

**Lab.RII**

**UNIVERSITÉ DU LITTORAL CÔTE D'OPALE**  
**Laboratoire de Recherche sur l'Industrie et l'Innovation**

**CAHIERS DU LAB.RII**  
– DOCUMENTS DE TRAVAIL –

**N°275**

**Janvier 2014**



**EVOLUTION DE  
L'ELECTRONIQUE  
MEDICALE ET  
INNOVATIONS APLIQUEES  
A LA MOBILITE : CAS DE  
L'EXOSQUELETTE**

**Pauline BRY SSE**

# EVOLUTION DE L'ELECTRONIQUE MEDICALE ET INNOVATIONS APPLIQUEES A LA MOBILITE : CAS DE L'EXOSQUELETTE

## EVOLUTION OF MEDICAL ELECTRONICS AND INNOVATIONS APPLIED TO MOBILITY: THE CASE OF EXOSKELETON

**Pauline BRYSSÉ<sup>1</sup>**

**Résumé :** L'exosquelette est considéré comme une révolution technologique dans le monde de la biotique, c'est-à-dire dans le domaine de l'électronique dédiée à l'amélioration de la santé des êtres vivants. Si l'exosquelette est une véritable innovation technologique, il faut tout de même remarquer que cette technologie est à ses débuts. Son évolution et sa diffusion à moyen terme dépendent des réels progrès qu'ils doivent être réalisés en matière de fiabilité et d'acceptabilité socio-économique, seules capables de réduire les coûts de R&D et les prix de vente.

**Abstract:** Exoskeleton is considered as a technological revolution in the world of biotics, that is to say, in the field of electronics dedicated to the improvement of human health. If the exoskeleton is a true technological innovation, it is still to be noted that this technology is in its infancy. Its evolution and diffusion in medium term depend on concrete progress that has to be made regarding reliability and socio-economic acceptability, which are the main drivers of the reduction of R&D costs and sales prices.

© Laboratoire de Recherche sur l'Industrie et l'Innovation  
Université du Littoral Côte d'Opale, janvier 2014

---

<sup>1</sup> Master 2 Electronique Instrumentation, Université du Littoral Côte d'Opale, Calais

**EVOLUTION DE L'ELECTRONIQUE MEDICALE ET INNOVATIONS  
APPLIQUEES A LA MOBILITE : CAS DE L'EXOSQUELETTE**

**EVOLUTION OF MEDICAL ELECTRONICS AND INNOVATIONS APPLIED TO  
MOBILITY: THE CASE OF EXOSKELETON**

**Pauline BRYSSÉ**

**TABLE DES MATIERES**

<b>INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
<b>1. UNE PROUESSE DE L'ELECTRONIQUE MEDICALE APPLIQUEE A LA MOBILITE : L'EXOSQUELETTE</b>	<b>4</b>
<b>1.1. L'exosquelette : une innovation de haute technologie</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Evolution parallèle de l'électronique médicale et innovations appliquées à la mobilité</b>	<b>8</b>
<b>2. LES PROMESSES MEDICALES, INDUSTRIELLES ET SOCIALES</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Les raisons d'apparition et de diffusion de l'exosquelette</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Opportunités et limites à la création d'un marché de large échelle</b>	<b>12</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>13</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>14</b>
<b>ANNEXE</b>	<b>15</b>

## **INTRODUCTION**

Actuellement, près de 60 millions de personnes dans le monde sont contraintes d'utiliser un fauteuil roulant pour pouvoir se déplacer. Les causes de cette constatation sont diverses : maladies, accidents... D'autres personnes souffrant de problèmes de force font également partie des personnes à mobilité réduite car leurs membres (jambes, bras...) ne sont pas totalement fonctionnels. Les scientifiques ont donc cherché une solution afin que ces personnes puissent retrouver toutes les fonctions que leurs membres sont censés leur apporter, comme avoir une force suffisante, se tenir debout, ou encore, marcher à nouveau. C'est alors que l'exosquelette est né. L'exosquelette est appelé dans le jargon médical une « orthèse robotisée ». A la différence d'une prothèse qui remplace un membre inexistant, l'orthèse est un système qui entoure le(s) membre(s) concerné(s) et qui permet de le(s) faire fonctionner à nouveau grâce à un système électronique. Dans un langage plus approprié, l'exosquelette peut être défini comme un squelette externe qui soutient le corps de l'extérieur, conçu pour permettre aux personnes qui souffrent de handicaps liés à la mobilité de marcher ou d'augmenter leur force et leur endurance. Il faut noter que cette innovation est apparue très récemment, il y a 5 ans à peine. C'est une véritable innovation technologique dans le domaine de l'électronique médicale. En effet, beaucoup de personnes à mobilité réduite rêvent de faire fonctionner leurs membres à nouveau. Cet exosquelette est considéré comme une révolution technologique dans le monde de la biotique, c'est-à-dire dans le domaine de l'électronique dédiée à l'amélioration de la santé des êtres vivants. Beaucoup de nouvelles technologies font partie intégrante de la biotique. En effet, la médecine et la science réunies débouchent sur des technologies permettant aux malades de vivre correctement au quotidien. On peut citer comme exemples, autres que les exosquelettes, les cœurs artificiels ou encore les prothèses robotisées.

Nous pouvons alors nous demander : L'exosquelette facilite-t-il la vie des personnes à mobilité réduite? Quels sont ses avantages et ses limites? En effet, si l'exosquelette est une véritable innovation technologique, il faut tout de même remarquer que cette technologie est en plein essor et qu'elle va donc évoluer ces prochaines années afin d'approcher la perfection en tous points. Dans un premier temps, nous expliquerons les raisons qui nous mènent à dire que l'exosquelette est une véritable prouesse dans le domaine de l'électronique médicale. Nous expliquerons également le fait que cette technologie soit un phénomène international dans le monde de la recherche et du développement. Dans un second temps, nous aborderons les raisons de son apparition et de sa diffusion. Nous expliquerons également que, comme toute nouvelle technologie, l'exosquelette a des avantages et des inconvénients.

## **1. UNE PROUESSE DE L'ELECTRONIQUE MEDICALE APPLIQUEE A LA MOBILITE : L'EXOSQUELETTE**

### **1.1. L'exosquelette : une innovation de haute technologie**

Le domaine de la biotique est né lors de la collaboration entre les médecins et scientifiques donnant lieu à des recherches ciblées sur l'amélioration de la santé des êtres vivants.

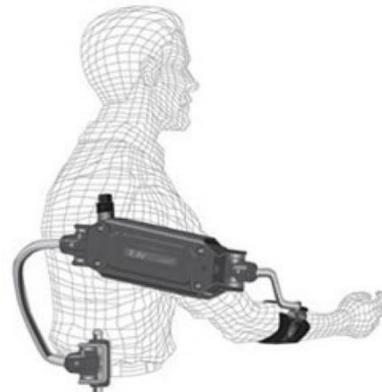


*Figure 1 [1]*

La figure 1 représente le lien entre l'électronique et la biologie, d'où le nom « biotique ». L'exosquelette est l'une des innovations technologiques les plus révolutionnaires issue de cette collaboration, il réunit des kinésithérapeutes, des neurologues et des ingénieurs en électronique et en programmation. Contrairement au squelette humain qui soutient le corps de l'intérieur, un exosquelette soutient le corps de l'extérieur. Les exosquelettes sont généralement conçus pour permettre aux personnes qui souffrent de handicaps liés à la mobilité de marcher ou d'augmenter leur force et leur endurance. [2]



*Figure 2 [3]*



*Figure 3 [4]*

Nous pouvons voir ci-dessus deux exemples d'exosquelette : celui de la figure 2 est l'un des plus connus permettant aux personnes paraplégiques de marcher à nouveau, celui de la figure 3 permet à la personne le portant d'augmenter sa force. La question que l'on peut se poser est : quels sont les composants qui constituent l'exosquelette et comment fonctionnent-ils entre eux ?

Il y a tout d'abord des capteurs recueillant des informations dont l'utilisateur veut se mouvoir. Dans un premier cas, ils peuvent être manuels, comme un joystick, une télécommande, ou un détecteur de mouvement qui permet à l'utilisateur de passer d'un mouvement à un autre. Dans ce cas, l'utilisateur n'est pas entièrement maître de l'exosquelette ; par exemple, s'il est tétraplégique, une personne extérieure contrôle l'appareil. Dans un second cas, les capteurs, utilisés plus récemment, peuvent être bioélectriques, c'est-à-dire couplés au système nerveux de l'utilisateur, ils détectent alors les impulsions physiologiques générées par le corps. Dans ce cas, l'utilisateur contrôle lui-même l'exosquelette et permet donc d'être plus autonome.

Puis, il y a l'ordinateur intégré au système qui permet d'analyser ces impulsions. Une fois contrôlées, il traduit ces impulsions et déclenche les moteurs. Les moteurs, électriques ou hydrauliques, jouent le rôle des muscles du patient. Ils dirigent le mouvement choisi : se tenir debout, marcher, monter ou descendre. Ils déplacent alors l'exosquelette permettant d'avoir l'illusion que l'utilisateur marche à nouveau.

En réalité, ce qu'il faut bien comprendre, les membres n'étant plus fonctionnels, c'est l'exosquelette qui traduit et qui fonctionne à la place du corps de l'utilisateur. Par exemple, pour une personne paraplégique, l'exosquelette porte l'utilisateur et marche à sa place. Il ne faut pas croire que la technologie fait fonctionner à nouveau les muscles de l'utilisateur.

Bien évidemment, tous ces éléments fonctionnent grâce à une batterie intégrée au système. Celle-ci alimente l'exosquelette le temps de son fonctionnement. Elle doit donc être rechargeable et remplaçable. Celle-ci est généralement intégrée au niveau du dos de l'utilisateur ainsi que l'ordinateur embarqué. Tous les composants sont étudiés électroniquement pour réaliser leur fonction, mais ils sont également réalisés avec des matériaux les plus légers possibles. En effet, plus l'exosquelette sera léger, moins l'utilisateur aura mal pour le faire fonctionner.

Enfin, tous ces éléments électroniques sont intégrés dans un cadre permettant d'éviter de casser les composants, de voir les fils électriques les reliant mais également afin de rendre l'exosquelette plus agréable à regarder. Ce cadre est, lui aussi, bien évidemment, le plus léger possible. Il est généralement fabriqué avec des matériaux en aluminium, titane ou lithium. Celui-ci doit être suffisamment solide pour soutenir le corps ainsi que le poids de l'exosquelette. Le cadre disposera également d'un nombre d'articulations correspondant à celle du corps (genoux, coudes, hanches, chevilles).

Pour mieux comprendre tout ce qui vient d'être expliqué, la figure 2 et la figure 3 permettent de voir les différents éléments sans le cadre.



*Figure 4 [3 bis]*

En résumé, nous avons une technologie de pointe permettant de réaliser de véritables miracles. L'exosquelette fait donc partie des avancées médicales les plus importantes.

Les principaux fabricants de l'exosquelette ont leur entreprise éparpillée dans le monde, elles sont situées au Japon, aux Etats-Unis, en Israël et en Nouvelle-Zélande. Ces sociétés ne sont pas nées au même moment, mais sont venues au monde pour le même objectif : améliorer la vie des personnes à mobilité réduite. Et pour cela, elles ont toutes concentré leurs recherches sur l'invention d'un homme : celle de l'exosquelette.

Nom de l'entreprise	Pays	Nom de l'exosquelette
Argo Medical Technologies	Israël	ReWalk
Berkeley Bionics	Etats-Unis	Ekso (anciennement eLEGS)
Cyberdyne	Japon	HAL
Rex Bionics	Nouvelle-Zélande	Rex

Tableau 1

Nom de l'entreprise	Date de fondation	Site web	Produits de l'entreprise
Argo Medical Technologies	2001	<a href="http://www.argomedtec.com/">http://www.argomedtec.com/</a>	Exosquelette ReWalk
Berkeley Bionics	2005	<a href="http://eksobionics.com/">http://eksobionics.com/</a>	Exosquelette Ekso
Cyberdyne	Juin 2004	<a href="http://www.cyberdyne.jp/english/">http://www.cyberdyne.jp/english/</a>	-Equipements médicaux, bien-être (exosquelette HAL) -Equipements pour le sauvetage sur des lieux de catastrophe
Rex Bionics	2003	<a href="http://www.rexbionics.com/">http://www.rexbionics.com/</a>	Exosquelette Rex

Tableau 2

D'après ce deuxième tableau, nous pouvons comprendre que l'exosquelette est la principale, voire la seule technologie, produite par les entreprises. Seule l'entreprise située au Japon étend ses recherches sur d'autres horizons, tout en restant dans le domaine de l'électronique médicale. Cette entreprise, nommée « Cyberdyne », est celle créée par l'inventeur de l'exosquelette.

## 1.2. Evolution parallèle de l'électronique médicale et innovations appliquées à la mobilité

Mais qui a eu l'idée de cette véritable innovation ? C'est le Professeur Sankai de l'Université de Tsukuba (préfecture d'Ibaraki) comme on peut le voir sur la figure ci-dessous.



Figure 5 [5]

Ce chercheur a débuté ses recherches sur l'exosquelette en 1997. Le Professeur SANKAI, fasciné par la robotique, cite en parlant de sa société Cyberdyne : « Nous ne faisons des robots que pour aider l'homme ».

Mais d'où vient cette idée de la création de l'exosquelette et quels équipements le précèdent ?



Figure 6 [6]

Le fauteuil roulant fut une véritable innovation pour les paraplégiques et tétraplégiques voulant se déplacer. Comme toute technologie, il y eut plusieurs générations : [7]

- 1655 : construction de la première chaise à propulsion manuelle par Stephen Farfler (paraplégique) à 22 ans
- 1783 : modèle trois roues, John Dawson (considéré comme le premier fabricant de fauteuils roulants)
- 1881 : premiers arceaux qui permettent de manipuler le fauteuil de manière indépendante
- 1916 : premier fauteuil motorisé
- 1933 : Herbert A. Everest & HC Jennings inventent le premier fauteuil roulant en métal et pliable (Los Angeles)

Comme nous l'avons cité dans l'introduction de ce rapport, 60 millions de personnes dans le monde entier dépendent de fauteuils roulants. Bien que la qualité des fauteuils roulants se soit considérablement améliorée au cours des dernières décennies, les options pour les personnes avec des handicaps moteurs sont encore limitées.

En effet, il faut savoir que marcher est important, non seulement pour l'amélioration évidente de la qualité de la vie, mais également dans l'amélioration de la santé des personnes avec des handicaps moteurs. Les humains n'ont pas été conçus pour rester assis durant des heures. Une

position assise constante résulte en des douleurs dues à la pression, des muscles atrophiés au niveau des jambes, et des os fragiles. Les utilisateurs de fauteuil roulant ont également un risque élevé de syndrome du canal carpien ou de microtraumatismes répétés dû à l'impact constant des mains sur les roues. Bien que les fauteuils roulants offrent la liberté aux personnes qui souffrent de handicap moteur, elle a un prix. Les exosquelettes offrent enfin aux utilisateurs de fauteuil roulant une option alternative de mobilité. [8]

- 2009 : apparition du premier exosquelette permettant aux personnes avec des handicaps moteur limités de certains membres de pouvoir marcher à nouveau

Cette innovation est une véritable révolution. Bien évidemment, la première génération d'exosquelettes ne sera pas idéale. Ces exosquelettes sont lents et encombrants. Les premiers exosquelettes seront également extrêmement chers et évalué à des prix trop élevés pour que la plupart des utilisateurs de fauteuil roulant en profitent. Mais il ne faudra pas longtemps pour que des progrès soient faits, et qu'une deuxième, une troisième et une quatrième génération d'exosquelettes soient développées, qui seront plus légers, plus rapides et moins onéreux.

Nous avons étudié l'historique des équipements nés pour aider les personnes paraplégiques et tétraplégiques. Pour ce qui est des personnes manquant de force, aucune technologie permettant de retrouver la force initiale du patient n'avait fait son apparition jusqu'à présent. Seules des séances de kinésithérapie permettaient aux patients de muscler leur membre. Le seul problème c'est que ce traitement n'est pas radical, les patients retrouvent petit à petit un peu de leur force, mais n'auront jamais la force qu'ils avaient avant leur accident. C'est pour cela que l'exosquelette leur permet de retrouver leur force initiale sans produire trop d'efforts.

chiffre d'affaires :

ventes, profits...

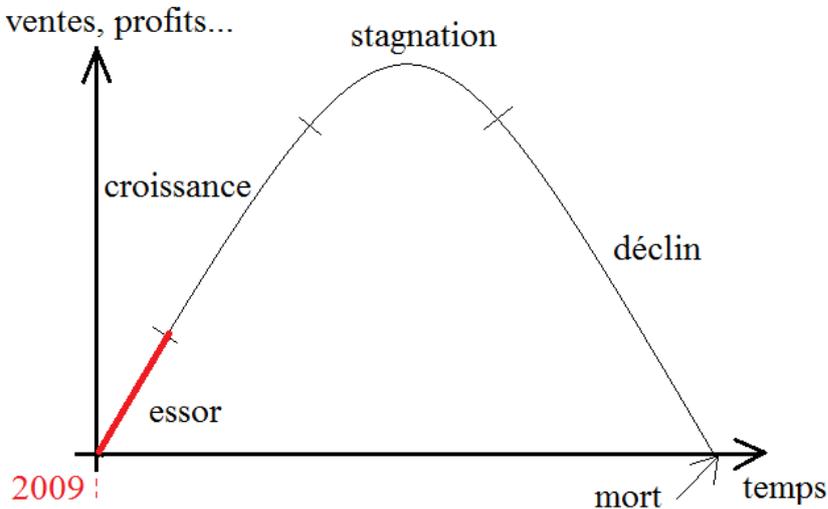


Figure 7

Sur la Figure 7, nous pouvons voir (en rouge) que l'exosquelette est né en 2009 et qu'il est une technologie actuellement en plein essor. Pour le moment, les principaux utilisateurs des exosquelettes sont les hôpitaux. Pour cela, les fabricants ont dû déposer des brevets et essayer d'être apte à certaines normes afin de pouvoir le commercialiser dans des hôpitaux situés dans des pays qui en ont besoin pour la rééducation de certains patients.

Pour l'exosquelette HAL (Japon) :

D'après le rapport annuel (2005) de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle, parmi les 125 292 demandes internationales de brevet (PCT) publiées en 2005 figure

l'invention de l'exosquelette par le professeur Sankai de l'Université de Tsukuba (Japon) conçu pour aider les personnes âgées ou handicapées à marcher, monter des escaliers ou soulever des objets lourds.

Pour l'exosquelette ReWalk (Israël) :

Le magazine TIME a classé cette invention dans le top des 25 meilleures inventions 2013. La compagnie « Argo Medical Technologies », a développé ce dispositif pour donner plus d'autonomie à ceux qui en ont le plus besoin. L'exosquelette ReWalk est disponible en Europe et a été approuvé par la FDA (Food and Drug Administration). Enfin, Rewalk était une des 7 innovations israéliennes présentées à Barack Obama en mars 2013 lors de sa visite officielle en Israël. [9]

Pour l'exosquelette Rex (Nouvelle-Zélande) :

La société Rex Bionics a déposé un brevet en 2009 pour l'exosquelette Rex sous le nom « système de commande d'aide à la mobilité » à l'Office de la propriété intellectuelle du Canada pour son exosquelette Rex. Ce brevet a été publié en 2011. [10]

Les japonais ont mis au point l'exosquelette HAL capable de révolutionner notre façon de travailler ou notre façon de vivre. Ayant reçu la norme CE (Conformités Européennes) en Allemagne (août 2013), ce robot à tout faire devrait donc être utilisé dans les hôpitaux d'Europe très prochainement. [11]

Après avoir défini et expliqué le fonctionnement d'un exosquelette, après avoir cité ses principaux fabricants situés aux quatre coins du monde, nous avons compris que cette nouvelle technologie est principalement la progression technique et médicale du fauteuil roulant. Afin d'être commercialisé, les fabricants ont dû déposer des brevets et recevoir certaines normes. Mais tout ce processus a un prix, nous allons maintenant étudié les conséquences de l'apparition de cette innovation technologique, ainsi que les solutions pour l'améliorer et pour diminuer le coût de cette technologie de pointe.

## **2. LES PROMESSES MEDICALES, INDUSTRIELLES ET SOCIALES**

### **2.1. Les raisons d'apparition et de diffusion de l'exosquelette**

Nous avons parlé auparavant d'exosquelettes conçus pour les personnes ayant des problèmes de force et pour les paraplégiques. Mais nous avons également cité un exosquelette pour les tétraplégiques. Il faut savoir que l'entreprise Cyberdyne, première société à avoir produit un exosquelette, est en avance sur ses concurrents puisqu'elle a déjà conçu deux types d'exosquelette : HAL 3 pour les jambes uniquement (dédié aux paraplégiques) et HAL 5 pour les jambes, les bras et le torse (dédié aux tétraplégiques). La France est en deuxième position pour la conception d'exosquelette pour les tétraplégiques. En effet, celui-ci est encore au stade pré-expérimental, les chercheurs veulent encore affiner quelques détails, sa date de sortie est prévue pour 2014. L'entreprise travaillant sur ce projet est nommée Cea Technologies, elle a mis 10 ans pour mettre au point cette technologie dédiée aux personnes ne pouvant se déplacer jamais seules puisqu'elles n'ont pas l'usage de leur bras. Le service Recherche et Développement (R&D) a donc eu l'idée de créer l'exosquelette EMY pour améliorer le quotidien des futurs utilisateurs et leur faciliter leur déplacement en les laissant autonomes. [12] [13]



Figure 8 [14]

La figure 8 est une image issue du film « Intouchables », film français sorti en 2011 au cinéma. Ce film raconte l'histoire d'un tétraplégique qui cherche une personne pour l'aider afin de faciliter son quotidien. Il trouve une personne qui n'a pas pitié de lui, ce qui est rare pour des personnes en fauteuil. En effet, ces personnes sont souvent perçues comme des personnes handicapées, ce qui affecte leur santé mentale. Dans ce film, la personne tétraplégique est plus heureuse lorsque l'humour fait son apparition, ce qui est une bonne chose puisque le rire est cause de beaucoup d'effets positifs. Mais ne pensez-vous pas que marcher à nouveau serait un meilleur moyen pour retrouver le moral ? En effet, rien que le fait de se tenir debout, de ne plus être à la hauteur des enfants, permet aux personnes en fauteuil de se sentir mieux. Les personnes tétraplégiques ont besoin d'une assistance permanente pour assurer leur quotidien. Un exosquelette spécialement conçu pour elles permettrait donc d'améliorer leur santé physique mais également mentale.

L'objectif principal de l'exosquelette est de permettre aux personnes avec des problèmes moteurs de pouvoir fonctionner leur membre sans difficulté. Un des autres objectifs des entreprises est de pouvoir laisser les utilisateurs autonomes et surtout sans risque de tomber. Pour cela, les chercheurs essayent de trouver une solution afin de contrôler l'équilibre et la démarche des utilisateurs.

Pour l'instant, la plupart des exosquelettes actuels ne fournissent pas de contrôle de l'équilibre, ni de la démarche. Les exosquelettes actuels requièrent que le porteur dispose suffisamment de force dans la partie supérieure du corps afin que l'exosquelette et son porteur ne s'écroulent pas. L'équilibre des exosquelettes actuels est généralement contrôlé par l'utilisation de béquilles. De plus, la plupart des exosquelettes actuels n'imitent pas la démarche humaine normale. En effet, marcher a été décrit comme « une chute contrôlée vers l'avant ». A chaque pas, l'utilisateur penche son corps vers l'avant, et il déplace l'autre pied pour se rattraper et empêcher que son corps ne heurte le sol.

Les exosquelettes du futur disposeront probablement de systèmes de contrôle intégrés pour empêcher le porteur de tomber et de contrôler la démarche qui imitera le mouvement physiologique humain normal. L'exosquelette étant un système technologique récent, la R&D ne peut que progresser pour innover la technologie et permettre de mettre en place plusieurs générations d'exosquelette.

Une autre façon d'innover l'exosquelette est de changer les composants du système. Par exemple, il peut y avoir des exosquelettes fonctionnant à :

- l'énergie électrique (moins de force, plus d'autonomie)
- l'énergie hydraulique (plus de force, moins d'autonomie)

Dans ce cas, il faut peser le pour et le contre et connaître au mieux les besoins des utilisateurs.

## 2.2. Opportunités et limites à la création d'un marché de large échelle

Actuellement, le principal inconvénient de l'exosquelette est son prix. Il est beaucoup trop élevé : minimum 80 000 \$ pour un exosquelette pour les jambes seulement. Il s'élève même à 130 000 \$ pour l'exosquelette Ekso (Etats-Unis). [15] Les exosquelettes sont principalement utilisés par les hôpitaux pour des tests de rééducation sur des patients, mais sont également vendus, que très rarement, aux particuliers. Les acheteurs espèrent un prix plus abordable d'ici 2016, on pourra espérer un prix environ égal à 30 000 \$, ce qui reste encore très onéreux.

L'un des principaux problèmes liés à la demande est qu'il n'existe aucun remboursement de la sécurité sociale pour l'instant. Cependant, pour permettre d'être utilisé par des particuliers, il y a possibilité de louer l'exosquelette HAL de la société Cyberdyne, il faudra déboursier 1 600 € / mois pour les deux jambes de l'exosquelette HAL ou 1100 € / mois pour une seule jambe. [16]

Evidemment, la première génération d'exosquelettes ne sera pas idéale. Ces exosquelettes sont lents et encombrants. Les premiers exosquelettes seront également extrêmement chers et évalué à des prix trop élevés pour que la plupart des utilisateurs de fauteuil roulant en profitent. Mais il ne faudra pas longtemps pour que des progrès soient faits, et qu'une deuxième, une troisième et une quatrième génération d'exosquelettes soient développées, qui seront plus légers, plus rapides et moins onéreux.

La question que l'on peut alors de poser est : Comment réduire les coûts? Il faudrait fabriquer en plus grande série les pièces mécaniques, ainsi que de diminuer le coût de fabrication des machines pour vendre ces exosquelettes en plus grand nombre réalisant des économies d'échelle. L'entreprise japonaise Cyberdyne vise une production de 400 unités par an. Selon le succès rencontré, la production pourra être augmentée jusqu'à 10 000 combinaisons robotique. [17]

Cette augmentation de la production pourrait voir le jour si les entreprises fabriquant les exosquelettes pour le domaine médical s'alliaient avec celles produisant des exosquelettes pour le domaine militaire. Par exemple, le premier exosquelette militaire européen, nommé Heraclès, anciennement Hercule, est développé par la PME française RB3D (Robotique 3D) et soutenu par le ministère de la Défense, à travers un financement de 1,8 millions d'euros par la Direction Générale de l'Armement. Cet exosquelette permet aux militaires d'avoir plus de force et donc de porter des charges de 100 kg. Il a nécessité un développement estimé à 2,7 millions d'euros. Ses premiers tests de qualification ont eu lieu en 2012 et sa commercialisation est prévue pour 2014. Il pourrait même équiper l'armée française en 2015. Son prix serait estimé pour le moment à 20 000 euros. Par conséquent, si les entreprises médicales et militaires se rallient, le coût de production de l'exosquelette pourrait donc diminuer. [16] [18] [19]

Une autre idée serait de construire les exosquelettes grâce à une nouvelle innovation technologique : l'imprimante 3D. Ainsi, le coût pourrait être diminué par dix. Des étudiants de l'université de Pennsylvanie sont parvenus à fabriquer un exosquelette des membres supérieurs grâce une imprimante 3D, celui-ci permet de démultiplier la force de traction, cette invention leur a valu de remporter le James Dyson Award. [20]

Un autre inconvénient de l'exosquelette est qu'il est assez lourd et nécessite une batterie ayant une durée de vie assez courte. En effet, le poids d'un exosquelette varie selon les fabricants, il

est compris entre 15 et 39 kg pour les exosquelettes dédiés aux paraplégiques. La durée de vie d'une batterie est comprise entre 2h et 8h. La vitesse est lente, mais ceci n'est pas vraiment un problème car avec une vitesse lente, l'utilisateur a plus d'équilibre. Dans le cas de l'exosquelette destiné aux paraplégiques, leur santé est également une limite à l'utilisation de l'exosquelette. En effet, le patient doit être adulte, à mobilité réduite au niveau des membres inférieurs, et qui doit avoir des mains, des bras et des épaules en bonne santé, ainsi que la capacité de se tenir debout (squelette et système cardio-vasculaire sains). L'exosquelette est destiné aux personnes pouvant se transférer à partir d'un fauteuil roulant vers une chaise et mesurant entre 1,46 m et 1,95 m, pesant au maximum 100 kg, et ayant un tour de hanches maximal (non défini). [1]

Tous ces inconvénients sont des limites à la création d'un marché à grande échelle. En effet, il faudrait améliorer ces critères avant de les produire en grande quantité.

## CONCLUSION

L'exosquelette est une véritable innovation technologique dans le monde de la biotique. Il permet aux personnes démunies de force d'avoir à nouveau la force nécessaire pour vivre convenablement. D'un point de vue médical, ce système est principalement utilisé pour les personnes atteintes de paraplégie. En effet, celles-ci sont capables de marcher à nouveau grâce à cette invention. Les recherches futures sont portées sur l'amélioration de l'exosquelette afin qu'il puisse être utilisé par les personnes tétraplégiques ainsi que sur le contrôle de l'équilibre afin de ne plus avoir besoin de béquilles pour se déplacer. Pour commercialiser ce nouveau produit, les fabricants ont dû déposer des brevets et recevoir des normes afin de le vendre sur d'autres continents. A ce stade, l'exosquelette est principalement utilisé par les hôpitaux pour la rééducation des patients touchés à la moelle épinière. Cependant, des particuliers peuvent également l'acheter à condition de déboursier une somme très conséquente. Etant une innovation technologique très récente, l'exosquelette a encore des années, voir des décennies, pour prouver qu'il a bien sa place dans le monde de la biotique. Pour cela, les scientifiques vont devoir améliorer certains paramètres comme diminuer son poids, augmenter la durée de vie de la batterie ou encore permettre à d'autres personnes d'une certaine corpulence de pouvoir l'utiliser.

Permettre aux paraplégiques de marcher à nouveau est un incroyable exploit. Le monde de la biotique est entouré de chercheurs, scientifiques et médecins, qui permettent aux personnes malades de retrouver une vie plus agréable grâce au progrès de l'électronique et de l'informatique. Grâce aux exosquelettes, les paraplégiques peuvent devenir à nouveau autonome et marcher de longues distances. En effet, Claire LOMAS, une anglaise atteinte de paraplégie, a su parcourir le marathon de Londres de 42 km en 16 jours grâce à un exosquelette. Même si son action est destinée à la recherche sur l'exosquelette, elle a su développé une certaine force morale pour marcher autant. Il est donc évident, selon l'avis des chercheurs et des patients que l'exosquelette a un impact sur le moral des patients qui l'utilisent, ce qui est « une incroyable fierté pour les chercheurs et pour les familles des malades ».

Pour le moment l'exosquelette est utilisé par des personnes manquant de force dans leurs bras, pour celles atteintes de paraplégie ou de tétraplégie, c'est-à-dire pour toutes celles ayant un cerveau fonctionnel. Mais qu'en est-il pour celles dont le cerveau n'est fonctionnel qu'à moitié comme pour les hémiplégiques ? (voir la différence des maladies en annexe) En effet,

pour l'instant l'utilisateur contrôle son exosquelette grâce à son cerveau qui envoie des impulsions aux capteurs. Serait-il alors possible qu'une personne atteinte du cerveau puisse contrôler lui-même son exosquelette ou est-elle condamnée à l'utiliser via l'aide d'une tierce personne ?

## REFERENCES

[3] et [3bis] : « Exosquelette Ekso Bionics, la robotique pour faire marcher les paralytiques », <http://www.robotiz.com/exosquelette-ekso-bionics-robotique-marcher-paralytiques/>, vu le 11/12/2013

[1] : EMMER Gene, « Exosquelette », <http://www.exosquelette.fr/>, vu le 11/12/2013

[2] : « Support-Bras Exosquelette X-Ar (Côté Droite) », <http://www.robotshop.com/ca/fr/support-bras-exosquelette-x-ar-droite.html>, vu le 11/12/2013

[4] : EMMER Gene, « Exosquelette », <http://www.exosquelette.fr/comment-fonctionne-un-exosquelette.html>, vu le 11/12/2013

[5] : PETREAULT Clément & DUVAUCHELLE Antoine, « En direct d'Innoro, l'incroyable invention du Professeur Sankai », [http://www.lepoint.fr/high-tech-internet/en-direct-d-innoro-l-incroyable-invention-du-professeur-sankai-16-03-2012-1441914\\_47.php](http://www.lepoint.fr/high-tech-internet/en-direct-d-innoro-l-incroyable-invention-du-professeur-sankai-16-03-2012-1441914_47.php), vu le 11/12/2013

[6] : ALZIEU Gaëtan, « Exosquelettes motorisés : les premières étapes avant Iron Man », <http://www.lesnumeriques.com/robot/exosquelettes-motorises-premieres-etapes-avant-iron-man-a1663.html>, vu le 11/12/2013

[7] : STEINIER Philippe « Original : il était une fois l'histoire du fauteuil roulant ! », <http://www.handimobility.org/blog/original-il-etait-une-fois-lhistoire-du-fauteuil-roulant/>, vu le 11/12/2013

[8] : EMMER Gene, « Exosquelette », <http://www.exosquelette.fr/introduction.html>, vu le 11/12/2013

[9] : COHEN Diane, « "Best Inventions du TIME" : le ReWalk venu d'Israël », <http://www.israelvalley.com/news/2013/11/21/41804/top-25-du-best-inventions-du-time-le-rewalk-venu-d-israel>, vu le 11/12/2013

[10] : <http://brevets-patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/fra/brevet/2769975/sommaire.html>, vu le 11/12/2013

[11] : SIRENKO Laurane, « Les exosquelettes feront leurs premiers pas dans les hôpitaux européens », <http://www.zurbains.com/sante/les-exosquelettes-feront-leurs-premiers-pas-dans-les.html>, vu le 11/12/2013

[12] : « EMY – L'exosquelette 4 membres du CEA LIST au SIGGRAPH 2013 », <http://www-list.cea.fr/fr/systemes-interactifs/390-emy-au-siggraph>, vu le 11/12/2013

[13] : ALZIEU Gaëtan, « Innoro : un exosquelette pour faire marcher les "intouchables" », <http://www.lesnumeriques.com/robot/innorobot-exosquelette-pour-faire-marcher-intouchables-n28794.html>, vu le 11/12/2013

[14] : « Intouchables », <http://blogs.furman.edu/frenchlanguagehouse/2012/09/25/intouchables/>, vu le 11/12/2013

[15] : VILSALMON Corentin, « Un nouvel exosquelette permet aux personnes paraplégiques de remarcher presque normalement », <http://dailygeekshow.com/2013/09/05/un-nouvel-exosquelette-permet-aux-personnes-paraplegiques-de-remarcher-presque-normalement/>, vu le 11/12/2013

[16] : « Les exosquelettes entrent dans le commerce », <http://lewebpedagogique.com/exosquelettebionique/2013/02/10/192/>, vu le 11/12/2013

[17] : « Cyberdyne vend son exosquelette HAL pour 4200\$ », <http://www.robotblog.fr/exosquelettes/cyberdyne-vend-son-exosquelette-hal-pour-4200-1212>, vu le 11/12/2013

[18] : « La DGA présente l'exosquelette Hercule nouvelle version », <http://www.defense.gouv.fr/actualites/economie-et-technologie/la-dga-presente-l-exosquelette-hercule-nouvelle-version2>, vu le 11/12/2013

[19] : « RB3D : Trois millions d'euros pour l'exosquelette Héraclès », <http://www-list.cea.fr/fr/systemes-interactifs/362-rb3d-trois-millions-d%E2%80%99euros-pour-lexosquelette-heracles>, vu le 11/12/2013

[20] : « Titan Arm vous file un coup de main », [http://www.jim.fr/e-docs/00/02/2A/DD/document\\_actu\\_pro.phtml](http://www.jim.fr/e-docs/00/02/2A/DD/document_actu_pro.phtml), vu le 11/12/2013

## ANNEXE

*Les différents cas de mobilité réduite :*

