécanique des Solides  
-Université de Poitiers-

# Conception mécanique d'un chien robot

## GIPO

---

Document 1/3 : Mémoire

---

réalisé par S. Cusi Van Dooren

présenté le 01 juin 2006

révisé par S. Zegloul

## Remerciements

Ce mémoire a été effectué au Laboratoire de Mécanique des Solides de l'Université de Poitiers.

Je remercie Monsieur Saïd Zegloul pour m'avoir accueilli au sein de son équipe de robotique, pour m'avoir proposé cette étude et aussi pour avoir fait confiance à mon projet en me fournissant tout le matériel nécessaire pour sa réalisation.

Je remercie Monsieur Marc Arsicault pour avoir suivi mon projet dès le départ et pour son effort final pour que GIPO devienne une réalité.

Je remercie l'IUT Poitiers pour avoir été l'interface entre l'Université de Girona et le LMS de Poitiers et aussi pour le prêt de ses installations pour la réalisation de GIPO.

J'exprime ma gratitude à tous les membres de l'équipe de robotique pour leur aide ponctuelle et pour leur compagnie.

# Table des matières

1	Introduction	5
1.1	<b>Le programme Socrates-Erasmus</b>	<b>5</b>
1.2	<b>Le laboratoire de mécanique des solides LMS</b>	<b>5</b>
1.2.1	Le site	5
1.2.2	L'équipe de mécanismes et robotique	5
1.3	<b>La conception 3D : SolidWorks</b>	<b>7</b>
1.3.1	Introduction	7
1.3.2	Conception des pièces	7
1.3.3	L'assemblage	7
1.3.4	La mise en plan	8
2	Etude et conception mécanique de GIPO	9
2.1	<b>Cahier de charges</b>	<b>9</b>
2.2	<b>Etudes et conceptions préliminaires</b>	<b>11</b>
2.2.1	Etude 1: Observations cinématiques	11
2.2.2	Etude 2: Les mouvements à sollicitations maximales. Détermination des couples des moteurs.	13
2.2.3	Conception 1: chien marcheur. Patte à motoréducteurs et transmission par roues coniques. Structure en alliage d'aluminium et capotage en plastique thermoformé. Contact avec le sol par boule de caoutchouc.	16
2.2.4	Conception 2: chien multi-mouvement. Patte à servomoteurs. Transmission directe. Structure en alliage d'aluminium. Contact avec le sol par boule de caoutchouc.	19
2.3	<b>Solution adoptée: chien multi-mouvement. Servomoteurs montés en chape. Structure et capotage en tôle d'alliage d'aluminium. Contact avec le sol par boule de résine.</b>	<b>21</b>
2.3.1	Robonova: le choix le moins cher	21
2.3.2	Les servomoteurs à double pivot	22
2.3.3	Structure en tôle d'alliage d'aluminium	22
2.3.4	Embout sphérique de résine comme contact avec le sol	23

# 1 Introduction

## 1.1 Le programme Socrates-Erasmus

La réalisation de ce projet au sein de l'Université de Poitiers<sup>1</sup> a été possible grâce au programme Socrates-Erasmus d'échange d'étudiants européens. La convention entre l'Université d'origine (Universitat de Girona<sup>2</sup>) et l'Université de destination (Université de Poitiers) m'a permis d'effectuer un stage de quatre mois dans l'équipe de robotique du laboratoire de mécanique des solides (LMS), situé sur le site du Futuroscope. Normalement ce stage devait s'effectuer à l'IUT de Poitiers, mais l'intention de développer mon projet dans le domaine de la robotique m'a mené à sa réalisation au LMS. Le chien GIPO est nommé d'après les noms des Universités impliquées (Girona et POitiers).

## 1.2 Le laboratoire de mécanique des solides LMS

### 1.2.1 Le site

Le LMS<sup>3</sup>, qui appartient à l'Université de Poitiers, est un laboratoire de recherche situé sur le site du Futuroscope dans le bâtiment SP2MI. L'espace du SP2MI (Sciences Physique Mathématiques Mécanique Informatique) est partagé avec d'autres laboratoires qui ont aussi un caractère scientifique.

Au LMS, on distingue cinq équipes de recherche, toutes liées à la mécanique des solides. Elles concernent la mécanique du contact, les mécanismes et la robotique, la photomécanique et la rhéologie, les structures et interfaces et, finalement, la mécanique du geste sportif. Chaque équipe possède du matériel spécifique pour développer ses projets et peut se servir d'un atelier mécanique commun où certaines pièces peuvent être réalisées.

Les 80 personnes environ du LMS qui font partie des différentes équipes de recherche et la dizaine qui s'occupent des tâches administratives sont dirigées par Monsieur Olivier Bonneau.

### 1.2.2 L'équipe de mécanismes et robotique

C'est dans cette équipe que mon stage s'est déroulé. Le responsable est Monsieur Saïd Zeghloul. Les travaux de recherches qui y sont menés portent principalement sur la préhension et la manipulation robotique, la robotique mobile à roues et à pattes avec notamment le développement d'humanoïdes, la CAO robotique.

L'équipe se compose de cinq enseignants chercheurs, un ingénieur étude et du personnel non-permanents (thésards, post-doc, stagiaires,...).

#### 1.2.2.1 Principaux projets réalisés

- *BIP 2000*: développement d'un robot bipède anthropomorphe à 15 ddl qui a été présenté à l'Exposition Universelle de Hanovre (schéma à la figure 1-1 et photo à la figure 1-2). Il est muni de deux jambes, un pelvis et un tronc où s'y trouve la partie électronique réalisée par l'INRIA de Grenoble. Le contrôle de stabilité de l'ensemble est l'un des défis les plus importants de ce projet.

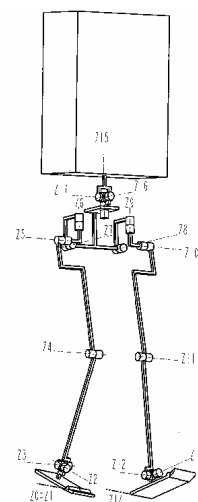


Figure 1-1: schéma cinématique du BIP 2000

<sup>1</sup> [www.univ-poitiers.fr](http://www.univ-poitiers.fr)

<sup>2</sup> [www.udg.cat](http://www.udg.cat)

<sup>3</sup> [www-lms.univ-poitiers.fr](http://www-lms.univ-poitiers.fr)

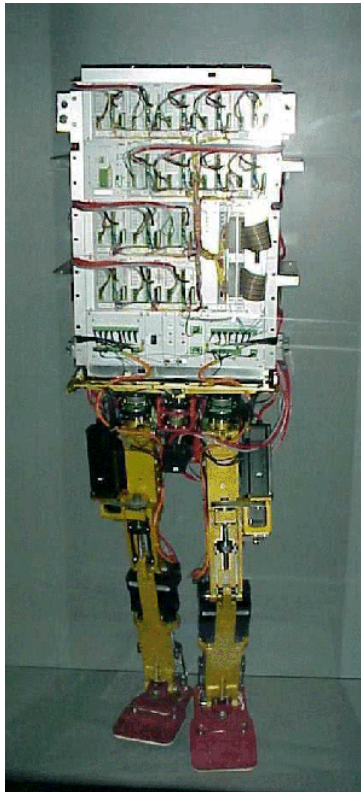


Figure 1-2: Image BIP 2000

- *Préhension*: le site «main articulée à 4 doigts» (figure 1-3) est le projet le plus avancé en ce qui concerne la manipulation d'objets. Cette main mécanique ressemble à une main humaine amputée d'un doigt. Seize moteurs permettent de restituer les mouvements de flexion extension et d'abduction adduction de chacun des doigts. Cette main a été aussi présentée à l'Exposition Universelle de Hanovre.

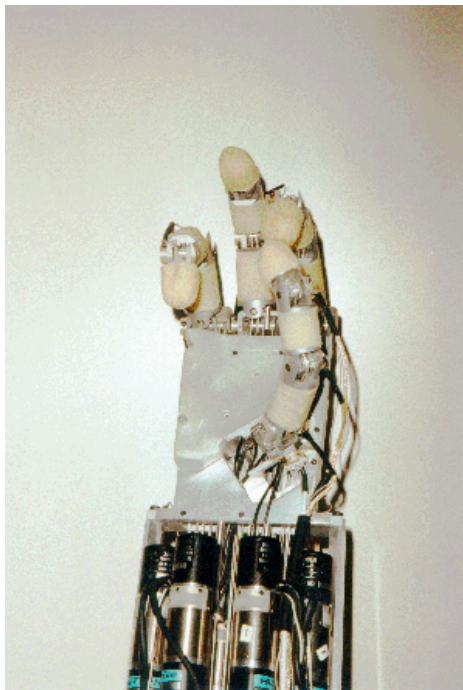


Figure 1-3: Image de la main articulée

- *Robot artiste* : programmation d'un robot industriel capable de faire une caricature d'une personne sur un papier. Le logiciel, à partir d'une photo, distingue les traits les plus significatifs du visage et les transmet au robot qui va dessiner la caricature. Ce projet a été comandé par le Futuroscope pour être montré dans l'un de ses spectacles.

- *Hardy*: développement d'un robot mobile à roues capable d'éviter des obstacles.
- *Micro robotique*: conception d'un robot d'inspection intratubulaire de petites dimensions basé sur la juxtaposition de structure déformable à deux états. Le changement d'état s'obtient à l'aide de matériaux à mémoire de forme et permet au robot de reproduire le principe de locomotion d'un lombric.

## 1.3 La conception 3D : SolidWorks

### 1.3.1 Introduction

La conception de GIPO se fait à l'aide du logiciel SolidWorks<sup>4</sup> (édition d'éducation). Ce logiciel offre des outils très puissants à ceux qui veulent réaliser une conception mécanique intégrale. Ce n'est pas seulement un logiciel de dessin mais aussi un simulateur qui permet de calculer les propriétés volumétriques et massiques d'un ensemble. Il permet de faire des simulations des mouvements entre des pièces ou des ensembles de façon que l'on puisse détecter les possibles interférences. Une fois le dessin 3D achevé, le logiciel permet une mise en plan rapide et pratique.

Le transfert du dessin sur un logiciel d'éléments finis donne l'opportunité au dessinateur de vérifier la résistance de sa conception et de la valider.

### 1.3.2 Conception des pièces

Les pièces se conforment à partir d'une esquisse dessinée sur un plan. Cette esquisse 2D est obtenue par des formes géométriques simples comme lignes et cercles. Une fois l'esquisse prête, le logiciel offre plusieurs fonctions à exécuter. On peut la prolonger vers une direction (extrusion), la faire tourner autour d'un axe ou réaliser plusieurs autres opérations. Comme cela, on obtient une pièce qui prend une troisième dimension. Cette pièce peut être modifiée à posteriori en changeant les paramètres de la fonction ou l'esquisse objet de la fonction. Chaque opération réalisée sur la pièce requière une esquisse.

Le dessin est paramétré, c'est-à-dire qu'on peut modéliser la forme souhaitée sans se préoccuper des dimensions exactes. Les dimensions des différentes pièces peuvent être liées de façon que lorsqu'une change, les autres changent aussi. Comme cela une petite variation d'une pièce n'entraîne pas la modification manuelle et laborieuse des autres pièces de l'ensemble.

### 1.3.3 L'assemblage

A mesure qu'on réalise les pièces, on peut les assembler dans un nouveau fichier qui contiendra seulement les contraintes et rapports qu'on a imposé aux pièces. Les contraintes définissent la position des pièces dans l'ensemble et les liaisons entre elles. On peut donc imposer que deux pièces soient concentriques, que deux surfaces soient coplanaires ou par exemple que la distance entre deux surfaces soit déterminée.

On peut créer un assemblage d'assemblages et comme cela construire des grands ensembles de façon structurée et ordonnée. La structure qu'on obtient est celle d'un arbre où des pièces font partie d'ensembles qui à la fois appartiennent à

---

<sup>4</sup> [www.solidworks.fr](http://www.solidworks.fr)

un ensemble plus grand. Si un changement est effectué sur une pièce individuelle, celle-ci va changer automatiquement dans l'assemblage de façon que l'on puisse voir l'effet de la modification dans l'ensemble.

Les différentes pièces ou ensembles peuvent avoir un mouvement relatif entre elles quand les contraintes leur permettent. Ceci est une aide à la conception car on peut prendre des mesures exactes de différents positions et comme cela optimiser le design.

#### **1.3.4 La mise en plan**

Pour que l'atelier puisse réaliser les pièces, il a besoin de plans en 2D plutôt que d'un dessin tridimensionnel dont la cotation serait assez confuse.

SolidWorks possède un module capable de projeter des vues de pièces ou d'ensembles sur un plan. Ensuite on peut faire des coupes et d'autres opérations pour mieux représenter la pièce sur le plan. La cotation est automatique même si elle n'est pas toujours optimisée pour l'usinage. Un changement sur une cote du plan entraîne la modification automatique de cette dimension sur la pièce d'origine et vice-versa.

## 2 Etude et conception mécanique de GIPO

### 2.1 Cahier de charges

La conception de GIPO a comme référence le chien AIBO<sup>5</sup>, montré à la figure 2-1, développé par Sony. L'étude pour la réalisation de GIPO ne comprend que le développement de la partie technologique. La conception assume donc que la cinématique d'AIBO a été prouvée largement et est optimale.

Le laboratoire veut concevoir un démonstrateur à moindre coût. Pour ces raisons, il faut annoncer que le cahier de charges concernant les caractéristiques intrinsèques du robot a évolué au fur et à mesure des recherches de solution.

Caractéristiques définitives de GIPO:

- Taille proportionnelle à celle d'AIBO. Les dimensions d'AIBO se montrent aux figures 2-2, 2-3, 2-4 et 2-5.
- Masse de référence du corps d'AIBO sans jambes: 1,5 Kg
- Degrés de liberté: 17
  - 3 ddl par jambe, soit 12
  - 3 ddl pour la tête
  - 1 ddl pour la gueule
  - 1 ddl pour la queue
- Mouvements à réaliser: marcher, changer de direction, se lever en utilisant deux pattes et se lever sur la fesse. Les mouvements à réaliser sont montrés sur les vidéos enregistrées sur le CD document 3/3: matériel additionnel, dans //gipo/vidéos/aibo/
- Matériaux utilisés
  - Alliage d'aluminium pour la structure
  - D'autres pour usages divers
- Coût le plus bas possible



Figure 2-1: apparence d'AIBO

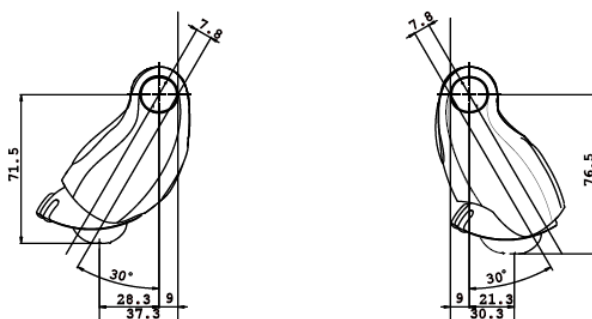


Figure 2-2: caractéristiques des pattes

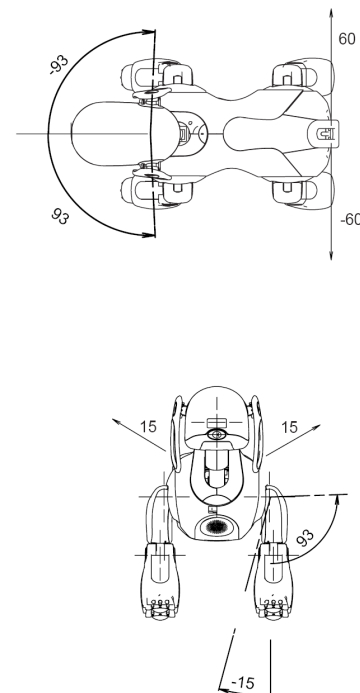


Figure 2-3: limites angulaires des mouvements

<sup>5</sup> www.eu.aibo.com



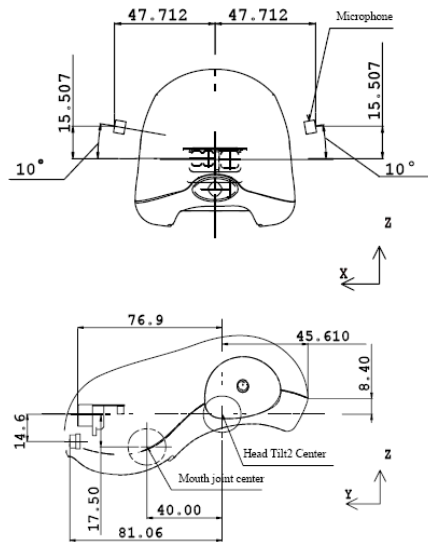


Figure 2-4: caractéristiques de la tête

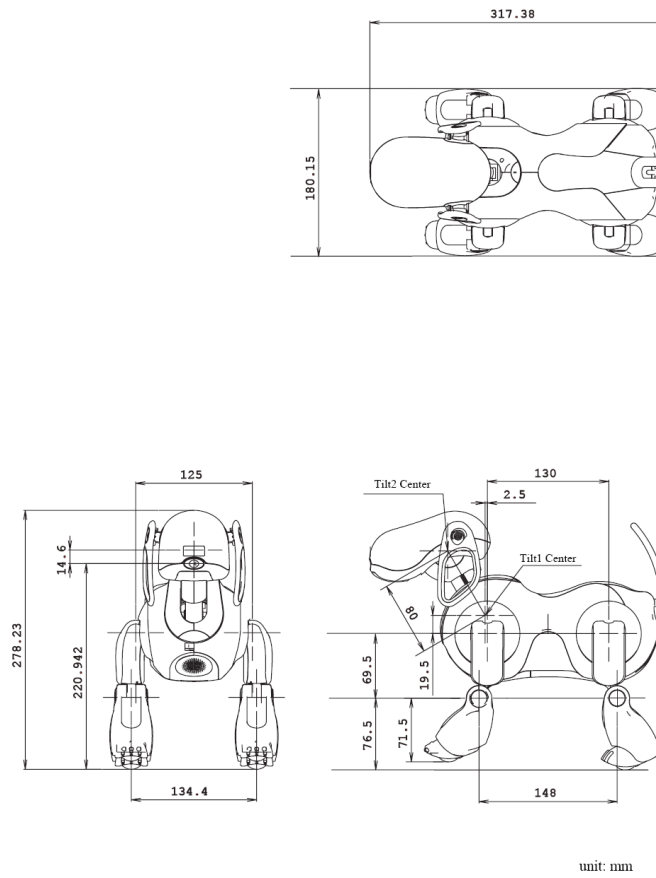


Figure 2-5: dimensions générales d'AIBO

## 2.2 Etudes et conceptions préliminaires

### 2.2.1 Etude 1: Observations cinématiques

#### 2.2.1.1 Les pattes

- Configuration des pattes

Les pattes ont 3 ddl chacune comme représenté à la figure 2-6, chaque ddl est commandé par un moteur indépendant.

L'extrémité de la patte 0 adopte une forme sphérique qui est appuyé sur le sol et qui permet une rotation en x, y et z.

L'articulation 1 permet à la partie inférieure de la patte de tourner autour de l'axe y. Le moteur M1 qui donne ce mouvement s'installe entre 0 et 1. Il doit permettre une amplitude de  $180^\circ$  de l'articulation. La vitesse de rotation estimée est inférieure à 1 tr/s.

L'articulation 2 donne à la patte le mouvement autour de x. Le moteur M2 se place entre 1 et 2 et il doit arriver jusqu'aux  $+90^\circ$  et  $-15^\circ$  autour de x. La vitesse de rotation estimée est inférieure à 0,5 tr/s.

L'articulation 3 donne à la patte entière le mouvement autour de y. Le moteur M3 s'installe sur le corps du chien et permet une rotation de  $180^\circ$ . La vitesse de rotation estimée est inférieure à 1 tr/s.

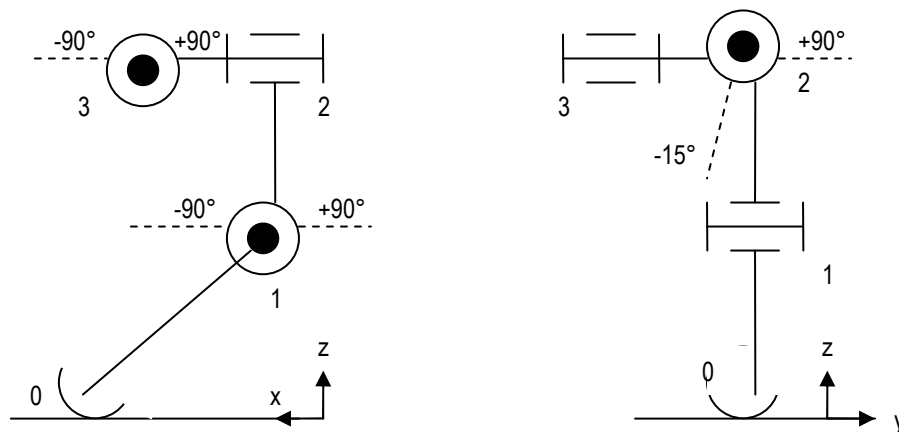


Figure 2-6: schéma des pattes

- La marche

En observant les vidéos d'AIBO, on remarque qu'il ne bouge qu'une jambe à la fois. Les autres font un petit mouvement pour avancer le corps et comme cela elles permettent à la jambe en mouvement d'arriver jusqu'à un point plus avancé. Les mouvements du chien pour achever la marche suivent la séquence montrée à la figure 2-7.

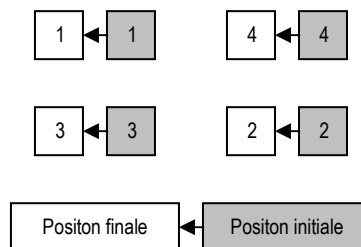


Figure 2-7: séquence de la marche

- Les changements de direction

Pour tourner, AIBO n'utilise que des légers mouvements des jambes en les écartant vers l'extérieur et l'intérieur à l'aide de l'articulation 2. Il combine d'autres petits mouvements des autres articulations pour achever un bon changement de direction.

### 2.2.1.2 La tête

La tête compte quatre ddl au total, chacun commandé par un moteur indépendant. Trois de ses ddl servent aux mouvements de la tête par rapport au tronc, le dernier sert à ouvrir et fermer la gueule pour saisir des objets. La figure 2-8 montre la configuration de la tête.

L'articulation 4, à travers de la rotation du cou, donne du mouvement à toute la tête en tournant sur l'axe y. Le moteur chargé de donner cette rotation se place sur le corps du chien et il a une amplitude de  $180^\circ$ . La vitesse de rotation estimée est inférieure à 0,5 tr/s.

L'articulation 5 donne une rotation supplémentaire autour de l'axe y et d'ailleurs donne réalité à la tête en ressemblant à celle d'un chien. Le moteur s'installe entre 4 et 5 et il a une amplitude de  $180^\circ$ . La vitesse de rotation estimée est inférieure à 0,5 tr/s.

L'articulation 6 donne au crâne la rotation autour de x et z avec une amplitude de  $180^\circ$ . La vitesse de rotation estimée est inférieure à 1 tr/s.

L'articulation 7 donne le mouvement de fermeture et ouverture de la gueule. L'amplitude nécessaire est de  $45^\circ$ . Le moteur qui donne ce mouvement doit s'accrocher sur le crâne. La vitesse de rotation estimée est inférieure à 0,5 tr/s.

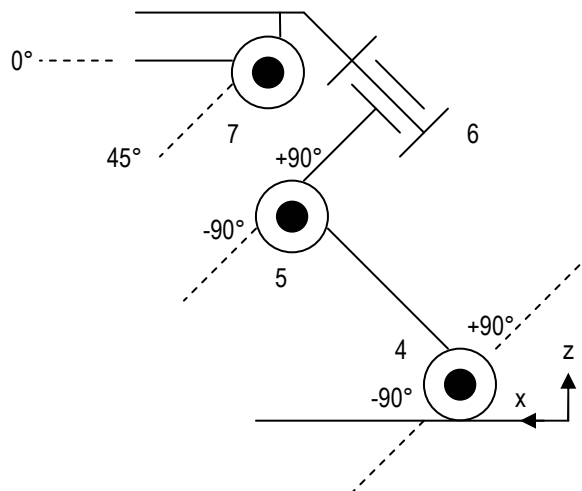


Figure 2-8: articulations de la tête

### 2.2.1.3 La queue

La queue n'est que la rotation simple de l'axe d'un moteur autour de x. Ce moteur, M8, donne une vitesse de rotation inférieure à 1 tr/s. Le moteur est attaché au corps du chien.

## 2.2.2 Etude 2: Les mouvements à sollicitations maximales. Détermination des couples des moteurs.

### 2.2.2.1 Sollicitation maximale du moteur M1

GIPO doit être capable de lever son corps seulement à l'aide de deux pattes. Cela exige au moteur M1 un couple qu'il n'atteindra dans aucun autre mouvement car la cuisse est pratiquement horizontale.

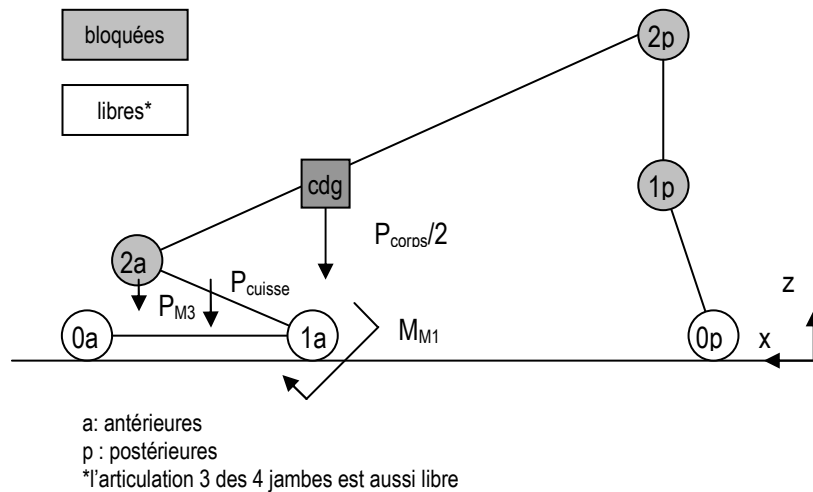


Figure 2-9 : sollicitation maximale du M1

Pour calculer  $M_{M1}$ , on peut considérer le cas le plus défavorable celui où la cuisse est en position horizontale. Le chien se lève en pivotant sur l'articulation 3p (voir figure 2-6 pour l'emplacement de cette articulation). On considère que le centre de gravité cdg du corps est éloigné de 2a d'une distance de  $1/3$  de  $2a2p$  dû au poids de la tête. Cela devra être pris en compte au moment de répartir les masses du corps. Cette distribution du cdg fait que la position montrée à la figure 2-9 est plus défavorable que celle où le chien se lève en utilisant les pattes postérieures.

On peut calculer  $M_{M1}$  en se servant du diagramme de la figure 2-10:

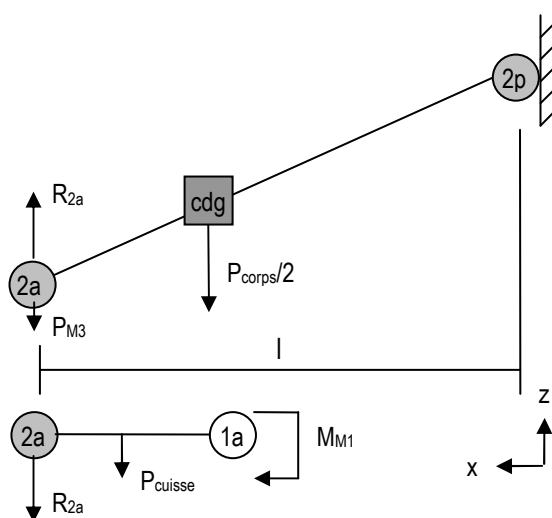


Figure 2-10: diagrammes de corps libre pour le calcul de  $M_{M1}$

On obtient :

$$\sum M_{2p} = 0 \rightarrow R_{2a}l - P_{M3}l - \frac{P_{corps}}{2} \frac{2}{3}l = 0 \rightarrow R_{2a} = P_{M3} + \frac{P_{corps}}{3}$$

$$\sum M_{1a} = 0 \rightarrow M_{M1} - P_{cuisse} \frac{l_{cuisse}}{2} - R_{2a}l_{cuisse} = 0 \rightarrow M_{M1} = \left( \frac{P_{cuisse}}{2} + R_{2a} \right) l_{cuisse} \rightarrow \boxed{M_{M1} = \left( \frac{P_{cuisse}}{2} + P_{M3} + \frac{P_{corps}}{3} \right) l_{cuisse}}$$

### 2.2.2.2 Sollicitation maximale du M2

Ce moteur est peu sollicité car les mouvements liés à l'écartement des jambes sont de faibles amplitudes et requièrent de faibles couples. La condition la plus défavorable est celle où le chien écarte la jambe vers l'extérieur jusqu'à la position horizontale. Il doit pouvoir faire ce mouvement avec toutes les jambes.

On peut calculer  $M_{M2}$  à l'aide du diagramme de la figure 2-11:

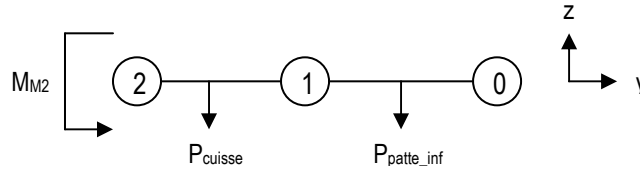


Figure 2-11: diagramme de corps libre pour le calcul de  $M_{M2}$

On obtient :

$$\sum M_2 = 0 \rightarrow M_{M2} - P_{cuisse} \frac{l_{cuisse}}{2} - P_{patte\_inf} \left( l_{cuisse} + \frac{l_{patte\_inf}}{2} \right) = 0 \rightarrow \boxed{M_{M2} = P_{cuisse} \frac{l_{cuisse}}{2} + P_{patte\_inf} \left( l_{cuisse} + \frac{l_{patte\_inf}}{2} \right)}$$

### 2.2.2.3 Sollicitation maximale du M3

Les moteurs des pattes antérieures M3a sont sollicités différemment des moteurs des pattes postérieures M3p. Les jambes antérieures ne serviront qu'à marcher et par conséquent le couple nécessaire sera faible. Elles doivent néanmoins pouvoir se lever de 90° pour acquérir la position horizontale. Ce mouvement sera le plus contraignant de tous. Le couple nécessaire pour le réaliser sera le même que celui calculé précédemment.

$$M_{M3a} = M_{M2} \rightarrow \boxed{M_{M3a} = P_{cuisse} \frac{l_{cuisse}}{2} + P_{patte\_inf} \left( l_{cuisse} + \frac{l_{patte\_inf}}{2} \right)}$$

Le robot réalise un mouvement particulier qui consiste à s'asseoir et lever le corps entier jusqu'à obtenir une position presque verticale. C'est grâce au M3p qu'il peut se lever de cette façon. Pour diminuer le couple nécessaire, le robot fait une série de mouvements dont le premier consiste à s'asseoir et écarter les pattes postérieures de façon qu'il obtienne une base stable à 3 points de contact. Ensuite, il approche les pattes antérieures des postérieures en inclinant le corps par rapport à l'horizontale jusqu'à environ 45°. A cet instant, schématisé à la figure 2-12, il est prêt pour se lever en se servant des M3p. Au début de cette étape c'est quand le couple nécessaire est important car le poids des pattes et du cdg du corps feront un couple résistant important. L'articulation 3 des jambes antérieures 3a est libre de façon que quand le corps s'élève elles maintiennent la verticale à l'aide de la force de gravitation.

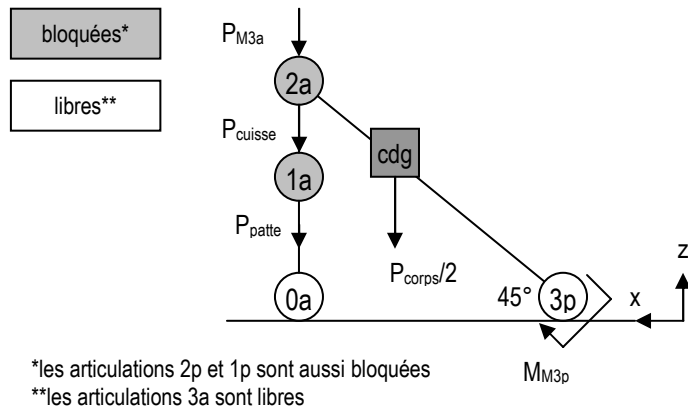


Figure 2-12: sollicitation maximale de M<sub>3p</sub>

On peut calculer M<sub>M3p</sub>:

$$\sum M_{3p} = 0 \rightarrow M_{M3p} - \frac{P_{corps}}{2} \frac{2}{3} l \cos 45^\circ - (P_{M3a} + P_{cuisse} + P_{patte\_inf}) l \cos 45^\circ = 0 \rightarrow$$

$$M_{M3p} = \left( \frac{P_{corps}}{3} + P_{M3a} + P_{cuisse} + P_{patte\_inf} \right) l \cos 45^\circ$$

#### 2.2.2.4 Sollicitation maximale des moteurs de la tête

La tête du chien est très légère et, par conséquent, les couples requis sont faibles. On considère donc que n'importe quel moteur est capable de lever son poids sans difficulté. La gueule saisit des objets à l'aide du moteur M7. Ce moteur-là n'a besoin non plus d'un gros couple car la gueule du chien a une forme optimale pour cette finalité et, par conséquent, le moteur M7 ne doit apporter qu'une petite pression.

#### 2.2.2.5 Sollicitation du moteur de la queue

Le moteur qui fait tourner la queue, le M8, a un couple résistant négligeable.

2.2.3 Conception 1: chien marcheur. Patte à motoréducteurs et transmission par roues coniques. Structure en alliage d'aluminium et capotage en plastique thermoformé. Contact avec le sol par boule de caoutchouc.

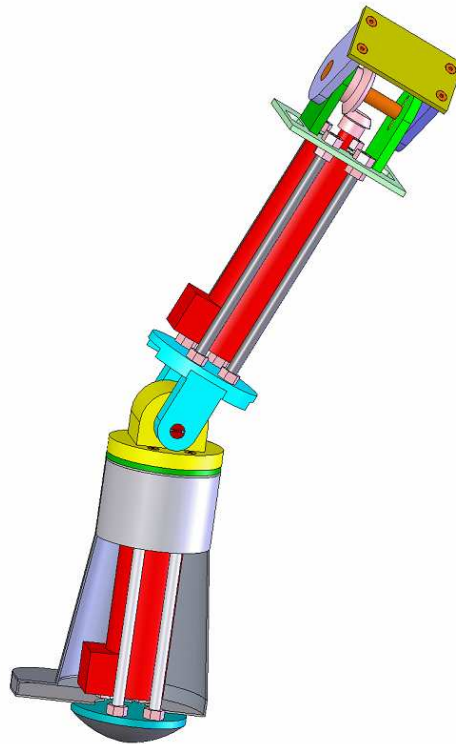


Figure 2-13: aperçu de la conception 1

2.2.3.1 Les motoréducteurs munis de codeur

Au départ, GIPO n'a été pensé que pour marcher. Cela entraîne que les couples exigés aux moteurs soient modérés car ils ne serviront qu'à lever les pattes. Dans cette conception le premier choix à faire est celui de la motorisation. Les moteurs conditionnent la taille des pattes car ils seront logés dans la patte inférieure et la cuisse. Les dimensions obtenues permettent de faire un calcul des couples nécessaires et ainsi de vérifier si les moteurs choisis sont aptes pour l'application. Un critère non technique lors du choix des moteurs est l'abondance et la qualité de l'information disponible sur Internet dont on peut disposer. Dans ce cas, le motoréducteur PSA-08-080 avec codeur fabriqué par Harmonic Drive<sup>6</sup> et montré ci-dessous (figure 2-14) est un point de départ intéressant.

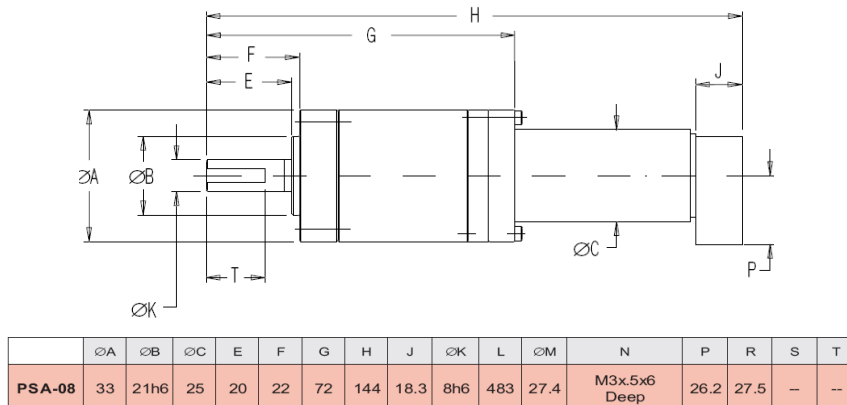


Figure 2-14: dimensions et caractéristiques du PSA08-080

	Unit	PSA-8-080
Rated Output Power	W	8.6
Rated Output Torque	lb-in	1.2
	Nm	1.4
Rated Output Speed	RPM	60
Maximum Output Speed	RPM	100
Maximum Continuous Torque	lb-in	1.5
	Nm	1.7
Maximum Repeated Torque (acceleration, deceleration)	lb-in	1.5
	Nm	1.7
Peak Instantaneous Torque (emergency stop, etc)	lb-in	2.3
	Nm	3.4
Rated Voltage	V	12
Max. Continuous Current	A	1.22
Terminal Resistance	W	2.34
Torque Constant	lb-in/A	12.5
	Nm/A	1.41
Terminal Inductance	mH	.24
Rotor Moment of Inertia at motor shaft	lb-in <sup>2</sup>	0.0046
	kg-m <sup>2</sup>	1.33x10 <sup>-6</sup>
Encoder Resolution	P/R	500
Net Weight	lb	0.85
	kg	0.39
Speed Constant	RPM/V	5.09
Ratio	1:R	80
Maximum Radial Load at Center of Output Shaft	lb	45
	kgf	20.4
Maximum Axial Load on Output Shaft	lb	20
	kgf	9.1

Les dimensions de ce motoréducteur, surtout la longueur H, rendent nécessaire de construire un chien trois fois plus grand qu'AIBO.

- Avantages
  - Haute précision des mouvements.
  - Maîtrise absolue du comportement: couple et position.
- Inconvénients
  - Coût très élevé. Chaque moteur+codeur coûte 1400 euros qui fait 16800 euros seulement pour les pattes.

### 2.2.3.2 La transmission à roues coniques

Elle est réalisée grâce à des roues coniques en plastique comme montré sur les figures 2-15 et 2-16. Celles-ci donnent la possibilité de transmettre une rotation entre deux axes non parallèles, notamment à 90°. Cette particularité permet de placer le moteur en position verticale, très appréciable pour une bonne conception des pattes, et pour obtenir le mouvement souhaité perpendiculaire à l'axe du moteur. En changeant le rapport de réduction  $i$ , on peut adapter le moteur aux besoins de l'application.

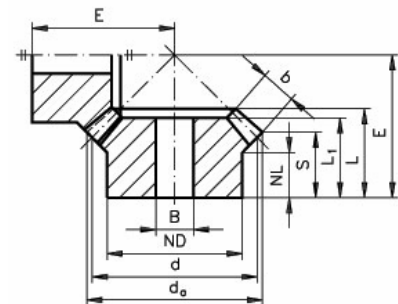


Figure 2-15: schéma roues coniques

Il faut que les roues coniques puissent être réglées suivant leur axe pour obtenir un bon ajustement et une bonne performance lors de la transmission.

- Avantages
  - Transmission fiable.
- Inconvénients
  - Augmentent encore plus la longueur de la patte.
  - Doivent être usinées pour s'adapter au moteur et à la structure.

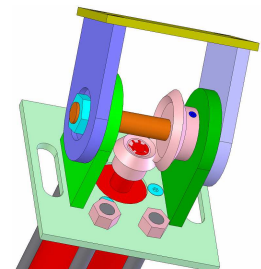


Figure 2-16: montage des roues coniques

### 2.2.3.3 Structure en aluminium et capotage en plastique thermoformé

La structure du chien devra être la moins lourde possible mais elle devra cependant résister au poids du chien. Un matériau facile à usiner et de bonne résistance est l'alliage d'aluminium de type AlCu4Mg. Celui-ci a été retenu.

Le capotage se construit en plastique thermoformé pour le rendre le plus léger possible. Avec cette technique on peut obtenir des fines couches en plastique qui adoptent des formes complexes.

### 2.2.3.4 Boule de caoutchouc comme contact avec le sol

La forme sphérique de l'extrémité de la patte permet de simplifier la conception. Elle rend également les calculs cinématiques plus faciles car on peut assimiler le contact à un contact ponctuel.

On observe chez AIBO que des fréquents glissements des pattes se produisent lorsqu'il marche sur une surface lisse. C'est à cause du matériau utilisé. Il s'agit d'un polymère dur et, peu adhérent sur des surfaces lisses.

La conception tente de résoudre ce problème en substituant ce matériau dur par du caoutchouc. L'adhérence caractéristique de ce matériau et la petite déformation qu'il peut subir en augmentant la surface de contact permet d'éviter le phénomène du glissement.



#### 2.2.3.5 *Conclusions*

Cette première étude a permis de se faire une idée de l'agencement des différents constituants de l'ensemble. L'extrémité en caoutchouc est aussi une idée à conserver ainsi que le choix d'une structure en alliage d'aluminium.

Les moteurs doivent se substituer à d'autres beaucoup moins chers. Nous allons voir que le choix d'une nouvelle motorisation va considérablement modifier les solutions envisagées.



Tous les couples demandés sont inférieurs à celui que peut donner le servomoteur (2,4Nm).

La vitesse de 0,15 sec/60° (1,5 secondes chaque tour) suffit pour chacune des articulations des pattes.

▪ Avantages:

- Léger et performant.
- Le montage en chape et en direct-drive simplifie la conception.
- Electronique et commande simples, il n'y a pas besoin de codeurs car il a un capteur de position.
- Coût modéré, 140 euros l'unité.

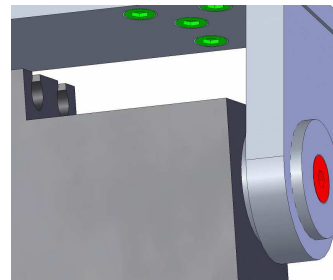


Figure 2-19: détail du pivot

▪ Inconvénients:

- Il n'y a pas de servomoteurs à choisir, ce qui fait que tous sauf le  $M_{M3p}$  soient surdimensionnés.
- Maîtrise de la vitesse impossible. Il ne fait qu'atteindre la position souhaitée en un temps qui dépend des couples résistifs.

#### 2.2.4.2 Structure en alliage d'aluminium

La structure, résistante, légère, facile à usiner, est composée de plaques de 3 mm d'épaisseur unies par des vis M2. Le montage et démontage sont aussi simples et rapides. Les servomoteurs font partie de la structure, ce qui permet de réduire le poids de l'ensemble et de simplifier la conception.

#### 2.2.4.3 Sphère de caoutchouc comme contact avec le sol

Le choix est identique à la conception 1 même si la façon de l'accrocher au bout de la patte est maintenant définie (figure 2-20). Trois trous sont effectués sur la boule de façon qu'on puisse y coller des écrous normalisés. Le trou sera suffisamment profond pour héberger l'écrou et la vis.

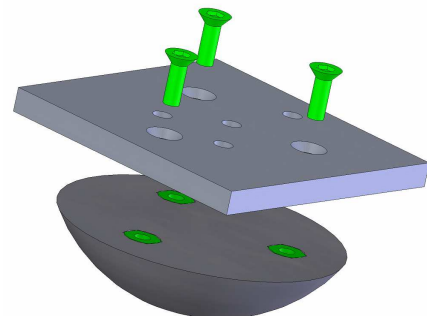


Figure 2-20: montage de l'extrémité

#### 2.2.4.4 Conclusions

Cette conception est assez optimale car c'est facile à construire et à monter. L'usage des servomoteurs implique une diminution de la qualité ou de la précision des mouvements mais cela n'empêche pas que le chien puisse marcher parfaitement.

Bien que le coût des servomoteurs soit relativement bas, le prix revient du chien s'élève à 2000 euros, montant considéré excessif. Cela implique qu'il est nécessaire de chercher d'autres servomoteurs moins chers mais avec des caractéristiques similaires à celles du HSR-5995TG.

**2.3 Solution adoptée: chien multi-mouvement. Servomoteurs montés en chape. Structure et capotage en tôle d'alliage d'aluminium. Contact avec le sol par boule de résine.**

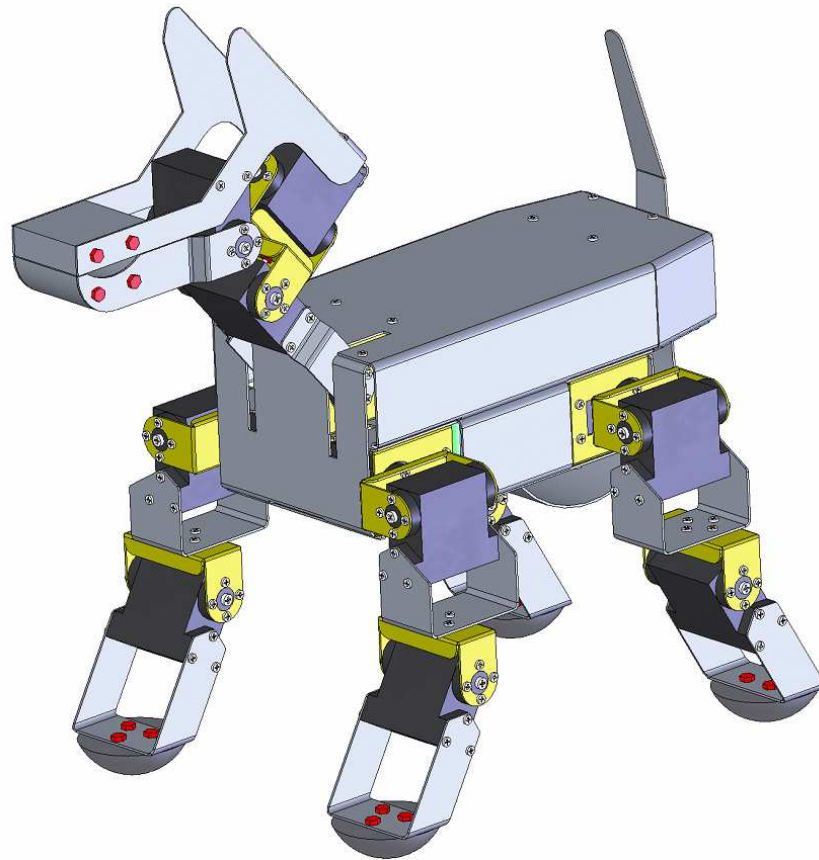


Figure 2-21: aperçu définitif de GIPO

**2.3.1 Robonova: le choix le moins cher**

La recherche de servomoteurs moins chers mène à un robot humanoïde (figure 2-22) conçu par Hitec et appelé Robonova<sup>8</sup>. Ce robot est pourvu de 16 servomoteurs, référenciés HSR-8498HB, de caractéristiques adaptables à GIPO. En plus, des pièces de la structure du robot peuvent aussi être utilisées en simplifiant et en réduisant le nombre de pièces à fabriquer. L'ensemble est aussi muni de la carte électronique qui gère les moteurs et d'un logiciel qui permet leur programmation. La batterie est aussi dans l'ensemble. Le coût de Robonova ne dépasse pas les 1000 euros.



Figure 2-22: Robonova

<sup>8</sup> [www.hitecrobotics.com](http://www.hitecrobotics.com)

### 2.3.2 Les servomoteurs à double pivot

Ces servomoteurs, à la figure 2-23, sont très similaires à ceux utilisés à la conception 2 sauf qu'ils sont spécialement conçus pour des applications robotiques. Leur petite taille permet de concevoir un chien de la taille d'AIBO. Aussi, un double pivot prêt à se monter en chape, directement à la tôle, rend la conception plus simple. Le kit Robonova inclut des soutiens pour les servomoteurs. Ainsi, les servomoteurs qui doivent être installés sur le corps de GIPO (les quatre M3 des pattes, le M4 du cou et le M8 de la queue), peuvent se monter de façon simple. Deux des servomoteurs du kit n'ont qu'un seul pivot (référenciés HSR-8498HB3), ceux-là s'utilisent comme M3 des pattes postérieures.

Selon les équations du point 2.3.2,  $M_{M3p}=0,7 \text{ Nm}$ . C'est assez serré car le servomoteur donne un couple de démarrage de 0,74 Nm. En plus, le cdg du corps tombe plus loin que prévu. Par contre, le poids estimé par Solidworks est de 800 grammes face aux 1500 grammes utilisés au calcul. La tête, en plus, peut s'approcher de la partie postérieure en se servant du servomoteur M4 et ainsi rendre le cdg plus proche de la partie postérieure. Pour ces raisons, on considère que le servomoteur M3 postérieur peut faire face au couple résistant du mouvement de levage. Comme ce couple est le plus grand, on considère que tous les autres servomoteurs travailleront sans problème. La vitesse de 1,2 secondes par tour est acceptable.

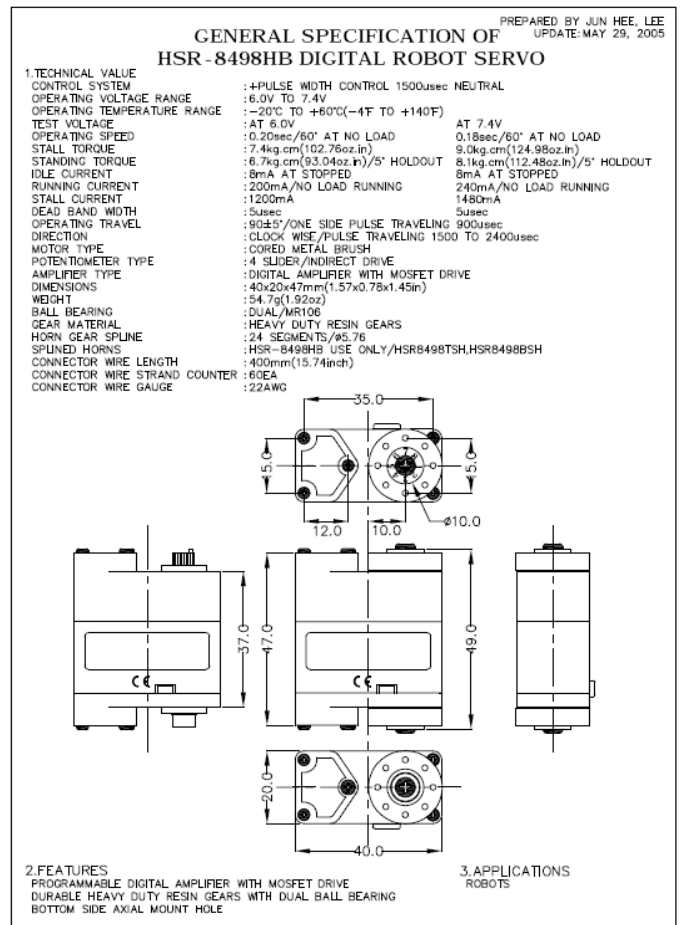


Figure 2-23: servomoteur HSR-8498HB

### 2.3.3 Structure en tôle d'alliage d'aluminium

La structure se conçoit en tôle d'un millimètre d'épaisseur. L'alliage d'aluminium AlMg5 est suffisamment résistant pour l'effort que supportera le chien. Les pièces en tôle saisies du kit Robonova sont aussi faites en tôle d'alliage d'aluminium d'un millimètre d'épaisseur.

La conception en alliage d'aluminium rend le chien très léger et en plus il est agréable aux yeux.

La fabrication des pièces est plus rapide et plus performante par rapport au matériel dépensé que l'utilisation de plaques plus épaisses.

Pour la réalisation du capotage, la tôle d'AlMg5 de 1 mm d'épaisseur est aussi utilisée car elle est légère et facilement pliable. Les formes cependant sont toujours obtenues par des plis et, par conséquent, le chien adopte une forme assez carrée.

Les diverses pièces en tôle s'unissent par des vis M2.

La gueule contient deux pièces en alliage d'aluminium qui doivent être usinées en partant d'un profilé.

#### **2.3.4 Embout sphérique de résine comme contact avec le sol**

L'idée est la même que celle étudiée lors de la conception 2 mais le matériau est différent. La résine compte sur des caractéristiques similaires à celles du caoutchouc mais l'avantage qu'elle apporte c'est la possibilité de fabriquer les pièces au LMS. La résine liquide se verse sur le moule à la forme désirée et contenant déjà les écrous correctement placés. Après polymérisation, on obtient l'embout sphérique prêt à se monter sur la patte.