

# Actualités et nouveautés en rééducation (aide à la marche, stimulation électrique fonctionnelle, réalité virtuelle, chirurgie du membre supérieur)

## I. Dr. Thierry Albert (Médecine Physique et Réadaptation, CRRRA de Coubert)

Je vous remercie de m'avoir invité. Je travaille au centre de réadaptation de Coubert où nous nous intéressons à de nouvelles techniques de marche. Je vais vous parler des nouvelles techniques de réentraînement locomoteur chez le blessé médullaire incomplet - elles ne concernent donc pas le blessé médullaire complet qui n'a pas récupéré de motricité ou de sensibilité.



Le Dr Thierry Albert

Des chercheurs canadiens ont commencé à utiliser la technique de rééducation de la marche sur tapis roulant avec allègement partiel du poids du corps (Body Weight Support Treadmill Training, BWSTT) sur le chat. Ces chercheurs ont constaté que le réentraînement spécifique sur tapis roulant permettait aux chats spinalisés de mieux récupérer la marche lorsque leur arrière-train était soutenu. Ces expérimentations ont permis de mettre en avant l'intérêt et la plasticité du système nerveux central et de la moelle épinière ; par la suite, elles ont servi à de multiples études pharmacologiques. Avec d'autres équipes dans le monde, ces chercheurs canadiens ont cherché à utiliser cette technique chez l'homme. Certaines équipes ont mené des travaux expérimentaux avec des blessés médullaires complets - je ne développerai pas ces travaux puisqu'ils n'ont pas d'application clinique dans les centres de rééducation. En outre des expérimentations ont été menées chez les blessés médullaires incomplets ; je vous en présenterai les résultats.

Au cours de mon intervention, j'aborderai les questions suivantes.

- Quels sont les matériels utilisés et les modalités pratiques d'utilisation ?
- Quels sont les principes qui différencient le BWSTT des techniques classiques (station debout, marche, déambulateur) ?
- Quelle est l'efficacité du BWSTT par rapport aux techniques classiques ?

Il existe différents matériels et modalités d'utilisation pratique.

- **suspension et allègement + marche au sol entre des barres parallèles**  
Cette technique a été utilisée il y a presque 100 ans par les pionniers de la rééducation neurologique. Par la suite, elle est quelque peu tombée en désuétude. La personne est prise dans un harnais relié à un treuil qui permet d'alléger le poids du corps ; la personne est réentraînée à marcher sur le sol entre des barres parallèles. Cette technique est très appréciée par les kinésithérapeutes et par les patients car elle rassure et permet de se remettre dans un schéma de rééducation de la marche se assez précocement.

- **suspension et allègement + marche sur tapis roulant**

Le tapis roulant permet au kinésithérapeute de ne pas avoir à se déplacer avec le patient et d'exercer son travail technique de guidage des membres aux pieds du patient. Une assistance physique est nécessaire pour aider le patient, en fonction de sa force de récupération. Un à trois thérapeutes peu(ven)t intervenir sur les différents membres. Grâce à la suspension et au tapis roulant, les patients arrivent à effectuer des pas sur le tapis roulant, alors que cela ne paraissait pas vraiment possible *a priori*.

- **le Gait Trainer**

Ce système motorisé a été inventé par le Dr. Hesse à Berlin ([www.reha-hess.de](http://www.reha-hess.de)). Cet appareil permet d'alléger partiellement le poids du corps du patient ; ses pieds sont pris dans des pédales qui reproduisent un cycle de marche. Le patient effectue donc des mouvements proches de ceux que l'on peut effectuer sur des vélos elliptiques. Cet appareil est surtout préconisé chez les hémiplegiques. La vitesse et la longueur du pas peuvent être réglées.

- **le Lokomat**

Cet appareil a été créé par G. Colombo en Suisse ([www.hocoma.ch](http://www.hocoma.ch)) pour les blessés médullaires. Il permet d'alléger partiellement le poids du corps, avec un harnais situé au-dessus de la tête. Le patient marche sur un tapis roulant. Autour de ses jambes, des robots externes sont placés pour mobiliser la chambre selon un schéma de marche quasiment normal. Le patient doit faire de son mieux pour accompagner le mouvement des robots. Il s'agit donc d'un travail actif-aidé (par le kinésithérapeute) ; l'aide apportée est manuelle ou mécanique. Quelques appareils de ce type sont utilisés en France ; les résultats obtenus sont assez intéressants.

- **le Réo Ambulator**

Plus récente, cette machine a été développée par Motorica aux Etats-Unis et va commencer à apparaître en Europe. Le patient est suspendu par un harnais. Des systèmes robotisés de jambes mobilisent les jambes du patient selon un schéma de marche. Cet appareil sera prochainement testé en France dans un centre.



La rééducation par BWSTT repose sur les principes suivants :

- reproduire une cinématique articulaire le plus proche possible de la normale ;
- favoriser l'extension de hanche en fin de phase portante, l'alternance flexion/extension du genou, le bon placement du pied ;
- éviter l'utilisation d'orthèses, qui ont tendance à inhiber la motricité résiduelle ;
- adopter une vitesse de tapis roulant confortable, mais rechercher une vitesse la plus rapide possible (proche de la vitesse normale de la déambulation avant l'accident) ;

- maintenir une extension correcte du tronc ;
- synchroniser et coordonner les phases des deux membres inférieurs (phase portante/phase oscillante) ;
- éviter l'appui des membres supérieurs et favoriser la coordination des ceintures ;
- rechercher un grand nombre de répétitions de cycles de marche (en fonction de la fatigabilité).

En général, les protocoles prévoient 3 à 5 séances de 30-60 minutes par semaine, durant 1 à 5 mois, à la phase aiguë (proche de l'accident) ou chronique. Les contre-indications sont identiques à celle de la rééducation de la marche. La sensation d'oppression possible avec le harnais (cisaillement inguinal) constitue un effet indésirable. Le BWSTT pose un certain nombre de problèmes pratiques (temps et difficultés de réglage correct du harnais, de transfert et d'installation du patient). En outre la pénibilité physique du travail sur tapis roulant est réelle pour le thérapeute.

Dans mon centre, j'essaie de mettre sur pied un atelier de marche - à l'image d'un atelier de balnéothérapie - avec une équipe « dédiée » ou une organisation spécifique. Des thérapeutes pourraient consacrer 6 à 12 mois aux techniques utilisées au sein de cet atelier ; ainsi ils seraient très efficaces et seraient à même de diversifier les séances - qui ne remplacent pas les séances traditionnelles - et de moduler le volume de travail en fonction de la fatigue occasionnée.

L'efficacité clinique de ces techniques chez le blessé médullaire incomplet est généralement évaluée dans le cadre d'études prospectives sans groupe témoin comparatif.

Ces études portent sur des patients ASIA « C » et « D » (incomplets moteurs capables d'effectuer des mouvements contre la pesanteur). L'évaluation de la marche est effectuée avant et après protocole. Les biais méthodologiques de ces études sont nombreux.

Toutes les études ont mis en évidence les résultats suivants :

- amélioration de la marche sur tapis roulant et sur le sol après la période de rééducation (vitesse, endurance, échelles fonctionnelles, condition physique générale) ;
- diminution progressive de l'allègement et de l'assistance nécessaire ;
- pas d'amélioration des déficiences analytique (force musculaire évaluée par le « testing ») ;
- pas d'aggravation de la spasticité.



Plusieurs études ont mis en évidence une amélioration fonctionnelle d'une marche utile chez des blessés médullaires incomplets « non marchants et anciens ». Les mêmes constatations ont été dressées avec les protocoles prospectifs non contrôlés utilisant le Lokomat (Wirz, 2005) ou les techniques robotisées.

D'une manière générale on peut donc affirmer que ces techniques présentent une certaine efficacité sur le réentraînement locomoteur du blessé médullaire incomplet aigu ou chronique. Certains auteurs cherchent à comparer ces techniques aux techniques

« classiques ». En 1995 et 1998, Wernig a montré que les améliorations étaient plus marquées avec le BWSTT qu'avec les techniques classiques. Toutefois il convient de préciser que ces dernières étaient utilisées par des patients suivis depuis dix ans, alors que le BWSTT était utilisé par des patients récents. La méthodologie de cette étude peut donc être discutée.

L'étude de Dobkin (2003) est beaucoup plus robuste. Il s'agit d'une étude multicentrique, contrôlée, randomisée, avec évaluation en simple aveugle. Cette étude portait sur 70 patients de moins de 8 semaines (ASIA B, C, et D) qui ont suivi un réentraînement de 12 semaines. Elle a permis de montrer une amélioration fonctionnelle des deux groupes sans différence entre les deux techniques. En outre elle a montré que le taux d'amélioration de la marche des patients ASIA C était globalement supérieur dans les deux groupes à ce qu'on voyait généralement dans les statistiques antérieures.

L'étude de Hornby en 2005 a montré que le Lokomat n'apportait rien de plus que les autres techniques, mais était moins fatigant pour les kinésithérapeutes et permettait une organisation des soins plus moderne et rentable.

L'étude de Postans (2004) a montré que le BWSTT complété par des stimulations électriques fonctionnelles permettait d'aboutir à une supériorité fonctionnelle.

Les protocoles de réentraînement par BWSTT améliorent l'adaptation cardiaque et respiratoire à l'effort, la tolérance au glucose, les capacités oxydatives musculaires, l'équilibre lipidique et la modification des proportions des différents types de fibres musculaires et de leur volume. En 2005, Giangregorio a montré que le BWSTT n'avait pas d'incidence sur la minéralisation osseuse.

Dès le stade précoce de la rééducation et en phase plus « chronique », le BWSTT et les équivalents robotisés présentent les intérêts suivants :

- un travail de marche plus précoce et en sécurité ;
- une mise en charge progressive et des vitesses adaptées aux possibilités motrices de la personne, parfois proche de la normale ;
- la correction de la position des articulations, de la longueur du pas, de la cadence (sur le principe d'une technique actif-aidée ou dispositifs robotisés) ;
- la réalisation de parcours longs et de cycles de marche répétitifs ;
- le réentraînement des systèmes cardiovasculaire et respiratoire avec amélioration de l'endurance à l'effort.

La « robotisation » diminue la contrainte des soignants, mais diminue probablement la finesse de l'assistance physique à apporter. Ainsi le robot aide les soignants, mais ne les remplace pas. Le BWSTT et les systèmes robotisés sont des techniques de stimulation de l'automatisme de marche et du système cardio-respiratoire qui doivent être complétées par une rééducation en situations écologiques vraies (parcours de marche, obstacles, etc.).

Il est désormais admis qu'il faut chercher à stimuler plus et mieux la plasticité du système nerveux lésé ainsi que le système cardio-respiratoire qui permet de faire l'effort physique. Ces principes n'étaient sans doute pas autant admis dans le passé. Le BWSTT et ses dérivés sont des méthodes de rééducation adaptées à cet objectif et complémentaires des techniques existantes. Ces techniques et dispositifs permettent sans doute d'améliorer la

« rentabilité » technique et organisationnelle de la rééducation dans les centres de rééducation.



Extraits du diaporama du Dr Th. Albert

Le BWSTT aura peut-être dans le futur, une place importante et synergique des autres traitements visant à réparer et à stimuler le système nerveux après une lésion (greffes neuronales, pharmacologie, neuromodulation).

Pour conclure, je vous présenterai un projet personnel qui vise à développer un nouveau dispositif de BWSTT que l'on installe à domicile pour le maintien d'un entraînement au long cours. L'objectif est de poursuivre la rééducation et le réentraînement de long terme sur tapis roulant à domicile avec l'aide de l'entourage ou en cabinet de kinésithérapie. Je suis en train de développer un appareil associant un tapis roulant et un dispositif d'allègement partiel du poids du corps. Le harnais de soutien serait placé au niveau du tronc, et non au-dessus du patient. La phase de R&D de ce projet est en cours. Pour mener à bien ce projet, il me faudra trouver un certain nombre de soutiens financiers. Mon appareil est pour l'heure à l'essai dans un service de rééducation.

## II. Dr. Charles Fattal (MPR, médecin-chef du CMN Propara)

Il n'était pas question de terminer cette matinée sans évoquer de manière plus spécifique la contribution de la recherche clinique appliquée auprès des tétraplégiques. Aux Pays-Bas et au Royaume-Uni, 565 tétraplégiques ont estimé que l'amélioration de la qualité de la vie passait - à un même niveau - par la restauration des fonctions des membres supérieurs, et l'amélioration de l'état vésico-sphinctérien, du transit intestinal et de l'évacuation des selles.

La recherche clinique appliquée doit s'appuyer sur l'interaction individu-environnement, car l'environnement constitue une donnée variable. Dans ce domaine, le champ d'intervention technologique est large.

En 2003, le Pr. Thoumie a établi les axes suivants de perspectives de recherche clinique dans la médecine physique de rééducation.



## 1. Le développement des techniques impliquant des systèmes implantés

En 2007, je ne pensais pas qu'il serait nécessaire d'évoquer la chirurgie fonctionnelle. J'ai constaté que nombre de blessés médullaires étaient sous-informés de l'importante contribution de la chirurgie fonctionnelle dans leur vie quotidienne. Il existe une certaine gradation du niveau de gravité et de sévérité du déficit moteur aux membres supérieurs. La chirurgie fonctionnelle consiste à dériver un muscle résiduel actif de sa fonction initiale pour l'insérer sur un autre muscle-tendon, et ainsi réanimer une nouvelle fonction. Cette dérivation suppose qu'un muscle « cousin » du muscle transféré soit capable d'assurer la fonction initiale.



Le Dr Charles Fattal

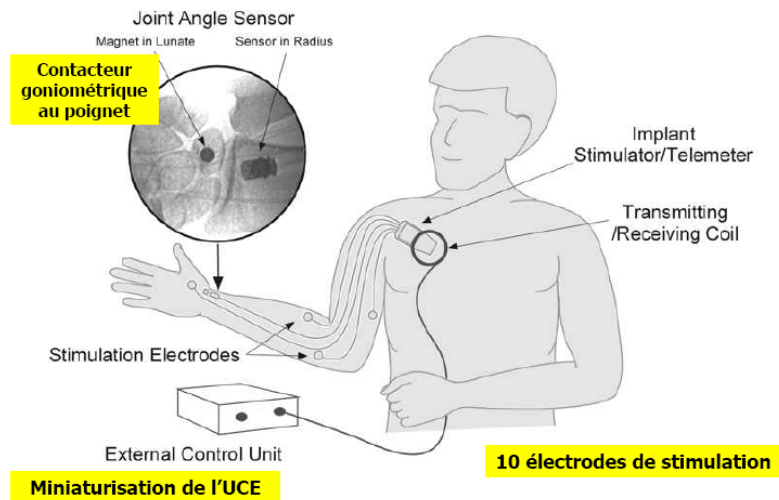
La chirurgie fonctionnelle permet tout d'abord d'assurer une extension active du coude. La technique la plus usuellement utilisée consiste à transférer le deltoïde postérieur (à l'arrière de l'épaule) pour l'insérer sur le triceps en interposant un tendon synthétique. Une autre technique consiste à transférer le biceps brachial vers le triceps brachial. Ces chirurgies sont très bien codifiées et apportent une aide fonctionnelle très appréciée des tétraplégiques (ex : propulser un fauteuil roulant, prendre un objet en hauteur, tirer une couverture en position allongée, etc.).

Pour améliorer la fermeture/ouverture des doigts, on peut amarrer des tendons. Quand les ressources sont disponibles, on peut également transférer un muscle pour générer l'ouverture/fermeture active des doigts, et la fermeture du pouce. Ces chirurgies sont dépendantes du niveau de ressources. La précision et la force issues du geste dépendent du panel de gestes chirurgicaux qui ont pu être réalisés.

Sept à huit patients sur dix peuvent bénéficier de la chirurgie fonctionnelle, y compris pour des objectifs modestes (ex : seulement étendre le coude). Un certain nombre de patients relevant du niveau 0 ou 1 (c'est-à-dire n'ayant pas de muscles actifs au-dessous du coude) peuvent bénéficier d'une chirurgie d'implantation d'une neuroprothèse, qui vise à générer une key grip et une fermeture des doigts. Cette expérience a été initiée il y a plus de 10 ans par une équipe américaine de l'université de Cleveland. Cette opération consiste à électro-stimuler des muscles dépendants des territoires médullaires sous lésionnels, à l'aide d'un stimulateur implanté dans la paroi thoracique en sous-cutané et de huit câbles destinés à huit muscles. L'épaule opposée orchestre les commandes, à l'aide de contacteurs reliés à une unité de contrôle externe posée sur le fauteuil. Les séquences motrices, paramétrées par un logiciel, sont transmises par une antenne au stimulateur.

Le document vidéo que je vous présente montre la contribution de cet appareil à une patiente qui avait le souhait de prendre la responsabilité d'une association et d'assurer un certain nombre de tâches d'écriture. Les images montrent que sa qualité d'écriture s'améliore sensiblement avec l'électrostimulation. 180 patients tétraplégiques à travers le monde ont bénéficié de cette implantation.

Il faut savoir que la société qui produisait cet appareil a brutalement cessé de le commercialiser. La patiente a vécu cet événement comme une deuxième rupture, car elle s'est sentie abandonnée après quelques mois d'utilisation de l'appareil. Aujourd'hui, j'estime que ma responsabilité éthique est engagée dans la mesure où je n'ai généré aucune qualité de vie supplémentaire vis-à-vis de cette patiente en implantant ce système. Cet exemple devrait inciter les chercheurs cliniciens et les chercheurs fondamentaux à prendre la mesure du décalage très important entre ce qu'ils peuvent apporter de performant et de spectaculaire, et la réalité marquée par l'absence d'impact sur la qualité de vie.



Extrait du diaporama du Dr Ch. Fattal

Les chercheurs ne se sont pas arrêtés à cette neuroprothèse de première génération, car celle-ci présentait un certain nombre d'inconvénients, en termes de fatigue musculaire, de risques d'infection liée à la présence de câble, de sélectivité de commande d'un muscle, d'absence de relation linéaire entre l'intensité et la contraction musculaire, de défaut d'ouverture complète des doigts, de latence entre la stimulation et le début de la contraction musculaire, et d'esthétique des différents dispositifs. La neuroprothèse de deuxième génération utilise un stimulateur implanté au niveau de l'épaule, des contacteurs goniométriques placés au poignet et une unité de contrôle externe miniaturisée. A ce jour, cette nouvelle neuroprothèse a été implantée chez 9 patients.

## 2. Le développement de dispositifs d'aides à l'apprentissage et à la rééducation

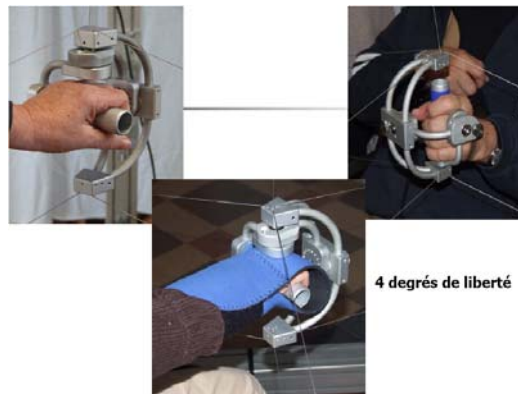
Ces dispositifs, qui introduisent les premiers éléments de réalité virtuelle (sans immersion), visent à reproduire des mouvements issus de la réalité et illustrés par des animations graphiques en 3D, auxquels sont associées des interfaces, notamment haptiques (fondées sur le retour d'efforts). Ce projet relève de la responsabilité de l'association APPROCHE qui fédère 12 établissements en France et qui vise à promouvoir les nouvelles technologies, dont la robotique. L'appareil que je vous présente permet aux patients d'exercer des manipulations sur quatre degrés de liberté dans le cadre de six scènes visuelles (jeux de raquettes, remontée d'un seau, activation de manivelle de moulin à café, jeu de pointage, superposition de cubes, rangement d'une bibliothèque).

Cette technologie présente les intérêts suivants :

- un apprentissage interactif et progressif ;

- un apprentissage guidé du geste sur des trajectoires programmées ;
- la capacité d'enregistrer ses performances et ses progrès ;
- la réalisation de mesures cliniques ;
- un caractère ludique et motivant ;
- un travail dans les limites de la douleur ;
- rééducation pouvant être relayée par certaines consoles de jeu.

La validation de cette technique devra être réalisée. En outre il faudra montrer qu'elle permet d'activer certaines zones cérébrales lors de ce type d'apprentissage effectué régulièrement.



Télé opérations à l'aide d'un bras à retour d'effort  
(Extrait du diaporama du Dr Ch. Fattal)

### 3. Les technologies de compensation de l'espace personnel et péri-personnel et les technologies de compensation de l'espace extra-personnel

Ce domaine fait l'objet de recherches importantes au sein d'APPROCHE qui visent à résoudre les problèmes d'interface homme-machine-environnement, et à assurer des nouvelles fonctionnalités en termes d'intelligence et de sécurité. Certains outils développés ont été mis sur le marché. Ainsi le Manus - bras embarqué sur fauteuil roulant - est commercialisé en Hollande. Il a fait l'objet d'un développement récent, à travers le projet Aviso (Assistance Par Vision à la Saisie d'Objets), pour apporter la possibilité de guider le mouvement du robot par asservissement visuel, et fournir à l'utilisateur une information sur la scène.

Un dernier exemple est celui de la conduite « mini-manche » non dynamique qui concerne, à ce jour, 90 conducteurs. Le véhicule se conduit à l'aide d'un joystick ; le conducteur embarque avec son fauteuil roulant. A l'arrêt ou 130 km/h, la démultiplication est identique : ce problème devra être réglé, car il a engendré un accident lié au fait que le conducteur avait éternué ! Le développement technologique de cette conduite « mini-manche » passe impérativement par l'asservissement de la commande mini-manche à la vitesse.

Voilà en quelques mots très brefs, un bref éventail de l'apport des technologies avancées dans l'assistance et la suppléance du déficit moteur chez le tétraplégique.



### III. Questions / réponses avec la salle

Audrey HENOCQUE, Association ALARME

L'intervention du Dr. Fattal a montré la lourdeur des systèmes de compensation du handicap. On peut espérer que la réparation de la moelle épinière sera possible au cours des 10-15 ans à venir pour permettre une récupération plus naturelle.

Les professeurs nous ont rappelé l'importance de la bonne forme physique. Que peut faire un tétraplégique en rééducation active à domicile pour se préparer à une intervention sur la moelle épinière qui devrait être possible dans quelques années ?



Dr. ALBERT

Vos propos mériteraient de longs débats. Lorsqu'on rentre chez soi, il est important d'entretenir la bonne souplesse de ses articulations et son état général. Sur le plan sensorimoteur, il est très difficile de s'entretenir à domicile. Pour les patients complets, nous n'avons pas la possibilité de leur faire une décontraction active. La pratique du pédalier thérapeutique me paraît intéressante, car il permet au patient d'effectuer des mouvements de pédalage guidés par la machine. Cet appareil n'est pas remboursé par la Sécurité sociale ; un autre modèle pourrait l'être bientôt.

Dans les pays de l'Est, ils réfléchissent à l'intérêt des stimulations électriques fonctionnelles dans le territoire sous lésionnelle pour entretenir des contractions musculaires vraies dans le but d'entraîner la trophicité musculaire. Ce champ intéressant a été mentionné dans un vieux livre du Pr. Guttman, pionner de la prise en charge de la paraplégie.

De la salle

En Hollande, une personne a inventé un appareil permettant de mobiliser les jambes à l'aide des bras, avec un système de cuissards munis d'électrodes. Des études ont montré que cet appareil permet de stimuler les principaux des muscles des jambes avec l'aide des bras ; en outre il permet de réduire la spasticité.

Dr. ALBERT

Certaines études ont démontré qu'une électrostimulation permet de diminuer la spasticité dans certains muscles. Toutefois, cet effet n'est pas systématique puisque certains patients ont observé une augmentation de la spasticité après avoir fait des électrostimulations. Il faut donc essayer ces techniques sur une période prolongée, avec l'aide d'une personne compétente, pour savoir si elles sont bénéfiques. Je n'ai pas d'informations sur le système que vous avez évoqué ; je serai intéressé de le connaître.

## De la salle

J'ai été transplanté des membres supérieurs. Cette opération m'a beaucoup apporté en mobilité, et m'a ainsi évité beaucoup de kinésithérapie. Je suis tétraplégique bas ; le fait d'avoir réanimé mes mains m'a apporté 100 % d'autonomie.

## Dr. FATTAL

Cette matinée a été très riche. Il est important que les thérapeutes prennent le temps d'écouter les patients. Cet après-midi, nous aurons l'occasion de lever un certain nombre de malentendus qui ont fait l'objet d'une grande médiatisation.