

Technologies du numérique et robotique: applications en rééducation

Auteurs : K. BAKHTI (kinésithérapeute) et I. LAFFONT¹, O. Remy NERIS², PA. JOSEPH³

1 Département de MPR, CHU de Montpellier

2 Département de MPR, CHU de Brest

3 Département de MPR, CHU de Bordeaux

Sommaire

[1 Introduction](#)

[2 Définitions](#)

[2.1 Technologies de l'Information et de la Communication \(TIC\)](#)

[2.2 Robotique de rééducation](#)

[2.3 Jeu vidéo, Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée](#)

[2.4 Web service en rééducation](#)

[3 Domaines d'application \(approches fonctionnelles\)](#)

[3.1 Marche : rééducation robotisée](#)

[3.2 Posture : plate formes de posturologie motorisées](#)

[3.3 Préhension : rééducation en réalité virtuelle et/ou robotisée](#)

[3.3.1 Rééducation robotisée et/ou mécanisée](#)

[3.3.2 Réalité virtuelle et jeu vidéo](#)

[3.4 Fonctions cognitives : place de la réalité virtuelle](#)

[4 Exemples démonstratifs](#)

[5 Perspectives](#)

[6 « Fenêtre surgissante » Exemple Démonstratif 1](#)

[7 Iconographie](#)

[8 Bibliographie triée](#)

Introduction

Actuellement, les technologies numériques et les dispositifs robotisés font partie des outils de rééducation régulièrement utilisés dans un nombre importants d'affections de toutes sortes : neurologiques, orthopédiques et rhumatologiques, sensorielles, psychiatriques.... Ces technologies présentent un intérêt pour l'évaluation et pour la pratique d'exercices de réentraînement des déficiences motrices et/ou cognitives.

Ces technologies s'appuient sur des moyens informatiques. Elles sont presque toujours composées:

- de jeux vidéos, exercices et simulation visant à la mesure et à la rééducation, éventuellement auto-adaptatifs aux performances du sujet, et le plus souvent paramétrables par le thérapeute,

- d'une ou plusieurs interfaces d'accès. Ces interfaces permettent au sujet de manipuler le jeu et visent un objectif thérapeutique (rééducation sensori-motrice d'un membre, rééducation posturale....). Certaines interfaces sont mobiles et motorisées : on parle alors d'interface « robotisée ». Seules les interfaces les plus spécifiques seront abordées ici : dispositifs électromécaniques, interfaces haptiques à retour de force, robots de rééducation, dispositifs de posturologie.

La conception de ces nouveaux outils repose sur une meilleure connaissance du mouvement et du contrôle moteur, de l'intégration sensorielle et cognitive, ainsi que des mécanismes d'apprentissage et d'adaptation chez l'homme. Les outils technologiques, parce qu'ils autorisent une analyse instrumentale fine et répétée dans le temps des actions des individus, peuvent permettre d'analyser finement les mécanismes physiologiques qui sous tendent l'effet de la rééducation et d'agir sur eux. Ainsi, au regard de la très faible efficacité prouvée des méthodes classiques de rééducation sur l'apprentissage cognitif ou moteur, on peut espérer une véritable structuration par ces technologies de nos méthodes de rééducation, à partir des théories de l'apprentissage et des acquis des neurosciences sur le contrôle moteur et la plasticité des systèmes. Ces technologies constituent ainsi une opportunité unique de construire les méthodes de rééducation de demain.

L'émergence de ces technologies ouvre par ailleurs la voie de nouvelles pratiques en médecine : serveurs web dédiés à la santé, télé-rééducation supervisée par un thérapeute en cabinet ou en institution. Les quelques projets ambitieux et préliminaires rapportés ici constituent les prémisses de l'évolution conceptuelle et organisationnelle qui se profile dans les dix années à venir à la faveur de ces évolutions technologiques.

Définitions

Technologies de l'Information et de la Communication (TIC)

On désigne sous le terme « Technologies de l'Information et de la Communication » l'ensemble des outils et des ressources technologiques permettant de transmettre, enregistrer, créer, partager ou échanger des informations, notamment les ordinateurs, l'internet (sites web, blogs et messagerie électronique), les technologies et appareils de diffusion en direct (radio, télévision et diffusion sur l'internet) et en différé (podcast, lecteurs audio et vidéo et supports d'enregistrement), et la téléphonie (fixe ou mobile, satellite, visioconférence, etc.).

Appliquées au domaine de la santé, les TIC font avant tout référence aux outils de télémédecine, mais également à certains types d'outils de rééducation qui se multiplient sur nos plateaux techniques : jeux vidéos, réalité virtuelle, robots de rééducation....

Robotique de rééducation

La robotique de rééducation a fait son apparition dans nos pratiques au début des années 90.

Le terme de « robotique de rééducation » englobe de nombreux dispositifs allant de simples dispositifs mécanisés de rééducation (qui ne sont pas à proprement parler des « robots » mais qui sont classés comme tels par analogie de forme), aux véritables robots équipés d'une motorisation. La motorisation, dans les systèmes les plus aboutis, est asservie aux mouvements du sujet : on parle alors de « dispositif motorisé interactif ».

Ces dispositifs ont d'abord été développés pour la rééducation des membres inférieurs. Les premiers outils robotisés de rééducation ont fait l'objet de nombreuses études cliniques s'attachant à démontrer leur efficacité. Longtemps discutée, celle-ci est à présent admise, même si les explications de cette efficacité de sont pas univoques : augmentation de la durée et de la quantité de la rééducation, motivation et adhésion en

rapport avec leur caractère ludique et le feedback convivial fourni par l'ordinateur, adaptabilité très importante de ces robots qui permettent de suivre l'évolution du patient et de paramétrer de façon très précise la difficulté de la tâche demandée. La grande particularité de ces robots est qu'ils reposent sur une modélisation du mouvement et de l'interaction entre un sujet et un autre (par exemple un thérapeute). Il s'agit donc d'outils puissants pour permettre une évolution des modalités de traitement de nos patients et pour en définir les composantes les plus efficaces.

Les robots de rééducation commercialisés disponibles sont de plus en plus nombreux et il n'est pas possible d'en dresser une liste exhaustive. Qu'il s'agisse de la rééducation du membre supérieur ou de la rééducation du membre inférieur, ces robots de rééducation ont été étudiés essentiellement dans des populations de patients cérébro-lésés (accidents vasculaires cérébraux ou traumatisés crâniens), de blessés médullaires et, plus récemment, d'autres affections neurologiques (paralysie cérébrale, sclérose en plaques).

Le point commun à tous ces systèmes est qu'ils fonctionnent via un ordinateur qui donne au patient un feedback du mouvement ou de la tâche réalisés : Feedback visuel sur l'écran de l'ordinateur, feedback auditif, et parfois feedback « haptique » (retour sensitif). La majorité d'entre eux, en particulier ceux qui sont destinés à la rééducation du membre supérieur, permettent une rééducation finalisée à travers des jeux vidéo.

Les modes de fonctionnement de ces robots de rééducation sont multiples et, pour le moment, leur intérêt respectif a été peu évalué (Marchal Crespo 2009) :

- Mode « arthromoteur » simple : le robot déplace passivement le(s) membre(s) atteint(s) sans aucune action volontaire du sujet.
- Mode « assistance » : le robot assiste ou complète le mouvement réalisé par le sujet. Dans les dispositifs interactifs, l'assistance peut être asservie aux contraintes de la tâche (exemple : « aimantage » par la cible à atteindre...), asservie au niveau de force développé par le sujet (exemple : en dessous d'un certain niveau de force, le robot aide le membre à se déplacer), asservie aux mouvements contralatéraux pour les dispositifs bi-manuels de rééducation du membre supérieur.
- Mode « perturbation » : le robot oppose une résistance au déplacement (et permet ainsi une forme de renforcement musculaire) ou induit des erreurs dans la réalisation de la tâche en vue d'influer sur les apprentissages du sujet.
- Mode « bi-manuel » avec asservissement des mouvements du membre atteint aux mouvements du membre controlatéral

Les grandes catégories de robots de rééducation peuvent être décrites de la façon suivante :

- Les « exosquelettes » ou « orthèses robotisées » qui ont plusieurs points de contact avec le membre du sujet et qui contrôlent le mouvement articulation par articulation. Le plus ancien et le plus répandu robot de rééducation de cette catégorie est le Lokomat® [Photo 1] dont il existe à présent de nombreux exemplaires vendus dans le monde. Les exosquelettes de rééducation du membre supérieur commercialisés sont beaucoup moins nombreux. On peut citer l'Armeo Power®, commercialisé par la société Hocoma.
- Les dispositifs qui contrôlent le déplacement du membre par l'intermédiaire d'un point de contact distal, sans contrôler les synergies articulaires.
 - Au membre supérieur, ces « manipulandums » permettent une rééducation « par le point de travail ». Ces systèmes motorisés proposent un allègement gravitaire et soutiennent l'avant bras soit par une gouttière, soit par des câbles. Exemples de robots de ce type : InMotion® [Photo 2], HapticMaster®, Nerebot®
 - Aux membres inférieurs le Gait Trainer® peut être classé dans cette catégorie.
 - Les robots de rééducation de la main et des doigts sont beaucoup plus confidentiels. Citons à titre d'exemple le robot Amadeo® commercialisé par la société Tyromotion.



[photo1-GD.jpg](#) Robot de rééducation à la Marche Lokomat®



[photo2-GD.jpg](#) Robot de rééducation du Membre supérieur InMotion®

La plupart des robots de rééducation commercialisés fonctionnent par l'intermédiaire d'un ordinateur, via un jeu vidéo le plus souvent. Ils constituent ainsi l'interface de pilotage du jeu. L'utilisation d'un robot de rééducation permet à des patients très déficitaires d'agir sur le jeu vidéo. Il peut également fournir un feedback haptique à l'utilisateur (résistance du robot) qui enrichit le feedback visuel et auditif proposé par le jeu seul. Enfin, certains robots permettent une adaptation automatique de l'assistance qu'ils prodiguent en fonction des capacités de la personne, ce qui leur confère un intérêt tout particulier en rééducation (mode « actif aidé »).

L'intérêt de la rééducation robotisée réside en tout premier lieu dans la possibilité d'intensifier la rééducation en multipliant le nombre de répétition des exercices (Lo et al 2010).

- Pour la rééducation à la marche, il semble que la probabilité de reprise de la marche après cérébro-lésion vasculaire soit plus importante lorsque ce type d'appareil est utilisé en phase précoce en particulier chez les patients les plus déficitaires. Par contre les robots actuels n'ont montré aucune supériorité par rapport à l'entraînement à la marche au sol par un thérapeute quant à l'amélioration de la vitesse de marche.
- Pour la rééducation des préhensions, la dernière méta-analyse réalisée par la Cochrane (Merholz et al 2012) suggère un bénéfice fonctionnel de cette rééducation comparée à des méthodes conventionnelles de rééducation.

Quoi qu'il en soit, l'essor de ces technologies est très récent et les verrous technologiques sont encore nombreux. Beaucoup de questions restent sans réponse : quel est le mode de contrôle optimal de ces appareils (Merholz JRM 2012)? Comment doit-on les utiliser ? Quels sont les patients susceptibles d'en bénéficier ?... Les modèles de mouvement, d'incapacité et d'interaction du sujet avec le robot, n'ayant pas atteint pour des raisons à la fois financières et techniques un très haut niveau d'intégration des connaissances récentes sur l'apprentissage moteur, l'efficacité de ces outils n'est pas encore optimale. On peut espérer que la maturation conceptuelle et technologique de ces outils permettra, à terme, de disposer d'outils efficaces.

Jeu vidéo, Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée

La réalité virtuelle est une [simulation informatique interactive immersive](#), visuelle, sonore et/ou [haptique](#), d'environnements réels ou

imaginaires. Elle permet à une personne (ou à plusieurs) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être « imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel » (Fuchs P. 1996). L'activité proposée est habituellement signifiante, avec un objectif à atteindre, et un résultat visualisé en temps réel par le participant ce qui permet sa motivation incluant la mobilisation de ressources émotionnelles et attentionnelles. Le traitement informatique permet la manipulation et le contrôle des paramètres à visée thérapeutique, la génération d'illusions, de mouvements, de déplacements. La tâche se présente sous des conditions standardisées contrôlables et observables, avec enregistrement automatisé des indicateurs.

La visualisation a posteriori d'un « rejeu » est possible [video_VAPSrejeu]. Un enregistrement synchronisé de paramètres physiologiques (du rythme cardiaque aux mouvements oculaires) peut parfois être réalisé. En outre, l'outil virtuel permet, en réduisant souvent les risques et les coûts en temps thérapeute, de réaliser des répétitions multiples et standardisées, parfois un enrichissement ou des niveaux de difficulté progressifs. Depuis une vingtaine d'années, en parallèle des évolutions technologiques et de l'accès au grand public de ces outils, le domaine de la réalité virtuelle s'est développé de façon intensive, s'ouvrant à de nombreux champs d'application, de l'industrie à l'art, en passant par l'architecture, la formation professionnelle ou encore la psychothérapie



A noter

A noter

A noter

A noter

A noter

A noter

Différents supports ont été utilisés :

- Salle immersive sphérique ou cubique 3D (systèmes CAVE, Icube, SASCube) constituée d'écrans de rétroprojection ou de projection directe stéréoscopiques et synchronisés [Photo 3]. L'utilisateur est immergé dans une pièce où les murs, le sol et/ou le plafond sont des images projetées qui constituent un environnement géométriquement cohérent. Par un système de capture de position du sujet, la perspective est recalculée en temps réel pour respecter son point de vue,
- Systèmes stéréoscopiques 3D utilisant des lunettes, des écrans uniques ou multiples, asservis aux mouvements, recréant l'impression de distance et de profondeur,
- Systèmes de visualisation 2D sur des écrans ou des systèmes de projection plus répandus, comme des vidéoprojecteurs sur écran mural, des écrans de télévision et informatiques, des tablettes numériques ou téléphones portables.

Photo 3 : Système CAVE®

La sensation d'immersion est liée pour partie seulement au réalisme, mais beaucoup plus au sens donné par le sujet à la situation présentée et à la tâche en situation virtuelle (Fidiopastis et al, 2010). La cinétose ou « cybersickness » dont les symptômes s'apparentent à ceux du mal des transports (maux de tête, nausées, fatigue, suées, vertige, ...) est beaucoup plus fréquente sur les systèmes 3D, liée à des conflits entre les centres de la perception du mouvement et à l'incongruence des signaux non ajustés des modalités sensorielles.

L'interface sujet-système peut utiliser des méthodes directes fondées sur des comportements naturels du participant qui sont suivis par le système virtuel et qui vont induire les réponses de ce dernier. Elles nécessitent l'utilisation de capteurs de mouvement ou de suivi (tracking) visuel après repérage des cibles. La commande vocale est également employée. Les méthodes indirectes incluent l'utilisation des touches du clavier de l'ordinateur, de la souris, d'un joystick, ou encore de manettes dotées d'accéléromètres comme la Wii Remote de Nintendo (www.nintendo.com). L'interaction avec un écran tactile est aussi parfois utilisée, surtout aujourd'hui pour les systèmes portables..

Une application virtuelle est également composée d'outils logiciels. Quelques produits sur étagère issus du monde du jeu, tels la PlayStation2 de Sony (www.playstation.com), la Eyetoy (www.eyetoy.com) et la Nintendo Wii (wii.nintendo.com), ont été utilisés en rééducation ou dans des objectifs occupationnels. Néanmoins ces outils n'ont pas été conçus pour la rééducation, l'évaluation et le réentraînement ; les jeux proposés ne sont pas modifiables ; leur validation reste très parcellaire et leur efficacité est peu démontrée. Aussi apparaissent des logiciels ou des « serious games » spécialisés autorisant de multiples applications virtuelles destinées à des objectifs d'évaluation et/ou de rééducation spécifiques (Cameirao 2010).

La réalité augmentée désigne les différentes méthodes qui permettent d'incruster de façon réaliste des objets virtuels dans une séquence, ceci en temps réel. Elle s'applique aussi bien à la perception visuelle (superposition d'images virtuelles 2D ou 3D aux images réelles) qu'aux autres informations sensorielles comme les perceptions tactiles ou auditives. Il n'est pas commode de tenir un smartphone ou une tablette à bout de bras pour agrémenter son environnement d'informations. Passer dix minutes à positionner une caméra au-dessus d'un marqueur n'est pas pratique non plus. C'est pourquoi de nouveaux terminaux sont prévisibles telles les lunettes 3D munies d'un GPS, d'une connexion, d'une caméra et d'un petit écran pouvant afficher des informations contextuelles (par exemple projet Glass de Google dont vous trouverez ici une présentation humoristique) :

<http://www.youtube.com/user/vlakkeland?feature=watch>

Le court-métrage "[Sight](#)" présente ce que pourrait être la réalité augmentée du futur. Ici, il n'est pas question de lunettes mais de lentilles de contact. Celles-ci, équipées d'un micro-processeur assistent leur utilisateur dans ses activités quotidiennes...

<http://vimeo.com/46304267>

Web service en rééducation

L'utilisation à la maison de services distants à l'aide de différents systèmes connectés au Web a été proposée principalement pour l'entraînement à l'activité physique dans des suites de chirurgie locomotrice, chez l'enfant paralysé cérébral, dans des maladies de surcharge, chez des sujets dépendants en structure d'hébergement. Des programmes pour l'aphasie et les dysarthries, pour la prévention des chutes à domicile ont aussi montré leur faisabilité. D'autres programmes ont concerné l'e-learning et l'éducation thérapeutique dans le suivi de maladies chroniques ou de traitements au long cours. Ces systèmes peuvent également permettre la transmission d'informations physiologiques (paramètres vitaux, télémédecine), l'enregistrement de l'activité motrice par des caméras et accéléromètres (télé-surveillance), l'accès à des bases de données et de services sur la santé. Les possibilités de valorisation économique restent encore incertaines, mais ces services sont déjà proposés quand les ressources sont inexistantes ou peu accessibles de par les conditions géographiques ou médico-économiques. Ils nécessitent l'accès à ces technologies et les capacités du patient ou de ses aidants à assurer un part importante d'auto supervision.

Marche : rééducation robotisée

Les dispositifs électromécaniques et robotisés de rééducation des membres inférieurs sont utilisés dans la rééducation des patients cérébro-lésés, même si leur mode d'action est mal connu et leur supériorité par rapport aux techniques traditionnelles de rééducation n'est que fortement suspectée (Mehrholtz 2007). En ce qui concerne les blessés médullaires, cette efficacité a été diversement appréciée (Edgerton 2009) et elle est encore sujette à caution (Mehrholtz 2012), en particulier pour les patients ayant des atteintes complètes sur le plan moteur (classifications ASIA A et B).

Ces outils permettent un travail de la marche en allègement du poids du corps et un accompagnement mécanique des déplacements des membres inférieurs. Le bénéfice sur la qualité du schéma de marche ou sur les paramètres spatio-temporels de la marche n'est pas démontré. Le bénéfice sur les capacités globales de marche est suspecté, en particulier lorsque ces appareils sont utilisés en phase subaiguë d'une lésion cérébrale ou médullaire.

Le robot de rééducation à la marche de type exo-squelettique le plus répandu est le Lokomat®. Des outils moins sophistiqués mais plus anciens comme le Gait-Trainer® sont classés parmi les robots de rééducation [Photo 4], même si leurs fonctionnalités sont beaucoup moins nombreuses. Des dispositifs mobiles ont également été proposés (associant allègement du poids du corps et rééducation robotisée) mais restent pour le moment au stade de prototypes.

Les principales raisons du faible niveau d'équipement en France sont de trois ordres : l'absence de certitude absolue de leur efficacité par rapport aux méthodes traditionnelles, leur coût encore très élevé et la réticence de certains professionnels à leur utilisation.

Accéder à la [Biomécanique de la marche](#)

Posture : plate formes de posturologie motorisées

La rééducation posturale peut également faire appel à des dispositifs motorisés interactifs (plate formes de posturologie dynamiques) ou à des outils de rééducation en environnement virtuel. Ces outils sont traités dans un chapitre spécifique et ne seront donc pas détaillées ici.

Accéder à la [rééducation posturale](#)

Préhension : rééducation en réalité virtuelle et/ou robotisée

Rééducation robotisée et/ou mécanisée

D'une façon générale, le bénéfice de la rééducation mécanisée ou robotisée sur la récupération du membre supérieur de l'hémiplégique est très fortement suspecté (Mehrholtz 2012). D'importantes méta-analyses ont été publiées récemment sur ce sujet. Il ressort de ces publications que la littérature manque d'études contrôlées randomisées de bon niveau pour pouvoir conclure complètement à l'efficacité de ces techniques. On peut résumer les choses de la façon suivante :

- Le bénéfice de la rééducation robotisée en termes de capacités de préhension et de bénéfice fonctionnel global est très fortement suspecté.
- Le bénéfice de ce type de rééducation en termes de qualité de vie n'a pas été évalué.
- La place de la rééducation robotisée parmi les techniques de rééducation à notre disposition et les protocoles d'utilisation ne sont pas encore définis. En particulier, les populations les plus concernées par ces techniques restent à déterminer : lésions cérébrales droites ou gauches, atteintes complètes ou hémiparésies, patients en phase précoce ou en phase séquellaire...
- L'amélioration des dispositifs existants est nécessaire, ce qui implique la mise en place de travaux de recherche translationnelle : modes de contrôle ? Ergonomie ? Intégration de notions issues des théories de l'apprentissage dans les algorithmes de pilotage des robots ?

Le dispositif robotisé de rééducation le plus ancien est le Mit-Manus®, qui est actuellement commercialisé sous le nom de In-Motion®. Plus d'une vingtaine de travaux publiés depuis les années 1990 suggèrent une efficacité de la rééducation du membre supérieur de l'hémiplégique effectuée avec ce système [Video 2].

Parmi les robots à suspension par câbles, le plus ancien est le robot Gentle®, actuellement commercialisé sous le nom de HapticMaster®. Les travaux de validation clinique le concernant sont moins nombreux que pour le précédent. Les autres robots sont beaucoup plus anecdotiques: ArmGuide®, BiManuTrack®, Reharob®....

Le dispositif mécanisé Armeo Spring®, bien qu'il ne soit pas à proprement parler un robot, a fait l'objet de plusieurs études qui semblent montrer une certaine efficacité, essentiellement liée à l'augmentation de la quantité et de l'intensité de la rééducation [Video 3 et 4]. Il fait actuellement l'objet en France d'une large étude médico-économique versus des exercices d'auto-rééducation.

Réalité virtuelle et jeu vidéo

L'utilisation du jeu vidéo et de la réalité virtuelle en rééducation a fait l'objet d'une littérature abondante ces dix dernières années. Les premiers travaux publiés au début des années 2000 mentionnaient l'utilisation de jeux vidéo grand public en complément de programmes de rééducation traditionnelle (Saposnik 2010). Un peu plus tard ont émergé dans la littérature les premiers jeux vidéo dédiés à la rééducation et conçus spécialement pour des patients. Une méta-analyse récente réalisée par la Cochrane (Laver 2011) conclue à l'efficacité de ces outils dans la rééducation du membre supérieur, de la posture et de la marche sur les capacités fonctionnelles des patients, tous systèmes confondus.

Il semble que les jeux vidéo dédiés offrent un certain nombre d'avantages supplémentaires par rapport aux jeux vidéo du commerce :

- possibilité pour le thérapeute d'accéder à un grand nombre de réglages
- possibilité d'implémenter des « agents intelligents » permettant une auto-adaptation du jeu aux performances du patient en complément des réglages effectués par le thérapeute
- possibilité d'enregistrement automatique des performances du patient pour nourrir le feedback prodigué au joueur, le feedback renvoyé au thérapeute et pour permettre un monitoring à distance de l'évolution du patient.

Très peu de dispositifs de ce type sont disponibles dans le commerce à ce jour.

Fonctions cognitives : place de la réalité virtuelle

L'utilisation dans le champ cognitif de l'interaction et de l'immersion permises par la réalité virtuelle est croissant avec une forte adhésion des

thérapeutes qui voient dans cet outil la possibilité d'une évaluation et d'un entraînement plus proche des difficultés de vie quotidienne et plus adapté à l'intensité requise. La réalité virtuelle permet la répétition autant que nécessaire des exercices, avec un feedback qui peut être renforcé, et des modalités d'entraînement diversifiées de l'apprentissage sans erreur à l'utilisation et l'estompage d'indices explicites ou implicites. La référence aux activités quotidiennes donne un sens aux exercices et facilite la prise de conscience, alors que l'anosognosie est un obstacle majeur à la rééducation cognitive. La réussite peut être facilitée par la personnalisation de la tâche et son adaptation en difficulté, l'utilisation de stratégies et de procédures familières. L'objectif bien identifié par le sujet et la valorisation par le support technologique sont des sources de motivation. Enfin, il existe des arguments supportant le transfert à la vie réelle des progrès cognitifs acquis en réalité virtuelle. Cependant, les données d'efficacité de l'outil sur les troubles cognitifs et comportementaux lésionnels dans des essais cliniques restent réduites (Laver et al. 2011). Les études portent sur des effectifs réduits et s'intéressent peu à leur impact sur l'activité et l'autonomie (Klinger et al. 2010).

L'exploration et l'apprentissage spatial, les troubles exécutifs, l'aphasie, la négligence visuo-spatial, l'attention et la mémoire ont fait l'objet d'applications encourageantes de la réalité virtuelle. A côté de cette approche analytique des déficiences cognitives, une place croissante est prise par des logiciels reproduisant une activité plus globale : supermarché virtuel comme le VAPS d'Evelyne Klinger, cuisine virtuelle, quartier virtuel permettant des tâches diversifiées mettant en jeu des fonctions cognitives composites et des capacités sensori-motrices. Les supports matériels utilisés dans ces applications thérapeutiques sont le plus souvent des systèmes informatiques grand public accessibles pour des coûts modérés, beaucoup plus que des systèmes sophistiqués 3D réservés aujourd'hui à des approches expérimentales de recherche

Exemples démonstratifs

Fenêtres « surgissantes », disponibles sur les pages suivantes.

1. Lokomat® : un exemple d'exosquelette de rééducation à la marche
2. Gait Trainer® : l'ancêtre (encore bien utile) des robots de rééducation à la marche
3. Armeo Power® : un exemple d'exosquelette de rééducation du membre supérieur
4. RGS® : un exemple de Jeu Vidéo de Rééducation auto-adaptatif
5. Hammer and Planks® : un exemple de jeu vidéo de rééducation offrant au thérapeute une large palette de réglages
6. Vepsy® : exemple d'un jeu vidéo de rééducation en psychiatrie (phobies sociales)
7. VAP-S® : exemple d'un jeu vidéo de rééducation utilisé dans les syndromes dysexécutifs

Perspectives

La technologie n'est pas une fin en soi et ne remplacera pas les interventions humaines de rééducation. Elle doit compléter l'intervention du thérapeute, la prolonger dans le temps et éventuellement l'optimiser.

Les technologies du numérique appliquées à la rééducation ouvrent la voie de télé-rééducation qui va profondément modifier nos façon de travailler. Elles ouvrent également la voie d'une évaluation facile, quantifiée et objective des performances des patients. Cette évaluation (sensori-motrice, posturale, cognitive....) nous donnera les outils pour personnaliser nos méthodes de rééducation et les adapter finement à l'évolution des patients dans un objectif d'optimisation des traitements. Elle permettra également d'enrichir la relation patient-thérapeute-dispositif en complétant les stratégies rééducative du thérapeute d'un certain niveau d'auto-adaptation intégrée dans le jeu vidéo ou dans l'interface de pilotage de celui-ci.

La multiplication des outils disponibles sur le marché nécessite de notre part beaucoup de discernement.

« Fenêtre surgissante » Exemple Démonstratif 1

Lokomat® : un exemple d'exosquelette de rééducation à la marche

- o Vous suivez un patient de 51 ans, hémiplegique gauche suite à un AVC hémorragique capsulo-thalamique survenu il y a deux mois. L'équilibre du tronc est correct. Le quadriceps est entre 1 et 2/5, il n'y a aucune commande motrice en aval. Le travail debout est impossible du fait du défaut de verrouillage actif du genou.
- o Le Lokomat est un exosquelette de rééducation des deux membres inférieurs. Il permet le travail de la marche en suspension au dessus d'un tapis roulant dédié. Il permet un contrôle motorisé des oscillations verticales du bassin, des mouvements de la hanche et du genou. Il permet au thérapeute de régler le niveau d'assistance entre les sessions mais ne dispose pas de modules d'auto-adaptation automatique du niveau d'assistance en fonction des capacités du patient.
- o En attente d'une vidéo non commerciale (demandée à l'équipe de Granville)...
- o Vidéo "[Robot de rééducation à la Marche Lokomat](#) "

Gait Trainer® : un exemple de robot de rééducation à la marche

- o Vous suivez un patient de 51 ans, hémiplegique gauche suite à un AVC hémorragique capsulo-thalamique survenu il y a deux mois. L'équilibre du tronc est correct. Le quadriceps est entre 1 et 2/5, il n'y a aucune commande motrice en aval. Le travail debout est impossible du fait du défaut de verrouillage actif du genou.
- o Il s'agit d'un dispositif mécanique motorisé permettant le déplacement alterné des deux membres inférieurs à l'aide de patins dans lesquels sont fixés les deux pieds du patient. La marche s'effectue en allègement du poids du corps par l'intermédiaire d'un harnais de suspension. L'ajout d'une Stimulation Electrique Fonctionnelle (quadriceps et releveurs) asservie au cycle de marche est possible via un boîtier intégré à l'appareil.
- o En attente d'une vidéo non commerciale (demandée à l'équipe du Grau du Roi)...
- o Vidéo "[Dispositif Electromécanique Gait Trainer](#) "

Armeo Power® : un exemple d'exosquelette de rééducation du membre supérieur

- Vous suivez une patiente de 85 ans, victime il y a cinq semaines d'un AVC ischémique sylvien superficiel droit. Elle présente une hémiparésie avec une commande très faible au niveau de son membre supérieur atteint (commande proximale à 2/5, ébauche de mouvements de doigts, score de Fugl meyer à 18/66).
- L'ArmeoPower est un exosquelette de rééducation du membre supérieur de commercialisation récente. Il permet une rééducation interactive avec un contrôle segmentaire de toutes les articulations du membre supérieur à traiter. Il peut fonctionner en mode « passif » (ou arthromoteur), en mode « actif aidé » ou en mode « résistif ».
- Il offre une large gamme de réglages possibles au thérapeute.
- En attente d'une vidéo non commerciale (demandée à l'équipe de Granville)...
- Vidéo "[Robot de rééducation du membre supérieur ArmeoPower](#)"

Rehabilitating Gaming System® : un exemple de jeu vidéo auto-adaptatif de rééducation du membre supérieur

- Vous suivez un patient de 59 ans, victime il y a cinq mois d'un AVC ischémique sylvien superficiel droit. Il présente une hémiparésie gauche avec une commande de bonne qualité au niveau de son membre supérieur atteint. Il reste gêné dans les tâches fines et rapides, ainsi que dans les activités de la vie quotidienne. Il a quitté l'institution et vit autonome à son domicile.
- Le RGS est un exemple de jeu vidéo de rééducation dédié à la rééducation après accident vasculaire cérébral. Il permet au patient de poursuivre sa rééducation à domicile, grâce à un jeu auto-adaptatif capable d'adapter le niveau de difficultés aux performances de la personne.
- Vidéo disponible sur Internet : http://www.youtube.com/watch?v=eVngyL_6TUY

Hammer and Planks® : un exemple de jeu vidéo conçu pour la rééducation de l'hémiplégique et au service du thérapeute

- Louise, 23 ans, a été victime d'un AVC ischémique il y a 8 semaines. Elle termine sa rééducation en hospitalisation de jour dans un service de MPR.
- Hammer and Planks est un exemple de jeu vidéo de rééducation conçu spécifiquement pour la rééducation de l'hémiplégique. Il permet une rééducation posturale ou une rééducation du membre supérieur. Son intérêt principal réside dans la possibilité pour le thérapeute d'adapter les réglages du jeu en fonction des capacités de son patient. Ces réglages peuvent être effectués à tout moment pendant une partie.
- Vidéo "[Jeu vidéo de rééducation Hammer and Planks](#)"

Iconographie



[photo1-GD.jpg](#) Robot de rééducation à la Marche Lokomat®



[photo2-GD.jpg](#) Robot de rééducation du Membre supérieur InMotion®



[photo1-GD.jpg](#) Système CAVE®



[photo2-GD.jpg](#) Dispositif électromécanique de rééducation à la marche Gait Trainer®

VAPS Rejeu

InMotion Robot ®

Arneo Spring ®

Armeo Spring ®

Armeo Spring ®

INTROUVABLE

Robot de rééducation à la Marche Lokomat ®

Dispositif Electromécanique Gait Trainer ®

Robot de rééducation du membre supérieur ArmeoPower ®

Robot de rééducation du membre supérieur ArmeoPower ®

Jeu vidéo de rééducation Hammer and Planks ®

Bibliographie triée

- Cameirão MS, Badia SB, Oller ED, Verschure PF.** [Neurorehabilitation using the virtual reality based Rehabilitation Gaming System: methodology, design, psychometrics, usability and validation.](#) J Neuroeng Rehabil. 2010 Sep 22;7:48.
- Dede C.** *Immersive Interfaces for Engagement and Learning.* [Science.](#) 2009 Jan 2;323(5910):66-9.
- Edgerton VR, Roy RR.** [Robotic training and spinal cord plasticity.](#) Brain Res Bull. 2009 Jan 15;78(1):4-12.
- Fidopiastis CM, Rizzo AA, Rolland AA** *User-centered virtual environment design for virtual rehabilitation of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2010, 7:11
- Fuchs P, Burkhardt JM, Lourdeaux D.** *Approche théorique et pragmatique de la réalité virtuelle, Chapitre 2 du volume "L'interfaçage, l'immersion et l'interaction en environnement virtuel". Le Traité de la réalité virtuelle (Volume 2),* Fuchs P, Moreau G & 72 auteurs. Paris: Les Presses de Ecole des Mines de Paris; 2006. p. 19-59.
- Klinger E, Weiss PL, Joseph PA (2010).** *Virtual reality for learning and rehabilitation, In Rethinking Physical and Rehabilitation Medicine* (JP Didier & E Bigand, Eds), Springer, London, pp. 203-221.
- Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M.** [Virtual reality for stroke rehabilitation.](#) Cochrane Database Syst Rev. 2011 Sep 7; (9):CD008349.
- Lo AC, Guarino PD, Richards LG, Haselkorn JK, Wittenberg GF, Federman DG, Ringer RJ, Wagner TH, Krebs HI, Volpe BT, Bever CT Jr, Bravata DM, Duncan PW, Corn BH, Maffucci AD, Nadeau SE, Conroy SS, Powell JM, Huang GD, Peduzzi P.** [Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke.](#) N Engl J Med. 2010 May 13;362(19):1772-83. Erratum in: N Engl J Med. 2011 Nov 3;365(18):1749.
- Marchal-Crespo L, Reinkensmeyer DJ.** [Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury.](#) J Neuroeng Rehabil. 2009 Jun 16;6:20.
- Mehrholz J, Werner C, Kugler J, Pohl M.** [Electromechanical-assisted training for walking after stroke.](#) Cochrane Database Syst Rev. 2007 Oct 17;(4):CD006185.
- Mehrholz J, Pohl M.** [Electromechanical-assisted gait training after stroke: a systematic review comparing end-effector and exoskeleton devices.](#) J Rehabil Med. 2012 Mar;44(3):193-9.
- Mehrholz J, Hädrich A, Platz T, Kugler J, Pohl M.** [Electromechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke.](#) Cochrane Database Syst Rev. 2012 Jun 13;6:CD006876.
- Mehrholz J, Kugler J, Pohl M.** [Locomotor training for walking after spinal cord injury.](#) Cochrane Database Syst Rev. 2012 Nov 14;11:CD006676.
- Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, Hall J, McIlroy W, Cheung D, Thorpe KE, Cohen LG, Bayley M; Stroke Outcome Research Canada (SORCan) Working Group.** [Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle.](#) Stroke. 2010 Jul;41(7):1477-84.