

MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

QUEL AVENIR POUR L'ASSISTANCE ROBOTISEE PAR EXOSQUELETTE DANS LA
REEDUCATION DES BLESSES MEDULLAIRES ?

Mémoire présenté par Charlene REMY
Etudiante en 3^e année de masso-kinésithérapie
en vue de l'obtention du diplôme d'état de
Masseur-kinésithérapeute 2014-2015.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. GENERALITES	2
2.1. Les appareillages de marche pour le paraplégique, un peu d'histoire	2
2.2. Les exosquelettes	4
2.2.1. Définition	4
2.2.2. Leur utilisation	5
2.2.3. Les différents modèles	5
2.3. Etat des lieux des exosquelettes en France et dans le monde	8
2.4. Les blessés médullaires	10
3. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	10
4. MATERIEL ET METHODE	13
4.1. Choix de la population	13
4.2. Condition de réalisation de l'enquête	14
4.3. Présentation du questionnaire	14
5. RESULTATS	15
6. DISCUSSION	24
7. CONCLUSION	29

RESUME

Les exosquelettes sont en plein développement depuis plusieurs années. Cependant, il n'existe à l'heure actuelle qu'un centre de rééducation en France équipé de ces dispositifs (centre de rééducation de Kerpape). Il semblait pertinent d'essayer de connaître le point de vue des masseurs-kinésithérapeutes, des médecins et des blessés médullaires pour comprendre pourquoi ces outils sont encore si peu développés en France. C'est par le biais d'une enquête auprès de ces trois populations que cette étude a été réalisée. Celle-ci révèle que l'inconvénient principal à l'acquisition des exosquelettes est son prix. En effet, 89% des masseurs-kinésithérapeutes, 94% des blessés médullaires et 100% des médecins pensent que le coût est un frein majeur. D'autres raisons comme le manque d'étude et l'aspect éthique peuvent être une limite à son acquisition. Malgré ces éléments, 43% des masseurs-kinésithérapeutes, 44% des blessés médullaires et 83% des médecins pensent que l'utilisation des exosquelettes est pertinente dans la rééducation des blessés médullaires. Ceci est sûrement lié aux bénéfices de la verticalisation dynamique (amélioration du transit, de la fonction cardiaque, bienfaits psychologiques ...). En conclusion, des études sont encore nécessaires afin de prouver l'efficacité de ces dispositifs. Nous pouvons également espérer une diminution des tarifs dans le futur grâce à leur démocratisation. Les prothèses pour personnes amputées ont fortement évolué sur le plan technologique. Elles sont de plus en plus performantes, légères et résistantes qu'auparavant. Elles permettent de nouveau à des personnes de pouvoir courir, marcher en terrain accidenté, sauter, danser ... Il est possible que les exosquelettes subissent le même progrès que les prothèses d'ici quelques années.

Mots clés : blessés médullaires, exosquelette, rééducation

Keywords : spinal cord injury, exoskeleton, rehabilitation

1. INTRODUCTION

Les exosquelettes sont en plein essor depuis plusieurs années notamment grâce à leur développement pour l'armée et l'industrie.

Lors d'un stage à l'IURC (Institut Universitaire de Réadaptation Clemenceau) de Strasbourg, dans le service des blessés médullaires, une démonstration de l'exosquelette Rewalk a été effectuée le 17 avril 2014. Devant les avis partagés et de nombreuses interrogations, une étude et la rédaction d'un mémoire sur ces aides robotisées se sont avérées indiquées.

Les exosquelettes sont destinés à des personnes paraplégiques avec des lésions de moelle complète ou incomplète. Ils sont essentiellement utilisés comme un moyen de rééducation plutôt que de suppléance.

Malgré le développement de nouveaux exosquelettes, il n'existe actuellement qu'un seul centre de rééducation en France qui en possède deux. De plus, peu d'études ont été réalisées sur ces équipements robotisés.

La volonté de remarcher est une préoccupation prédominante pour les personnes paraplégiques. De nombreuses orthèses de marche ont vu le jour et des chercheurs mènent des travaux de rééducation à la marche tels que le projet « Rewalk »[25].

Le masseur-kinésithérapeute intervient dans la rééducation des patients paraplégiques et, quand cela est possible, dans la reprise de la marche. Dans ce contexte, quel est l'avenir de l'assistance robotisée par exosquelette dans la rééducation des blessés médullaires ?

Pour apporter une réponse à cette problématique, la réalisation d'un état des lieux de la bibliographie sur les exosquelettes, complété par une enquête était indispensable.

Le premier questionnaire est destiné à des masseurs-kinésithérapeutes et des médecins de médecine physique et réadaptation travaillant dans des services prenant en charge des blessés médullaires et le second questionnaire à des personnes paraplégiques.

La première partie du mémoire servira à mettre en place le cadre théorique. La seconde concernera la méthode de recherche utilisée pour répondre à la problématique.

Dans la troisième partie, les résultats de l'enquête seront analysés puis discutés avant la proposition d'une conclusion.

2. GENERALITES

« Dans les premiers temps qui suivent l'installation de leur handicap, les paraplégiques espèrent tous récupérer et remarcher. Plus tard, lorsque la paraplégie reste complète ou que les possibilités motrices demeurent trop faibles, les patients reportent leurs espoirs sur l'appareillage. Les risques de déception sont grands, l'appareillage représente en fait, pour de nombreux paraplégiques, l'image même du handicap et la matérialisation du fait qu'ils ne vont pas récupérer. Il convient donc d'être prudent pour sa prescription, d'informer le paraplégique des avantages et aussi des inconvénients qu'il faut en attendre, de le préparer à l'accepter et à l'utiliser. » [5]

2.1. Les appareillages de marche pour le paraplégique, un peu d'histoire

Avant l'arrivée des exosquelettes, les personnes paraplégiques avaient la possibilité de remarcher à l'aide d'appareillages de marche.

Il existe différents modèles :

- Orthèses mécaniques simples :
 - o (H) KAFO : (Hip) – Knee – Ankle – Foot – Orthosis (fig. 1)



Figure 1 : Orthèse mécanique simple KAFO

- ☞ Orthèses mécaniques complexes :
 - Orthèses de guidance (HGP : Hip Guidance Orthosis)
 - Parawalker (fig.2)
 - Walkabout



Figure 2 : Orthèse mécanique complexe Parawalker

- Orthèse de réciprocation :
 - RGO : Reciprocating Gait Orthosis = Reciprocator
 - ARGO : Advance RGO
 - IRGO : Isocentric RGO
- ☞ Orthèses hybrides :
 - SEF + orthèse mécanique (HGO ou RGO)

Ces appareils de marche étaient encombrants et coûteux en énergie. Ils étaient fréquemment abandonnés par leurs utilisateurs.

- Stimulation électrique fonctionnelle : le projet « Lève toi et marche » a permis de faire remarquer des personnes paraplégiques en stimulant les nerfs et les muscles à l'aide d'impulsions électriques coordonnées par une puce électronique.



Figure 3 : Projet « Lève toi et marche »

- Les exosquelettes.

2.2. Les exosquelettes

2.2.1. Définition

« L'exosquelette est un terme employé dans divers domaines, comme la zoologie et la robotique.

En robotique, un exosquelette est un équipement articulé et motorisé fixé sur le corps au niveau des jambes et du bassin, voire également les épaules et les bras. Il facilite les mouvements en ajoutant la force de moteurs électriques. Les exosquelettes, encore en développement, sont destinés notamment aux fantassins des forces armées pour leur permettre de marcher longtemps et de porter des charges lourdes en réduisant leur fatigue. Ils sont également étudiés pour des professions civiles où l'on porte des charges lourdes : par exemple les secteurs du bâtiment et du médicale, pour les soins infirmiers. » Futura sciences

2.2.2. Leur utilisation

Initialement, les exosquelettes ont été développés pour l'armée puis ont été élargis à d'autres domaines.

Ils ont été employés au début en rééducation chez des personnes paraplégiques avec des lésions de la moelle complète et incomplète. L'exosquelette ReWalk a pour objectif de permettre à des personnes paraplégiques de remarcher. ReWalk offre une assistance totale à la marche, il n'est donc pas possible de moduler l'intensité de l'aide.

2.2.3. Les différents modèles



Figure 4 : ReWalk



Figure 4 : HAL



Figure 5 : Ekso

Tableau I : Les différents exosquelettes

Entreprise	Argo Medical Technologies	Berkeley Bionics	Cyberdyne
Localisation	Yokneam Ilit, ISRAEL	Berkeley, CALIFORNIE	Ibaraki, JAPON
Élément scientifique moteur	Amir GOFFER	Dr Homayoon KAZEROONI	Professeur SANKAI
Contrôle de l'exosquelette	Les mouvements de la partie supérieure du corps sont analysés par des détecteurs de mouvements et utilisés pour maintenir, déclencher les schémas de marche et d'autres fonctions. Les boutons sur la télécommande permettent à l'utilisateur de choisir le type de mouvement.	Le contrôle s'effectue par l'intermédiaire de détecteurs de mouvements. Ekso analyse les gestes effectués pour en déduire les mouvements à réaliser. Il existe 3 programmes : -« Firststep » : mode d'apprentissage qui permet d'appréhender son fonctionnement avec une tierce personne. - « Activestep » : l'exosquelette interprète et anticipe les mouvements de son utilisateur avec un joystick intégré aux béquilles. - « Proststep » : permet une utilisation de l'exosquelette de manière autonome.	Il possède deux systèmes de contrôle. Le premier utilise des capteurs en contact avec la peau pour lire les signaux bioélectriques puis les transmettre au processeur. Le second est utilisé lorsqu'il n'y a aucun signal.
Poids	23 kg, l'utilisateur ne ressent que le poids du sac à dos (2,5 kg).	20 kg	23 kg
Vitesse maximale	3 km/h	3,2 km/h	4 km/h

Durée batterie	8 h (se recharge en une nuit)	Plus de 6 heures	5 heures
Mouvements	Marcher, se tenir debout, s'asseoir, monter des escaliers, monter et descendre des pentes.	Marcher, se mettre debout, se tenir debout et s'asseoir.	Marcher, se lever d'une chaise, monter et descendre les escaliers.
Béquilles	Nécessaires	Nécessaires	Nécessaires
Qui peut l'utiliser ?	Taille : 160 à 190 cm Poids : 100 kg maximum Pathologies : paraplégie	Taille : 158 à 195 cm Poids : 100 kg maximum Pathologies : hémiplégie, paraplégie	Pathologies : hémiplégie, paraplégie
Lancement	Début 2011 Validé par la FDA (Food and Drug Administration) en 2014	2011 pour les cliniques 2013 pour les particuliers	Actuellement utilisé dans une cinquantaine d'hôpitaux et maison de repos au JAPON. Des établissements en Suède et au Danemark sont en cours d'essais cliniques.
Coût	Version « personnelle » : 70 000 dollars Version « réhabilitation » : 100 000 dollars	100 000 dollars	Location de 2 200 dollars/mois

Les autres exosquelettes :

- Exoatlet (Russie)
- Wandercraft (France) : l'exosquelette fonctionne selon un principe de commande par le buste de l'utilisateur à l'image du Segway. Il ne nécessite pas l'utilisation de béquilles. Il s'adresse aux personnes souffrant de myopathies et paraplégies basses.



Figure 6 : Exosquelette WANDERCRAFT

- Vanderbilt (USA) : le fonctionnement est identique au précédent. Il est également équipé d'un système de stimulation électrique fonctionnelle. Il nécessite l'utilisation de béquilles pour marcher mais est moins lourd que ses concurrents (12 kg au lieu de 20 kg).

2.3. Etat des lieux des exosquelettes en France et dans le monde

En France :

Le centre de rééducation de Kerpape possède un Rewalk depuis 2 ans et a acquis l'exosquelette Ekso en septembre 2014.

Quinze personnes ont déjà pu bénéficier de l'exosquelette ReWalk au centre de Kerpape. Un protocole de 30 séances de 2 heures est utilisé.

Dans le monde :



Figure 7 : Les exosquelettes dans le monde

2.4. Les blessés médullaires

Actuellement, les exosquelettes ne peuvent être utilisés que par des personnes paraplégiques car ils demandent un bon contrôle du tronc et l'utilisation de cannes anglaises pour la déambulation.

Paraplégie : (cf cours Dr Loïc LECHAPELAIN)

Déficit ou perte des fonctions motrices et/ou sensibles dans les segments thoraciques, lombaires et sacrés mais non cervicaux de la moelle épinière en rapport avec une lésion d'éléments nerveux à l'intérieur du canal rachidien.

Lors de la paraplégie, le fonctionnement des membres supérieurs est préservé mais, en fonction du niveau de la lésion, le tronc, les membres inférieurs et les organes pelviens peuvent être atteints.

Ce terme inclut les atteintes de la queue de cheval et du cône terminal mais pas les atteintes du plexus lombo-sacré ni les lésions des nerfs périphériques en dehors du canal rachidien.

3. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Méthode de recherche bibliographique :

Ce travail a débuté par une consultation des bases de données de recommandations de l'HAS, SOFMER, PubMed et Google puis au centre de documentation Réédoc à l'IRR, et enfin par la lecture de différents sites.

Mots clés : exosquelettes, blessés médullaires, paraplégie, rééducation.

Keyword : exoskeleton, spinal cord injury, rehabilitation.

Il s'est poursuivi par la rencontre de deux médecins spécialistes en médecine physique et de réadaptation au centre de Lay St Christophe à Nancy et à l'Institut Universitaire de Réadaptation Clémenceau à Strasbourg.

Il s'est enrichi par un entretien téléphonique avec le masseur-kinésithérapeute référent de l'exosquelette ReWalk du centre de rééducation de Kerpape. L'expérience que possède le service des blessés médullaires sur l'utilisation des exosquelettes en rééducation a ainsi pu être recueillie.

Actuellement, il existe encore peu d'articles sur les exosquelettes. Trois articles ont pu être répertoriés. Ils sont extraits de « The Spine Journal », « The Journal of Spinal Cord Medicine » et « American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation ». *« Il y a toujours un manque de connaissance sur l'effet de l'aide de marche robotisée sur la fonction locomotrice et son rétablissement chez les personnes blessées en raison de la nature complexe du contrôle de locomotion, des stratégies compensatoires et la plasticité de réseaux neuronaux »* [4].

Le but du 1^{er} article « Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury : a pilot study » [1] est de déterminer si l'entraînement avec l'exosquelette HAL est sécuritaire et s'il peut augmenter la mobilité fonctionnelle chez des personnes paraplégiques après une lésion de la moelle épinière. L'étude a été réalisée sur huit personnes (4 ASIA A, 1 ASIA B et 3 ASIA C/D). Les critères mesurés sont la vitesse, la distance, le test des 10 mètres, le Time Up and Go, le test de marche de 6 minutes et le WISCI II (Walking Index For Spinal Cord Injury). Une évaluation motrice et de la spasticité est réalisée ainsi qu'une centimétrie des membres inférieurs. Le test est réalisé pendant 90 jours avec 5 séances par semaine. Les résultats obtenus sont une amélioration de la marche avec HAL au niveau du temps, de la vitesse et de la distance. Il y a eu aussi une amélioration sans exosquelette du test de marche de 6 minutes, du test des 10 mètres, du Time Up and Go, de la force musculaire et de la centimétrie. Un patient a reporté une baisse de la spasticité. Aucun évènement défavorable n'a été signalé pendant l'étude.

Le second article « Safety and tolerance of the ReWalk exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury : a pilot study » [2] évalue la sécurité et la tolérance de l'utilisation du ReWalk. L'étude comprend six patients et est répartie sur 13 à 14 séances. Les points évalués sont le risque de chute, l'état cutané, l'état de la moelle épinière et des articulations, la tension artérielle, la fréquence cardiaque, l'électrocardiogramme, la douleur et la fatigue. Les résultats n'ont montré aucun événement défavorable de sécurité (pas d'augmentation de la douleur, fatigue modérée après utilisation). En conclusion, les participants peuvent donc marcher avec ReWalk sans aucun effet indésirable.

Dans l'article « The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury » [3], les objectifs sont d'évaluer la sûreté et la performance du ReWalk. Douze sujets participent en réalisant 24 séances de 60 à 90 min (3 fois par semaine environ). Leurs performances sont évaluées avec le Time Up and Go, le test de marche de 6 minutes et le test des 10 mètres. Les résultats obtenus sont que les sujets sont indépendants pour les transferts et la marche avec ReWalk après la formation. Il y a une amélioration de la distance, de la vitesse, de la douleur, du transit intestinal, de la fonction vésicale et de la spasticité. En conclusion, l'utilisation du ReWalk est sécuritaire et son utilisation permet une amélioration des compétences de marche. Selon des études sur la plasticité de la moelle épinière, le fonctionnement du CPG (Central Pattern Generator) peut être incité par des programmes marche spécifique.

En conclusion, tous les articles s'accordent sur le fait que les preuves restent insuffisantes et qu'il serait nécessaire de réaliser des études sur un plus grand nombre de sujets. Des améliorations des fonctions motrices et physiologiques sont observées et aucun événement indésirable n'a été rencontré lors de l'utilisation des exosquelettes.

Il est possible que l'entraînement du centre locomoteur spinal améliore les capacités de marche chez les blessés médullaires mais d'autres études sont nécessaires.

« Les études sur la plasticité de la moelle épinière après lésion médullaire incomplète ont montré que le fonctionnement du CPG peut être incité par des programmes de marche spécifique » [2].

Après avoir fait une analyse des différents articles sur les exosquelettes, la présentation de notre enquête est décrite ci-dessous :

4. MATERIEL ET METHODE

4.1. Choix de la population

Trois populations ont été ciblées dans le cadre de cette enquête : des masseurs-kinésithérapeutes (personnels susceptibles d'utiliser ce matériel), des blessés médullaires (pathologie pour laquelle sont actuellement destinés les exosquelettes) et des médecins de médecine physique et réadaptation (principaux prescripteurs).

La population des professionnels choisie pour cette enquête est l'ensemble des masseurs-kinésithérapeutes et des médecins exerçant dans des services accueillant des blessés médullaires en France. Ce secteur géographique a permis de collecter un maximum d'informations sur le point de vue de l'utilisation des exosquelettes en France.

La liste des services de rééducation a été obtenue par l'intermédiaire du site de l'APF (Association des Paralysés de France). Vingt-deux services accueillant des blessés médullaires ont été recensés. Sur les 22 services, 17 ont accepté la diffusion de l'enquête et 13 y ont répondu.

Les blessés médullaires sollicités pour l'enquête sont des patients ou anciens patients de centres de rééducation, notamment des centres de Dijon, Kerpape, Lay St Christophe et Strasbourg.

4.2. Condition de réalisation de l'enquête

La diffusion de l'enquête a commencé mi-décembre. Celle-ci a été réalisée par un questionnaire sur internet. Cette méthode semblait la plus efficace pour recueillir un plus grand nombre de réponses. Cependant, des problèmes informatiques ont empêché certains services de répondre au questionnaire. Ces services ont donc soit répondu par écrit, soit par le biais de leurs mails personnels ou n'ont pas répondu.

Les objectifs de cette enquête ont été présentés une première fois verbalement lors de la prise de contact téléphonique avec le cadre masseur-kinésithérapeute du service puis une seconde fois à l'écrit lors de l'envoi du questionnaire. Il a été demandé au cadre de diffuser le questionnaire aux masseurs-kinésithérapeutes et médecins du service ainsi que de nous préciser le nombre de kinésithérapeutes ayant reçu le questionnaire.

Trois relances par mail ont été effectuées afin de solliciter les masseurs-kinésithérapeutes et les médecins n'ayant pas répondu au questionnaire.

Concernant les blessés médullaires, le questionnaire a été présenté une première fois oralement lors de la prise de contact (effectuée par des masseurs-kinésithérapeutes pour Dijon, Kerpape et Lay St Christophe et par nous-même pour Strasbourg) puis une seconde fois lors de l'envoi du questionnaire.

L'enquête a été arrêtée mi-janvier afin de commencer l'analyse des résultats.

4.3. Présentation du questionnaire

Voir annexe

5. RESULTATS

➤ Présentation générale

L'ensemble des questions composant le questionnaire a été élaboré de façon à mettre en évidence les connaissances générales sur les exosquelettes (fonctionnement, prix, finalités ...) et sur la pertinence de leur utilisation.

Sur les 17 services sollicités, 13 ont répondu au questionnaire masseur-kinésithérapeute (56 réponses) et 4 au questionnaire médecin (6 réponses). Le nombre de kinésithérapeutes ayant répondu par service n'est pas homogène (fig. 8).

De plus, le nombre de kinésithérapeutes ayant reçu le questionnaire n'est pas précisé. Il est donc difficile de déduire le taux de non-réponse.

Vingt-six blessés médullaires ont participé à l'enquête.

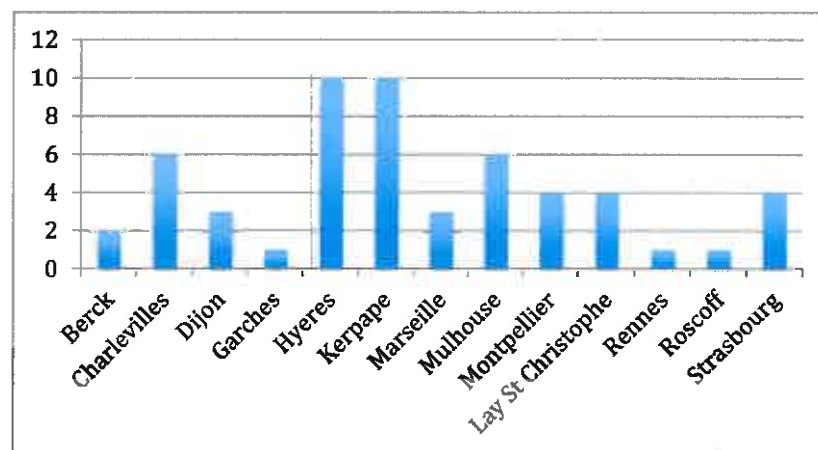


Figure 8 : Répartition des réponses des masseurs-kinésithérapeutes

Les masseurs-kinésithérapeutes :

La population est composée de 67% de femmes. La moyenne d'âge est de 37,2 ans et 95% exercent dans des centres de rééducation.

Les médecins :

Il y a 4 femmes sur les 6 médecins interrogés. Tous exercent en centre de rééducation et la moyenne d'âge est de 44,2 ans.

Les blessés médullaires :

La population de blessés médullaires est constituée de 81% d'hommes. La moyenne d'âge est de 25,4 ans. Les dates des lésions vont de 1980 à 2015. Les lésions complètes et en dessous de T7 sont légèrement supérieures aux lésions incomplètes et au-dessus de T7.

Quatre blessés médullaires ont été rééduqués avec un exosquelette et à la question « Souhaiteriez-vous essayer un exosquelette ? », 53,8 % ont répondu « oui ».

➤ Aviez-vous déjà entendu parler d'exosquelette avant ce questionnaire ?

Mis à part deux masseurs-kinésithérapeutes, tous les médecins et blessés médullaires avaient entendu parler d'exosquelette avant ce questionnaire.

➤ Connaissez-vous les finalités d'un exosquelette ?

Tableau II : les finalités d'un exosquelette

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin	Blessé médullaire
Oui	77%	100%	54%
Non	20%	0%	46%
Autre	4%	0%	0%

100% des médecins, 77% des masseurs-kinésithérapeutes et 53,8% des blessés médullaires connaissent les finalités d'un exosquelette.

Les principales finalités qui ont été citées sont l'assistance et le réentraînement à la marche.

« Orthèse robotisée de verticalisation et déambulation autonome entraînant les bénéfices liés à la verticalisation (prévention des flessums, amélioration du transit...) et entraînement de la récupération motrice chez des blessés médullaires incomplets (stimulation du centre locomoteur à prouver). »

« Plusieurs finalités, soit rééducatives comme outils multifactoriels de rééducation et palliatives en vue d'une verticalisation dynamique et en mouvement (prévention de l'ostéoporose). »

➤ **Savez-vous comment fonctionne un exosquelette ?**

Tableau III : le fonctionnement des exosquelettes

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin	Blessé médullaire
Oui	57%	83%	50%
Non	43%	17%	50%

Les médecins sont les plus nombreux à savoir comment fonctionne un exosquelette.

La réponse qui revient le plus fréquemment est qu'un exosquelette est une orthèse mécanique couplée à un système électronique (capteurs, batteries...).

« Squelette externe motorisé avec des moteurs générant les mouvements au niveau des membres inférieurs et des capteurs permettant de recueillir les informations en provenance des segments de membres. »

- **Est-ce que d'après vous, il existe des centres ou services de rééducation en France qui sont équipés d'exosquelettes ?** (Seul le centre de Kerpape est équipé à ce jour de deux exosquelettes : ReWalk et Ekso).

Tableau IV : les centres de rééducation équipés d'exosquelette

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin	Blessé médullaire
Oui	43%	100%	46%
Non	5%	0%	4%
Ne sait pas	52%	0%	50%

Seule la totalité des médecins sait, qu'en France, un centre est équipé d'exosquelettes.

- **Quels modèles d'exosquelette connaissez-vous ?**

Tableau V : les modèles

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin	Blessé médullaire
ReWalk	55%	100%	69%
Ekso	27%	67%	27%
HAL	7%	0%	0%
Autre	9%	33%	0%
Aucun	39%	0%	31%

ReWalk est l'exosquelette le plus connu parmi les trois populations interrogées.

- **Connaissez-vous le prix approximatif d'un exosquelette ?** (Le prix approximatif se situe entre 50 000 euros et 100 000 euros).

Tableau VI : le prix approximatif des exosquelettes

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin	Blessé médullaire
5 000 à 10 000 euros	0%	0%	0%
10 000 à 50 000 euros	7%	0%	23%
50 000 à 100 000 euros	39%	83%	58%
Plus de 100 000 euros	4%	0%	8%
Ne sait pas	50%	17%	12%

Les médecins sont les plus nombreux à connaître le prix d'un exosquelette.

- **Comment avez-vous entendu parler des exosquelettes ?**

Tableau VII : les moyens d'information

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin	Blessé médullaire
Un tiers	16%	17%	8%
Médias	41%	17%	19%
Internet	43%	17%	50%
Etablissement sanitaire	46%	50%	42%
Autre	14%	50%	0%

Les personnes ont majoritairement entendu parler d'exosquelettes via les établissements sanitaires et via internet.

➤ **Avez-vous déjà assisté à une démonstration ?**

Tableau VIII : les personnes ayant assisté à une démonstration

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin	Blessé médullaire
Non	32%	33%	35%
Oui sur internet	27%	0%	19%
Oui dans les médias	9%	0%	4%
Lors d'une présentation produit	21%	33%	4%
Autre	29%	50%	42%

68% des masseurs-kinésithérapeutes, 65% des blessés médullaires et 83% des médecins ont déjà assisté à une démonstration (internet, médias, présentation produit, autre).

Tous les masseurs-kinésithérapeutes, médecins et blessés médullaires n'ayant jamais vu de démonstration souhaitent en voir une.

➤ **Quels seraient pour vous les avantages d'utiliser un exosquelette dans le cadre de la rééducation des blessés médullaires ?**

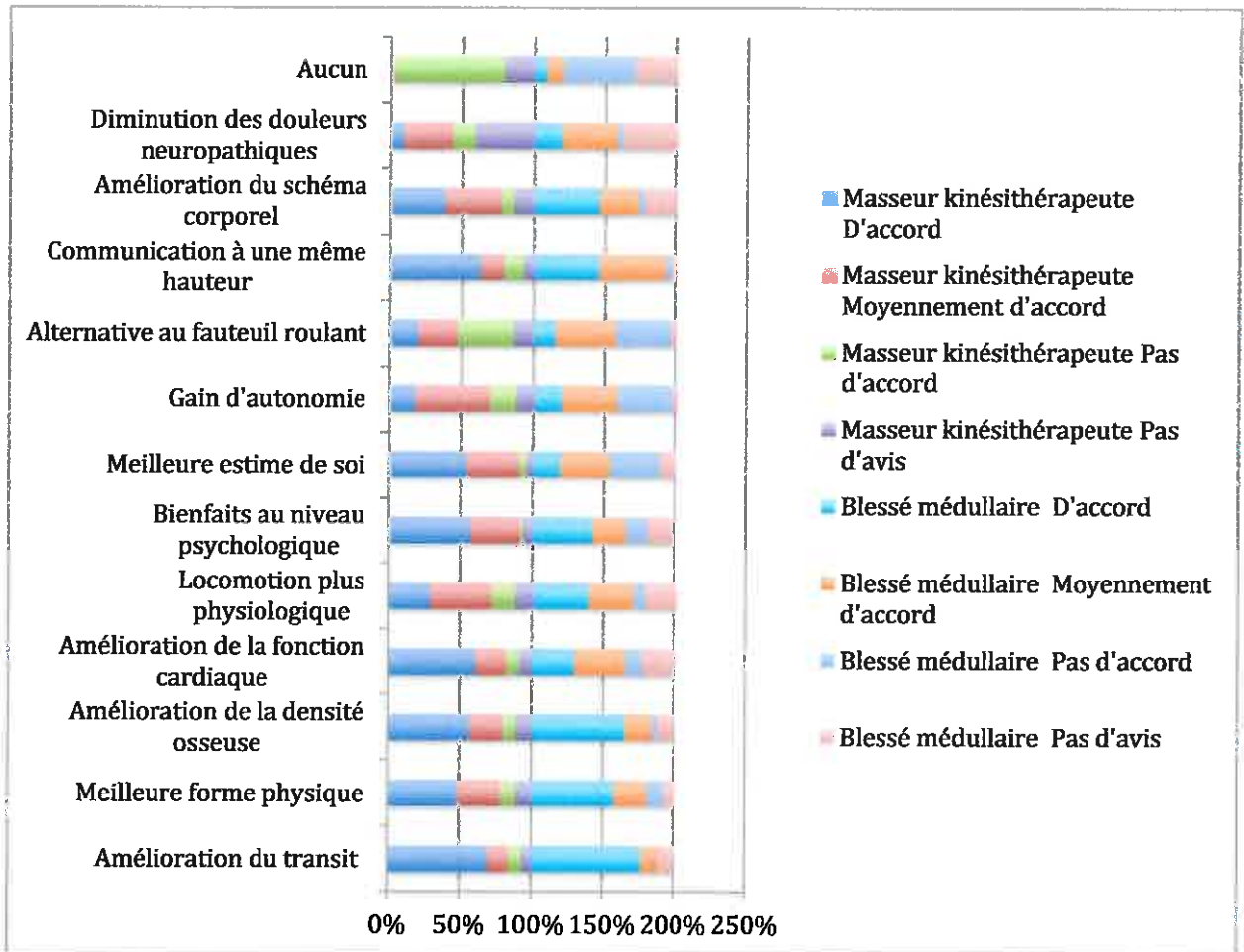


Figure 9 : Quels seraient pour vous les avantages d'utiliser un exosquelette dans le cadre de la rééducation des blessés médullaires (réponse des masseurs-kinésithérapeutes et des blessés médullaires)

Selon les masseurs-kinésithérapeutes, l'utilisation d'un exosquelette provoquerait des avantages au niveau du transit intestinal, sur la fonction cardio-respiratoire, psychologique, de l'estime de soi, de la densité osseuse et permettrait une communication à la même hauteur que les sujets valides.

Les blessés médullaires pensent que ça permettrait une amélioration du transit intestinal, de la densité osseuse et une meilleure forme physique.

Enfin les médecins estiment que ça entraînerait une meilleure forme physique, une amélioration de la fonction cardiaque et un bienfait au niveau psychologique et de l'estime de soi.

➤ Quels seraient selon vous les inconvénients à l'acquisition d'un exosquelette ?

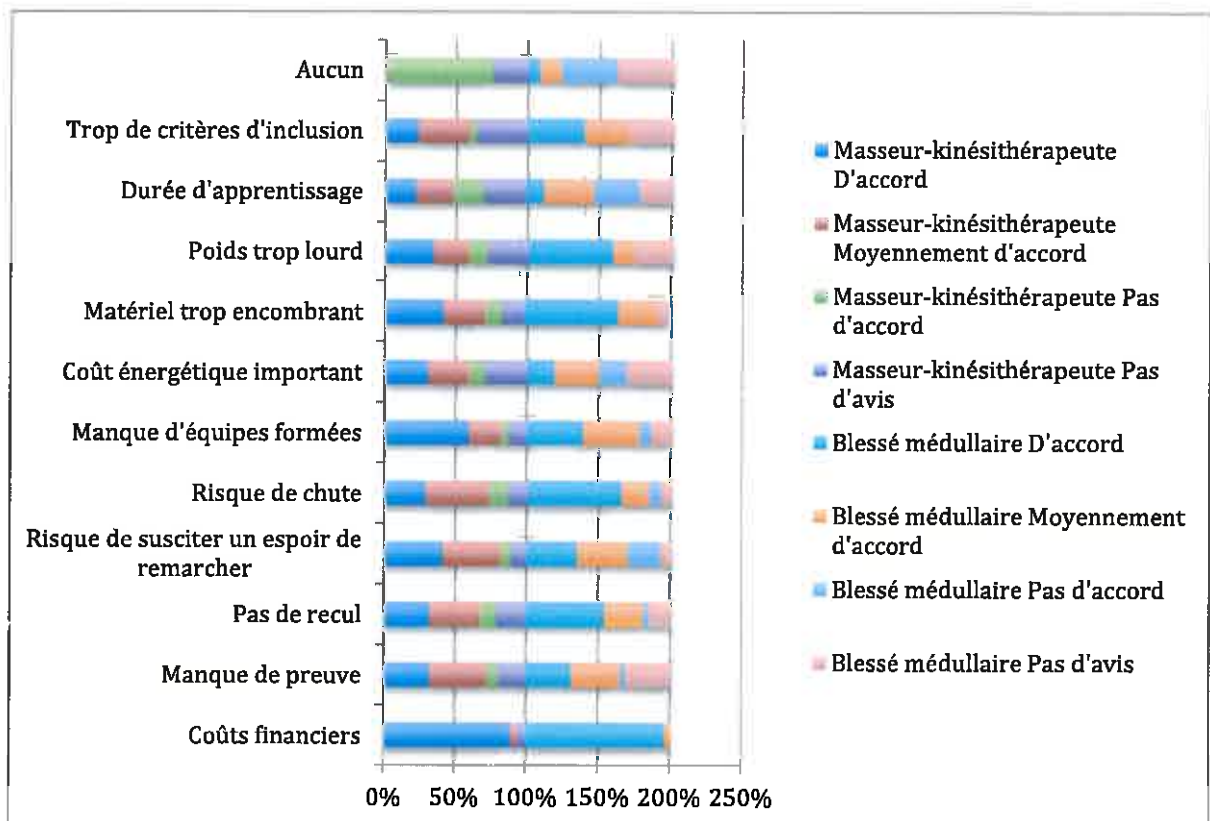


Figure 10 : Quels seraient selon vous les inconvénients à l'acquisition d'un exosquelette (réponse des masseurs-kinésithérapeutes et blessés médullaires).

Les inconvénients les plus importants pour les masseurs-kinésithérapeutes sont les coûts financiers élevés (89%) et le manque d'équipes formées.

D'après les blessés médullaires, ce sont surtout les coûts financiers (96%), les risques de chute et un matériel trop encombrant et lourd qui seraient des inconvénients.

Les médecins pensent que les inconvénients sont dûs à des coûts financiers trop élevés (100%), au manque de preuves d'efficacité, au risque de susciter un espoir de remarcher et à un matériel trop encombrant et lourd.

L'inconvénient majeur qui ressort pour les trois populations interrogées est le coût financier élevé.

➤ **L'acquisition de ce matériel vous semble t-elle pertinente pour la rééducation des blessés médullaires**

Tableau IX : la pertinence de l'utilisation des exosquelettes en rééducation

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin	Blessé médullaire
Oui	43%	83%	58%
Non	14%	0%	19%
Ne sait pas	43%	17%	23%

Les médecins représentent le plus gros pourcentage à penser que l'utilisation des exosquelettes est pertinente dans la rééducation des blessés médullaires.

➤ **Souhaiteriez-vous avoir un exosquelette dans votre service de rééducation ?**

Tableau X : le souhait d'avoir un exosquelette dans son service

	Masseur-kinésithérapeute	Médecin
Oui	36%	67%
Non	16%	17%
Ne sait pas	48%	17%

Les médecins sont les plus nombreux à souhaiter avoir un exosquelette dans leur service.

➤ **Les points forts et faibles des exosquelettes**

Tableau XI : les points forts et faibles des exosquelettes

	Points forts	Points faibles
Masseurs-kinésithérapeutes	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration du transit (70%). - Communication à une même hauteur que les sujets valides (63%). - Amélioration de la fonction cardiaque (61 %). 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts financiers élevés (89%). - Manque d'équipes formées (59%).
Blessés médullaires	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration du transit (77%). - Meilleure forme physique (58%). - Amélioration de la densité osseuse (65%). 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts financiers élevés (96%). - Risque de chute (65%). - Matériel trop encombrant (65%). - Poids trop lourd (58%).
Médecins	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure forme physique (67%). - Amélioration de la fonction cardiaque (67%). - Bienfaits au niveau psychologique (67%). - Meilleure estime de soi (67%). 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts financiers élevés (100%). - Manque de preuve (83%). - Risque de susciter un espoir de remarcher (67%).

Les avantages les plus cités par les trois populations sont l'amélioration du transit intestinal et de la fonction cardiaque. L'inconvénient majeur à l'acquisition d'un exosquelette est un prix trop élevé.

6. DISCUSSION

L'utilisation des exosquelettes est un sujet qui fait polémique notamment au niveau des médecins, masseurs-kinésithérapeutes et blessés médullaires. Cette constatation lors de la présentation ReWalk à l'IURC suite aux avis partagés sur l'utilisation des exosquelettes a été l'origine de ce mémoire.

Lors de l'élaboration de ce mémoire, plusieurs difficultés sont apparues. La bibliographie étant encore pauvre sur ce sujet, il était nécessaire de prendre contact avec plusieurs professionnels (masseur-kinésithérapeute et médecins) afin d'avoir plus d'informations. Le masseur-kinésithérapeute, référent ReWalk au centre de rééducation de Kerpape a accepté de témoigner sur son expérience de l'utilisation des exosquelettes chez les blessés médullaires. Une enquête, avec toutes les difficultés que cela représente, s'est ensuite avérée indispensable.

Les applications des exosquelettes :

Les exosquelettes ne sont pas utilisés dans l'unique but de suppléer la marche chez des personnes paraplégiques. Ils sont employés comme un outil de rééducation et ne remplacent en aucun cas le fauteuil roulant. Sur les 15 patients ayant utilisé ReWalk à Kerpape, aucun n'a souhaité en acquérir un par la suite. Une seule personne en France possède son propre exosquelette. Ces appareils permettent une verticalisation dynamique avec tous les bienfaits qui peuvent en résulter (amélioration du transit, du schéma corporel, de la fonction cardiaque, psychologique...). Ils sont aussi bien utilisés dans le cadre de lésions complètes et incomplètes. Ils permettent une verticalisation dynamique dans les deux types de lésions et une amélioration du schéma de marche pour des paraplégies incomplètes « *sensation de mouvements en sous-lésionnel avec un feedback d'appui au sol* ».

La réalisation de l'enquête et du questionnaire :

La construction du questionnaire s'est réalisée grâce aux informations recueillies lors de l'entretien effectué avec le centre de rééducation de Kerpape.

Lors de la réalisation d'un questionnaire, il est important de se poser les bonnes questions (qu'est-ce que je cherche ? est-ce que la personne est en mesure de répondre ? ...), de bien structurer le questionnaire (formuler des questions claires et précises ...) et de construire un bon échantillon (choisir la population). Il a été nécessaire de tester le questionnaire auprès de plusieurs personnes pour s'assurer de son efficacité. Il a fallu choisir un mode d'administration et créer un questionnaire en ligne sachant qu'actuellement, les enquêtes se font de plus en plus par internet. Cependant, des rappels ont dus être adressés à plusieurs reprises afin que les masseurs-kinésithérapeutes et les médecins répondent aux questionnaires. Enfin, l'analyse et l'interprétation des résultats se sont révélées assez compliquées.

Après avoir constitué le questionnaire, tous les cadres des services accueillant des blessés médullaires ont été contactés. Il a fallu argumenter sur l'intérêt de cette enquête afin qu'ils les diffusent aux masseurs-kinésithérapeutes et médecins. Cette démarche n'a pas été évidente car certains cadres ne souhaitaient pas faire participer leur équipe à l'enquête. Il a donc été nécessaire d'élaborer des arguments encore plus convaincants pour obtenir leur participation.

La participation des différentes populations à l'enquête :

Le nombre de réponses pour les masseurs-kinésithérapeutes (56) semble être suffisante. Malgré plusieurs réactivations des demandes, peu de médecins (6) ont répondu à l'enquête.

Concernant les masseurs-kinésithérapeutes, leur participation a été très hétérogène selon les centres de rééducation. Par exemple, 1 masseur-kinésithérapeute à Garches et 10 masseurs-kinésithérapeutes à Kerpape.

Lors de la prise de contact avec les cadres de service, ceux-ci ont assuré qu'ils transmettraient le questionnaire aux médecins mais ont émis un doute sur leur participation. Il est possible que cette faible participation soit liée à un manque de temps.

Enfin, il y a seulement eu 26 réponses de blessés médullaires. L'idéal aurait été d'avoir une représentation nationale grâce à des chiffres nationaux et une répartition départementale des blessés médullaires en France. Ceci n'a pas été réalisable par faute de temps.

Analyse des réponses à la question « L'acquisition de ce matériel vous semble-t-elle pertinente pour la rééducation des blessés médullaires ? » :

A cette question, 43% des masseurs-kinésithérapeutes ont répondu « Ne sait pas ». Cette réponse peut être due à plusieurs facteurs.

Tout d'abord, ainsi qu'il a été évoqué dans l'introduction, les exosquelettes sont un outil récent et novateur. Les études sont encore peu nombreuses à ce sujet et nous avons donc peu de recul sur leur utilisation. Plusieurs masseurs-kinésithérapeutes ont d'ailleurs répondu qu'ils attendaient plus de preuves « *J'attends plus de preuves scientifiques* ». Il a été discuté de faire un PHRC (Programme Hospitalier de Recherche Clinique) sur l'application des exosquelettes mais le projet n'a malheureusement pas été validé lors de la dernière commission en mars 2015.

Ensuite, il a été noté que certains masseurs-kinésithérapeutes et blessés médullaires ont de faibles connaissances sur les exosquelettes (finalités, fonctionnement, coût, modèles existants

...). Par exemple, 43% des masseurs-kinésithérapeutes ne savent pas comment fonctionne un exosquelette. Ce manque d'informations est peut être lié au fait qu'il s'agit de nouveaux dispositifs.

En outre, il se pose une problématique assez importante au niveau de l'éthique. En effet, il n'est pas anodin de faire remarquer des personnes à qui l'on avait annoncé que ca ne serait plus possible. Enfin, la plupart des blessés médullaires qui auront bénéficié d'une rééducation avec un exosquelette ne seront pas dans la capacité de s'en acheter un en sortant du centre comme le souligne une personne paraplégique « *La verticalisation couplée au mouvement a tout son intérêt dans la rééducation mais cela devrait pouvoir être poursuivi à la sortie du centre* ».

Pour les blessés médullaires, ces matériels sont encore lourds (58%) et encombrants (65%), ce qui constitue un des freins majeurs à leur application par ces personnes (aspect un peu déshumanisant des exosquelettes). Certains thérapeutes pensent aussi que l'utilisation des ces dispositifs pourrait être un frein dans le projet de vie du patient (processus de deuil, achat du fauteuil roulant, aménagement de domicile ...). L'accompagnement du patient est donc primordial afin de bien définir ses attentes quant à l'utilisation des exosquelettes.

Les résultats de ce questionnaire ont révélé que le coût est le problème majeur à l'acquisition de ce matériel. En effet, 89% des masseurs-kinésithérapeutes, 96% des blessés médullaires et 100% des médecins pensent que c'est un inconvénient à l'acquisition d'un exosquelette. Il faut savoir qu'un exosquelette coûte actuellement entre 50 000 et 100 000 euros. Il se pose donc un problème du financement que ce soit pour les centres de rééducation ou pour les blessés médullaires. La situation économique nationale a des répercussions inéluctables sur les capacités à investir des établissements de rééducation. Une telle acquisition absorberait tout le budget du service et ne permettrait pas d'autres achats. Peut-être est-il préférable de s'orienter vers d'autres solutions pour acheter de tels matériels comme le crowdfunding, le mécénat, le sponsoring ...? Il existe aussi d'autres dispositifs pour la rééducation neurologique comme le Lokomat (orthèse de marche robotisée avec système d'allègement du poids de corps, combinée avec un tapis de marche) ou ERIGO (table de verticalisation avec système de marche robotisée). Certains professionnels préféreront peut-être acquérir un autre dispositif qu'un exosquelette. Concernant les blessés médullaires, ceux-ci seraient obligés de se financer par eux mêmes puisqu'il n'existe pas de prise en charge de la sécurité sociale pour les exosquelettes. Il n'y a que dans le cas d'un accident avec un tiers responsable que

l'assurance pourrait prendre en charge ce matériel. Lors du retour à domicile du patient, ce dernier doit acheter de nombreuses aides techniques (fauteuil roulant, appareil de sondage ...) et réaliser divers aménagements (domicile, véhicule ...). Aura-t-il le choix pour effectuer ses nombreux investissements ?

43% des masseurs-kinésithérapeutes, 58% des blessés médullaires et 83% des médecins pensent que l'utilisation des exosquelettes est pertinente dans la rééducation des blessés médullaires. Il est possible que les personnes qui ont répondu positivement soient celles qui ont bien été informées sur le sujet et convaincues des bienfaits de l'utilisation de cet appareil. *« L'exosquelette pourrait compléter l'arsenal des outils et moyens mis à disposition pour la réadaptation à la marche », « J'ai personnellement pu pratiquer des essais de rééducation avec ce matériel et il suffit de constater l'immense satisfaction des personnes concernées, tant sur le plan de la redécouverte de la marche, que sur le bonheur d'être aussi facilement debout ».*

Les futurs exosquelettes :

Le marché des exosquelettes est en plein développement. De nouveaux dispositifs permettent de s'ajuster au degré de déficiences de la personne et d'être utilisés dans d'autres pathologies comme l'hémiplégie, la sclérose en plaque... Une entreprise française « WANDERCRAFT » est en train de développer un exosquelette *« innovant, intuitif et facile d'utilisation »* destiné à des personnes souffrant de myopathies, paraplégies, et pour les personnes âgées ... La révolution est la l'absence de manipulation de béquilles lors de la marche. Actuellement, tous les exosquelettes demandent l'utilisation de cannes, ce qui peut représenter un inconvénient comme l'ont souligné quelques masseurs-kinésithérapeutes dans le questionnaire *« les membres supérieurs ne sont plus libres en station debout, pour transporter un objet »*. WANDERCRAFT envisage de débiter ses essais cliniques mi-2016.

7. CONCLUSION

L'appareillage à la marche existe depuis longtemps dans la prise en charge des blessés médullaires. De nombreuses orthèses ont été inventées afin de permettre à des personnes paraplégiques de marcher à nouveau. Malheureusement, ce matériel était souvent abandonné par ses utilisateurs (perte d'autonomie, fatigue ...).

Depuis quelques années, les exosquelettes connaissent un essor important dans le monde. La recherche et la concurrence ne cessent d'augmenter ce qui pourrait entraîner une avancée technologique et une baisse des prix dans le futur.

Actuellement, il n'existe qu'un centre de rééducation en France qui soit équipé d'exosquelette.

D'après les résultats de l'enquête, ce faible développement en France semblerait être lié à un manque d'informations. De plus, les études sont encore rares à ce sujet et le prix de ce matériel reste très élevé. Cependant, d'autres centres de rééducation commencent à s'intéresser à l'utilisation des exosquelettes comme outils de rééducation.

Pour que notre étude soit plus représentative, il serait intéressant d'avoir un échantillon plus conséquent notamment au niveau des médecins et blessés médullaires.

Il y a beaucoup d'études sur la réparation de la moelle épinière. Un Français, Grégoire COURTINE, travaille actuellement sur des rats ayant subi une lésion sévère de la moelle épinière. Une stimulation pharmacologique et électrique permet de « réanimer » la moelle épinière et un contrôle volontaire de la marche. Un robot est installé afin de faciliter la locomotion. De nombreux projets sont en cours de recherche et certains pensent que cette réparation de la moelle ne sera effective que couplée à l'utilisation des exosquelettes. Le thème des entretiens annuels de Garches était « Stimulation, neuromodulation et handicap neurologique ».

Il existe de plus en plus de démonstrations de robots d'assistance que ce soit dans le domaine de l'industrie ou de la santé (ROMEO). Face au vieillissement de la population et au manque d'aidants, ces robots pourraient avoir leur place auprès des personnes âgées en perte d'autonomie.

Les exosquelettes sont-ils un phénomène de mode comme ont pu l'être les orthèses de marche dans le passé ou le début d'une nouvelle approche de la rééducation robotisée ?

BIBLIOGRAPHIE

- 1. AACH M, CRUCIGER O, SCZESNY-KAISER M, HOFFKEN O, TEGENTHOFF M, SCHWENKREIS P, SANKAI Y, SCHILDHAUER TA.** Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury : a pilot study. *The Spine Journal* (2014).
- 2. ZEILIG G, WEINGARDEN H, ZWECKER M, DUDKIEWICZ I, BLOCH A, ESQUENAZI A.** Safety and tolerance of the ReWalk exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury : a pilot study. *The Journal of Spinal Cord Medicine* (2012).
- 3. ESQUENAZI A, TALATY M, PACKEL A, SAULINO M.** The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *American journal of Physical Medicine and Rehabilitation* (2012).
- 4. SYLOS-LABINI F, LA SCALEIA V, D'AVELLA A, PISOTTA L, TAMBURELLA F, SCIVOLETTO G, MOLINARI M, WANG S, WANG L, VAN ASSELDONK E, VAN DER KOOJI H, HOELLINGER T, CHERON G, THORSTEINSSON F, ILZKOVITZ M, GANCET J, HAUFFE R, ZANOV F, LACQUANITI F and IVANENKO Y.** EMG patterns during assisted walking in the exoskeleton. *Frontiers in human neuroscience* (2014).
- 5. MAURY M.** La paraplégie. Flammarion Médecine (1992).
- 6. SIMON L, PELISSIER J, HERISSON C.** La verticalisation. Progrès en médecine physique et de réadaptation. Masson (1998).
- 7. PHANER V, CHARMETANT C, CONDEMINE A, FAYOLLE-MINON I, LAFAGE-PROUST M-H, CALMELS P.** Ostéoporose du blessé médullaire. Dépistage et traitement. Résultats d'une enquête sur les pratiques des médecins de MPR en France. Propositions de conduite à tenir vis à vis du dépistage et du traitement. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 53 (2010).

8. BUSSEL B. Reprise de la marche chez le blessé médullaire. Etat actuel, nouvelles perspectives (2000).

9. ALBERT T. Nouvelles techniques de réentraînement locomoteur chez le blessé médullaire. Blessés médullaires et innovations thérapeutiques (2006).

10. THOUMIE P. Place actuelle de la marche appareillée chez des paraplégiques complets ; Annales de réadaptation et de médecine physique 48 (2005) 248-249.

11. PLASSAT R, PERROUIN-VERBE B, STEPHAN A, ROME J, BRUNEL P, RICHARD I, MATHE J-F. Place actuelle de la marche appareillée chez les patients paraplégiques complets de niveau thoracique. A propos d'une cohorte de 43 patients. Annales de réadaptation et de médecine physique 48 (2005) 240-247.

12. COLOMBO G, WIRZ M, RUPP R, DIETZ V, HORNBY T-G. Rééducation de la marche des patients médullaires incomplets à l'aide d'une orthèse robotisée. Blessés médullaires et innovations thérapeutiques (2006).

13. MERGER M, Lève toi et marche. Robert Laffont (2001).

AUTRES REFERENCES

14. FATTAL C, FIGERE M, VALLEE P. La verticalisation, une fin ou un outil.

15. Le développement industriel futur de la robotique personnelle et de service en France. PIPAME (Pole Interministériel de Prospective et d'Anticipation des mutations économiques), DGCIS (Direction Générale de la Compétitivité, de l'industrie et des Services).

16. Liste des centres accueillant des blessés médullaires.
<http://www.paratetra.apf.asso.fr/spip.php?article16>

17. PENVEN M, DEREGNIEAUX T, KERDRAON J, Le Rewalk : au cœur de toutes les attentions.

18. www.cenrob.org

19. www.approche-asso.com

20. Plateaux techniques et activités d'appareillage (ATIH) :

http://www.atih.sante.fr/sites/default/files/public/content/1454/Enquête_PT-AA_2011_Rapport_consolidé_Ao_t_2013.pdf

21. <http://www.rewalk.com>

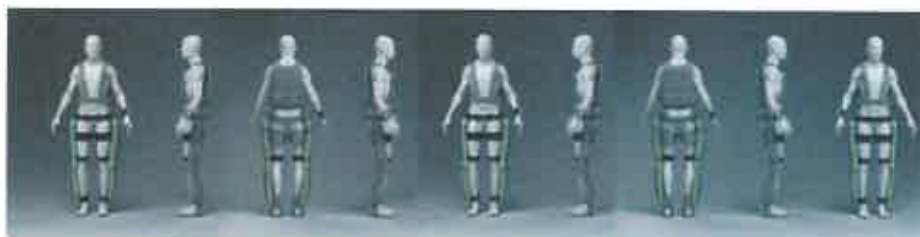
22. <http://intl.eksobionics.com>

23. <http://www.cyberdyne.jp/english/products/HAL/>

24. <http://www.runseat.fr>

25. <http://www.project-rewalk.com/fr/home>

26. <http://www.wandercraft.eu>

Annexe I : Questionnaire masseur-kinésithérapeute Modifier ce formulaire

Questionnaire masseur-kinésithérapeute

En vue de l'obtention du diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute, je réalise un mémoire sur l'utilisation de l'assistance robotisée à la marche à des fins de rééducation des blessés médullaires (adultes).

L'étude ne portera que sur les équipements robotisés permettant une marche embarquée tels que les exosquelettes ReWalk, Ekso ... mais pas sur le Lokomat.

Un exosquelette est une combinaison mécanisée que l'on porte sur certaines parties du corps par des sangles. Il est composé d'une batterie, de détecteurs de mouvements et d'effecteurs. En rééducation, il permet de reproduire des mouvements de marche.

Dans le cadre de mon enquête sur l'état actuel des connaissances des exosquelettes en France, nous vous

remercions de bien vouloir remplir ce questionnaire (une dizaine de minutes sera nécessaire). Ce questionnaire est anonyme.

REMY Charlène, étudiante en 3^e année à l'ILFMK de NANCY.

***Obligatoire**

Etes vous?*

- Un homme
 Une femme

Quel âge avez vous ?*

Dans quel type de structure exercez-vous ?*

- Hôpital
 Centre de rééducation
 Autre :

Dans quel département exercez-vous (code postal) ?*

Aviez-vous déjà entendu parler d'exosquelette avant ce questionnaire ?*

- Oui
- Non

Si la réponse à la question précédente est non, merci de ne pas remplir la suite de ce questionnaire.

Connaissez-vous les Gnalités d'un exosquelette ?

- Oui
- Non
- Autre :

Si oui, veuillez préciser :

Savez vous comment fonctionne un exosquelette ?

- Oui
- Non

Si oui, veuillez préciser :

Est-ce que d'après vous il existe des centres ou des services de rééducation en France qui sont équipés d'exosquelettes ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Si oui, veuillez préciser de quels établissements il s'agit :

Quels modèles d'exosquelettes connaissez-vous ?

- Aucun
- Rewalk
- Ekso
- HAL
- Autre :

Connaissez vous le prix approximatif d'un exosquelette ?

- Entre 5 et 10000€uros
- Entre 10 000 et 50 000€uros
- Entre 50 000 et 100 000€uros
- Plus de 100 000€uros
- Ne sait pas

Comment avez-vous entendu parler des exosquelettes ?

- Un tiers
- Médias
- Internet
- Etablissement sanitaire (hôpital, centre de rééducation)
- Autre :

Avez vous déjà assisté à une démonstration ?

- Non
- Oui sur Internet
- Oui dans les médias
- Lors d'une présentation produit
- Autre :

Si non, souhaiteriez vous en voir une ?

- Oui
- Non

Quels seraient pour vous les avantages d'utiliser un exosquelette dans le cadre de la rééducation des blessés médullaires ?

	D'accord	Moyennement d'accord	Pas d'accord	Pas d'avis
Amélioration du transit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meilleure forme physique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration de la densité osseuse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration de la fonction cardiaque	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Locomotion plus physiologique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bienfaits au niveau psychologique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meilleure estime de soi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gain d'autonomie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alternative au fauteuil roulant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Communication à une même hauteur que les sujets valides	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration du schéma corporel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminution des douleurs neuropathies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aucun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Si autre, veuillez préciser :

Quels seraient selon vous les inconvénients à l'acquisition d'un exosquelette ?

	D'accord	Moyennement d'accord	Pas d'accord	Pas d'avis
Coûts >nanciers élevés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manque de preuve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pas de recul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Risque de susciter un espoir de remarcher	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Risque de chute	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manque d'équipes formées à l'utilisation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coût énergétique important	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Matériel encore trop encombrant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Poids trop lourd	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durée				

d'apprentissage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trop de critères d'inclusion pour accéder à l'exosquelette (taille, poids ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aucun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Si autre, veuillez préciser :

L'acquisition de ce matériel vous semble t-elle pertinente pour la rééducation des blessés médullaires ?

- Oui
 Non
 Ne sait pas

Si oui, veuillez préciser :

Souhaitez-vous avoir un exosquelette dans votre service de rééducation ?

- Oui
 Non
 Ne sait pas

Si oui, veuillez préciser :


Envoyer

N'envoyez jamais de mots de passe via Google Forms.



100 % : vous avez réussi.

Annexe II : Questionnaire médecin

 Modifier ce formulaire

Questionnaire médecin

En vue de l'obtention du diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute, je réalise un mémoire sur l'utilisation de l'assistance robotisée à la marche à des >ns de rééducation des blessés médullaires (adultes).

L'étude ne portera que sur les équipements robotisés permettant une marche embarquée tels que les exosquelettes ReWalk, Ekso ... mais pas sur le Lokomat.

Un exosquelette est une combinaison mécanisée que l'on >xe sur certaines parties du corps par des sangles. Il est composé d'une batterie, de détecteurs de mouvements et d'effecteurs. En rééducation, il permet de reproduire des mouvements de marche.

Dans le cadre de mon enquête sur l'état actuel des connaissances des exosquelettes en France, nous vous

remercions de bien vouloir remplir ce questionnaire (une dizaine de minutes sera nécessaire). Ce questionnaire est anonyme.

REMY Charlène, étudiante en 3e année à l'ILFMK de NANCY.

***Obligatoire**

Etes vous? *

- Un homme
 Une femme

Quel âge avez vous ? *

Dans quel type de structure exercez-vous ? *

- Hôpital
 Centre de rééducation
 Autre :

Dans quel département exercez-vous (code postal) ? *

Aviez-vous déjà entendu parler d'exosquelette avant ce questionnaire ?*

- Oui
 Non

Si la réponse à la question précédente est non, merci de ne pas remplir la suite de ce questionnaire.

Connaissez-vous les Généralités d'un exosquelette ?*

- Oui
 Non
 Autre :

Si oui, veuillez préciser :

Savez vous comment fonctionne un exosquelette ?*

- Oui
 Non

Si oui, veuillez préciser :

Est-ce que d'après vous il existe des centres ou des services de rééducation en France qui sont équipés d'exosquelettes ?*

- Oui
 Non
 Ne sait pas

Si oui, veuillez préciser de quels établissements il s'agit :

Quels modèles d'exosquelettes connaissez-vous ?*

- Aucun
- Rewalk
- Ekso
- HAL
- Autre :

Connaissez vous le prix approximatif d'un exosquelette ? *

- Entre 5 et 10000€uros
- Entre 10 000 et 50 000€uros
- Entre 50 000 et 100 000€uros
- Plus de 100 000€uros
- Ne sait pas

Comment avez-vous entendu parler des exosquelettes ? *

- Un tiers
- Médias
- Internet
- Établissement sanitaire (hôpital, centre de rééducation)
- Autre :

Avez vous déjà assisté à une démonstration ? *

- Non
- Oui sur Internet
- Oui dans les médias
- Lors d'une présentation produit
- Autre :

Si non, souhaiteriez vous en voir une ?

- Oui
- Non

Quels seraient pour vous les avantages d'utiliser un exosquelette dans le cadre de la rééducation des blessés médullaires ? *

	D'accord	Moyennement d'accord	Pas d'accord	Pas d'avis
Amélioration du transit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meilleure forme physique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration de la densité osseuse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration de la fonction cardiaque	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Locomotion plus physiologique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bienfaits au niveau psychologique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meilleure estime de soi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gain d'autonomie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alternative au fauteuil roulant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Communication à une même hauteur que les sujets valides	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration du schéma corporel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminution des douleurs neuropathies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aucun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Si autre, veuillez préciser :

Quels seraient selon vous les Inconvénients à l'acquisition d'un exosquelette ? *

	D'accord	Moyennement d'accord	Pas d'accord	Pas d'avis
Coûts >nanciers élevés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manque de preuve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pas de recul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Risque de susciter un espoir de remarcher	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Risque de chute	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manque d'équipes formées à l'utilisation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coût énergétique important	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Matériel encore trop encombrant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Poids trop lourd	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durée				

d'apprentissage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trop de critères d'inclusion pour accéder à l'exosquelette (taille poids ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aucun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Si autre, veuillez préciser :

L'acquisition de ce matériel vous semble t-elle pertinente pour la rééducation des blessés médullaires ? *

- Oui
 Non
 Ne sait pas

Si oui, veuillez préciser :

Souhaiteriez-vous avoir un exosquelette dans votre service de rééducation ? *

- Oui
 Non
 Ne sait pas

Si oui, veuillez préciser :


Envoyer

N'envoyez jamais de mots de passe via Google Forms.



100 % : vous avez réussi.

Annexe III : Questionnaire blessés médullaires

 Modifier ce formulaire


Questionnaire blessés médullaires

En vue de l'obtention du diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute, je réalise un mémoire sur l'utilisation de l'assistance robotisée à la marche à des fins de rééducation des blessés médullaires (adultes).

L'étude ne portera que sur les équipements robotisés permettant une marche embarquée tels que les exosquelettes ReWalk, Ekso ... mais pas sur le Lokomat.

Un exosquelette est une combinaison mécanisée que l'on porte sur certaines parties du corps par des sangles. Il est composé d'une batterie, de détecteurs de mouvements et d'effecteurs. En rééducation, il permet de reproduire des mouvements de marche.

Dans le cadre de mon enquête sur l'état actuel des connaissances des exosquelettes en France, nous vous remercions de bien vouloir remplir ce questionnaire (une dizaine de minutes sera nécessaire). Ce questionnaire est anonyme.

REMY Charène, étudiante en 3e année à l'ILFMK de NANCY.

***Obligatoire**

Etes vous ? *

- Un homme
 Une femme

Quel âge avez vous ? *

De quand date votre lésion médullaire ?

Quel est votre niveau neurologique? (NB: le niveau neurologique correspond au segment le plus bas avec une fonction motrice et sensitive normales des deux côtés du corps)

Votre lésion est :

- Complet

- Incomplet
- Ne sait pas

Aviez-vous déjà entendu parler d'exosquelette avant ce questionnaire ? *

- Oui
- Non

Si la réponse à la question précédente est non, merci de ne pas remplir la suite de ce questionnaire.

Connaissez-vous les Mhalités d'un exosquelette ? *

- Oui
- Non

Si oui, veuillez préciser :

Savez-vous comment fonctionne un exosquelette ? *

- Oui
- Non

Si oui, veuillez préciser :

Est-ce que d'après vous il existe des centres ou des services de rééducation en France qui sont équipés d'exosquelettes ? *

- Oui
- Non
- Ne sait pas

Si oui, veuillez préciser de quels établissements il s'agit:

Quels modèles d'exosquelettes connaissez-vous ? *

- Aucun
- Rewalk
- Ekso
- HAL

Autre :

Connaissez vous le prix approximatif d'un exosquelette ? *

- Entre 5 et 10000 Euros
- Entre 10 000 et 50 000Euros
- Entre 50 000 et 100 000Euros
- Plus de 100 000Euros
- Ne sait pas

Comment avez-vous entendu parler des exosquelettes ? *

- Un tiers
- Médias
- Internet
- Etablissement sanitaire (hôpital, centre de rééducation)
- Autre :

Avez-vous déjà assisté à une démonstration d'exosquelette ? *

- Non
- Oui sur Internet
- Oui dans les médias
- Lors d'une présentation produit
- Autre :

Si non, souhaiteriez vous en voir une ?

- Oui
- Non

Concernant l'essai des exosquelettes : *

- Vous n'avez jamais été équipé d'un exosquelette et ne souhaitez pas essayer
- Vous n'avez jamais été équipé d'un exosquelette mais souhaitez essayer
- Vous avez déjà été équipé d'un exosquelette

Si oui, veuillez précisez ou:

Avez vous déjà été rééduqué avec un exosquelette ? *

Oui

Non

Si oui, dans quelle structure et avec quel exosquelette ?

Quels seraient pour vous les avantages d'utiliser un exosquelette dans le cadre de la rééducation des blessés médullaires ?*

	D'accord	Moyennement d'accord	Pas d'accord	Pas d'avis
Amélioration du transit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meilleure forme physique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration de la densité osseuse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration de la fonction cardiaque	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Locomotion plus physiologique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bienfaits au niveau psychologique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meilleure estime de soi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gain d'autonomie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alternative au fauteuil roulant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Communication à une même hauteur que les sujets valides	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Amélioration du schéma corporel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diminution des douleurs neuropathiques	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aucun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Si autre, veuillez préciser :

Quels seraient selon vous les inconvénients à l'acquisition d'un exosquelette ?*

D'accord

Moyennement

		d'accord	Pas d'accord	Pas d'avis
Coûts financiers élevés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manque de preuve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pas de recul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Risque de susciter un espoir de remarcher	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Risque de chute	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manque d'équipes formées à l'utilisation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coût énergétique important	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Matériel encore trop encombrant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Poids de l'exosquelette trop lourd	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durée d'apprentissage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trop de critères d'inclusion pour accéder à l'exosquelette (taille poids ...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aucun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Si autre, veuillez préciser :

L'acquisition de ce matériel vous semble t-elle pertinente pour la rééducation des blessés médullaires ? *

- Oui
 Non
 Ne sait pas

Si oui, veuillez préciser :

Annexe IV : Liste des centres de rééducation participant à l'enquête

Centre de rééducation	Adresse	Téléphone
Centre Jacques Calve	72 Esplanade Parmentier, 62608 BERCK SUR MER	03.21.89.20.20
Centre de Réadaptation Fonctionnelle pour Adultes	36 Rue de Warcq, 08000 CHARLEVILLE MEZIERES	03.24.52.63.00
Centre de Rééducation Fonctionnelle Divio	12 Rue Saint Vincent de Paul, 21000 DIJON	03.80.42.45.45
Hôpital Raymond Poincaré	104 Boulevard Raymond Poincaré, 92380 GARCHES	01.47.10.79.00
Institut de Rééducation Fonctionnelle Pomponiana Olbia	Chemin de Pomponiana, 83400 HYERES	04.94.35.94.35
Centre Mutualiste de Rééducation et Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape	56270 PLOEMEUR	02.97.82.60.60
Clinique Saint Martin	183 Route des Camoins, 13396 MARSEILLE	04.91.27.30.00
Centre de Réadaptation de Mulhouse	57 Rue Albert Camus, 68 093 MULHOUSE	03.89.32.46.46
Centre Mutualiste Neurologique PROPARA	263 Rue du Caducée, 34090 MONTPELLIER	04.67.04.67.04
Centre de Médecine Physique et de Réadaptation de Lay St Christophe	4 Rue du Professeur Montaut, 54690 LAY SAINT CHRISTOPHE	03.83.22.23.24
Centre Médical et Pathologique Rennes Baulieu	41 Avenue des Buttes de Coësmes, 35700 RENNES	02.99.25.19.19
Centre de Perharidy	Presqu'île de Perharidy, 29684 ROSCOFF	02.98.29.39.39
Institut Universitaire de Réadaptation Clemenceau	45 Boulevard Clemenceau, 67082 STRASBOURG	03.88.21.15.15

Annexe V : Démonstration du ReWalk à l'IURC

MULHOUSE 170 000 € détournés par goût du luxe... et de la chanson PAGE 16

COMMUNAUTÉ URBAINE Les délégations des vingt vice-présidents PAGE 33



DNA EDITION DE STRASBOURG

www.dna.fr

77 AL 2009

VENDREDI 18 AVRIL 2014

1,00 €

Jean-Luc Godard de retour dans la sélection du festival de Cannes PAGE 6



VENDREDI SAINT
La mort avant la résurrection



Les chrétiens commémorent aujourd'hui la passion et la crucifixion du Christ. PAGE 12

ALGÉRIE
Un jour aux urnes, le président aussi...



Les Algériens ont voté hier pour être leur président. Y compris Bouteflika, en fauteuil roulant. PAGE 13

Debout malgré le handicap



Un dispositif de marche assistée, déjà en usage notamment aux États-Unis, a été testé hier à Strasbourg. Ce type d'exosquelette préfigure peut-être des appareillages qui révolutionneront la prise en charge des paraplégiques.

LES ARTICLES DE DIDIER ROSE EN PAGE 11

PRATIQUE

BOURSIÈRE	Page 11
HOMOLOGIE II	Page 17
BONS PLANS	Pages 17 et 18
XLUT	Page 20
TELÉPHONIE	Page 21
MÉTÉO	Page 23
MÉCANIQUE	Pages 20 et 24
PERMANENCE URBAINES	et cabinet
CHIFFRE	et cabinet

Question d'orgueil !

Après neuf matches sans victoire, David Ledy et le Racing, quasiment relégués, jouent ce soir à Orléans. PAGE 23



Un passe et trois jours pour visiter l'Alsace

Disponible à partir du 25 avril pour 40 €, le Pass'Alsace donnera accès à 24 sites touristiques alsaciens pour un adulte et un enfant pendant trois jours. PAGE 17

SOLDES de Printemps du 19 avril au 2 mai 2014

-25% (maximum) sur les produits électroménagers

-50% sur votre commande d'été

NOUVEAU STORES HERTRICH

ouvertures estivales de 10h à 19h

Meubles & Cendres **HERTRICH**

EPFIC - 03 88 85 80 18

www.hertrich.com

LE PLUS GRAND MAGASIN DU CENTRE ALSACE DISTRIBUTEUR DE GRANDES MARQUES

Annexe VI : Les différents financements alternatifs

Les différents financements alternatifs	Définition
Le crowdfunding	Aussi appelé financement participatif. Elle permet à des entreprises, des particuliers de récolter des fonds pour financer un projet en sollicitant un grand nombre de personnes investissant un petit montant (via internet).
Le mécénat	Soutien financier, humain ou matériel apporté sans contrepartie directe par une entreprise à une action ou activité générale (culture, recherche ...).
Le sponsoring	Soutien financier ou matériel apporté à un événement ou un individu par un partenaire en échange de différentes formes de visibilité.
Le business angel	Personne physique qui investit une part de son patrimoine dans une entreprise innovante et qui met à disposition de l'entrepreneur, ses compétences, expérience et réseaux relationnels.

Annexe VII : Le projet « Lève toi et marche » du Pr Rabischong



" !

SOCIÉTÉ

Accueil > Société

Paraplégie: enfin une puce qui marche? Le professeur Rabischong affirme pouvoir remettre debout les malades. Mais ne publie pas le détail de ses résultats

ERIC FAVEREAU 12 OCTOBRE 1999 À 01:09

Le professeur Pierre Rabischong est un personnage. Haut en couleur,

méridional, grand parleur également. Depuis vingt ans, il se bat pour mettre debout les paraplégiques grâce à l'électrostimulation des muscles et des nerfs. A l'Institut Propara de Montpellier (centre de traitement et de réadaptation pour paraplégiques et tétraplégiques) dont il a la charge, ce chercheur coordonne le projet européen Suaw (Stand up and walk), «Lève-toi et marche». Une première opération a été réalisée le 28 septembre sur un premier patient, un homme de 38 ans, paraplégique depuis neuf ans à la suite d'un accident de voiture.

Interview. Dans le milieu de la rééducation fonctionnelle en France, Pierre Rabischong est reconnu mais un peu seul. Est-ce pour cela qu'avant de rendre publique sa dernière avancée médicale, il n'a pas jugé utile de respecter l'usage qui veut que les travaux de chercheurs soient d'abord présentés dans une revue scientifique?

Ce fondant sur l'opération du 28 septembre, il a assuré hier, au quotidien le Midi libre: «Ma technique permet aux paraplégiques de retrouver la fonction de marcher interrompue après une lésion de la moelle épinière.» Ou encore: «La fonction propulsion de la marche est ainsi restaurée, mais la stabilisation reste incertaine. Elle dépend encore de béquilles ou d'un déambulateur équipé d'un interrupteur.»

Pierre Rabischong aurait-il pris ses rêves pour la réalité? «Il n'y pas de publication», note tout d'abord le docteur Olivier Remy-Neris, chef de service de rééducation fonctionnelle au Centre Calve de Berck (Pas-de-Calais). «Mais ce que l'on en sait est intéressant. Il y a une miniaturisation beaucoup plus poussée, et il arrive à faire réagir plus d'une vingtaine de muscles.» Et ce praticien, d'ordinaire mesuré, d'ajouter: «Cette technique est, aujourd'hui, bien avancée. Certes, il ne faut pas provoquer trop vite de grands espoirs, mais il est logique d'espérer qu'elle aboutisse relativement rapidement.»

En tout cas, nul ne conteste les progrès. Et les besoins. Chaque année, selon les dernières statistiques, il y a autour d'un millier de nouveaux cas de paraplégie en France, les deux tiers résultant d'accidents de la route. Accident terrible, puisqu'en provoquant une forte lésion de la moelle épinière, il prive la victime de l'usage de ses jambes (1). Electrodes. Pour compenser ce handicap, les spécialistes étudient trois types de solutions technico-médicales. L'électrostimulation nerveuse et musculaire du professeur Pierre Rabischong est l'une de ces trois pistes, également explorée par d'autres équipes de chercheurs, en Autriche et aux Etats-Unis (à Cleveland).

Il s'agit donc d'installer des électrodes sur les muscles et, par stimulation électrique, de les faire réagir. Ce n'est pas en soi nouveau. «Aujourd'hui, par cette technique, on arrive à commander en même

temps cinq muscles et à faire bouger une main paralysée», explique le docteur Remy-Neris.

Dans le cas des jambes, c'est beaucoup plus complexe. Le professeur Rabischong a perfectionné son dispositif. L'implant, placé dans l'abdomen, permet d'obtenir une électrostimulation des nerfs et des muscles. La puce électronique incluse dans cet implant de quatre centimètres est reliée par des fils à des électrodes placées sur les nerfs et les principaux muscles qui permettent la marche: muscles gouvernant la flexion-extension de la hanche et du genou et le relèvement du pied. «L'implant, la puce, tout cela est classique, note le professeur Bernard Bussel, chef du service de rééducation fonctionnelle à l'hôpital Raymond-Poincaré de Garches. Toute la difficulté est dans la programmation: il faut faire en sorte que la puce active de façon coordonnée et harmonieuse l'action de marcher.» Sur ces points, il n'y a, à présent, aucune réponse, puisque le professeur Rabischong (2) n'a opéré qu'un seul patient. Avant la fin de l'année, un autre Français doit être implanté ainsi que, dans leur propre pays, deux Italiens, un Britannique, un Allemand et un Danois. Appareillages. A côté des travaux sur l'électrostimulation, la lutte contre la paraplégie passe par un deuxième axe de recherche fondé sur des appareillages extérieurs, avec stimulation externe. «Aujourd'hui, détaille le docteur Remy-Neris, il y a des systèmes mixtes, apparemment plus simples, où l'on agit par stimulation électrique à travers la peau. Cela permet de mettre les gens debout, de les faire avancer d'une dizaine de mètres, mais c'est au prix d'une telle dépense d'énergie pour la personne que cela est vite abandonné.»

Le professeur Bussel est encore plus brutal: «Avec ces appareils de marche, avec stimulation externe, on fait avancer les patients. Mais c'est si long à mettre, si disgracieux, que les patients ne s'en servent que quelques minutes par jour.» Et il n'en veut pour preuve que l'essai, réalisé à l'hôpital Rothschild sur 25 patients paraplégiques, qui a abouti à l'abandon du dispositif. «Certes, les patients arrivent à marcher, nous a expliqué l'auteur de ce travail, le docteur Philippe Thoumie de l'hôpital Rothschild, et ils arrivent parfois à marcher sur un kilomètre. Mais c'est lourd, et, contrairement à ce que nous vantaient certaines équipes américaines, personne en France ne s'en servait couramment, pour aller travailler par exemple.» Incertitudes. Reste le troisième axe de recherche, beaucoup plus tourné vers la recherche clinique. «Lors d'une lésion de la moelle épinière, il y a toujours quelque chose qui reste actif, explique le professeur Bernard Bussel. Nous, on essaye d'activer ce qu'il est encore possible d'activer. C'est lent, plein d'incertitudes.» Mais, ajoute, un brin ironique, ce spécialiste à l'adresse de son confrère du sud de la France, «nous on ne dit pas: "Venez et vous allez marcher"».

(1) Les tétraplégiques ont perdu également l'usage des membres supérieurs. (2) Contacté, le professeur Rabischong n'a pas souhaité nous répondre.

FAVEREAU Eric

Annexe VIII : Le projet « Lève toi et marche » du Pr Rabischong

Première mondiale à Strasbourg : un paraplégique fait ses premiers pas

Samedi, 25/03/2000 - 00:00 0 commentaire

- + [icône] [icône] [icône]

J'aime 0

Tweeter 0

g+ 0

1 avis : ★★★★★



Les kinés, ça les a épatés de me voir debout. Alors, mes tout premiers pas, ça les a achevés", a déclaré cet homme qui avait perdu l'usage de ses deux jambes à la suite d'un accident de la route survenu il y a dix ans. Il peut désormais se mettre debout tout seul et se déplacer, à l'aide d'un déambulateur. "D'ici un an, j'espère qu'on remplacera cet appareil par des béquilles", confie-t-il en souriant à des journalistes, à son domicile. "Mais rien que de marcher avec un déambulateur, c'est extraordinaire, vous ne réalisez pas!", lance-t-il, en soulignant "la nécessité physique d'être debout" et le "bien-être naturel" qui en

découle. "Mon but immédiat, c'est de pouvoir déambuler partout chez moi en laissant le fauteuil roulant à l'entrée", explique ce Strasbourgeois de 39 ans. L'ancien directeur d'agence bancaire, reconverti en consultant à l'Université depuis son accident, a été opéré le 28 septembre à l'Institut Propera (Centre de traitement et de réadaptation pour paraplégiques et tétraplégiques) de Montpellier, par l'équipe que dirige le professeur Pierre Rabischong, coordonnateur du projet européen SUAW (Stand up and walk - "Lève toi et marche"). L'opération, qui permet de retrouver la marche après une lésion de la moelle épinière, consiste d'abord à greffer dans l'abdomen du patient un implant contenant une puce électronique, a expliqué le professeur Rabischong. Cette puce électronique d'un centimètre est elle-même reliée à des électrodes placées sur les nerfs et sur les principaux muscles qui commandent la marche, a-t-il poursuivi, en insistant sur le fait que la lésion responsable de la paralysie n'était pas modifiée. Après un "faux départ" - un problème technique découvert dans l'implant posé en septembre - Marc Merger a subi une seconde intervention à Montpellier, le 14 février. C'est lors de sa rééducation au Centre de réadaptation fonctionnelle Clémenceau de Strasbourg qu'il a commencé à remarcher - quelques pas hésitants, accroché à son déambulateur - devant les yeux médusés des kinésithérapeutes. Marc Merger "se remet debout tout seul, sans aucun appareillage, avec ses propres muscles", se félicite le professeur Pierre Rabischong, en assurant que son patient, toujours en rééducation, devrait accomplir "de gros progrès" dans les six prochains mois, sans plus de détails.

Annexe IV : Le projet « rewalk » de Grégoire Courtine

Paraplégie: "réveiller" la moelle épinière pour remarcher

Par Sciences et Avenir

Publié le 01-06-2012 à 16h26

Des rats rendus paraplégiques ont pu remarcher, grâce à une expérience et un dispositif innovant. Les explications de Grégoire Courtine, qui a dirigé ces recherches à Lausanne.



Des rats, rendus paraplégiques par une lésion de la moelle épinière, ont pu remarcher comme avant. Tel est le résultat spectaculaire que publie dans le magazine *Science* une équipe de chercheurs de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL, Suisse) menée par le français **Grégoire Courtine**. L'étude révèle qu'avec une stimulation chimique, puis électrique, et un entraînement physique soutenu, la moelle épinière se «réveille» et recommence à contrôler le mouvement des jambes. Mieux, les chercheurs obtiennent 100% de récupération du mouvement volontaire, c'est-à-dire gouverné par le cerveau. Une première qui "ouvre la voie à de nouvelles stratégies" nous explique le chercheur Grégoire Courtine.

Sciences et Avenir : Dans votre étude, des rats paraplégiques remarchent. Comment avez-vous réalisé cet exploit ?

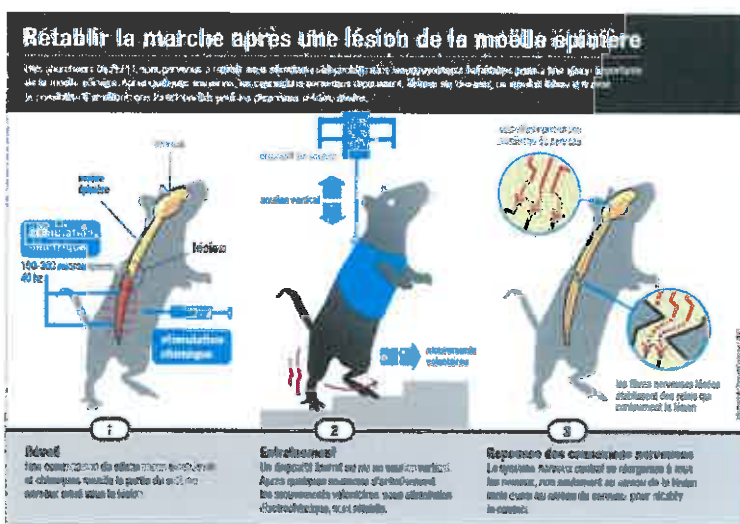
Grégoire Courtine: Au départ ces rats souffrent d'une lésion, quasi-totale, de la moelle épinière. Les commandes du cerveau qui actionnent d'ordinaire les muscles des jambes ne répondent plus. Notre méthode consiste à appliquer deux types de stimulations en dessous de cette lésion. D'abord par l'injection d'un cocktail de molécules stimulant les neurones, des monoamines (adrénaline, noradrénaline, dopamine... ce cocktail a fait l'objet d'une précédente publication), puis quelques minutes plus tard par la stimulation électrique, via des électrodes implantées sur la partie dorsale de la moelle épinière. Ces deux interventions « réveillent » la moelle épinière.

La moelle épinière d'un paraplégique est-elle donc seulement «endormie» ?

Les travaux de Charles Scott Sherrington, prix Nobel de médecine en 1932, établissaient déjà que, sous la majorité des lésions médullaires, la circuiterie nécessaire et suffisante pour promouvoir la marche était là, mais dans un état dormant. Notre objectif a été d'apporter à la moelle épinière ce que le cerveau lui apporte en temps normal : des molécules activatrices et des impulsions électriques.

Et cela suffit pour remarcher ?

Disons qu'une fois stimulée, la moelle épinière est de nouveau capable de recevoir et d'interpréter les signaux que lui envoient les organes sensoriels. En l'occurrence pour la marche, ce sont les capteurs situés au niveau de la voûte plantaire et dans les muscles. Cela ne suffit pas cependant. Il faut ensuite beaucoup d'entraînement. Le rat paraplégique stimulé est placé sur le tapis roulant, soutenu par une sorte de harnais robotisé. On va l'entraîner ainsi pendant de nombreuses semaines. Au bout de 2 à 3 semaines, le rongeur fait des pas malhabiles. Au bout de deux mois, il court sur le tapis roulant.



(Infographie EPFL)

Cette marche réactivée reste involontaire, provoquée par le tapis roulant ?

Au départ, c'est en effet une marche automatique mais à notre grande surprise le cerveau reprend le contrôle. Dans notre étude, nous avons enregistré l'activité cérébrale du rat durant la marche. Et bien on observe que les neurones du cortex moteur se réactivent petit à petit. Au final, on obtient des animaux qui marchent en soutenant l'ensemble de leur poids corporel, franchissent des obstacles, et peuvent même monter un escalier, grâce à leurs nerfs qui repoussent ! De nouvelles connexions se forment avec l'entraînement. Le cerveau établit des ponts, des relais, sorte de détours qui permettent de passer l'information au-delà de la lésion. Sans entraînement, ces ponts ne s'établissent pas.

Cette reconnexion peut donc se faire toute seule ?

Je pense que l'on peut être optimiste pour l'avenir et imaginer que la marche volontaire va se rétablir naturellement à force d'entraînement. Au moins chez ceux dont les lésions sont incomplètes : si quelques voies d'entrées vers le cerveau sont préservées, les fibres de la moelle épinière et du cerveau vont se reconnecter, à force de pratique, grâce à la neuroplasticité. Par ailleurs, un de nos projets consiste à créer un pont artificiel entre le cerveau et la moelle épinière pour qu'ils puissent communiquer entre eux. C'est l'objet du gros programme européen **NeuWalk** (<http://www.neuwalk.eu/>).

Pourquoi vous servez-vous d'un harnais robotisé pour l'entraînement ?

Car il permet un entraînement actif. Si on entraîne ces rats uniquement sur un tapis roulant (comme le font la plupart des patients actuellement) on ne voit pas de neuroplasticité des voies nerveuses en provenance du cerveau. Le robot que l'on a créé agit un peu comme si deux physiothérapeutes aidaient le patient à marcher en le soutenant s'il tombe, mais sans l'aider à aller en avant. Le robot fournit des conditions sécurisées pour que le rat essaye par tous ses moyens de reprendre le contrôle de ses pattes paralysées. Les premières séances comprennent 90% de tapis roulant et 10% de robot et puis, petit à petit, les proportions s'inversent.

A quand le premier essai clinique chez l'homme ?

Dans un ou deux ans. Nous avons déjà identifié le premier patient potentiel, un jeune homme devenu paraplégique suite à un accident. Nous désirons lui implanter notre neuroprothèse électrique qui serait comme une deuxième peau, une membrane contenant des électrodes, appliquée sur la partie dorsale de sa moelle épinière, sous la lésion. Après une semaine ou deux, on débutera l'entraînement avec un robot fabriqué par l'école polytechnique Fédérale de Zurich. Il n'y aura pas de stimulation chimique chez l'homme dans un premier temps car cela demande encore d'autres autorisations.

(EPFL) (http://www.dailymotion.com/video/xr8ejj_des-rats-paraplegiques-qui-remarchent-les-explications-de-gregoire-courtine-1_tech).

Quelles sont vos sources de financements ?

Je coordonne le projet européen NeuWalk (9million d'euros) et j'ai une ERC (European Research Council) Walk Again (1.5 million euros), des financements du Fond National Suisse pour la Recherche, ainsi que divers fonds de recherche privés, en plus de ma chaire «réparation de la moelle épinière» qui est sponsorisée par la Fondation Internationale pour la recherche en Paraplégie (IRP).

Vous êtes français, vous travaillez en Suisse. Pensez-vous que l'on pourrait réaliser ce type de projet en France ?

Le système français ne favorise pas l'éclosion de jeunes chercheurs indépendants hébergés au sein d'un environnement dynamique et flexible (administratif, financier); ce qui complexifie la réalisation de ce type de projets ambitieux, risqués, et coûteux sur les animaux. En revanche, les succès de certains essais cliniques en France montre que le passage de la recherche appliquée à l'implémentation clinique est possible.

Pourquoi avez-vous choisi de quitter la France pour la Suisse ?

J'ai quitté la France pour l'Université de Californie à Los Angeles après ma thèse sur la plasticité et la motricité en 2008. En Californie, j'ai eu la chance de m'immerger dans le monde de la recherche américaine à travers de nombreuses collaborations: une atmosphère aux antipodes de mon expérience hexagonale. Après des avancées significatives à UCLA, l'université de Zurich m'a offert l'opportunité d'ouvrir mon propre laboratoire de recherche

avec une liberté totale à l'âge de 32 ans; un système à l'américaine: hautement risqué (contrat de 5 ans) mais avec des moyens qui permettent de démontrer ses capacités. Mon équipe initiale de 2 personnes (venus avec moi d'UCLA) s'est rapidement étoffée grâce à des fonds externes pour atteindre 15 personnes sous ma direction: une situation qui semble impossible en France ou le mandarinat à encore de belles heures devant lui ! A présent à l'EPFL, je retrouve le même système anglo-saxon qui m'offre énormément de liberté intellectuelle et organisationnelle, ainsi qu'un esprit d'ouverture et de communication.

En quoi votre étude va-t-elle bouleverser la recherche sur la paraplégie ?

Est-ce que notre approche – totalement nouvelle - va guérir les lésions de la moelle épinière? Non. Mais elle ouvre la voie à de nouvelles stratégies qui devraient constituer la base thérapeutique pour les interventions de réparation de la moelle épinière dans le futur. Dans ce sens, cette publication marque un tournant dans la recherche en paraplégie. On ne pourra plus concevoir les prochaines études et les thérapies pour l'homme de la même manière dans le futur.

Des rats paraplégiques qui remarchent (2) (http://www.dailymotion.com/video/xr8en6_des-rats-paraplegiques-qui-remarchent-2_tech) (vidéo EPFL)

***Propos recueillis par Elena Sender
Sciences et Avenir.fr***

Annexe X : Les autres dispositifs robotisés

ROMEIO :



ERIGO :



LOKOMAT :

