

L'exosquelette

PRINCIPE

Corps entier, membres inférieurs, membres supérieurs, ou simple main : les exosquelettes sont des bijoux de technologies. À l'instar de leurs muscles électriques qui imposent des forces pour accompagner, activer ou bloquer les positions des articulations de l'homme. Et cela, par un système numérique de commande qui calcule les rapports de force à effectuer en fonction des applications souhaitées.

L'exosquelette

L'exosquelette à proprement parler est le squelette mécanique externe dont la fonction est similaire à celle des os : soutenir différents composants (actionneurs, système numérique, batterie.) L'homme y est « attaché » par des sangles amovibles mais son poids reste supporté par son propre squelette.

L'exosquelette doit être robuste, pour encadrer la personne en toute sécurité, et léger pour minimiser son **inertie** lors de l'activation des mouvements.

Le CEA-List utilise des matériaux à base de titane. Ils sont usinés par impression 3D, ce qui permet d'élaborer des formes épousant au mieux celles de la personne.

Les actionneurs

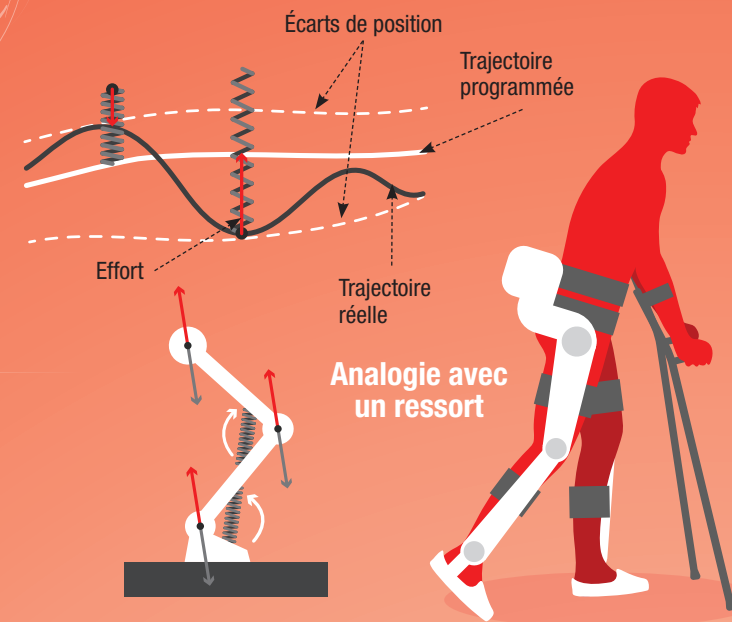
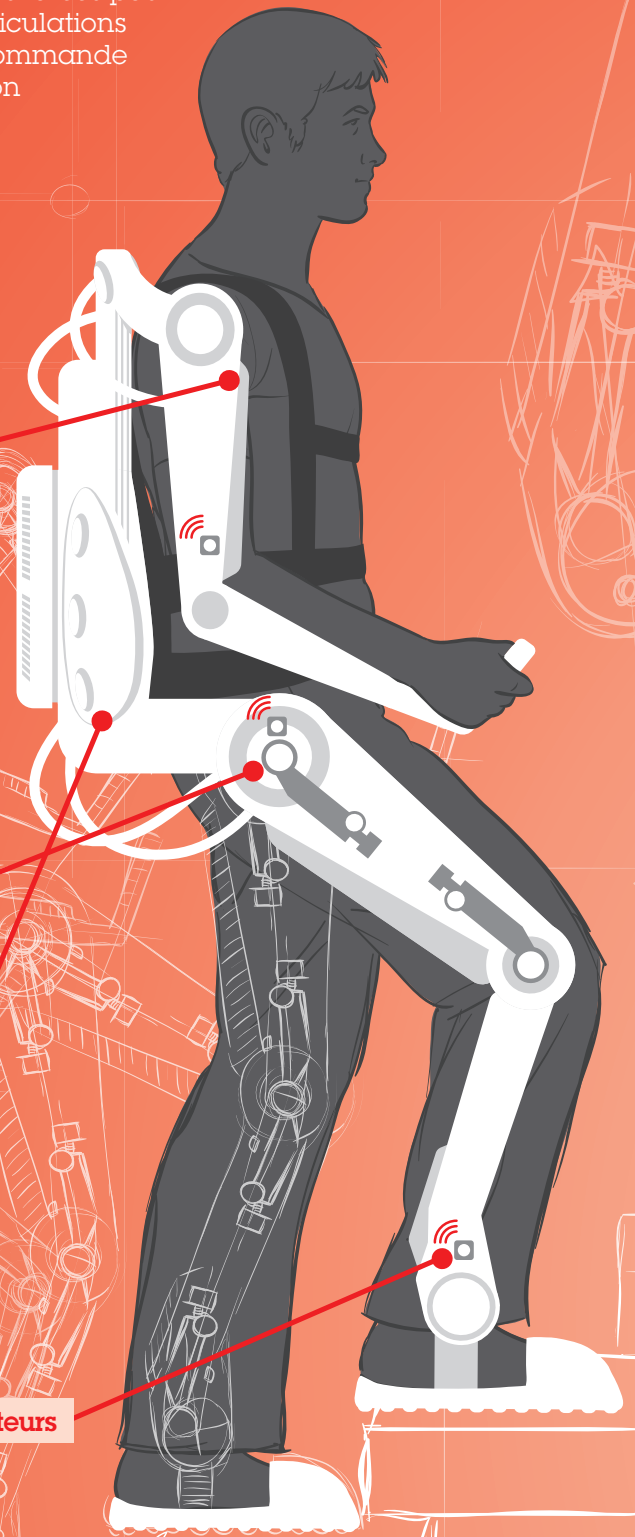
Ces muscles « électriques » sont placés, sur l'exosquelette, au niveau des articulations (chevilles, rotules, hanches, poignets, phalanges, coudes, épaules). Ils sont commandés par des moteurs électriques qui génèrent différents types d'efforts : soit, pour imposer des mouvements (flexion-extension, abduction-adduction, pronation-supination), soit pour équilibrer l'exosquelette et sa charge utile, dans le cas de l'assistance au port de charge.

L'équipe du CEA a développé et breveté un mécanisme spécial, le vérin à câbles, qui réduit notamment les frottements et l'inertie des actionneurs ; ces derniers sont ainsi à la fois transparents (ou peu résistants) et économes en énergie (voir au recto).

Le contrôle-commande

Les actionneurs de l'exosquelette sont pilotés par un ordinateur portable à partir des données (vitesse, position, accélération, rotation) recueillies par des capteurs placés sur l'exosquelette ou sur la personne. Le traitement de ces données, par des modèles physiques calculés par des logiciels, génère les commandes appropriées. La chaîne algorithmique développée par le CEA traite ces informations avec des délais de l'ordre de la milliseconde afin de fluidifier les mouvements de l'exosquelette.

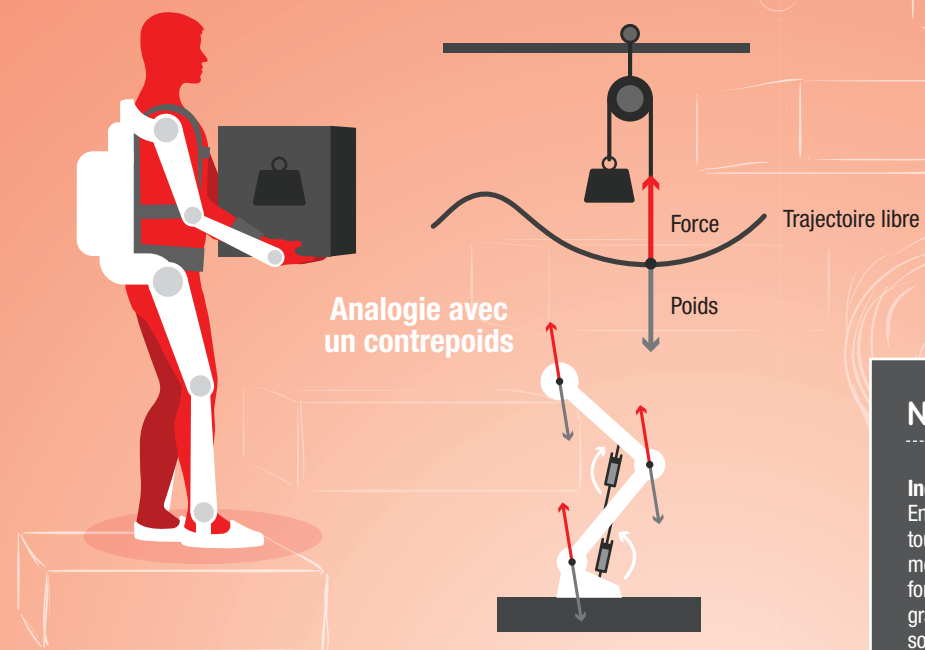
Capteurs



La commande en position impose, par effet ressort, les postures de la personne

Lorsque l'exosquelette prend le relais de muscles déficients voire inertes, il impose une succession de positions composant les mouvements. La commande en position par les actionneurs induit des efforts analogues à des ressorts qui maintiennent l'exosquelette au plus près de la trajectoire prédéterminée.

À noter : dans le cas d'une assistance à la marche, et comme il est encore complexe de stabiliser une marche dynamique, l'exosquelette s'accompagne par exemple de béquilles ; l'appui se situe sur les membres supérieurs qui exercent des efforts pour éviter le basculement.



La commande en force soulage la personne d'un poids par un effet équilibreur

Utilisé pour l'assistance au port de charge ou à la réalisation d'un geste pénible, l'exosquelette décharge l'opérateur du poids supporté et des **forces** musculaires exercées sur ses articulations, sans lui imposer de **mouvements**. La commande en force est réalisée grâce au calcul de la force d'appui sur les semelles nécessaires au maintien de l'équilibre dans chaque posture de la personne, comme si un contrepoids soulageait l'exosquelette et sa charge tout en laissant libres les mouvements de l'utilisateur.

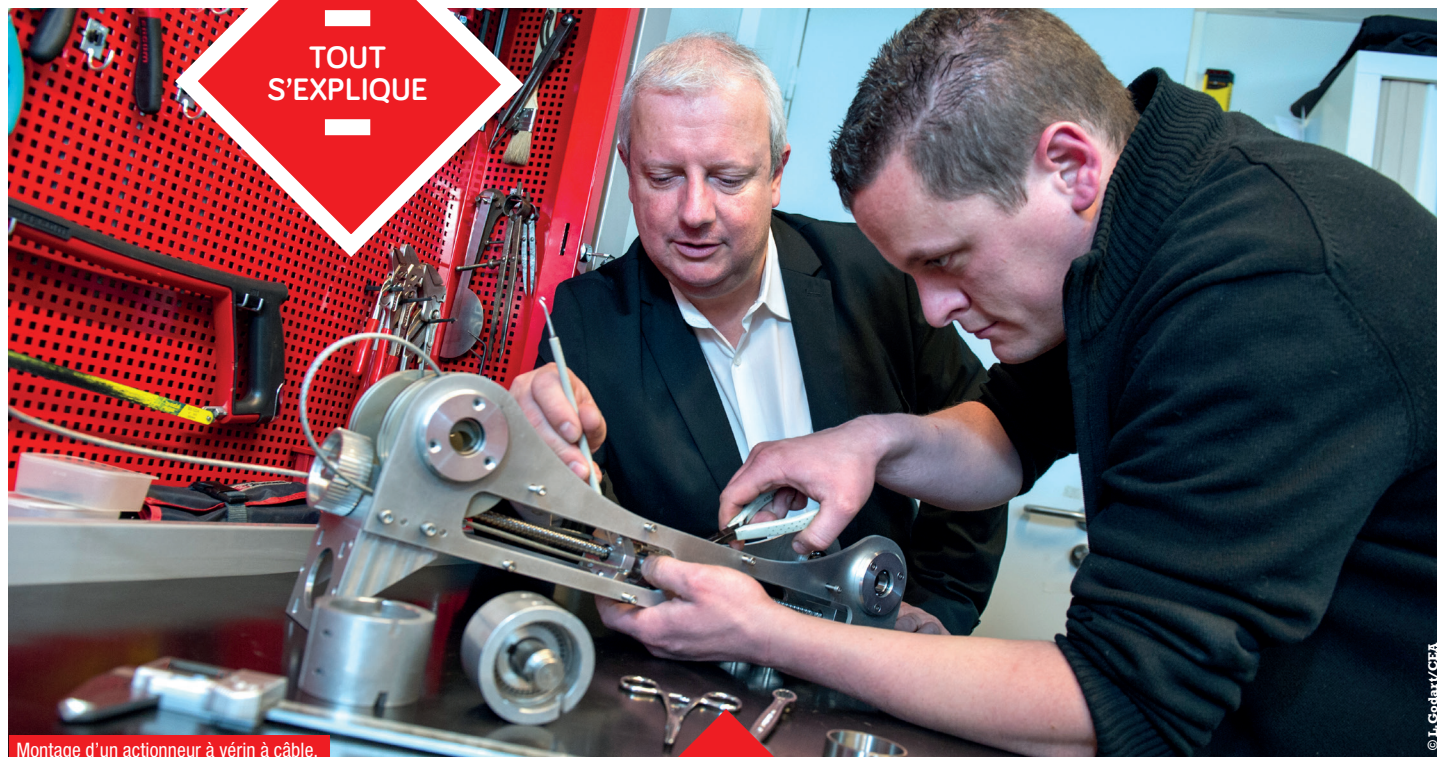
NOTIONS CLÉS

Inertie : tendance à conserver une vitesse. En l'absence d'influence extérieure, tout corps physique perdure dans son mouvement. L'inertie d'un corps est fonction de sa masse : plus celle-ci est grande, plus la force requise pour modifier son mouvement sera importante.

Force : action mécanique capable d'imposer une accélération induisant la modification du vecteur vitesse. Exercée sur un corps, elle modifie son mouvement (valeur de sa vitesse et/ou direction) ; plus la masse du corps est petite (faible inertie), plus importantes sont ces modifications.

Mouvement : série de positions d'un corps selon un référentiel constitué d'un repère, de trois axes (gauche-droite, haut-bas, avant-arrière) et d'une horloge. Dans un référentiel terrestre, si un corps n'est soumis à aucune force ou est soumis à un ensemble de forces qui se compensent, sa position n'est pas modifiée.

TOUT
S'EXPLIQUE



Montage d'un actionneur à vérin à câble.

© L. Godart/CEA

Le vérin à câble : une innovation de rupture brevetée par le CEA

Contrairement aux robots ou aux machines outils, les robots collaboratifs (dont les exosquelettes) contrôlent les efforts appliqués à l'objet ou à la personne. De nouveaux modes d'action apparaissent, comme l'amplification d'effort, l'équilibrage généralisé, le guidage... Pièce maîtresse d'un actionneur, le vérin à câble (ou vis à câbles) breveté par le CEA est justement un amplificateur d'effort précis, léger et très peu inertielle. Associant une vis à bille et un câble de transmission, il est dépourvu d'engrenage. L'essentiel des frottements étant supprimés, son rendement d'actionnement peut dépasser les 95 %, contre 80 à 85 % pour les robots commerciaux. De plus, son insertion dans les membres de l'exosquelette est

facilitée du fait que la vis et le moteur de commande sont installés dans le sens de la longueur du segment. Dans sa deuxième version (2012), ce n'est plus la vis qui se déplace mais l'écrou, transmettant sa force à la poulie par deux câbles au lieu d'un seul. Plusieurs avantages : le mécanisme est plus court, à égalité d'amplitude de mouvement, avec une plus forte capacité de charge (jusqu'à 100 kg), et une meilleure rigidité de la transmission.

Il est également possible de séparer le moteur du vérin grâce à des transmissions flexibles, afin de réduire l'inertie des segments articulés. À la clé : un gain décisif en discrétion et en liberté de mouvement.

Redonner de la mobilité aux sujets tétraplégiques avec le projet BCI

Permettre aux personnes souffrant d'un handicap moteur lourd de retrouver de la mobilité grâce à un système de compensation : voici l'enjeu futuriste du projet *Brain Computer Interface* (BCI) mené par le centre Clinatéc (CEA, UGA, Inserm, CHU de Grenoble). L'objectif est de montrer qu'un exosquelette peut être piloté à partir des signaux corticaux du cerveau, captés à l'aide d'un implant nommé Wimagine®. En effet, imaginer un mouvement, ou

l'exécuter, provoque la même activité électrique cérébrale au niveau du cortex moteur. Le projet consiste donc à capter ces signaux électriques appelés ElectroCorticoGrammes, à les décoder et les traduire en langage machine afin de faire se mouvoir les membres d'un exosquelette. Dans le cadre de la première étude clinique en cours sur un patient tétraplégique à Clinatéc, le CEA-List a fourni le prototype Emy d'exosquelette membres supérieurs et inférieurs.

© www.groupeorangevif.fr

les défis 226
du cea



TOUT
S'EXPLIQUE

L'exosquelette

Accompagner les gestes d'un opérateur dans l'exercice d'une tâche pénible, ou entraîner les mouvements des membres déficients ou inertes d'une personne handicapée : voici ce que promettent les exosquelettes. La recherche avance à grand pas pour développer des dispositifs plus sûrs, fluides et autonomes.

ENJEUX



« Des robots conçus pour interagir avec un opérateur humain en toute sécurité, sur une application spécifique », c'est en ces termes que Yann Perrot présente l'activité de son laboratoire au CEA-List. Un laboratoire dans lequel de nombreux prototypes de robots collaboratifs et de cobots ont vu le jour. Forts de leurs compétences en mécanique, électronique, automatique et informatique, les ingénieurs-chercheurs développent ainsi avec leurs partenaires industriels de différents secteurs (nucléaire, *off-shore*, mines, agroalimentaire, *manufacturing*, médical) des solutions adaptées à leurs besoins spécifiques. Depuis les années 1960 et pour les besoins de la téléopération nucléaire, le CEA développe des interfaces homme-machine. S'appuyant sur

plusieurs brevets, notamment sur son actionneur à vérin à câbles, il s'intéresse concrètement aux exosquelettes dès le début des années 2000. Il vise principalement deux types d'applications : le port de charge ou la réalisation de gestes pénibles par les opérateurs dans les usines, et l'assistance à la mobilité des personnes handicapées moteur. Il est ainsi engagé dans deux projets emblématiques : l'un avec la société RB3D autour de plusieurs prototypes d'exosquelettes « deux membres » pour le port et la manutention de charges ; l'autre, avec le centre Clinatéc (CEA, UGA, Inserm, CHU de Grenoble) dans le cadre du projet *Brain Computer Interface* (BCI) destiné à redonner une mobilité aux personnes tétraplégiques, pour lequel il a fourni l'exosquelette quatre membres Emy.