



Master Sciences du Sport et de la Motricité  
**Spécialité «Vieillesse Handicap Mouvement et Adaptation»**  
**M1 Année 2011-2012**

---

## Apport des retours sonores à la rééducation du membre supérieur chez l'hémiplégique

par Kaouthar Lagrini

Mémoire dirigé par :

- Tuteur professionnel : Sylvain Hanneton
- Tuteur universitaire : Sylvain Hanneton

Lieu de stage: Laboratoire de neurophysique et physiologie CNRS UMR 8119. 45 Rue des saint pères, 75006 Paris.

<http://neurophys.biomedicale.univ-paris5.fr/>

---

### Résumé

L'hémiplégie continue d'être la cause d'une diminution souvent importante des capacités motrices du membre supérieur, partie du corps nécessaire à l'accomplissement des tâches quotidiennes. La rééducation peut être de très longue durée, entraînant des répercussions sur l'état psychologique du patient, ce qui réduit la qualité du traitement. Les résultats de l'introduction d'un retour sonore lors de la rééducation ont montré des progrès importants quant aux performances motrices du membre supérieur hémiplégique.

### Abstract

Hemiplegia is always a leading cause of decreased motor skills of upper limb, which plays an important role in achieving daily activities. The rehabilitation process may last for a long period, which reduce the treatment quality because of its impacts on patient's psychology statement. The results of auditory feed-back studies shows a significant progress with regard to motor performance of hemiplegic upper limb.

**Mots-clés :** Hémiplégie, membre supérieur, retour sonore, capacités motrices, rééducation, réhabilitation.

## 1 L'hémiplégie

### 1.1 Définition

L'hémiplégie est une paralysie touchant une plusieurs parties d'un héli-corps. Ce qui entraîne une perte plus ou moins grave de la motricité volontaire au niveau des zones touchées suite à une lésion unilatérale du faisceau pyramidal. Elle peut être une paralysie totale ou partielle. Dans le cas de la paralysie totale, les membres supérieur et inférieur, le tronc et la moitié de la face sont touchés.

Il existe deux types classiques de l'hémiplégie. L'hémiplégie spasmodique caractérisée par la présence d'une spasticité qui entraîne une raideur au niveaux des muscles. Et l'hémiplégie flasque au cours de laquelle les muscles sont hypotoniques et très mous à la palpation, ce qui entraîne une faiblesse musculaire

importante.

### **1.2 Les causes de l'hémiplégie**

L'hémiplégie a pour cause une lésion qui touche la voie pyramidale au niveau du côté opposé de l'hémi-corps paralysé. C'est ainsi qu'une hémiplégie droite correspond à une lésion cérébrale gauche et inversement. La plupart du temps, l'hémiplégie est due à un accident vasculaire cérébral. Elle touche essentiellement les personnes âgées ayant une tension artérielle trop élevée. Dans le cas où elle touche un sujet jeune et qu'elle est d'origine artérielle, elle est souvent causée par la rupture d'un vaisseau cérébral. Cela entraîne une hémorragie qui envahit l'espace de protection et de recouvrement du cerveau (au niveau des méninges). Cette rupture du vaisseau cérébral est due à un anévrisme, c'est à dire l'agrandissement de la paroi d'une partie de ce vaisseau qui peut abriter la formation de caillots sanguins et entraver la circulation normale du sang. Dans ce cas on parle d'athérome. L'athérome est un dépôt graisseux au niveau de la paroi artérielle. Il est responsable d'athérosclérose.

L'hémiplégie peut survenir également suite à un traumatisme. Dans ce cas, elle est souvent immédiate et secondaire à une lésion directe de l'écorce cérébrale, et plus précisément l'aire motrice qui est la source des influx nerveux ordonnant les mouvements volontaires. L'hémiplégie survient parfois un certain temps après le traumatisme, suite à un hématome formé après la lésion artérielle.

Les tumeurs cérébrales, qui sont une cause moins fréquente, entraînent une hémiplégie progressive. Ceci est dû à la propagation progressive de la lésion due à la tumeur. D'autres causes peuvent être citées comme les encéphalites (inflammation du cerveau), l'abcès du cerveau, l'intoxication par l'oxyde de carbone...etc.

### **1.3 L'installation de l'hémiplégie**

L'hémiplégie, qu'elle soit immédiate ou progressive, entraîne des troubles qui dépendent de la zone motrice atteinte du cerveau. Lorsque la lésion siège sur l'hémisphère dominant, selon si la personne est droitier ou gauchère, on constate la survenue d'une aphasie qui est une perte partielle ou totale de la capacité à s'exprimer ou à comprendre par le langage, parlé ou écrit. Ainsi, généralement l'aphasie est causée par une hémiplégie droite.

En effet, la perte de motricité volontaire est ce qui caractérise le plus l'hémiplégie. Elle peut être accompagnée d'une spasticité, due à une augmentation du tonus musculaire, ce qui entraîne une raideur marquée des muscles et rend l'exécution du mouvement difficile. Qu'il soit réalisé de manière passive, ou active au cours de la récupération motrice. Dans le cas contraire, l'hémiplégie s'accompagne plutôt d'une diminution du tonus musculaire, ce qui entraîne des muscles excessivement flasques et mous. La réalisation du mouvement dans ce cas reste également entravée par la faiblesse musculaire.

L'hémiplégie peut être caractérisée également par des troubles de la sensibilité qui portent surtout sur la sensibilité profonde (la reconnaissance des objets par le toucher). D'autres troubles peuvent survenir comme l'héminégligence, l'anosognosie, l'ataxie, l'hypermétrie...etc.

## **2 L'hémiplégie et l'état psychologique du patient**

### **2.1 Les conséquences psychologiques de l'hémiplégie**

Des réactions comme le déni, la colère et le chagrin sont à prévoir dès le début de la survenue de l'hémiplégie. L'anxiété et la démotivation sont le plus souvent observées chez les personnes touchées. De plus, la limitation des compétences entraîne également des comportements inadaptés et des attitudes irrationnelles. Certains troubles ne sont pas toujours sous le contrôle du patient. Ils sont même rattachés aux lésions cérébrales. Ils peuvent être une cause directe de dépression. Une courte enquête réalisée auprès de 15 centres de rééducation français montre que plus que la moitié d'entre eux affirment essentiellement des

diagnostics de dépression chez les patients. La dépression entrave la qualité du traitement. Son traitement est donc efficace sur la récupération générale.

Ces complications sont d'autant plus présentes chez les patients aphasiques. Le manque ou l'absence de communication entre le patient et son entourage joue un rôle important dans la survenue de la dépression. Ce qui entraîne également une baisse de motivation à la participation active au traitement.

## **2.2 Conséquences sur le traitement**

Les complications psychologiques peuvent en effet entraver la qualité de la récupération motrice précoce. Le patient est amené à se former psychologiquement à sa nouvelle image de soi, à accepter la nouvelle image de son corps. A accepter donc son nouvel état physique avec tout ce que cela comporte de limitation d'habiletés motrices, et à définir également sa place dans la société, son nouveau statut. Ensuite, passée la phase précoce, la rééducation peut s'avérer de longue durée. Le patient doit alors coopérer continuellement tout au long de cette phase. Mais la motivation face à cela n'est pas toujours un facteur existant.

Le traitement psychologique porte ainsi sur une stabilisation au niveau de ce plan. Mais aussi sur la réduction de l'anxiété, du stress et l'activation des ressources internes de ces personnes. Car ce qui touche à ces éléments touche également le niveau motivationnel, ce qui peut entraver le bon déroulement de la rééducation motrice. La coopération du patient y étant très sollicitée, voir même son travail de manière autonome.

Différentes méthodes comme la psychothérapie individuelle, la thérapie de groupe ou la thérapie cognitivo-comportementale, sont employée afin de réduire le niveau d'anxiété et solliciter une adaptation adéquate. Ces méthodes visent une stabilisation de l'état psychologique interne et une reconstruction sociale. La thérapie porte également sur l'encouragement des patients à développer une motivation aux traitements. Pour cela, le développement de nouveaux intérêts adaptés est très utile. Cela permet de motiver les patients mais également de ne pas se limiter uniquement à l'univers médical. Cela permet aussi de favoriser la communication et l'échange avec des personnes dans des situations similaires.

## **3 La rééducation de l'hémiplégique: les différentes techniques**

La motricité du membre supérieur hémiplégique est caractérisée par l'absence de contrôle sélectif des muscles ainsi que la variation de l'efficacité motrice selon la position et le degré de spasticité du sujet. On note également l'absence de progression linéaire pendant la phase de récupération musculaire. Ainsi, le mouvement du membre supérieur hémiplégique peut être puissamment réalisé en chaîne fermée: mouvement de fermeture du membre exécuté par l'ensemble des muscles fléchisseurs, rotateurs internes et pronateurs. Ce même mouvement peut être impossible à effectuer en chaîne ouverte.

Les exercices globaux du membre doivent être à but fonctionnel. Grâce à la notion de «tâches dépendantes» permettant à la fonction motrice d'être récupérée. La rééducation est donc souvent orientée vers des tâches à but fonctionnel, notamment les exercices de pointage et de préhension qui constituent des gestes à grand intérêt lors des exercices actifs.

### **3.1 Techniques orientées vers la tâche**

#### **3.1.1 Technique de rééducation excentrique**

Cette technique consiste à essayer de garder une posture le plus longtemps possible après avoir été mis dans une certaine position. Le rééducateur place le membre dans une position, souvent inspirée des gestes fonctionnels, sans mettre le sujet en situation d'échec.

La position de fonction est souvent utilisée: cette position constitue une composante fonctionnelle très utile dans la plupart des gestes quotidiens:

- L'épaule en légère abduction et rotation interne.
- Le coude en flexion (90° environ).
- L'avant-bras en pronation, le poignet en légère flexion.

Le membre hémiplégique étant en synergie de flexion, en cas de spasticité, synergie dominante dans le cas échéant. Le rééducateur tend le bras du sujet, comme pour saisir un objet ou pointer un objet, le sujet doit garder cette position et lutter contre la contraction des muscles fléchisseurs du membre supérieur. Le thérapeute intervient afin de corriger si nécessaire.

D'après les études réalisées, cette technique présente l'avantage d'améliorer les performances motrices des sujets, sans augmenter la spasticité musculaire.

### *3.1.2 La thérapie par contrainte induite*

Plusieurs techniques sont utilisées et présentent des divergences d'opinions quant à leur validité. «La thérapie par contrainte induite» est une technique ayant fait l'objet d'une validation scientifique. Cette méthode est valable même si l'atteinte est sévère. Elle montre des résultats positifs surtout en cas de non utilisation acquise du membre lésé suite à la sollicitation permanente du membre sain. C'est une méthode cognitive dite orientée vers la tâche. Elle peut être utilisée même en cas de mobilité très diminuée du membre supérieur paralysé. La technique consiste à la sollicitation du membre concerné après immobilisation du membre supérieur sain, le membre déficitaire exécute des tâches de préhension, de pince, de pointage ou d'atteinte de cible.

### *3.1.3 La préhension dans la thérapie de contrainte induite*

Par le moyen de cette thérapie, la rééducation a pour but de récupérer la fonction de préhension. Elle vise aussi l'obtention de l'autonomie gestuelle au moyen des compensations si la récupération ne peut pas être atteinte pleinement. Elle cherche également à réduire les gênes générées par les mouvements anormaux. De ce fait, le rééducateur organise un environnement de travail, et selon l'état du sujet, définit les caractéristiques de réalisation des tâches, donne les consignes, gère les facilitations et aide surtout au début de la phase active de réalisation des exercices. Puis après si nécessaire, afin de corriger le mouvement, de faciliter et veiller à sa bonne exécution.

Les exercices de cette thérapie sont décomposés en petites étapes et adaptés de façon continue, en variant la vitesse d'exécution et l'amplitude du mouvement. La réalisation de ces exercices se fait selon un programme intensif et répétitif ciblé sur les difficultés observées.

## **3.2 La méthode cognitivo-motrice de Perfetti**

Dite également la méthode Perfetti. En effet, le professeur Carlo Perfetti suppose que la rééducation de la commande motrice est un apprentissage en situation pathologique. Cet apprentissage se fait au cours de la récupération des zones anatomiques lésées, et de l'interaction avec le monde extérieur.

Selon la théorie de Perfetti, il existe une étroite liaison entre la récupération du membre supérieur et l'activation d'une série de processus cognitifs. Ces processus sont le résultat de l'adaptation des structures anatomiques suite à l'incident causant la paralysie. De plus, le patient étant en interaction permanente avec le monde, il reçoit de façon permanente différents stimulus. Tout cela permet au patient de récupérer selon ces processus cognitifs activés pendant cette interaction avec le monde extérieur.

L'exercice est par conséquent l'outil le plus important de cette théorie. Pendant ces exercices, le sujet

est mis en situation de résolution de problème. Selon Perfetti, la résolution de problème est le meilleur outil pour augmenter les capacités cognitives. La résolution de problèmes dans ce type de lésion, passera par le fractionnement de différentes structures corporelles. Les exercices seront réalisés de manière segmentaire puis de manière globale.

L'exercice, cognitif et moteur, selon cette théorie est donc basé sur la nécessité d'acquérir une série d'informations en rapport avec le monde extérieur. D'autre part, l'exercice sollicitera les processus cognitifs de récupération. Ce qui implique une stimulation de l'organisation motrice sous la forme de l'activation et de l'ajustement de contractions musculaires. Ainsi, la démarche rééducative basée sur cette théorie comportera une part perceptive, qui représentera le stimulus, et une deuxième part représentée par l'exécution motrice. Cette dernière pourra être évaluée et développée au fur à mesure.

- **Graduation des exercices et exemples:**

Les exercices de rééducation selon la méthode Perfetti sont classifiés selon trois degrés. Le principe étant d'aller du plus simple au plus complexe. Le premier stade est réservé à des exercices de perception. Le patient, yeux fermés, n'exécute aucune contraction volontaire. Le mouvement est passif et exécuté par le thérapeute. L'apprentissage perceptif se fait sur la base d'informations somesthésiques. Ainsi, Le patient doit, par exemple, reconnaître la nature des objets qu'on lui met dans la main ou dire la position de son membre dans l'espace.

Les exercices de deuxième degré ont pour but de contrôler la contraction active. Une activation minimale est sollicitée tout en incluant le principe des exercices du premier degré. Le troisième degré d'exercices a pour principe d'impliquer la récupération d'une fonction plus globale et d'intégrer la combinaison des autres types d'exercices. Ces exercices visent à inhiber les réactions anormales, à réaliser un ajustement tonique et des contractions musculaires dans un enchaînement contrôlé.

- **Système fonctionnel de la manipulation-préhension dans des exercices de 3<sup>ème</sup> degré:**

Le thérapeute programme les exercices en fonction des stratégies que le patient doit apprendre. La réalisation concerne la sollicitation de toutes les articulations du membre supérieur.

- Exemple d'exercices:

Citons tout d'abord l'exercice travaillant l'alternance du jeu musculaire du membre supérieur en apprenant au patient de réguler la position de la main dans l'espace et par rapport à son propre corps. Le patient doit exécuter des mouvements de flexion-extension du coude tout en soutenant la main qui décrit une partie de trajectoire. La main étant fixe et restant dans l'axe de l'avant-bras qui est en pronation intermédiaire.

Un autre exercice consiste à exécuter d'une manière simple une dorsi-flexion du poignet en contrôlant le relâchement des doigts lors d'exercice du 2<sup>ème</sup> degré. Puis dans un mouvement synergique contrôlé avec les fléchisseurs des doigts lors d'exercice du 3<sup>ème</sup> degré. Dans ce dernier cas, le patient est amené à contrôler la contraction globale des muscles. L'avant bras étant en pronation intermédiaire, le coude en légère flexion.

Un troisième exercice vise à retrouver une orientation du pouce permettant dans un temps d'aborder la pince latérale lors d'un mouvement synergique avec les fléchisseurs des doigts. Puis finaliser la fonction de mobilisation lors d'une préhension plus globale d'objets. Le membre supérieur est posé sur la table en prono-supination intermédiaire. Le pouce en contact avec une tablette présentant un arc divisé en secteurs. La progression se fait en incluant la dorsi-flexion du poignet. Puis la participation du pouce et des autres muscles.

Un autre exercice consiste à travailler la capacité de contrôler les muscles des doigts. Le but de cet exercice est de pouvoir contrôler de façon alternative les fléchisseurs et les extenseurs. La fonction est finalisée lors de préhension d'objets de caractéristiques variés (taille, poids, surface, etc.). Le membre supérieur est placé dans la même position que les exercices précédents. Coude fléchi et avant-bras en pronation, ceci déterminant la position fonctionnelle du membre.

La méthode se termine par une combinaison des exercices. Amenant à chercher la stratégie motrice pour que le sujet puisse parcourir l'objet. Le but étant d'arriver à une sollicitation motrice globale du membre supérieur et à un contrôle optimal dans la réalisation du mouvement.

### **3.3 La méthode Bobath**

Bobath a proposé une méthode de rééducation pour les patients ayant une atteinte neuro-motrice d'origine cérébrale. Son approche est actuellement discutable, voir même dépassée. Elle ne prend pas en considération certains paramètres cognitifs sensoriels et psychomoteurs nécessaires pour une récupération motrice plus évoluée. Elle repose sur des connaissances physiologiques et biomécaniques. Bobath a basé son analyse sur l'observation des troubles de l'hémiplégie et sur sa différenciation des schémas normaux des mouvements et des schémas considérés pathologiques. Néanmoins, sa méthode comporte certains points forts, comme la manière globale dont les mouvements sont réalisés.

L'un des principes de cette méthode, est la compensation du membre paralysé par le moyen du membre sain. Dans ce cas là, elle présente des limites car nécessitant un membre supérieur sain assez fort et une atteinte neurologique moins sévère. Elle repose également sur l'inhibition de la spasticité afin de réaliser des mouvements globaux contrôlés du membre supérieur. Selon Bobath, la spasticité, les réactions associées et les réflexes toniques favorisent l'apparition d'une motricité anormale. Ils sont considérés comme des phénomènes parasites qui apparaissent pendant la phase de restructuration post-lésionnelle des éléments anatomiques lésés. Ainsi, au cas où ces phénomènes ne sont pas contrôlés, ils influencent négativement la fonction du membre touché.

- **La compensation du membre hémiplégique par le coté sain:**

Bobath a observé que la mise en position du membre sain dans certaines positions entraîne une certaine mobilité du membre paralysé. Ces réflexes sont utilisés pour solliciter cette mobilité.

- Exemple:

L'extension de la tête entraîne celle des coudes par réflexe. Cela permet d'obtenir une extension du coude du membre concerné et ainsi une contraction de la chaîne d'ouverture du membre et un relâchement de la chaîne de fermeture.

- **L'inhibition de la spasticité:**

Bobath a défini des diagonales d'inhibition qui permettraient de limiter la spasticité. Ce sont des étirements des chaînes spastiques. Ces étirements sont effectués en spirale, jusqu'à épuisement du réflexe d'étirement. Ces étirements peuvent également être utilisés par le moyen du membre sain du patient.

Pour le membre supérieur, La mise en position d'inhibition concerne l'exécution d'un étirement qui se compose généralement en une antépulsion, rotation latérale et abduction de l'épaule. Le coude en extension le plus possible, l'avant bras en supination, le poignet et les doigts en extension, le pouce en abduction.

Lorsque cet étirement est réalisé à l'aide du membre sain, le patient tire son membre paralysé vers le haut, en le tournant latéralement, avec une ouverture de la main. Ce qui ramène le coude vers l'extension.

- **La facilitation neuro-motrice selon Bobath:**

En partant des possibilités motrices du patient, cette technique cherche à obtenir une sollicitation musculaire contrôlée après avoir inhibée la spasticité. En cas d'hypotonie le tonus est stimulé. Elle se base sur un schéma de mouvements coordonnés dans le but d'aboutir à un tonus normal et à des mouvements normaux.

Il existe deux séries d'exercices. L'une en chaîne cinétique ouverte et l'autre en chaîne cinétique fermée. La chaîne cinétique ouverte se fait du proximal vers le distal. L'autre chaîne progresse du décubitus jusqu'à la position debout. Tout exercice comprend un volet inhibiteur et un volet facilitateur. Le volet inhibiteur interdit la spasticité et les syncinésies. Le volet facilitateur fait appel aux chaînes musculaires plus évoluées que les synergies primitives. Ces dernières étant la synergie de flexion et celle d'extension.

- **Le volet inhibiteur:**

Le membre est préalablement placé en posture d'inhibition (étirement d'inhibition de la spasticité). Tout ce qui ne travail pas doit être relâché. De ce fait, le coté sain également. Le patient est guidé dans ses mouvements, il apprend la sensation du mouvement coordonné. Toute action anormale est détectée et corrigée. Le rééducateur guide manuellement vers différentes positions ou séquences de mouvements et corrige au fur et à mesure.

- **Le volet facilitateur:**

En chaîne cinétique ouverte, le volet facilitateur repose sur le débordement d'énergie du niveau proximal au distal. Exemple de chaîne cinétique ouverte où la main part vers l'épaule opposée, dans un mouvement global, suivie par l'élévation du coude, sans décoller la main. Puis extension du coude avec décollement de la main et enfin ouverture de la main lorsque celle-ci est au zénith pour redescendre en abduction maximale.

### **3.4 La méthode Brunnstrom:**

Contrairement à la méthode Bobath qui cherche à inhiber la spasticité, cette méthode est spécifiée par son utilisation des synergies de flexion ou d'extension qui caractérisent le membre supérieur déficitaire afin de créer des facilitations. Elle peut être utilisée dans des atteintes très sévères. Elle est fondée sur l'utilisation des réflexes pour évoquer une réponse motrice immédiate. Elle consiste à faire apparaître puis à développer les synergies primitives dans le but de faire augmenter la force des mouvements volontaires possibles. Sans chercher à les faire disparaître par inhibition. La synergie primitive de flexion ou autres mouvements anormaux sont considérés comme des processus normaux de la récupération des lésions cérébrales.

Le patient est amené à utiliser et à contrôler volontairement les capacités motrices de son mouvement, et à améliorer ses synergies au moyen de stimulus internes proprioceptifs. Lors de son exécution du mouvement, la mise dans certaines positions du membre supérieur entraîne des mouvements réflexes de ce membre. Ceci est la synergie de flexion du coté hémiplégique qui apparaît lorsqu'on oppose une résistance au niveau du coude par exemple.

Cette méthode cherche toutes les syncinésies d'imitation et de coordination et dans toutes les conditions pour voir ce qui se déclenche du coté atteint. Un exemple de syncinésie d'imitation est observé lorsque le patient exécute une triple flexion du membre supérieur sain, une synergie de flexion se déclenche du coté atteint. Ceci définit ce qu'on appelle le starter qui va déclencher le mouvement du coté atteint, que le



rééducateur utilisera pour développer une motricité coordonnée.

- **Utilisation des syncinésies:**

Dans un premier temps, la contraction est déclenchée à l'aide du starter. Ensuite, le starter est relâché et le patient doit garder la position qui résulte de cette contraction réflexe. Dans un deuxième temps, lorsque le patient apprend à déclencher la contraction réflexe, il est amené à diminuer le starter au fur et à mesure, jusqu'à aboutir à un mouvement entièrement volontaire et contrôlé.

Par exemple lorsque l'épaule du membre sain exécute une flexion de 90° avec une légère abduction. Le tout contre une résistance moyenne, le membre atteint effectue un triple retrait. Par contre le patient est dans l'incapacité de finir le mouvement car le membre est tenu par la spasticité suite à ce réflexe. Le patient est ensuite amené à garder son membre atteint dans cette position tout en essayant de relâcher son côté sain. L'exercice évolue vers le déclenchement volontaire de la contraction musculaire du côté atteint et la finalisation du mouvement dans toute son amplitude.

## **4 Le retour sonore et la rééducation du membre supérieur hémiparalysé**

Quelques études ont été effectuées dans le domaine de la rééducation avec feedback sensoriel. Ces études incluent de près ou de loin le son dans la réadaptation et le ré-entraînement de patients présentant des incapacités physiques suite à différentes lésions au niveau du système nerveux. Ces études ont permis de montrer qu'un retour sensoriel lors du ré-entraînement présentait un véritable avantage à acquérir des performances assez élevées. En effet, le principe repose sur l'introduction d'un retour sonore informant le patient sur la qualité de sa performance. Ce qui favorise l'apprentissage et l'adaptation.

### ***4.1 Ré-entraînement du membre supérieur hémiparalysé avec retour sonore lors de la tâche de pointage***

L'étude de Maulucci et Eckhouse en 2001 a porté sur le ré-entraînement avec retour sonore de patients ayant un membre supérieur hémiparalysé en phase de récupération lors de tâche de pointage. Deux groupes de patients hémiparalysés ont été formés. Les deux groupes ayant passé la phase précoce, étaient en phase chronique de récupération, suite à un Accident Vasculaire Cérébral entraînant une hémiparésie du côté dominant du corps. En effet, lors de la période chronique, la récupération atteint un certain plateau. La vitesse d'amélioration observée lors de la période de récupération précoce diminue considérablement lors de la phase dite chronique. La récupération stagne à un certain niveau.

Le premier groupe réalise l'entraînement avec feedback sonore. Le deuxième groupe est un groupe témoin. Les groupes ont été formés par des patients ayant un membre hémiparalysé droit de sujets droitiers. Après avoir été familiarisés initialement à la réalisation passive de l'exercice de cette étude avec un rééducateur, les patients devront par la suite l'accomplir activement par eux même. Des évaluations ont été établies avant et après l'entraînement, analysant et comparant les performances pour des tâches de pointage vers des cibles variées afin d'éviter la répétition. Un son régulier était produit continuellement, avec de plus, un signal sonore les informant en cas d'erreur. Ce qui renseignait les patients en temps réel de la qualité de leur réalisation de l'exercice.

Cette étude a montré l'existence d'une amélioration lors des exercices de pointage avec ou sans feedback sensoriel. Néanmoins, un haut niveau de performance requiert un entraînement avec retour sonore et ne peut être accompli avec un mode d'entraînement classique seulement. Le groupe d'entraînement avec retour sonore pouvait corriger à fur et à mesure sa qualité de réalisation lors de l'exercice grâce au feedback sensoriel.



Cette étude a démontré également la nécessité de sortir du cadre classique de répétition de mouvements analytiques non globaux. L'apprentissage étant plus bénéfique lorsque les patients exécutaient des exercices reposant sur des mouvements globaux orientés vers la tâche. Telle la marche pour les membres inférieurs, et les tâches de préhension ou de pointage pour le membre supérieur. En incluant un nouveau facteur qui sortaient du cadre habituel de ré-entraînement et qui leur permettait d'effectuer leur apprentissage en toute autonomie.

#### **4.2 Création d'un environnement interactif sensoriel:**

L'étude de T. Gross réalisée en 2009 portait sur la construction d'un système capable d'analyser les gestes de l'utilisateur, ainsi que sa voix pour les transformer en images, sons ou vibrations. Cela permettait de créer un effet de feed-back, ce qui rendait possible la création d'un environnement interactif avec le patient. Des matériaux comme des caméras et des microphones ont été utilisés dans ce but. Les capacités de ce système ont vite été conclues comme assez limitées car les moyens de son élaboration étaient assez simple. Mais ont permis de démontrer l'importance de la réalisation d'un environnement où le patient peut non seulement réaliser des tâches mais aussi avoir un retour sensoriel au fur et à mesure. L'intérêt de cette étude était également de marquer une évolution dans ce domaine et de permettre de continuer dans cette voie.

L'étude avait pour références certaines recherches dans le domaine du handicap cognitif. Notamment l'étude de P.Ellis, réalisée en 1995. Le principe de l'étude de P. Ellis reposait sur l'utilisation le son comme moyen dans certaines thérapies d'apprentissage dans le domaine de l'autisme. Dans ces dernières, le son permettait de renvoyer ainsi une information aux personnes autistes leur permettant de les renseigner de manière simple et construite de leurs gestes. Ce qui remplaçait la voix humaine, parfois incompréhensibles pour certains autistes. Ce qui permettait donc de réduire de manière significative les incapacités de communication présentes chez ces personnes.

Une autre recherche inspirant l'étude de T. Grosse avait pour but de créer un générateur de son et d'images à partir des mouvements du corps humain. Ceci a été utilisé chez des sujets présentant un handicap moteur. Ce qui a permis de leur informer sur la qualité de leur mouvement constituant ainsi un moyen d'apprentissage à feed-back sonore. Cela avait un effet non négligeable sur la motivation des personnes concernées dans cette recherche. Les outils de l'étude constituant pour ces sujets une vraie aide dans la réalisation du mouvement et présentant un environnement d'exécution d'exercices et d'apprentissage dans un contexte ludique.

Non loin de ce sujet, et permettant la réalisation de cette thérapie. Un autre projet utilisant des instruments de musique, a été réalisé. Ce projet ayant pour moyens deux programmes. Le premier permettait d'obtenir à partir de captures de mouvements des informations sur la quantité et la qualité du geste réalisé comme la successions de positions et la direction du mouvement. Le deuxième programme se présentait sous forme d'un générateur d'informations de nature audio-visuelle. Il permettait de créer des sons à partir de la capture du mouvement. Ce qui permettait à la fin de jouer des instruments midi avec les gestes du corps. Ce projet avait pour but final d'étudier la relation action-réaction entre les mouvements du corps et des instruments produisant des sons simples.

En s'inspirant des recherches suscitées, cette étude a construit une nouvelle vision dans le domaine de la réhabilitation avec retour sensoriel pour des sujets présentant un handicap cognitif ou physique modéré à sévère. Notamment des personnes atteintes de lésions cérébrales générant une hémiplégie. L'état psychologique de ces patients étant également très touché, beaucoup n'atteignent pas l'amélioration souhaitée à cause de leur démotivation.

La création d'un environnement avec retour sensoriel permet non seulement l'amélioration de performances motrices à l'aide de l'outil feed-back, mais également de solliciter l'engagement des patients à travers leur implication dans cet environnement ainsi que la constatation par eux mêmes de leur progrès au

fur et à mesure.

### **4.3 La stimulation rythmique auditive chez les hémiparétiques**

Cette étude porte sur la réalisation de mouvements rythmiques chez des patients hémiparétiques et parkinsoniens. Elle consiste à introduire un son rythmique lors du geste à faire. Par exemple, pour la marche, elle permet de produire un signal sonore particulier lorsque le talon doit toucher le sol, pour le membre supérieur, lorsque le doigt ou une partie de la main, selon les capacités, doit réaliser une tâche de pointage...etc.

En effet, chez les sujets présentant une hémiparésie ou une maladie de Parkinson, l'atteinte des centres nerveux concernés entraîne des perturbations au niveau du mouvement rythmique. A savoir les membres atteints bien évidemment, mais aussi les membres sains par rapport aux membres d'un sujet sain non atteint d'un AVC ou de la maladie de Parkinson. Ce qui entraîne une exécution du mouvement moins organisée et moins coordonnée au niveau du membre atteint par rapport au membre sain, et au niveau du membre sain par rapport à un membre sain chez un sujet non atteint de lésions neurologiques. Le mouvement est moins coordonné, plus ou moins saccadé, marqué par des pauses avec des trajectoires incorrectes.

La stimulation rythmique auditive vise donc l'exécution d'un mouvement coordonné avec des phases coordonnées les unes par rapport aux autres. Cela dans le but d'atteindre une meilleure récupération motrice. Le mouvement est réalisé d'une manière plus correcte, le principe étant d'amener le patient à se concentrer sur chaque étape du mouvement, en donnant à chacune de l'importance. Les patients ont tendance à se concentrer sur le début du mouvement, ou simplement sur le but à atteindre. La réalisation du mouvement dans cette étude étant marqué par un signal lors de chaque phase, le mouvement est réalisé plus correctement. Ainsi, à la fin de l'apprentissage, la réalisation du mouvement, même sans l'utilisation de la stimulation rythmique auditive est plus satisfaisante comparée à celle d'un apprentissage sans ce moyen.

## **5 Robotique et rééducation**

Un robot de rééducation est un dispositif motorisé interactif, c'est l'un des outils technologiques de rééducation. Il en existe différents types, par exemple les dispositifs robotisés pour la rééducation de la marche, mais aussi les robots de rééducation du membre supérieur. Parmi ces derniers, il existe ceux à technologie simple, comme les robots orthèses permettant la fonction de préhension. Et ceux à technologie complexe comme les orthèses robotisées à dispositif mécanique articulé, ou les exosquelettes motorisés. Ces derniers conçus surtout pour être portés par les patients pour une longue durée et une compensation des compétences dans la vie quotidienne.

Ils présentent plusieurs avantages comme la répétabilité des mouvements en quantité et en qualité car la reproductibilité reste sensiblement la même. Ils permettent aussi un contrôle très précis de certains paramètres comme la force d'exécution et la nature des amplitudes articulaires du mouvement. Les robots de rééducation permettent également un guidage et un allègement gravitaire pour le membre déficient. Ils permettent un travail au choix: en 2D ou 3D Ou uniquement une rééducation proximale.

Des études ont été réalisées sur la rééducation par le moyen de dispositifs robotisés dans le domaine de l'hémiparésie. Des améliorations positives ont été observées quant à l'utilisation des robots dans la rééducation du membre supérieur. Surtout en ce qui concerne la diminution de la spasticité et le gain d'amplitude articulaire. Ces outils ont également un effet sur le psychique du patient car ils représentent un nouveau domaine pour les patients et favorisent leur motivation et leur engagement pour la rééducation.

## 6 Exercices proposés pour la réalisation d'un protocole expérimentale

Parmi les différentes techniques de rééducation du membre supérieur hémiparétique, celles qui correspondent le plus à l'exécution de la tâche recherchée dans cette étude sont plutôt citées dans les techniques orientées vers la tâche (spécialement celle de la contrainte induite) et surtout celle de la technique de Perfetti. Le but étant de concevoir un exercice pour le membre supérieur hémiparétique adapté avec un dispositif qui produirait un retour sonore.

Dans les exercices de Perfetti, certains exercices du premier degré peuvent être utiles à l'objectif recherché. Par exemple les exercices sollicitant les modalités tactiles. Quoique ces exercices soient orientés surtout vers la perception. Ils inspirent à des mises en situation intéressantes. Voici quelques situations de la mise en exécution du membre supérieur pathologique.

### 6.1 Exercices proposés

- Exercice de reconnaissance de cercles de diamètres différents

Sur une tablette ou figure des cercles de différentes tailles, le patient est amené à parcourir chaque cercle du doigt. En essayant d'être le plus précis possible. L'exercice peut également être réalisé avec un outil de taille adapté dans le cas où le pointage avec le doigt serait difficile pour le patient.

Matériel:

- Tablette de perception tactile.
- Accessoire de glissement à ressorts ou non avec surface plus ou moins dérapant et arrondie.
- La forme de la tête de l'accessoire peut être modifiée pour que le sujet puisse la tenir, par exemple en forme de cône.

- Exercice d'orientation de la main décrivant un arc de cercle

Dans cet exercice, le patient doit contrôler la rotation du bras et la flexion-extension du poignet. Le but étant d'être le plus précis possible afin d'arriver à décrire un arc de cercle avec la main suivant un parcours fixé à l'avance. Sur une tablette, placé horizontalement ou frontalement, un arc de cercle d'une grandeur assez importante, contient des points précis représentant des repères. Le patient doit parcourir chaque repère l'un après l'autre de manière continue afin de réaliser le mouvement global de rotation du bras. La grandeur de l'arc de cercle étant réalisée dans ce but, les repères situés aux deux extrémités de l'arc de cercle, à gauche et à droite, correspondent à la rotation interne et externe du bras. Ainsi, le patient est obligé de réaliser un mouvement complet afin de parcourir toute la forme géométrique. Le patient est amené à réaliser le mouvement dans les deux sens.

Matériel:

- Tablette avec repères.
- Outil adaptable à la main de façon à permettre sa préhension afin de parcourir la forme géométrique.

- Contrôle de la motricité fine

Cet exercice est réalisé au moyen du matériel constitué d'une tablette ou un tableau placé frontalement, représentant des formes géométriques, et un outil adapté à la surface de la main du patient. Cet outil est placé devant la tablette. Les deux sont liés au moyen d'un bâtonnet fixé à l'outil, ou d'un faisceau lumineux projeté par l'outil sur la tablette. Le faisceau lumineux, ou le bâtonnet, permettrait ainsi de parcourir des formes géométriques représentées. Le but est d'exécuter un contrôle fin des muscles du membre supérieur. Le

patient doit orienter l'outil adapté qui peut être un accessoire à ressorts, ce qui permettrait sa mobilité. Le but est d'orienter le bâtonnet afin de parcourir des formes sur une tablette placée frontalement.

Matériel:

- Tablette représentant forme géométrique.
- Accessoire à ressorts.
- Bâtonnet liant la tablette et l'accessoire ou dispositif permettant de projeter un faisceau lumineux.

## **6.2 Possibilité d'introduction d'un retour sonore dans les exercices**

En fonction de l'écart à la cible, on peut imaginer des sons à caractéristiques variables.

- Exemple:
  - Changement d'amplitude (niveau sonore plus important lorsqu'on s'écarte ou inversement).
  - Possibilité de faire des sons harmoniques et in-harmoniques sur le même principe.
  - Différenciation selon la position spatiale de l'objet et qui serait retranscrit dans le casque.

Introduire le son comme moyen d'identification de l'état de fluidité du geste, et de ce fait l'utiliser pour informer le sujet par rapport à la continuité de son mouvement.

Introduction de bruit par rapport au son initial proportionnel à la continuité/discontinuité du mouvement. Arrêt du son lorsque le geste est coupé: gestes saccadés. Les coupures peuvent être très courtes et se rallongent selon si le sujet s'arrête trop souvent.

## **7 Création d'un protocole expérimentale avec retour sonore pour membre supérieur hémiplégique**

Dans cette partie, nous présentons un exercice pour membre supérieur hémiplégique réalisé à l'aide d'un dispositif sonore. L'exercice s'inspire des exercices du 2ème et 3ème degré de la méthode Perfetti qui consistent à parcourir une forme géométrique à l'aide du membre supérieur en essayant d'être le plus précis possible.

Le but de l'exercice sera donc de suivre un chemin représenté sur un écran, voir la figure 1, à l'aide d'un outil numérique couplé à une interface de jeu et qui permettra d'enregistrer la position du membre supérieur en continu. Il pourra s'agir d'une manette de Wii, d'une Souris, d'une tablette graphique ou bien d'un capteur accélérométrique ou de position électromagnétique.

Suivant le périphérique de jeu utilisé, cela aura une conséquence sur le plan spatial d'exécution du mouvement, à savoir dans un plan frontal ou horizontal. Ce dernier pourra être adapté suivant les capacités de mouvement du sujet. L'intérêt de notre expérience réside dans le fait que l'exécution sera accompagnée d'un retour sonore afin d'évaluer l'apprentissage du patient (ou du sujet).

Diverses possibilités de feed-back sonore ont été envisagées mais toujours concernant la position du curseur au parcours (et aux cibles) :

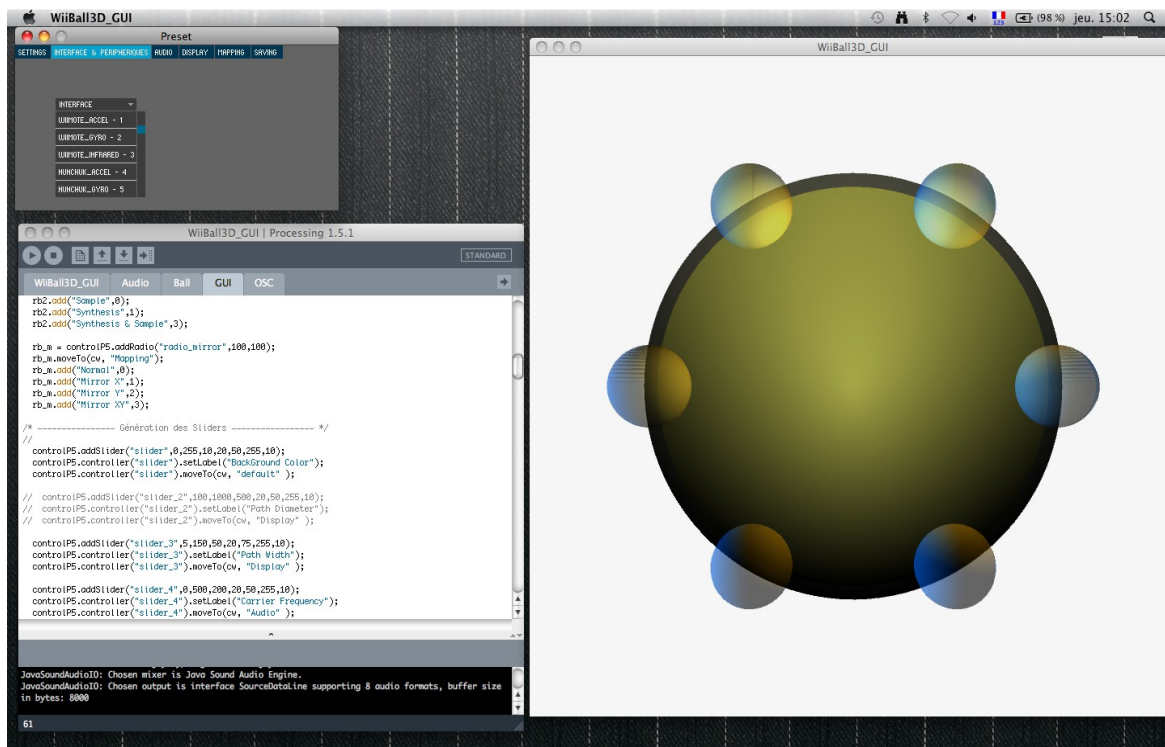
- Dans cet exercice spécifique, nous avons choisis d'introduire un retour sonore lorsqu'on parcourt un cercle. Le son produit continuellement changera de hauteur (fréquence) en fonction de la position de la main du sujet par rapport au cercle, selon si l'on est à l'intérieur ou à l'extérieur du chemin circulaire.
- En plus de l'écart par rapport au chemin, nous renseignons le sujet par le moyen de cibles sonores dans le

but d'augmenter l'information sur la précision de son geste.

De plus, nous avons envisagé la possibilité de rajouter un élément perturbant la position du curseur en rajoutant un handicap qui donne un effet de miroir par rapport au geste réel.

Consignes transmises au sujet lors la mise en place de l'exercice : « Nous vous demanderons de parcourir un cercle à l'aide de la (souris, Wii...) en essayant de ne pas s'écarter du chemin représenté à l'écran et en passant par le centre des 6 cibles (il faut toucher toutes les cibles). Vous devrez commencer votre geste au niveau de la boule située à l'extrême gauche de l'écran en suivant le chemin dans le sens des aiguilles d'une montre. Vous essayerez de garder une attention soutenue en effectuant 10 tours complets du cercle. A la suite d'un courte pose, vous effectuerez une autre série de 10 tours en appliquant le même principe, en sachant qu'il y aura un handicap couplé à votre geste. »

La figure 1 représente l'interface de travail sur laquelle on peut distinguer, à droite, la figure géométrique: le cercle, avec les 6 boules, à parcourir à l'aide de la souris ou d'un outil adapté. Et à gauche une visualisation des options d'enregistrement des données lors de l'exécution de l'exercice. A savoir que la partie gauche ne sera pas visible au sujet qui pratique l'exercice.



*Illustration 1: Forme géométrique à parcourir à l'aide d'un outil adapté.*

## 8 Références bibliographiques

Rééducation des accidents vasculaires cérébraux. G. Rode, S. Jacquin-Courtois, A. Yelnik. Module «Système nerveux central et MPR». Sept 2008. Cofemer.

Exercice musculaire excentrique. Pathologie locomotrice et médecine orthopédique. J.L. Croisier, P. Codine. 2009. Elsevier Masson SAS.

L'hypothèse cognitivo-motrice selon Perfetti. *Kinesither Rev* 2006; (55): 15-34.

La thérapie par contrainte en rééducation neurologique: Quelles modalités choisir? B. Leeman, J. Croix, D. Kupper, A. Schnider, 2007. *Annale de Réadaptation et de Médecine Physique* 51 (2008) 31-37.

Evolution des concepts en rééducation du patient hémiplegique. A. Yennik. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*. Vol 48, Issue 5, Juin 2005, 270-277.

Rééducation du membre supérieur chez un patient hémiplegique. B. Verdier. *Kinesither Rev* 2007, (63) 15-22.

A comparative study to find out the effectiveness of Brunnstrom vs Bobath technique improving the upperlimb function of hemiplegic patients.

Retraining reaching in chronic stroke with real-time auditory feedback. Ruth A. Maulucci and Richard H. Eckhouse. Mocco, inc, 344 Gannett Road, Scituate, MA USA.

Interactive therapeutic multi-sensory environment for cerebral palsy people. T. Gross and Al. *Interact* 2009, Part II, LNSC, pp. 696-699 2009.

Stimulation rythmique auditive dans le cadre de la rééducation de l'hémiplegique. J. Wormser et Col. Elsevier Masson SAS. 2010.

Incidental Music, a case study in the development of sound therapy. *The British Journal of Music Education*. 12, 59-70, 1995.

Virtual Interactive space (VIS) as a movement capture interface tool giving multimedia. T. Brooks. Intel, Congr. World Confed Physical Therapy, Japan, 1999.