

# Robotique, Neuro-orthèses et Exosquelettes sont-ils à envisager pour les patient(es) qui présentent un dysraphisme spinal ?

Auteur

**Sébastien Vanderlinden**

Research in Neurorehabilitation - Belgium

[Sebastien.Vanderlinden@ulb.ac.be](mailto:Sebastien.Vanderlinden@ulb.ac.be)

03/09/18

## 1. Introduction

Ce qui hier encore semblait être de la science-fiction fait aujourd'hui bel et bien partie de la réalité : la robotique, les neuro-orthèses et autres exosquelettes sont dorénavant des outils à considérer dans la vie de tous les jours en matière de revalidation, réadaptation et d'aides techniques. Les secteurs de l'armée et de la production industrielle sont en tout cas déjà bien équipés.

## 2. Avant-propos

Optimiser l'autonomie des patients (qui présentent une malformation congénitale de la moelle épinière) par des modalités et gestes paramédicaux thérapeutiques exercés avec et sur eux tombe sous le bon sens. Ces gestes paramédicaux thérapeutiques restent à ce jour précieux pour les patients neurologiques en général. Ils font l'objet d'études qui devraient permettre leur description et quantification scientifiques cliniques en regard de leur enseignement théorico-pratique, tel que c'est le cas pour les actes de kinésithérapie posés chez l'enfant paralysé cérébral<sup>1,2</sup>. La nécessité de vérifier scientifiquement l'efficacité de la plupart des modalités, aides techniques et adaptations habituelles reste aussi bien d'actualité.

La sélection judicieuse des orthèses, aides techniques et adaptations sont également une partie des défis des équipes multidisciplinaires (médecins réadaptateurs, chirurgiens orthopédistes, kinésithérapeutes, ergothérapeutes, techniciens orthésistes et chausseurs-podologues).

Des technologies innovantes amènent des compléments ou nouveaux moyens pour les évaluations, soins, adaptations et aides techniques conventionnels - certaines avec l'espoir de maintenir une progression de l'offre de soin, de soulager la pénibilité du métier et de prolonger la durée des exercices thérapeutiques pour le patient, et d'autres pour augmenter le nombre de répétitions d'exercices<sup>3</sup>. De plus en plus, elles semblent contribuer au retour plus précoce du patient à son domicile, à son poste de travail ou à la fréquentation de son établissement scolaire. Les propos tenus dans cet article ont pour objectif de les illustrer de manière non exhaustive. Son contenu n'a pas pour mission d'offrir une revue systématique des publications les plus récentes, ni d'évoquer toutes celles à disposition. En revanche, il vise bien à sensibiliser le lecteur quant à l'existence de ces nouveaux outils, aux bénéfices qu'ils apportent en revalidation-(ré)adaptation, et au fait qu'ils peuvent être ou devenir l'orthèse ou aide technique de certains patients. Ils comportent bien sur leurs limites et leurs contraintes.

# Robotique, Neuro-orthèses et Exosquelettes

Peu de références scientifiques récentes sont néanmoins disponibles et mentionnées pour appuyer et rationaliser les informations transmises pour cette population ciblée<sup>4, 5, 6</sup>.

Enfin, concernant la plupart des pathologies fixées touchant le système nerveux central (SNC), les données scientifiques actuelles poussent à mettre davantage l'accent sur les activités volontaires et à intensifier les tâches fonctionnelles proches ou similaires aux attentes et besoins du patient. Notamment pour les personnes souffrant de séquelles d'un AVC (accident vasculaire cérébral) et pour les enfants paralysés cérébraux, des camps intensifs s'organisent en ce sens sur notre territoire<sup>7</sup>.

Il n'est pas impossible que certaines de ces neuro-technologies soulageront un jour le coût humain durant ces camps et qu'elles amèneront encore plus d'efficacité aux patients. Pour les patients les plus lourdement atteints et certainement les adultes neurologiques, la naissance de camps intensifs neuro-technologiques (en ambulatoire, en hospitalisation de jour ou en séjour hospitalier) aurait aujourd'hui déjà du sens. Et il n'est pas impossible que ce type de camp sera un jour adapté pour les patients qui présentent un dysraphisme spinal.

### 3. Neuro-orthèses

Définir le terme « orthèse » mène à considérer tout dispositif utilisé pour soutenir, aligner, prévenir ou corriger des déformations orthopédiques ou pour améliorer la fonctionnalité de segments corporels inter-articulés et augmenter tant l'autonomie que la sécurité du patient (**photo 1**).



Photo 1 (<http://www.taos1.com>)



Photo 2 (<http://www2.waisman.wisc.edu/~rowley/sb-kids/dme-standers.html>)

Pour satisfaire les besoins de patients neurologiques, le développement des orthèses préfabriquées et des orthèses sur mesure rencontre plus que jamais les critères incluant souplesse, légèreté, ajustabilité, facilité de mise en place, confort, réelle utilité fonctionnelle etc...

C'est par exemple le cas de cette orthèse pédiatrique pour (**photo 2**).

La caractéristique « dynamique » des orthèses et aides techniques n'est pas nouvelle, mais les cliniciens y sont de plus en plus attentifs. Pour certains, ce critère fait référence à la conservation maximale d'énergie notamment dans des contextes de déplacement et d'efforts anti-gravitaires.

La notion de « neuro-orthèse » est plus récente et toujours sujette à débat. Ces dispositifs contribuent à la (ré)éducation-réadaptation de patients qui présentent habituellement un tableau neurologique mais pas uniquement. C'est le cas par exemple du gant bionique comme

# Robotique, Neuro-orthèses et Exosquelettes



Photo 3 (<http://www.bioservo.se/>)

le SEM Glove® de Bioservo (**photo 3**), qui fait actuellement l'objet d'études cliniques<sup>8</sup>. Ce gant intelligent, équipé de capteurs de force et d'une console électronique, permet de générer une subtile force de flexion électromécanique des doigts de la main. Il peut servir d'outil de réhabilitation mais aussi d'orthèse pour des patients ayant des déficits de force de flexion des doigts d'étiologies variées.

Les neuro-orthèses qui incluent de l'électrostimulation fonctionnelle avec électrodes de surfaces (N-O SEF) sont indiquées et utilisées à des fins thérapeutiques ((ré) apprentissage moteur, renforcement musculaire, ...) et/ou compensatoires. Elles visent à faciliter certains paramètres d'un mouvement fonctionnel perturbé habituellement par une pathologie du SNC. Pour prolonger les courts effets d'éventuelles séances qui comprennent des électrostimulations, les N-O SEF permettent de maintenir au quotidien les stimulations des muscles déficitaires du membre supérieur ou du membre inférieur. Elles peuvent s'avérer à la fois moins contraignantes pour le patient qu'une orthèse traditionnelle et plus efficaces sur le plan neurophysiologique. Si les critères d'inclusion du pied tombant sont rencontrés, elles peuvent donc remplacer une attelle releveuse du pied et développer les muscles concernés (**photo 4**). Le WalkAide® fonctionne sans « capteur talon ». Dans tous les cas, il est judicieux de réaliser un test clinique avant de confirmer l'indication.



Photo 4 (<http://www.walkaide.com>)

De nombreuses publications<sup>9, 10, 11, 12, 13, 14, 15</sup> confirment l'intérêt à porter aux N-O SEF pour le pied tombant. Dans certains cas, tant chez l'enfant paralysé cérébral (de minimum 4 ans) ou ayant des séquelles d'un AVC que chez l'adulte, malgré une légère hypertonie spastique des fléchisseurs plantaires, les effets peuvent être cliniquement et rapidement observés. L'intérêt d'être appareillé d'une N-O SEF pour une période déterminée en post injections de toxines botuliniques est aussi à considérer pour des patients bien sélectionnés (**photo 5**).



Photo 5 (<http://www.walkaide.com>)

Pour les patient(e)s qui présentent un dysraphisme spinal, l'indication de ce type de neuro-orthèses pour la phase oscillante et de celles qui pourraient augmenter les contractions en phase d'appui des muscles antigravitaires doit être discutées avec le médecin référent et le/la kinésithérapeute en charge. L'intégrité de la fonction neuro-musculaire périphérique et des possibilités des muscles ciblés à se contracter sur stimulations transcutanées périphériques sont en effet bien de mise.

Bien que de nouvelles interfaces et implants (périphériques et centraux) de neurostimulation méritent une attention particulière, nous ne les aborderons délibérément pas dans cet article<sup>16</sup>. Il s'agit donc aussi des dispositifs cerveau-machine dont certains sont encore en développement<sup>17-25</sup>.

# Robotique, Neuro-orthèses et Exosquelettes

## 4. Robotique et/ou exosquelettes en revalidation ?

Dans la littérature - pour y décrire un même dispositif - ces termes sont parfois séparés, parfois combinés<sup>26</sup>. Accordons-nous sur l'idée que certains dispositifs comportent effectivement les deux termes et donc les deux technologies.

A. **Un robot de revalidation**, essentiellement disponible dans des centres de revalidation/des hôpitaux, peut être défini comme étant un appareil (para)médical. Il ne se déplace habituellement pas dans la salle (sauf exception) avec le patient durant la séance, comporte une ou des articulations électromécaniques qui peuvent elles-mêmes faciliter ou contraindre (grâce à une interface électronique programmée par le thérapeute responsable du programme choisi) le déplacement des segments concernés en tenant compte des possibilités du patient. Les segments articulés du robot sont fixés à ceux du patient, d'où le nom d'exosquelette. Notons que ceux qui concernent la marche sont soit équipés de plaquettes mobiles fixées sous les pieds pour simuler la marche (ex : Gait Trainer GT I® de Reha-stim, Haptic Walker® de Ipk Fraunhofer), soit équipés d'un tapis roulant (ex : LokoHelp® de Woodway (**photo 6**), Lokomat® de Hocoma<sup>27</sup>) ; ils n'engagent habituellement donc pas de déplacement réel dans l'espace et ne demandent pas au patient de gérer son équilibre.



Photo 6 (<https://www.woodway.com/>)



Photo 7 (<http://www.axinesis.com/>)

Concernant les bénéfices à considérer d'un robot interactif, intuitif et ludique pour le membre supérieur, le REAplan® est à explorer<sup>28</sup> (**photo 7**). Ses algorithmes permettent d'assister le patient en fonction de ses propres déficiences et performances motrices.

La Belgique est bien active dans ce domaine, notamment par ses universités et laboratoires (ex: Laboratory of Neurophysiology and Movement Biomechanics ULB, Mobilab, BruBotics-VUB, UHasselt, ...).

## B. Exosquelettes de revalidation & orthèses-exosquelette

a. **Un exosquelette** peut être considéré comme tel à partir du moment où il comporte une ou plusieurs articulations électromécaniques qui peuvent mobiliser des segments équipés d'orthèses standards, ajustables ou sur mesure, ou des sangles pouvant elles-mêmes se greffer aux segments de patients.

b. **Un exosquelette de revalidation** est par définition un dispositif qui ne peut être utilisé qu'au sein de séances de revalidation et donc sous la supervision d'un kinésithérapeute certifié apte à le faire (**photo 8**). C'est notamment le cas du très innovant Ekso® (Ekso Bionics). Cette solution (qui rencontre les critères d'inclusion-exclusion strictes – exemples : longueurs des segments des



Photo 8 (<http://eksobionics.com/>)

# Robotique, Neuro-orthèses et Exosquelettes

membres inférieurs, asymétries orthopédiques, poids maximum, ostéoporose, fractures récentes, plaies ouvertes, etc...) exige une régulation de l'équilibre par le patient et lui permet ainsi qu'aux kinésithérapeutes d'envisager une verticalisation et une reprise précoce, intensive, active et sans décharge par suspension, de la verticalisation et de la marche assistée. Ses bénéfices pour des patients chroniques sont à lire<sup>29</sup> et des effets physiologiques potentiels non locomoteurs commencent à être quantifiés<sup>30</sup>.



Photo 9 (<http://www.rexbionics.com/>)

**c. Une orthèse-exosquelette** est une orthèse de compensation prescrite au patient. Elle peut normalement être utilisée tant au domicile qu'au travail ou en centre de rééducation (**photo 9**). Elle permet au patient de gagner en autonomie et en sécurité et réduit ses dépenses énergétiques pour certaines activités fonctionnelles. Dans certains cas, elle transfère le patient de l'assis au debout et inversement. L'exemple du Rex® (Rexbionics) est décrit pour des patients para et quadriplégiques<sup>31</sup>. Des études sont en cours pour les patients traumatisés crâniens et les patients souffrant de sclérose en plaque ou d'une maladie neuromusculaire.

## Conclusions

Les patient(es) qui présentent des limitations motrices en raison d'une malformation congénitale de la moelle épinière ne sont pas les plus souvent cités dans les publications et solutions sus-décrites dans cet article. L'indication de certaines d'entre-elles mérite cependant réflexion, approfondissement et sans doute encore de la recherche et du développement pour cette population spécifique. Certains tests méritent sans doute aussi d'être réalisés pour ensuite pouvoir parfois poser une indication.

Ces nouveaux outils peuvent certes bouleverser certaines habitudes et convictions, mais prendre connaissance de ce qu'ils amènent de nouveau et de progressiste vient à ce jour élargir les missions spécifiques (évaluation quantifiée et soins aux patients) des thérapeutes bien informés. Le nombre de patients demandeurs est vraisemblablement en constante croissance. Pour certains produits et concepts, il reste nécessaire de maintenir des études afin de valider scientifiquement leur efficacité<sup>32</sup>. En termes d'adaptations et aides techniques, leur efficacité est indéniable et parfois coûteuse. Mais des tests gratuits permettent de mesurer les bénéfices et contraintes.

Sur base des données qui peuvent être extraites de ces technologies « assistantes de patients », il sera peut-être bientôt possible d'enseigner (sur base de fondements scientifiques parce que quantifiés) les gestes techniques aux kinésithérapeutes et ergothérapeutes de demain, et/ou à ceux qui souhaitent se perfectionner. L'idée est en tout cas loin d'être absurde. L'amélioration des performances motrices du thérapeute, de la personne handicapée et du sportif (dont les professionnels) est en effet bel et bien l'objectif qui leur est commun<sup>33</sup>.

# Robotique, Neuro-orthèses et Exosquelettes

La question des investissements financiers publics, privés et de patients est aujourd'hui plus que jamais d'actualité.

## Remerciements

Ils sont adressés aux Professeurs Jean-François Kaux (CHU Liège) et Olivier Brüls (University of Liège Department of Aerospace and Mechanical Engineering Multibody & Mechatronic Systems Laboratory) ainsi qu'aux partenaires des Professeurs Thierry Lejeune et Gaetan Stoquart (Cliniques Universitaires St Luc UCL) dont Eric Hanesse pour les sources partagées.

Le Professeur Guy Cheron (Unité de recherche de neurophysiologie et de biomécanique du mouvement – ULB / FSM ULB) et Bernard Dan (INKENDAEL ZIEKENHUIS - HUDERF) pour les soutiens témoignés à divers égards.

Monsieur Kris Goos (Clinical Training Specialist Ekso Bionics®), le Dr Christopher Newman (CHUV Lausanne), Dr Pierre-Yves Libois et Anne-Marie Clarinval (HumanWaves) pour les nombreux échanges déjà établis et les convictions partagées.

## Références

1. <http://www.kinepedia.be/fr/zoekertje/reclutement-de-kin%C3%A9sith%C3%A9rapeutes-et-kin%C3%A9sith%C3%A9rapeutes-ndt-bobath-pour-%C3%A9tude-ndt-bobath> consulté 17/07/17
2. [http://www.sferhe.org/docsferhe/2016/sferhe2016\\_livredesresumes.pdf](http://www.sferhe.org/docsferhe/2016/sferhe2016_livredesresumes.pdf) consulté 17/07/17
3. Reinkensmeyer David J., Van der Loos Machiel H.F. Rehabilitation and Health Care Robotics. Springer Handbook of Robotics. Part 53: 1223-1251. Siciliano, Khatib (Eds.)
4. [Ivanyi B1](#), [Schoenmakers M2](#), [van Veen N3](#), [Maathuis K4](#), [Nollet F5](#), [Nederhand M6](#). The effects of orthoses, footwear, and walking aids on the walking ability of children and adolescents with spina bifida: A systematic review using International Classification of Functioning, Disability and Health for Children and Youth (ICF-CY) as a reference framework. [Prosthet Orthot Int](#). 2015 Dec;39(6):437-43. doi: 10.1177/0309364614543550. Epub 2014 Aug 8.
5. Karmel-Ross K, Cooperman DR, Van Doren CL. The effect of Electrical Stimulation on Quadriceps Femoris Muscle Torque in Children with Spina Bifida. *Phys Ther* 1992; 72 (10):723-30.
6. [Arazpour M1,2](#), [Soleimani F1](#), [Sajedi F1](#), [Vameghi R1](#), [Bani MA2](#), [Gharib M3](#), [Samadian M4](#). Effect of Orthotic Gait Training with Isocentric Reciprocating Gait Orthosis on Walking in Children with Myelomeningocele. [Top Spinal Cord Inj Rehabil](#). 2017 Spring;23(2):147-154. doi: 10.1310/sci2302-147.
7. <http://www.bobath.be/fr/Announcements/CalendarDetail/94> consulté 04/09/18; <https://sites.google.com/site/intensiverehabfoundation/project-definition> consulté 17/07/17
8. <http://www.bioservo.com/research/clinical-studies/> consulté le 17/07/17
9. Prosser L.A., Curatalo L.A., Alter K. E., Damiano D.L. Acceptability and potential effectiveness of a foot drop stimulator in children and adolescents with cerebral palsy. [Dev Med Child Neurol](#). 2012 Nov; 54(11): 1044–1049
10. Damiano D.L., Prosser L. A., Curatalo L. A., Alter K. E. Muscle Plasticity and Ankle Control After Repetitive Use of a Functional Electrical Stimulation Device for Foot Drop in Cerebral Palsy. [Neurorehabil Neural Repair](#). 2013 Mar-Apr;27(3):200-7
11. Everaert D G, Thompson A. K., Chong S. L., Stein R. B. Does Functional Electrical Stimulation for Foot Drop Strengthen Corticospinal Connections? [Neurorehabil Neural Repair](#) 2010; 24; 168 originally published online Oct 27, 2009
12. Pool D, Blackmore A M, Bear N, Valentine J. Effects of short-term daily community WalkAide use on children with unilateral spastic cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther* 2014;26:308–317
13. [Morone G](#), [Fusco A](#), [Di Capua P](#), [Coiro P](#), [Pratesi L](#). Walking Training with Foot Drop Stimulator Controlled by a Tilt Sensor to Improve Walking Outcomes: A Randomized Controlled Pilot Study in Patients with Stroke in Subacute Phase. *Stroke Res Treat*. 2012; 2012: 523564. Published online 2012 Dec 22. doi: 10.1155/2012/523564
14. Stein R B, Everaert D G, Thompson A K, Chong S L, Whittaker M, Robertson J, Kuether G. Long-Term Therapeu-

# Robotique, Neuro-orthèses et Exosquelettes

- tic and Orthotic Effects of a Foot Drop Stimulator on Walking Performance in Progressive and Nonprogressive Neurological Disorders. *Neurorehabil Neural Repair* 2010; 24; 152 originally published online Oct 21, 2009
15. [Downing A](#), [Van Ryn D](#), [Fecko A](#), [Aiken C](#), [McGowan S](#), [Sawers S](#), [McInerney T](#), [Moore K](#), [Passariello L](#), [Rogers H](#). Effect of a 2-Week Trial of Functional Electrical Stimulation on Gait Function and Quality of Life in People with Multiple Sclerosis. *Int J MS Care*. 2014 Fall; 16(3): 146–152
  16. [Fanny Quandt](#), [Friedhelm C Hummel](#). The influence of functional electrical stimulation on hand motor recovery in stroke patients: a review. *Exp Transl Stroke Med*. 2014; 6: 9. Published online 2014 Aug 21. doi: [10.1186/2040-7378-6-9](https://doi.org/10.1186/2040-7378-6-9)
  17. Samer M, Moreno J C, Kong K, Amirat Y. *Intelligent Assistive Robots*. Star – Springer. 2015
  18. Wang S, Wang L, Meijneke C, van Asseldonk E, Hoellinger T, Cheron G, Ivanenko Y, La Scaleia V, Sylos-Labini F, Molinari M, Tamburella F, Pisotta I, Thorsteinsson F, Ilzkovitz M, Gancet J, Nevatia Y, Hauffe R, Zanov F, van der Kooij H. Design and control of the MINDWALKER exoskeleton. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2015 Mar;23(2):277-86. doi: 10.1109/TNSRE.2014.2365697.
  19. La Scaleia V, Sylos-Labini F, Hoellinger T, Wang L, Cheron G, Lacquaniti F, Ivanenko YP. Control of Leg Movements Driven by EMG Activity of Shoulder Muscles. *Front Hum Neurosci*. 2014 Oct 20;8:838. doi: 10.3389/fnhum.2014.00838.
  20. Bengoetxea A, Leurs F, Hoellinger T, Cebolla AM, Dan B, McIntyre J, Cheron G. Physiological modules for generating discrete and rhythmic movements: action identification by a dynamic recurrent neural network. *Front Comput Neurosci*. 2014 Sep 17;8:100. doi: 10.3389/fncom.2014.00100.
  21. Sylos-Labini F, La Scaleia V, d'Avella A, Pisotta I, Tamburella F, Scivoletto G, Molinari M, Wang S, Wang L, van Asseldonk E, van der Kooij H, Hoellinger T, Cheron G, Thorsteinsson F, Ilzkovitz M, Gancet J, Hauffe R, Zanov F, Lacquaniti F, Ivanenko YP. EMG patterns during assisted walking in the exoskeleton. *Front Hum Neurosci*. 2014 Jun 16;8:423. doi: 10.3389/fnhum.2014.00423.
  22. Hoellinger T, Petieau M, Duvinage M, Castermans T, Seetharaman K, Cebolla AM, Bengoetxea A, Ivanenko Y, Dan B, Cheron G. Biological oscillations for learning walking coordination: dynamic recurrent neural network functionally models physiological central pattern generator. *Front Comput Neurosci*. 2013 May 29;7:70. doi: 10.3389/fncom.2013.00070
  23. Duvinage M, Castermans T, Petieau M, Seetharaman K, Hoellinger T, Cheron G, Dutoit T. A subjective assessment of a P300 BCI system for lower-limb rehabilitation purposes. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012;2012:3845-9. doi: 10.1109/EMBC.2012.6346806.
  24. Cheron G, Duvinage M, De Saedeleer C, Castermans T, Bengoetxea A, Petieau M, Seetharaman K, Hoellinger T, Dan B, Dutoit T, Sylos Labini F, Lacquaniti F, Ivanenko Y. From spinal central pattern generators to cortical network: integrated BCI for walking rehabilitation. *Neural Plast*. 2012;2012:375148. doi: 10.1155/2012/375148.
  25. Leurs F, Bengoetxea A, Cebolla AM, De Saedeleer C, Dan B, Cheron G. Planar covariation of elevation angles in prosthetic gait. *Gait Posture*. 2012 Apr;35(4):647-52. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.12.017.
  26. Mehrholz J, Thomas S, Werner C, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2017, Issue 5. Art. No.: CD006185
  27. Aurich-Schuler T, Grob F, van Hedel HJA, Labruyère R. Can Lokomat therapy with children and adolescents be improved? An adaptive clinical pilot trial comparing Guidance force, Path control, and FreeD. *J Neuroeng Rehabil*. 2017 Jul 14;14(1):76
  28. Gilliaux M, Dierckx F, Vanden Berghe L, Lejeune T, Sapin J. Age Effects on Upper Limb Kinematics Assessed by the REAplan Robot in Healthy School Aged Children. *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 43, no.5, p. 1123-1131 (05/05/2015)
  29. [Gad P](#)1, [Gerasimenko Y](#)1,2, [Zdunowski S](#)1, [Turner A](#)1, [Sayenko D](#)1, [Lu DC](#)3,4, [Edgerton VR](#)1,3,4,5,6. Weight Bearing Over-ground Stepping in an Exoskeleton with Non-invasive Spinal Cord Neuromodulation after Motor Complete Paraplegia. *Front Neurosci*. 2017 Jun 8;11:333
  30. Antony D. KARELIS, PhD1,2, Livia Pinheiro CARVALHO, PhD(C)1,5, Manuel Jose Escalona CASTILLO, MSc3,4, Dany H. GAGNON, PhD3,4 and Mylène AUBERTIN-LEHEUDRE, PhD1,2. EFFECT ON BODY COMPOSITION AND BONE MINERAL DENSITY OF WALKING WITH A ROBOTIC EXOSKELETON IN ADULTS WITH CHRONIC SPINAL CORD INJURY. *J Rehabil Med* 2017; 49: 84–87
  31. <http://www.rexbionics.com/wp-content/uploads/2016/12/ACRM-Slide-Handout-Summary.pdf> consulté le 17/07/17
  32. Jan Mehrholz, Simone Thomas, Cordula Werner, Joachim Kugler, Marcus Pohl, Bernhard Elsner. Electromechanical-Assisted Training for Walking After Stroke A Major Update of the Evidence. *Cochrane Corner*. Section Editor: Peter Sandercock, MA, DM, FRCPE. *Stroke*. published online June 16, 2017. <http://stroke.ahajournals.org/content/early/2017/06/16/STROKEAHA.117.018018.citation>
  33. <http://humanwaves.be/> consulté le 23/08/17