



**HAL**  
open science

# Sherpa, un robot marcheur bipède à actionnement réversible

Sébastien Krut, Ahmed Chemori

► **To cite this version:**

Sébastien Krut, Ahmed Chemori. Sherpa, un robot marcheur bipède à actionnement réversible. 3èmes Journées Démonstrateurs 2010, Nov 2010, Angers, France. pp.9. lirmm-00809721

**HAL Id: lirmm-00809721**

**<https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00809721v1>**

Submitted on 9 Apr 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Sherpa, un robot marcheur bipède à actionnement réversible

Sébastien Krut<sup>1</sup>, Ahmed Chemori<sup>1</sup>,

...et par ordre alphabétique :

Michel Benoit<sup>1</sup>, Eric Berton<sup>2</sup>, Frédéric Comby<sup>1</sup>, David Galdeano<sup>1</sup>, Nils Guegan<sup>2</sup>,  
Julien Jac<sup>3</sup>, Daniel Matt<sup>3</sup>, Olivier Missenard<sup>2</sup>, Gilles Montagne<sup>2</sup>, Antoine Morice<sup>2</sup>,  
Ionut Olaru<sup>1</sup>, François Pierrot<sup>1</sup>, Guillaume Rao<sup>2</sup>, Olivier Strauss<sup>1</sup>, Laurent Vigouroux<sup>2</sup>,  
Nicolas Ziegler<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LIRMM, Laboratoire d'Informatique de Robotique et de Microélectronique de Montpellier,  
UMR 5506 CNRS & Université Montpellier 2, Montpellier

<sup>2</sup> ISM, Institut des Sciences du Mouvement - Etienne-Jules Marey,  
UMR 6233 CNRS & Université de la Méditerranée, Marseille

<sup>3</sup> IES, Institut d'Electronique du Sud,  
UMR 5214 CNRS & Université Montpellier 2, Montpellier

*krut@lirmm.fr, chemori@lirmm.fr*

**Résumé** – La plateforme expérimentale Sherpa est l'aboutissement palpable du projet national ANR Blanc 2006 du même nom. Il s'agit d'un robot bipède à échelle humaine dont l'actionnement (i) transparent (c'est-à-dire réversible et à faible inertie) et (ii) parallèle, lui confère des propriétés de mouvement particulièrement adaptées pour la marche. Cet article est l'occasion pour nous de : (i) exposer le projet dans son ensemble, (ii) de détailler la mécanique de cette plateforme robotique.

**Mots clés** – Démonstrateurs en robotique, robotique bipède, robotique humanoïde.

## 1 Le projet Sherpa

Le robot bipède Sherpa est l'aboutissement d'un projet sur 4 ans financé par l'ANR en 2006, dans le cadre de son programme « Blanc » (référence ANR-06-BLAN-0244-01). Voici le résumé du projet :

*Le projet Sherpa, bipède bio-inspiré pour le transport, est conçu comme une étape indispensable à la création d'une ambition nationale en robotique humanoïde.*

*Il s'agit de concevoir et démontrer l'intérêt d'un engin robotique bipède destiné au transport d'objets, en s'approchant de certaines caractéristiques clés des êtres vivants et en l'imaginant dès l'origine comme une entité dotée de modes de commande bio-inspirés liés à des capteurs riches.*

*Nous soutenons ici l'idée que seule une conception radicalement différente de celle suivie par les projets « humanoïdes » jusqu'à aujourd'hui (mécanique inspirée des robots industriels, aspect « commande » déporté en fin de projet, intérêt d'usage ignoré) permettra de franchir une étape décisive dans les performances et l'acceptabilité.*

## 1.1 Description du projet

### 1.1.1 Contexte du projet

Le contexte du projet Sherpa doit être vu dans une triple perspective, (1) scientifique, (2) stratégique, (3) économique.

- (1) Sur le plan scientifique, il s'agissait de concevoir et de démontrer l'intérêt d'un engin robotique bipède intelligent destiné au transport d'objets, en s'approchant de certaines caractéristiques clés des êtres vivants et en l'imaginant dès l'origine comme une entité dotée de modes de commande bio-inspirés liés à des capteurs riches. Nous soutenions ici l'idée que seule une conception radicalement différente de celle suivie par les projets « humanoïdes » jusqu'à aujourd'hui (mécanique inspirée des robots industriels, aspect « intelligence » déporté en fin de projet, intérêt d'usage ignoré) permettrait de franchir une étape décisive dans les performances et l'acceptabilité.
- (2) Sur le plan de la stratégie de recherche nationale dans ce domaine, ce projet s'inscrit en complément de l'effort piloté depuis deux ans par le CNRS dans le cadre du JRL<sup>1</sup>: en effet, que ce soit au Japon ou en France, le JRL a pour objectif de développer des recherches visant à augmenter l'autonomie des robots et utilise une plateforme d'expérimentation humanoïde, HRP2, d'origine et de propriété 100% japonaise. En complémentarité avec le JRL et la communauté qui se structure autour de la plateforme japonaise (communauté dont le LIRMM fait partie), nous proposons ici une démarche volontariste de mise en place d'une compétence nationale dans le domaine. Le réalisme nous poussait à limiter le projet Sherpa à la bipédie intelligente comme première étape de cette démarche.
- (3) Sur le plan économique, les études menées tant au Japon par le METI qu'au plan international par les Nations Unies sont convergentes : le marché de la robotique de service dépassera bientôt celui de la robotique industrielle et sera sous peu un véritable relais de croissance, voire une nouvelle industrie à part entière (c'est en tout cas la vision du METI). A ce jour, ce marché est vu essentiellement à travers le prisme de la robotique domestique (comprendons ici : aspirateur, tondeuse à gazon...). Mais nous soutenions ici que l'avenir fera place à de plus grandes ambitions, et que la robotique humanoïde n'est pas, aujourd'hui, plus mature que ne l'était l'aéronautique à l'époque de Blériot.

### 1.1.2 Objectifs du projet

Nos objectifs étaient donc multiples, mais on peut les regrouper en deux volets : (i) une palette, large mais très cohérente, de briques de recherche de base, et (ii) un démonstrateur intégré (la plateforme expérimentale Sherpa) permettant de focaliser toutes ces activités. Les objectifs scientifiques élémentaires étaient donc les suivants :

- (1) Développer des outils et méthodes de conception mécanique destinés aux mécanismes hybrides série-parallèle, à redondance d'actionnement, à actionnement et co-actionnement, bio-inspirés ;

---

<sup>1</sup> Laboratoire franco-japonais de robotique commun à l'AIST et au CNRS, créé le 8 décembre 2003, et bi-localisé au Japon et en France. Le LIRMM est un partenaire de la première heure du JRL.

- (2) Imaginer des lois de commande robustes capables, de plus, de gérer la redondance et le co-actionnement, en prenant en compte des modèles évolués bio-fidèles dans la conception et dans la synthèse de lois de commande ;
- (3) Utiliser la vision omni-directionnelle sur un engin mobile comme un point d'entrée aux algorithmes de stabilisation de la marche, de suivi de cible et d'évitement d'obstacles.

### 1.1.3 Méthode

Chacun de ces objectifs s'est appuyé sur plusieurs experts du département de Robotique du Lirmm, ainsi que les experts de l'ISM (Institut des Sciences du Mouvement), spécialisés dans les déterminants biomécaniques physiologiques et neuronaux du mouvement. Les experts de l'ISM ont apporté leur compétence de deux manières : (i) sous la forme d'un suivi et d'échanges pour les travaux effectués au Lirmm (aussi bien pour les aspects mécanique, automatique et vision) et (ii) sous la forme de développements propres (pour ce qui est de l'optimisation mécanique de Sherpa selon des critères bio-fidèles). Nous nous sommes ouverts également à des collaborations extérieures, pour des enrichissements essentiels au projet : la collaboration étroite avec l'IES a permis le développement de moteurs électriques fort-couple jusqu'alors inexistant sur le marché.

Enfin, ces briques de savoir élémentaires ont toutes été guidées par la réalisation d'un démonstrateur à échelle humaine capable de se déplacer dans un environnement de type « laboratoire » : la plateforme expérimentale Sherpa.

Les activités scientifiques seront détaillées ci-après, mais il est important de formuler certaines remarques dès à présent :

- (1) La conception mécanique, y compris le choix de composants, a été réalisé au Lirmm en collaboration avec les experts de l'ISM et de l'IES, puis la réalisation sous-traitée, avant l'assemblage final effectué au Laboratoire ;
- (2) Les moyens de mesure intégrés au démonstrateur et qui sont à la base de nos recherches en commande sont des équipements standard et n'ont donc pas nécessité de développements scientifiques particuliers dans le domaine du traitement du signal (hors techniques usuelles de filtrage et/ou de fusion).

## 1.2 Activités de recherche

Les activités de recherche peuvent être regroupées en trois volets essentiels : (1) la conception mécanique, (2) la commande, (3) et la vision. Chacune de ces activités est détaillée dans la suite selon le plan récurrent : (i) contexte, (ii) objectif, (iii) méthode.

### 1.2.1 Conception mécanique bio-inspirée

**Contexte** – Durant ces 15 dernières années un effort important a été porté à la conception de robots bipèdes, puis humanoïdes. On peut citer par exemple, les projets français de bipèdes BIP et RABBIT, les humanoïdes ASIMO de Honda et HRP2 de l'AIST, ou plus récemment BLEEX, l'exosquelette à usage militaire de Berkeley. Bien qu'on soit passé assez rapidement, et avec un grand succès médiatique, des bipèdes aux humanoïdes, force est de constater que tous ces robots souffrent de leur conception par trop inspirée des robots industriels : les grands principes ont la vie dure, et l'assemblage

« en série » de moto-réducteurs électriques et de segments rigides est resté la ligne directrice des concepteurs. L'absence de réversibilité de l'actionnement et la trop grande rigidité de la structure sont des obstacles rédhibitoires aux performances car la dynamique du robot est pénalisée par des forces d'impact qui deviennent excessivement grandes et peuvent endommager la structure, et son autonomie énergétique est lourdement obérée par la non restitution de l'énergie lors des phases de contact.

**Objectif** – Nous avons proposé ici un changement radical de point de vue sur la conception avec comme objectif la réalisation d'un démonstrateur à échelle humaine capable de suivre le rythme d'une démarche usuelle (environ 1m/s) et d'embarquer une petite charge utile. L'intégration des capteurs a été prise en compte dès la phase initiale de conception.

**Méthode** – Concevoir un robot bipède est une tâche délicate à bien des égards. La première difficulté consistait à déterminer le nombre de degrés de liberté du robot. Ce choix reposait sur une étude biomécanique des jambes humaines, mais découlait surtout d'un compromis entre simplicité du mécanisme et agilité pour le robot. Cette étape a été faite en tenant compte également des capacités spécifiques des actionneurs retenus (actionneurs réversibles, actionnement parallèle). Il en résulte un arrangement spatial des actionneurs proche de celui observé dans le corps humain. Ainsi, par exemple, le genou de Sherpa est en mesure de produire une rotation de forte amplitude selon une direction privilégiée, mais aussi des petites rotations additionnelles autour d'axes différents, augmentant ses capacités d'adaptation au milieu extérieur : des articulations conçues comme des mécanismes parallèles étaient la piste privilégiée ici.

Ces travaux de recherche ont été effectués en étroite collaboration avec le l'ISM, spécialisé dans l'étude de l'influence des contraintes internes et externes sur les moments musculaires produits par les groupes agonistes et antagonistes. Les contributions de cette équipe à cette activité du projet, ont concerné le choix du type d'actionnement (réversible et parallèle) et se sont intégrés aussi dans la détermination d'un arrangement des actionneurs, des segments et des liaisons sur une base bio-fidèle.

Un effort important a été porté aussi à la conception d'un dispositif de compensation de la gravité adapté au robot. Ce dispositif devait permettre de soulager les moteurs et ainsi d'augmenter l'autonomie énergétique du robot. Si certains laboratoires de recherche (Delft, Cornell, MIT) s'intéressaient à l'étude des robots marcheurs passifs, ou à faible consommation énergétique, nous proposons une stratégie radicalement différente qui reposait sur le fait que la posture essentielle pour ce robot était une posture érigée (le robot n'étant jamais amené à s'asseoir, ni à se coucher...). Ainsi nous pensions intégrer aux jambes un mécanisme passif capable de maintenir le robot debout. En conséquence, l'autonomie énergétique du robot s'en trouverait améliorée, et en cas de défaillance de l'alimentation, le robot ne s'écroulerait pas sous son propre poids. Ce mécanisme, qui repose sur l'utilisation d'un équilibreur de charge et d'un dispositif capable de partager l'effort de soutien entre les deux jambes, n'a pas été implémenté sur le robot, mais a donné lieu à la réalisation d'une orthèse de jambes à même de soulager l'utilisateur d'une partie de son poids et ne nécessitant que très peu d'énergie pour fonctionner<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> S. Krut, M. Benoit, E. Dombre and F. Pierrot, "MoonWalker, a Lower Limb Exoskeleton able to Sustain Bodyweight using a Passive Force Balancer," in Proc. of ICRA 2010: 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2215-2220, Anchorage, Alaska, May 3-8, 2010.

### 1.2.2 Commande bio-inspirée

**Contexte** – Sherpa a pour vocation d'évoluer dans des environnements certes structurés, mais variés du point de vue de l'adhérence, complexes pour ce qui concerne les escaliers ou les rampes d'accès, et ce, à des allures extrêmement variées suivant la demande de l'utilisateur, le poids de la charge, etc. Ainsi, la commande devait être capable in fine de tenir compte de la façon la plus proche possible de ce cahier des charges assez peu habituel et très ambitieux pour l'ensemble des robots bipèdes existants.

**Objectifs** – Nous proposons ici de concevoir des lois de commande performantes et robustes qui dépassaient les simples contrôleurs uniquement dédiés à la régulation des variables d'état autour de points d'équilibre constitués par un ensemble de trajectoires définies au préalable. Ainsi, il s'agissait tout d'abord de synthétiser des approches de commandes qui s'inspiraient de notre connaissance de modèles évolués du comportement du muscle, et capables de gérer la redondance et le co-actionnement. Ensuite, il était nécessaire de définir un contrôleur de plus haut niveau capable d'assurer stabilité et efficacité aux différentes allures de marche, tout en étant particulièrement robuste aux variations de charge et aux variations d'environnement (adhérence, non planéité) ce qui exclut les approches traditionnellement exploitées sur les robots humanoïdes comme le contrôle du ZMP. Enfin, le système de commande de Sherpa devait être doté de capacités adaptatives, comme le suivi de cibles mouvantes, la navigation dans des environnements encombrés, l'évitement de collision et être capable, à l'instar de l'homme, d'anticiper et de prédire une évolution majeure de l'environnement pour adapter en ligne son comportement.

**Méthodes** – Les modes de commande envisagés devaient être bio-inspirés et exploiter la richesse des capteurs disponibles sur le robot. Par exemple, un capteur similaire au capteur vestibulaire humain, très important pour la gestion de l'équilibre chez l'homme, a été intégré au robot pour contrôler l'équilibre de façon plus complète qu'avec les seules forces de contact au sol. De même, les capteurs de vision développés dans le cadre du projet (section suivante) devaient fournir des informations pertinentes sur l'état de Sherpa. L'architecture de commande envisagée devait a été répartie en deux niveaux :

Un premier niveau de commande basé sur la définition de modes de marche à partir de contraintes fonctionnelles et biomécaniques (voire neurophysiologiques le cas échéant) garantissant physiquement la faisabilité de la marche. Les premiers travaux menés au LIRMM avaient permis de montrer en simulation qu'il est possible de synthétiser un mouvement de marche à partir d'un choix judicieux de contraintes qui assurent par exemple la progression du centre de masse et une posture érigée, ce qui correspond de façon synthétique à un mouvement dynamique stable. Deux difficultés majeures étaient alors à résoudre : (i) le choix de ces contraintes pour répondre à différentes situations de marche (allure, charge transportée, ...) et (ii) la résolution du problème de satisfaction de contraintes en ligne pour être totalement adaptables aux changements de situations. La définition de ces contraintes devait être faite en étroite collaboration avec des spécialistes de neurosciences. Une analyse approfondie des travaux déjà nombreux dans les domaines de la biomécanique et des neurosciences a guidé cette première étape. Pour être aussi proche que possible d'une structure de commande humaine et aussi

efficace, le contrôleur devait s'appuyer sur une approche prédictive naturellement capable de traiter un problème contraint, mais également « reconfigurable » à chaque période d'échantillonnage. Enfin, la structure de cette commande devait être principalement hiérarchique avec une commande bas niveau pour gérer au plus près le fonctionnement de l'actionneur et la transmission parallèle. Ainsi, nous voulions nous inspirer de l'architecture de l'être humain.

Le deuxième niveau de commande devait gérer les capacités adaptatives du système pour un suivi de cibles ou une navigation dans un environnement encombré et l'évitement de collision. Les mécanismes de contrôle sous-jacents devaient s'inspirer des mécanismes décrits chez l'homme dans le cadre de l'acquisition et du contrôle de déplacements finalisés visant à éviter et/ou à entrer en collision avec des objets fixes et/ou mobiles de l'environnement. Ces travaux réalisés chez l'homme portaient du constat que les flux sensoriels (et en particulier le flux optique) produits par un déplacement sont extrêmement riches et porteurs d'informations pouvant participer directement au contrôle du déplacement. Ils avaient permis de proposer des lois, c'est-à-dire de modéliser les relations entre information perceptive (par exemple optique) et mouvement, qui rendent compte du contrôle. Les travaux de recherche à ISM avaient conduit par exemple à proposer une loi de contrôle dans le cadre d'une tâche d'interception de mobile nécessitant la production d'un déplacement. Des batteries d'expériences ont permis d'éprouver la robustesse et le caractère fonctionnel de cette loi. Le même type de loi existe dans le cadre de tâches de navigations simples visant à se déplacer dans un environnement encombré tout en évitant les différents objets présents. Dans le cadre de ce projet de recherche, nous envisagions de déterminer dans quelle mesure les lois de contrôles identifiées sur l'homme pouvaient être implémentées avec succès sur la plateforme robotique. L'implémentation de ces lois de contrôle devait permettre d'améliorer l'autonomie du robot sur la base d'une architecture de contrôle, d'inspiration biologique, relativement simple.

### 1.2.3 Vision panoramique pour l'aide à la stabilisation, le suivi de personne et la navigation.

**Contexte** – La vision par ordinateur trouvait naturellement sa place dans ce projet quand on considérait l'ensemble des besoins. Tout d'abord, comme tout robot mobile, Sherpa devait pouvoir naviguer de manière sûre pour lui, son environnement et les humains : il devait pouvoir éviter des obstacles. D'autre part Sherpa devait être capable de suivre une personne. Si on ne souhaite pas équiper l'individu d'un dispositif actif pour que le robot le suive, il était indispensable que ce dernier puisse réaliser une tâche de suivi de cible. Enfin, et ceci est de première importance pour nous, la vue chez l'être humain fournit des informations très riches en ce qui concerne l'équilibre et la marche : Sherpa devait s'en inspirer.

**Objectif** – Nous proposons de concevoir des algorithmes de traitement d'images et de vision reposant sur des capteurs de vision omnidirectionnelle catadioptrique. Ce choix offrait un nombre potentiel d'informations considérable, à même d'augmenter la robustesse de la stabilisation : cette robustesse était un des objectifs scientifiques essentiels pour envisager de mettre Sherpa au contact d'humains. De plus, le fait de percevoir l'environnement à 360° autour du robot devait permettre d'effectuer des manœuvres de type marche arrière sans avoir à se retourner.

**Méthode** – Notre première action concernait l'aide à la stabilisation. L'idée principale de cette partie consistait à incorporer dans la boucle d'asservissement du robot des informations visuelles le renseignant sur sa posture. Il s'agissait de fournir des indices stables permettant à Sherpa d'améliorer son équilibre. Or dans un environnement de type laboratoire, les droites verticales sont assez fréquentes et généralement stables (huisseries de portes, arrêtes de murs, meubles, etc.). Nous proposons donc de rechercher de telles régions d'intérêts dans la séquence vidéo et de suivre leur évolution (mouvement apparent des droites dans les images) afin de fournir une information sur l'évolution de la posture du robot. Afin de rendre plus robuste la commande du robot, ces informations devaient être fusionnées avec les informations provenant des autres capteurs implantés sur le robot tels que les accéléromètres ou les inclinomètres. Le fait d'avoir une perception à 360° de l'environnement permettait de renforcer les informations relatives à l'équilibre, les répercussions de chaque mouvement étant perceptibles dans toutes les directions à la fois.

La deuxième action concernait le suivi de personnes et l'asservissement visuel. Ces deux tâches devaient permettre au robot de suivre une personne. Il était donc nécessaire d'identifier la région d'intérêt à poursuivre (segmentation, couleur, etc.). Ce suivi devait être robuste vis-à-vis de diverses perturbations comme les changements d'éclairage, les occultations partielles du motif à suivre (passage d'un objet devant la personne à suivre, etc.). Il fallait donc, soit arriver à caractériser des invariants robustes, soit utiliser des techniques de suivi robustes. Nous envisagions d'adapter un des travaux du Lirmm : un suivi de cibles par règles floues robuste vis-à-vis du modèle de mouvement et des occultations. Un suivi dynamique, gardant une trace temporelle du mouvement effectué devait permettre d'améliorer les performances de l'algorithme. Un des apports majeurs de la caméra panoramique dans le suivi de motif est que la cible a peu de chances de sortir du champ de vue de la caméra. Le problème de perte de la cible était ainsi atténué.

Enfin, notre troisième action s'attachait à la navigation et nous proposons de développer pour cela une approche de stéréo vision omnidirectionnelle, afin de permettre à Sherpa de percevoir la profondeur de la scène dans laquelle il évolue. Une seule caméra ne permettant pas de réaliser cette tâche, il fallait obligatoirement ajouter une autre source d'information (télémètre, laser, caméra, etc.). Nous avons proposé d'utiliser une deuxième caméra omnidirectionnelle comme capteur additionnel afin de faire de la stéréo vision. A l'aide d'un tel capteur nous avons été capables de reconstruire des cartes de disparité (images de la profondeur). Dans notre cas, et avec un montage adapté (il ne fallait pas que les caméras s'occultent une partie du champ de vue), nous avons fourni des cartes de disparité panoramiques à 360° autour du robot. Ceci en vue de fournir des informations pour la navigation, mais aussi pour l'évitement d'obstacles, voir la cartographie. Des lois de commandes appropriées devaient permettre d'effectuer la navigation en tenant compte des cartes de disparité panoramiques. Ici encore la vision panoramique offrait comme avantage une richesse d'information quant à la localisation du robot dans un environnement, au prix d'un traitement des images plus complexe à réaliser.

## **2 Plateforme expérimentale**

La plateforme expérimentale Sherpa se distingue des autres robots bipèdes par son actionnement particulier dit « transparent » (c.à.d. réversible, sans jeu, à faible frottement et à faible inertie) qui lui procure des capacités améliorées pour la marche.

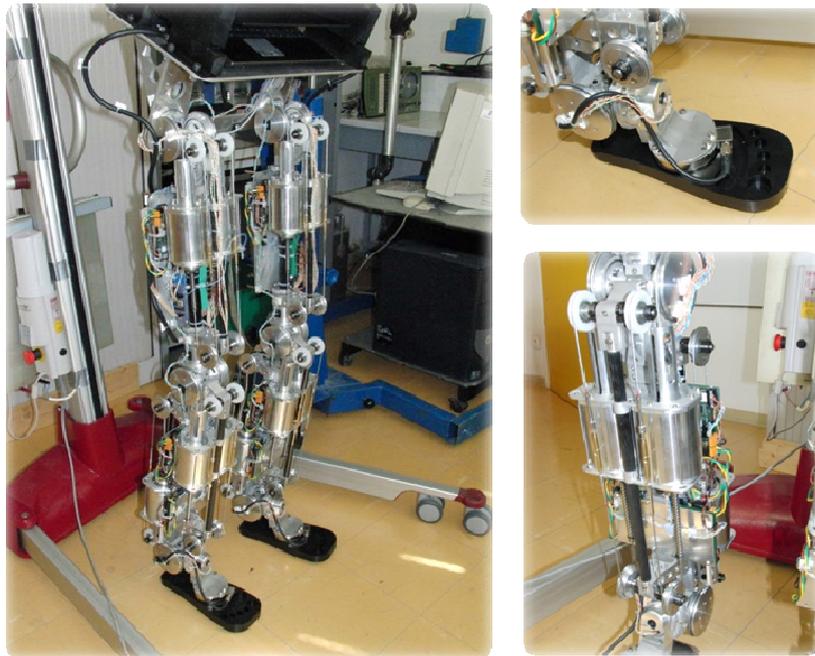


Figure 1 : Photos du robot bipède Sherpa. A gauche : vue d'ensemble. A droite en haut : détail d'un des pieds. A droite en bas : détail d'un des mollets

Sherpa est composé de deux jambes et d'un tronc à échelle humaine<sup>3</sup>. Il dispose de 12 articulations réparties ainsi : 3 par jambe au niveau de la hanche, 1 au niveau du genou et 2 à la cheville. Pour actionner ces articulations, Sherpa dispose de modules identiques constitués de deux actionneurs chacun agissant en parallèle sur des joints complexes à 2 ddl. La transmission mécanique de ces modules est telle que lorsque les deux actionneurs agissent de concert sur l'articulation, ils provoquent le mouvement du 1<sup>er</sup> ddl, et que lorsqu'ils agissent dans des directions opposées ils sollicitent le 2<sup>ème</sup> ddl. Une telle transmission permet de superposer les efforts moteurs permettant ainsi d'obtenir de forts couples sur chaque articulation. Ces modules sont équipés de moteurs électriques développés spécifiquement pour cette application en collaboration avec l'IES à Montpellier. La transmission du mouvement, inspirée des bras maîtres du CEA LIST, repose sur l'utilisation de vis à billes réversibles à grands pas et de câbles. Cette technologie confère au robot des caractéristiques d'actionnement remarquables : absence de jeux, faible frottement, réversibilité de la chaîne de transmission, faible inertie ressentie. Ces caractéristiques, qui se rapprochent de celles de l'humain, procurent au robot une marche plus efficace. Ceci notamment parce que ce mode d'actionnement : (i) autorise un asservissement en couple des articulations, (ii) permet d'exploiter la dynamique libre des jambes lors des phases balistiques de la marche, (iii) permet de mieux absorber les chocs dus aux impacts pied/sol. Le robot est équipé de capteurs d'effort 6 axes au niveau des chevilles, d'une centrale inertielle placée dans la hanche, de codeurs absolus dans toutes les articulations, de cartes d'entrées-sorties spécifiques, et d'un PC de commande permettant d'exécuter en temps réel les

<sup>3</sup> I. M. C. Olaru, S. Krut and F. Pierrot, "Novel Mechanical Design of Biped Robot SHERPA Using 2 DOF Cable Differential Modular Joints," in Proc. of IROS 2009: 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4463-4468, St. Louis, MO, USA, October 11-15, 2009.

algorithmes de commande. A terme, ce robot sera équipé aussi du système de vision stéréoscopique omnidirectionnel pour la localisation, et le suivi de cibles, développé dans le cadre du projet.

### **3 Conclusion et perspectives**

Dans cet article, le projet Sherpa tel qu'envisagé à son début a été détaillé. Puis l'accent a été mis sur la plateforme expérimentale Sherpa en développant les aspects mécaniques et en omettant les aspects commande, vision et science du mouvement.

Le démonstrateur Sherpa est désormais opérationnel. Des algorithmes de commande pour la coordination posturale ont été testés et validés expérimentalement sur le prototype. Les travaux en cours concernent la conception de lois de commande pour réaliser des allures de marche dynamique stable sur un terrain irrégulier. Cette réalisation est un faire-valoir pour les partenaires du projet. Elle est à l'origine d'une collaboration qui s'amorce entre le LIRMM et l'Université de Austine, Texas (USA), pour la réalisation d'un robot Sherpa II encore plus performant.