

Douleurs fantômes, boîte-miroir et réalité virtuelle : une nouvelle approche pour le kinésithérapeute ?¹ (I)

JEAN-FRANÇOIS STOFFEL² – LAURENT MOUTON³
Haute école Louvain-en-Hainaut – Département de kinésithérapie

Introduction

À notre époque, les personnes ayant subi une amputation traumatique ou thérapeutique sont loin de constituer des cas isolés. Non contentes de devoir supporter le traumatisme psychologique consécutif à l'amputation d'une partie de leur corps (un membre dans la majorité des cas), amputation qui entraîne une perturbation de leur image corporelle, elles sont souvent sujettes à l'apparition d'un phénomène étrange : l'impression que leur membre amputé est toujours présent, ce qu'il est convenu d'appeler un « membre fantôme ». Cette impression de persistance de leur membre, que la majorité des amputés ressent à un moment ou à un autre de leur existence, s'accompagne, dans la

-
1. Cet article constitue la publication abrégée et légèrement remaniée du travail de fin d'études suivant : MOUTON (Laurent), *Douleurs fantômes, boîte-miroir et réalité virtuelle : une nouvelle approche pour le kinésithérapeute ? Ou quand une illusion soulage une douleur pas si illusoire... /* mémoire présenté sous la direction de Jean-François STOFFEL en vue de l'obtention du titre de master en kinésithérapie. – Montignies-sur-Sambre : Haute école Charleroi-Europe ; Département de kinésithérapie, 2009. – 79 p., xxiv.
 2. Adresse : 22 Rue des Loges, 5332 Crupet, Belgique.
Courriel : jfstoffel@skynet.be
 3. Adresse : 16 Rue des Acacias, 86340 Nieuil l'Espoir, France.
Courriel : laurent.mouton1@free.fr

plupart des cas, de sensations fantômes ou d'algohallucinoïse⁴, ce que le commun des mortels connaît sous la dénomination, que nous ferons nôtre, de « douleurs fantômes »⁵.

Qu'une partie qui n'existe plus du corps puisse engendrer des sensations étranges et même des douleurs (ponctuelles ou permanentes, d'intensité faible à paroxystique) pose question. Comment cela est-il possible ? Ces personnes seraient-elles victimes d'hallucinations ? Selon le philosophe français André Comte-Sponville, « avoir une hallucination, c'est percevoir *comme réel et présent* quelque chose *qui n'existe pas ou qui n'est pas présent réellement* »⁶. Si nous nous en tenons *stricto sensu* à cette définition, alors oui, les amputés sont victimes d'hallucinations. Cependant, ce philosophe souligne également que « le problème philosophique de l'hallucination, c'est qu'il est difficile de savoir si l'hallucination est une exception, comme on le considère ordinairement [...], ou bien la règle »⁷. Étant donné que presque tous les amputés ont un jour perçu l'« illusion »⁸ de la persistance de leur membre absent, illusion pouvant s'estomper par elle-même avec le temps ou, tout au contraire, persister à jamais, nous aurions tendance à croire que dans leur cas, il s'agirait de la règle et non d'une exception.

Faut-il alors simplement rechercher les causes de ce trouble douloureux au niveau de la psyché ou existe-t-il des fondements physiologiques – voire neurophysiologiques – susceptibles d'expliquer l'existence de membres fantômes et des sensations et douleurs qui les accompagnent généralement ? À l'appui de la première hypothèse, posons-nous la question suivante : les sensations fantômes sont-elles des manifestations propres aux personnes amputées ? « Oui » aurez-vous tendance à répondre spontanément. Cependant,

-
4. L'algohallucinoïse est le terme médical désignant « les douleurs que les amputés ressentent dans leur membre absent » [GARNIER et DELAMARE, *Dictionnaire illustré des termes de médecine*, p. 26].
 5. La référence à ce phénomène douloureux étant au centre de notre travail, nous avons pris le parti de nous référer à lui selon cette appellation commune et non pas selon sa désignation médicale.
 6. COMTE-SPONVILLE A., *L'hallucination, le rêve, la pensée. Une philosophie pour le cerveau*, p. 759.
 7. COMTE-SPONVILLE A., *L'hallucination, le rêve, la pensée. Une philosophie pour le cerveau*, p. 759.
 8. Nous préférons plutôt le terme d'« illusion » à celui d'« hallucination » qui, pour nous, présente déjà un caractère pathologique à tendance psychologique, et qui, dans nos sociétés contemporaines, souffre d'une forte connotation péjorative.

réfléchissez un instant à ces questions : N'avez-vous jamais eu l'impression que vous portiez toujours vos lunettes même après les avoir ôtées ? N'avez-vous jamais senti la présence de votre alliance (ou de votre montre), alors même que vous veniez de l'enlever ? Si votre réponse est « oui » à au moins une de ces questions, alors vous avez, vous-même, fait l'expérience de sensations fantômes, et pourtant vous n'êtes probablement pas amputés ni atteints de troubles du système nerveux central ou périphérique.

* * *

« Issu du latin *mirare* (s'étonner, être surpris, admirer), le miroir est un objet qui est capable d'en "refléter" un autre et de "renvoyer" son image. [...] Il offre, certes, une représentation "exacte" de ce qu'il reflète, mais cette représentation est-elle pour autant "fidèle" ? En fait, tout miroir est à la fois *loyal* et *trompeur* »⁹.

Cette définition du miroir met l'accent sur plusieurs éléments qui nous paraissent intéressants. En effet, le miroir est capable de refléter un objet, un corps ou une partie d'un corps, et d'en donner une représentation exacte dans ses moindres détails, à condition toutefois que ce miroir n'ait pas de propriétés déformantes. Bien que cette représentation soit donc exacte, elle n'est cependant pas fidèle, puisque le miroir joue le rôle d'un axe de symétrie : il inverse systématiquement la gauche et la droite, de sorte que lorsque nous déplaçons notre bras droit par exemple, notre double, que donne à voir le miroir, déplace, quant à lui, son bras gauche. Ainsi, tout miroir est à la fois loyal, puisqu'il nous renvoie notre propre image tels que nous sommes, mais également trompeur, puisque cette image est inversée. Le miroir abuse donc de notre confiance et ne produit finalement qu'une illusion, une projection de nous-mêmes dans un monde imaginaire.

* * *

Ne serait-il pas possible d'utiliser l'illusion que produit le miroir afin de soulager les sensations et douleurs elles-mêmes « illusoires » ressenties par les amputés au niveau de leur membre fantôme, même si, dans la réalité, elles ne le sont pas tant que ça ? Cette idée, bien qu'elle puisse paraître saugrenue de prime abord, a émergé dans l'esprit d'un neurologue indien, Vilayanur S. Ramachandran, consécutivement au constat qu'une multitude de traitements se sont attaqués au problème de douleurs fantômes sans jamais parvenir à les

9. MARZANO M., *Dictionnaire du corps*, p. 590.

soulager. Regarder dans une « boîte-miroir » le reflet des mouvements réalisés par leur membre sain ne permettrait-il pas aux amputés unilatéraux d'avoir un contrôle volontaire sur leur membre fantôme et, ce faisant, de leur offrir la possibilité de soulager leurs sensations et leurs douleurs ?

Si une telle orientation thérapeutique arrivait à faire la preuve de son efficacité, ce qu'il faudra examiner dans un premier temps, nous nous sommes demandé, dans un second temps, quelle pourrait être la profession de santé la plus à même de la mettre en œuvre ? En l'occurrence, se pourrait-il qu'il s'agisse du kinésithérapeute ?

* * *

Désireux de replacer le phénomène d'algohallucinoïse dans son contexte, nous débuterons notre travail par une partie préliminaire qui définira ce que sont les membres fantômes, les sensations et les douleurs fantômes, qui décrira les populations qui en souffrent et qui évoquera les étiologies possibles responsables de ces douleurs. Dans le but de situer dans son contexte historique cette nouvelle orientation thérapeutique, la première partie comportera non seulement une section décrivant comment la communauté scientifique a perçu le phénomène de membre fantôme à travers le temps, mais également un historique des traitements essayés jusqu'à présent dans le but de soulager ces douleurs. Dans la deuxième partie, nous expliquerons les fondements de cette nouvelle approche, présenterons les expériences qui la sous-tendent et les différentes implications thérapeutiques qu'elle paraît pouvoir susciter. La dernière partie, quant à elle, tentera de mettre en évidence que le kinésithérapeute est bel et bien le professionnel de santé le plus apte à utiliser cette méthode avec les patients amputés.

Généralités sur les membres fantômes

Les membres fantômes sont des phénomènes très communément rencontrés essentiellement chez les personnes :

- 1) ayant subi une amputation ;
- 2) ayant des troubles nerveux périphériques comme une avulsion du plexus brachial ;
- 3) ayant été victimes d'une section complète de la moelle épinière.

La majorité des amputés en aurait déjà fait l'expérience, en règle générale immédiatement après leur amputation.

I. Définitions

I.1. *Membre fantôme*

Un membre fantôme est l'impression, pour la personne amputée, de percevoir la partie amputée comme étant toujours présente avec toutes les caractéristiques qu'avait son membre avant l'amputation (*i.e.*, taille normale, position et posture correcte du membre, impression de pouvoir déplacer volontairement le membre...) [12]¹⁰. En revanche, certains sujets voient leur membre fantôme raccourci (que l'on appelle un fantôme télescopé), prendre une position inadéquate, ou s'aperçoivent qu'ils ne sont plus capables de le déplacer volontairement, ce qui peut provoquer chez eux des sensations anormales, voire même des douleurs intenses qui peuvent être constantes et insupportables. Enfin, nous devons tout de même faire remarquer que les sujets amputés ont bien conscience que ces sensations ne sont qu'illusoirs [65].

I.2. *Sensations fantômes*

Les sensations fantômes (PLS), que nous distinguerons dans un instant des douleurs fantômes, sont des manifestations non douloureuses perçues dans le membre fantôme [18]. Les plus communément rencontrées sont les fourmillements, les engourdissements, les picotements, les démangeaisons et les sensations de chaud et de froid [48]. Bien qu'elles ne soient pas douloureuses, elles peuvent représenter un désagrément tout aussi – voire plus – perturbant que les douleurs fantômes. En effet le sujet ressentant des démangeaisons dans son membre fantôme se trouve dans l'incapacité de se gratter, puisque son membre n'est plus présent, et donc de soulager cette sensation désagréable [18].

I.3. *Douleurs fantômes*

Les douleurs fantômes (PLP), quant à elles, sont les manifestations douloureuses perçues dans le membre fantôme [18]. Elles se matérialisent le plus souvent, d'une part, sous forme de crampes, de constrictions, d'arrachements

10. Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie, publiée à la fin de la deuxième et dernière livraison de cet article.

du membre et, d'autre part, de brûlures et de décharges électriques. Dans le premier groupe, elles traduisent une tension musculaire dans le membre résiduel [26] et, dans le second, des problèmes vasculaires, plus précisément une réduction du débit sanguin superficiel [26].

Selon les auteurs [27, 29, 47, 58], entre 30 à 80 % des amputés sont confrontés à ces phénomènes douloureux qui peuvent être ponctuels ou bien permanents. Enfin, ces manifestations douloureuses sont malheureusement imprévisibles et restent peu réactives vis-à-vis des traitements mis en place jusqu'à présent [12].

2. Populations touchées par les PLS et les PLP

Les PLS et les PLP sont principalement ressenties à la suite de l'ablation d'un membre, mais elles peuvent également l'être après l'amputation de n'importe quelle partie du corps. Ainsi, il n'est pas rare de percevoir des sensations et douleurs fantômes lors de l'amputation d'un sein, du pénis, de la vessie, du rectum, de l'utérus, des intestins ou des dents [29, 47, 65].

Dans les pays occidentaux, les principales causes d'amputations demeurent les maladies vasculaires chroniques [27] et les accidents (de travail, de la route...). En revanche, dans les autres parties du monde, où les guerres – civiles ou ethniques – font rage, elles sont plutôt d'ordre traumatiques et provoquées par les violences de l'homme (sections suite à des blessures par arme à feu, par armes blanches ou par les champs de mines...). Il semblerait par ailleurs que l'origine de l'amputation (traumatique ou suite à une maladie chronique) ait une incidence sur l'intensité des PLP, même si aucune étude n'a encore pu clairement mettre en évidence cette corrélation [27].

Enfin, les PLS et les PLP semblent avoir une incidence plus importante selon l'âge auquel survient l'amputation, puisque nous constatons que ces phénomènes sont plus présents chez les adultes, moins fréquents chez les enfants pour devenir pratiquement inexistantes chez les personnes souffrant d'aplasie congénitale [27, 65].

3. Étiologies possibles des PLS et des PLP

3.1. Origines périphériques

La communauté scientifique a longtemps supposé que l'origine première des PLP provenait de perturbations du système nerveux périphérique (SNP). En effet, en 1872, Silas Weir Mitchell (1829-1914), médecin américain, après avoir fait ressurgir un membre fantôme par l'application d'un courant faradique sur le moignon d'un sujet amputé au-dessus du coude, a émis l'hypothèse que les douleurs fantômes proviendraient de névromes d'amputations¹¹ se situant dans le moignon [5]. Cependant, les névromes ne pourraient pas être, à eux seuls, responsables de l'apparition des PLP, puisque ces douleurs apparaissent bien souvent avant qu'un névrome n'ait pu se former [27]. Par ailleurs, l'implication du système sympathique, notamment au niveau du ganglion spinal des racines dorsales de la moelle épinière, a également été envisagée comme une étiologie possible des PLP : les décharges anormales issues de ces ganglions pourraient renforcer les stimulations du névrome et provoquer les douleurs [27].

Cependant, grâce aux nouvelles techniques d'imagerie et à une meilleure compréhension des mécanismes cérébraux, il semble que l'origine des PLS et des PLP provienne plutôt du système nerveux central (SNC) comme nous allons le faire ressortir tout de suite.

3.2. Origines centrales

Des expériences qualitatives sur des sujets amputés ont permis de mettre en évidence qu'il se produirait un remaniement de l'organisation synaptique au niveau de la corne postérieure de la moelle épinière, du tronc cérébral, du thalamus et des cortex sensitifs et moteurs du cerveau [27]. En effet, dans les centres supraspinaux, il se produirait une réorganisation corticale entraînant une altération des *feedback* sensitifs et moteurs. Cette altération serait également associée au phénomène de « mémoire de la douleur »¹². Cependant, il

11. Le névrome d'amputation est une cicatrice exubérante et douloureuse développée sur l'extrémité proximale d'un tronc nerveux sectionné lors de l'amputation d'un membre [GARNIER et DELAMARE, *Dictionnaire illustré des termes de médecine*, p. 602].

12. KATZ et MELZACK (1990) sont les premiers à décrire ce concept de mémoire de la douleur chez les sujets amputés. Cette théorie propose que les douleurs ressenties antérieurement à l'amputation seraient mémorisées, cette mémoire serait alors un puissant dé-

convient de ne pas oublier que les aspects affectifs et motivationnels interviennent aussi dans le processus d'apparition de la douleur [27].

* * *

Bien que les théories actuelles s'accordent sur la dominance du système nerveux central dans le mécanisme d'apparition des douleurs fantômes, il ne faut pas exclure les troubles du SNP qui peuvent se surajouter à ceux du SNC. Ainsi, de nombreux auteurs inclinent à penser que l'association de ces différents troubles nerveux est à l'origine des PLS et des PLP.

1^{re} partie

Historique des traitements des PLP

I. Introduction

Le phénomène de douleurs fantômes chez les personnes amputées a très certainement été connu depuis que les amputations sont pratiquées, à savoir l'Antiquité égyptienne¹³. Depuis lors et jusqu'à il y a peu, il a été entouré de beaucoup de récits pittoresques et de croyances populaires. Ce n'est seulement que depuis la fin du XIX^e siècle et l'apparition de la dénomination de « douleurs fantômes » par Mitchell au début des années 1870, que les douleurs fantômes ont réellement été prises en compte comme étant un problème pathologique existentiel pour ces sujets, de sorte que de nombreux professionnels de la santé ont tenté de remédier, de diverses manières, à ce douloureux problème. En 1980, par exemple, Richard Sherman [70], laboratoire clinique de psychophysiologie, Audie L. Murphy Memorial Veterans Hospital (San-Antonio, Texas) dénombrait pas moins de 68 types de traitements – conservateurs, orthopédiques, chirurgicaux, psychiatriques, psychologiques, etc. – dont 50 étaient encore en usage rien qu'aux États-Unis à cette époque.

Malheureusement, aucune de ces différentes approches thérapeutiques proposées jusqu'à présent n'a encore montré, à elle seule ou combinées, la

clencheur de PLP [cf. KATZ J., MELZACK R., *Pain « memories » in phantom limbs : review and clinical observations*, pp. 319-336].

13. Ce n'est qu'avec la découverte d'un sarcophage égyptien datant de plus de 2000 ans avant J.-C. et d'une momie qui présentait une prothèse du membre supérieur que l'histoire des amputations et de l'utilisation des prothèses débute [RAUPP J.-C., GRUMLER B., LARDRY J.-M., *La rééducation et l'appareillage des amputés*, p. 3].

possibilité d'offrir un soulagement définitif de ces douleurs fantômes aux amputés. Afin de montrer l'évolution et l'engouement suscité par le phénomène de PLP, il nous paraît important de retracer, à travers les âges, l'intérêt que lui a porté le monde médical, qui, dans un premier temps, s'en est désintéressé, laissant la littérature populaire combler le vide laissé, avant que, dans un second temps, la littérature scientifique ne la rattrape et devienne très importante. Ensuite, nous évoquerons brièvement les intérêts et inconvénients des principales orientations thérapeutiques qui se sont succédées au cours du temps dans le but de soulager les douleurs fantômes des amputés.

2. Des récits pittoresques aux premières évocations scientifiques

Le phénomène de membre fantôme a longtemps constitué un grand mystère pour le monde médical. En effet, comment appréhender la recherche des causes d'un tel phénomène, alors qu'il n'était pas imaginable qu'une partie manquante du corps puisse continuer à faire souffrir son ancien propriétaire ? Lorsque les médecins n'arrivent pas à identifier les raisons qui génèrent une affection, ils ont très – trop ? – souvent tendance à les considérer comme étant d'origine psychologique – voire psychosomatique –, ce qui s'est révélé particulièrement inapproprié pour les douleurs associées aux membres fantômes comme l'a établi le psychologue canadien Joel Katz [37]. Avant d'arriver, au XIX^e siècle seulement, à la conviction qu'il s'agissait en fait de troubles liés à des phénomènes physiologiques, l'absence d'explications scientifiques a été compensée par de nombreuses croyances populaires et récits pittoresques.

Ainsi, de nombreux « témoignages » concernant les membres fantômes peuvent être retrouvés, non pas dans la littérature scientifique, mais dans des œuvres romanesques telles que *Moby Dick* de Melville en 1851 :

« [*Achab*] – Écoute, charpentier, j'ose croire que tu te dis un bon ouvrier digne de son travail, n'est-ce pas ? Eh bien, ce qui parlera en ta faveur, c'est que je continue à sentir une autre jambe là où tu auras ajusté celle que tu fais, c'est-à-dire, charpentier ma vieille jambe perdue de chair et de sang, veux-tu dire. Ne peux-tu pas chasser le vieil Adam ?

[*Charpentier*] – En vérité, sir, je commence à y comprendre quelque chose. Oui, j'ai entendu dire des choses curieuses à ce sujet, sir... et comment un homme démâté ne perd jamais entièrement le senti-

ment de son vieil espar, mais qu'il y sentira des picotements parfois. Puis-je humblement vous demander s'il en est ainsi, sir ?

[*Achab*] – Il en est bien ainsi, homme. Tiens, mets ta jambe vivante là où autrefois se trouvait la mienne. Et maintenant l'œil n'y voit qu'une jambe, deux en voit l'âme toutefois. Là où tu sens vibrer la vie, là exactement là, à un cheveu près, je la sens. N'est-ce pas une énigme ? »¹⁴.

Cette description de la jambe fantôme ressentie par le Capitaine Achab montre bien que le phénomène de membres fantômes était parfaitement connu par tout un chacun à cette époque et que Melville lui-même avait dû être en contact avec une personne en ayant fait l'expérience. Soulignons également, conformément à l'utilisation par le Capitaine Achab du terme « âme », que de nombreuses personnes ont vu, dans l'apparition d'un membre fantôme, une manifestation directe de celle-ci, à l'instar de Lord Nelson (1758-1805) après qu'il ait perdu son bras droit lors de l'attaque ratée de Santa Cruz de Tenerife en août 1797 [64].

En 1866, une nouvelle intitulée *The case of George Dedlow* [6], initialement publiée anonymement dans un magazine de littérature populaire (*Atlantic Monthly*), est finalement attribuée au médecin américain Mitchell. Celui-ci réalise une magnifique description du phénomène de membre fantôme et de ses diverses manifestations, de même qu'il nous livre une explication de son fonctionnement qui, bien qu'incomplète, est en adéquation avec le niveau de connaissance de l'époque [6]. Dans cette nouvelle, il relate l'histoire d'un jeune médecin militaire blessé durant la guerre de Sécession. Lors de son réveil à l'hôpital militaire, alors qu'il ressentait une crampe dans son mollet et qu'il demandait à l'infirmier de le lui frotter, il découvre qu'il a été amputé de ses deux jambes. Après quelques mois, ses jambes fantômes avaient fini par disparaître. À la fin du récit, le soldat alla chez un médium et réussit à entrer en contact avec ses jambes perdues. Il fut même, à la fin de ce récit, capable de marcher quelques pas avec elles, avant qu'elles ne re-disparaissent à jamais. De nombreuses personnes [32] pensent que Mitchell a volontairement relaté le phénomène de membre fantôme d'abord dans un magazine non médical, avant de l'intégrer dans un ouvrage scientifique [5], afin d'observer dans un premier temps la réaction des lecteurs à l'égard de ces manifestations, puisque, au final, son récit scientifique [5] ne diffère que peu de sa version littéraire initiale [6].

14. MELVILLE H., *Moby Dick*, p. 402.

En l'état actuel de nos recherches nous n'avons pas été en mesure de trouver dans la littérature populaire de tels récits pittoresques qui soient antérieurs au XIX^e siècle. Nous avons cependant l'intime conviction qu'il en existe pourtant pour les périodes antérieures, tout comme, de manière parallèle, il semble que la littérature scientifique soit pauvre avant cette date-là.

* * *

C'est Ambroise Paré (1510-1590) [7], chirurgien et anatomiste français, qui fait la première description de ce phénomène en 1551, bien qu'alors il n'utilise pas encore le terme de membre fantôme. Puis, très étrangement, durant près de 300 ans, plus aucune référence à ces manifestations n'est faite dans le monde scientifique, si ce n'est celle d'Aaron Lemos, médecin allemand, en 1798 dans son œuvre *Dolorem Membri Amputati* [59]. Il faut alors attendre 1872 et Mitchell [5] pour qu'apparaisse enfin le terme de membre fantôme dans un ouvrage scientifique. Que s'est-il passé durant ces trois siècles ? Pourquoi le monde médical s'est-il désintéressé si longtemps de cette manifestation, allant même jusqu'à nier son existence en le ramenant à un pur phénomène psychologique ? Une explication possible pourrait faire appel à la notion « d'obstacle épistémologique » [1] élaborée par le philosophe français des sciences Gaston Bachelard (1884-1962) en soutenant la thèse selon laquelle la pensée médicale d'obédience « mécanique » se trouvait dans l'incapacité de concevoir qu'une partie manquante d'un corps puisse entraîner une sensation de persistance et par conséquent de douleur. Cependant, il ne s'agit que d'une hypothèse de lecture, en l'occurrence une tentative d'interprétation de ce vide scientifique autour de ce phénomène

En revanche, depuis l'époque de Mitchell, les membres fantômes (et les sensations et douleurs qu'ils peuvent engendrer) ont fait l'objet de l'attention et des recherches de nombreux professionnels de santé. Le contexte historique étant donc posé, arrêtons-nous sur les différents types de traitements qui se sont succédés dans l'optique de soulager les PLS et les PLP.

3. Les différents traitements utilisés

Les différents types de traitements essayés afin de soulager ces douleurs ont été nombreux, mais ils ont tous des résultats mitigés et aucun ne ressort comme étant réellement efficace à lui seul pour soulager tous les types de PLP.

En effet, à partir du moment où les traitements ne sont pas dirigés vers les mécanismes produisant les douleurs, ils s'avèrent bien évidemment être inefficaces, et même quand ils le sont, leur efficacité reste relativement limitée.

Les traitements chirurgicaux semblent donner de bons résultats, chaque type d'opération pouvant intervenir sur l'une ou l'autre des causes centrales ou périphériques liées à l'apparition des PLP. Initialement, les premiers chirurgiens convaincus que l'origine des douleurs fantômes provenait de névromes localisés dans le moignon ont proposé un remodelage du moignon ; une résection et une ligature des terminaisons nerveuses ; ou une nouvelle amputation du membre au-dessus de la précédente. Les interventions ont par la suite visé les structures sous-thalamiques [19, 60] avant de s'attaquer aux structures supra-thalamiques [28, 61, 74]. Cependant, ces traitements ne sont pas sans risques ni effets secondaires et leurs effets peuvent n'être que transitoires [58]. Ils nous semblent donc devoir n'être utilisés qu'en dernier recours, après l'échec de tout traitement conservateur [40].

Les traitements pharmacologiques seraient aussi susceptibles de soulager les PLP ou de prévenir leur apparition après une amputation. Les médicaments capables d'inverser ou de prévenir la réorganisation corticale – antagonistes des récepteurs N-Methyl-D-Aspartate (NMDA) [76] ; agonistes des récepteurs acide gamma-aminobutyrique (GABA) [14, 73] – semblent de nos jours présenter un réel intérêt pour remédier aux douleurs fantômes bien qu'il existe toujours une controverse à leur sujet. Quant à l'utilisation d'analgésiques en préventif [13, 33, 44, 56], elle semble également intéressante, bien que, là aussi, il existe une certaine polémique. Autre réserve, si certaines substances permettent de réduire les PLP, d'autres, et ce de façon fortuite, pourraient au contraire provoquer le retour de ces douleurs [69], voire même induire des sensations fantômes chez des sujets qui ne sont pas amputés [21]. Enfin, tant de molécules ont été utilisées – seules ou associées entre elles – qu'il devient difficile de déterminer celles qui sont réellement efficaces.

Les prothèses ont également un intérêt dans le soulagement des douleurs fantômes à condition que ce soient des prothèses fonctionnelles [41, 75], c'est-à-dire permettant une utilisation quasi normale du membre amputé, puisque le mouvement permettrait de réduire la réorganisation corticale qui serait à l'origine des PLP. Les prothèses cosmétiques, quant à elles, ne réduisent pas

les douleurs et sont même parfois mal tolérées si les PLP existent chez l'amputé qui la porte.

L'utilisation de la stimulation nerveuse électrique transcutanée (TENS), qu'elle soit topique [25] ou au niveau de l'oreille externe [36], semble avoir des effets bénéfiques sur les PLP, bien qu'ils soient modérés. Cependant, nous devons rappeler, d'une part, que les effets qu'elle induit sont difficilement dissociables d'un effet placebo, comme a pu le mettre en évidence une des expériences [25], et, d'autre part, qu'elle permettrait surtout une amélioration de la cicatrisation du moignon [25].

Les techniques plus « ésotériques » – telles que l'acupuncture [16, 39, 77], le *biofeedback* [15], la stimulation calorique vestibulaire [12], l'hypnose [57], la désensibilisation et la reprogrammation des mouvements oculaires (EMDR) [68] ou la réflexologie [20] – ont également montré des signes encourageants pour soulager les PLP, bien que les raisons d'un tel succès ne soient pas encore clairement identifiées.

* * *

Les différentes techniques présentées dans cette partie historique offrent un certain intérêt, mais montrent aussi toutes leurs limites dans le soulagement des douleurs fantômes, puisque aucune d'entre elles ne peut être considérée comme étant « le » traitement universel de cette pathologie. L'étiologie supposée des PLP a d'abord été envisagée au niveau local, c'est-à-dire au niveau du moignon, et les traitements étaient alors topiques. Par la suite, il est apparu qu'il s'agissait d'un problème nerveux périphérique et là encore les traitements en rapport avec cette étiologie n'étaient pas suffisants pour soulager ces douleurs. Enfin, à l'heure actuelle, grâce aux techniques d'imagerie médicale et à notre meilleure connaissance du fonctionnement du cerveau, les scientifiques ont pu mettre en avant que l'origine réelle des PLP ne relevait plus du système nerveux périphérique, mais bien du système nerveux central, à savoir qu'une réorganisation corticale se produisait après l'amputation. Les traitements actuels tendent donc essentiellement à résoudre le problème des douleurs fantômes par des actions directes au niveau cérébral.

Dans la continuité de ce nouveau paradigme, une nouvelle orientation thérapeutique à caractère neurologique a fait son apparition. Totalement novatrice, celle-ci utilise des moyens non invasifs et, qui plus est, elle est dépour-

vue d'effets secondaires. Cette thérapeutique, dont les fers de lance sont l'imagerie motrice et l'observation motrice, consiste à avoir une action concrète sur le cerveau et sur sa réorganisation corticale, en lui suggérant que la partie corporelle manquante est, au final, toujours bien présente : elle utilise des stratagèmes à distance qui agissent directement sur les structures cérébrales ! L'imagerie motrice est une technique qui consiste à imaginer non seulement que le membre est toujours présent, mais également que celui-ci réalise correctement les mouvements que lui ordonne le cerveau. Elle activerait ainsi les aires corticales prémotrices et motrices primaires qui entrent en jeu dans l'élaboration et la réalisation du mouvement, sans qu'aucun mouvement ne soit pourtant effectué [42, 46]. Quant à l'observation motrice, grâce à un dispositif de boîte-miroir ou d'un environnement de réalité virtuelle, elle peut donner au sujet amputé l'illusion que son membre amputé est de nouveau présent et qu'il a dès lors la capacité de le déplacer à sa guise puisqu'il le voit bouger dans ledit miroir. C'est cette dernière technique que nous nous proposons de développer en détail dans la partie qui suit.

2^e partie

Boîte-miroir, réalité virtuelle et PLP

1. Introduction

Comme nous avons pu le voir dans la partie précédente, de nombreuses thérapies ont été imaginées – voire mises en œuvre – pour soulager les sensations et douleurs fantômes, avec plus ou moins de succès.

Désormais, grâce aux nouvelles techniques d'imagerie médicale et à une meilleure compréhension des mécanismes cérébraux, les thérapeutiques les plus récentes tendent à s'orienter vers le domaine neurologique. Ainsi, parallèlement à l'imagerie motrice, l'autre grande orientation neurologique se proposant de soulager les phénomènes douloureux chroniques (comme les douleurs fantômes) est l'observation motrice et l'utilisation d'un système de boîte-miroir ou de réalité virtuelle. Ces approches neurologiques marquent de la sorte une réelle rupture avec les anciennes thérapies, puisqu'elles recherchent les causes douloureuses non pas au niveau du corps lui-même ni du moignon, mais bien au niveau des zones de projection corticales. L'aspect innovant de ces 2 approches réside donc dans le fait que c'est l'utilisation d'un mouvement

d'une partie du corps – au demeurant manquante ! – qui permet de traiter, à distance, un désordre provenant du cerveau.

Après avoir présenté cette nouvelle approche imaginée par Vilayanur S. Ramachandran et son dispositif de boîte-miroir, puis étudié ses travaux fondateurs sur les membres fantômes, nous présenterons et commenterons les différents dispositifs qui ont succédé au sien, et les découvertes, par Giraux, Murray, Brodie et enfin MacLachlan, qu'ils ont permises.

2. Les dispositifs

2.1. *Dispositif initial*

Dans une de ses expérimentations menées en 1996 [63], Ramachandran a développé un système qui est non seulement original, mais également réalisable très aisément par chaque professionnel de santé désireux de traiter des patients qui souffrent de PLP. Cette « boîte de réalité virtuelle »¹⁵ (figures 1 et 2), comme il la nomme lui-même, consiste simplement à placer un miroir verticalement au milieu d'une boîte dont les parties antérieures et supérieures auront été préalablement enlevées. De cette manière, la personne amputée pourra avoir une vision complète du reflet de sa main saine dans le miroir. Cette boîte est ensuite installée perpendiculairement à la poitrine du patient et son extrémité supérieure vient pratiquement au contact de son menton. Le sujet met son membre sain du côté du miroir et son membre fantôme de l'autre côté de façon à ce que le reflet se superpose avec la position de ce fantôme, créant ainsi l'illusion que la partie amputée est de nouveau présente.

Suite à l'envoi d'une commande motrice aux deux membres pour réaliser un mouvement symétrique, le patient a alors l'impression que sa partie manquante est de nouveau fonctionnelle et que celle-ci répond aux ordres qu'il lui donne. Grâce au miroir, il obtient alors un feedback visuel informant le cerveau que son membre perdu bouge correctement [65].

Cependant, ce dispositif est loin d'être parfait comme l'a fait remarquer Craig D. Murray [55], School of psychological sciences, Université de Manchester (Manchester, Royaume-Uni). En effet, le patient doit rester dans une position assez figée tout au long du processus. Sa tête doit être orientée vers le

15. RAMACHANDRAN V. S., ROGERS-RAMACHANDRAN D., *Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors*, p. 379 [nous traduisons].

miroir, qui, quant à lui, doit se situer au niveau du plan sagittal moyen de la personne. De telles contraintes ne laissent donc que peu de libertés de mouvement et réduisent considérablement le champ d'action du miroir dans l'espace, qui se trouve limité à l'envergure du sujet. Un autre inconvénient de ce système vient du fait que la personne amputée, lorsqu'elle utilise le miroir, doit faire abstraction de son membre intact pour ne se focaliser que sur le reflet que celui-ci projette. Dans le cas contraire, en effet, le cerveau n'est pas « trompé » et l'illusion ne fonctionne pas.

Aussi imparfait soit-il, ce dispositif a au moins le mérite d'exister et de pouvoir facilement être mis en œuvre par les kinésithérapeutes lorsqu'ils sont confrontés à des personnes amputées souffrant de PLP, d'autant plus qu'ils utilisent déjà beaucoup les miroirs dans leurs thérapies.



Figure 1 : La boîte-miroir membre supérieur¹⁶.



Figure 2 : La boîte-miroir membre inférieur¹⁷.

-
16. RAMACHANDRAN V. S., HIRSTEIN W., *The perception of phantom limbs. The D. O. Hebb lecture*, p. 1620.
 17. BRODIE E. E., WHYTE A., NIVEN C. A., *Analgesia through the looking-glass? A randomized controlled trial investigating the effect of viewing a « virtual » limb upon phantom limb pain, sensation and movement*, p. 429.

2.2. Dispositif assisté par ordinateur

Le dispositif mis en place par Pascal Giroux, Institut des sciences cognitives, C.N.R.S. ; département de réhabilitation, Faculté de médecine Jacques Lisfranc (Saint-Étienne, France) [30] huit ans plus tard, soit en 2003, est sensiblement plus sophistiqué que celui que nous venons de décrire. Il nécessite l'utilisation d'un ordinateur, d'une caméra vidéo, d'un écran LCD et de deux miroirs (figure 3).

Le sujet place son membre fantôme sous un miroir incliné à 45° sur lequel sont projetés, via l'écran LCD se trouvant au-dessus du miroir, les mouvements, enregistrés lors d'une séance précédente, de son membre sain. Il doit alors réaliser, avec son membre fantôme, les mouvements qu'il voit sur le miroir, ce qui, de nouveau, donne l'illusion à son cerveau que la partie lésée est redevenue fonctionnelle.

Commençons tout d'abord par souligner que ce dispositif assisté par ordinateur améliore assez significativement les conditions d'utilisations (qui étaient auparavant assez contraignantes pour le sujet) par rapport à la boîte-miroir de Ramachandran. En effet, le sujet n'est plus obligé de « masquer » un hémicorps complet ni de garder sa tête figée dans la direction bien spécifique du miroir, puisque, dorénavant, il lui fait face. Par ailleurs, lors de la réalisation des mouvements, le patient devait faire abstraction de son membre sain (sa vision empêchant l'illusion de fonctionner) et ne se focaliser que sur la projection renvoyée par le miroir, ce qui n'est plus le cas ici, puisque l'image est directement projetée sur le miroir depuis l'ordinateur. Enfin, contrairement au procédé de Ramachandran, le sujet n'est plus contraint de réaliser des mouvements symétriques, seul l'envoi de la commande motrice du côté lésé suffit.

Cependant, ce dispositif, comme le précédent, présente également des limites. Tout comme pour la boîte-miroir, le champ d'action dans l'espace auquel il s'applique est, lui aussi, relativement restreint puisqu'il se limite à l'environnement immédiat de l'appareil. Problème non des moindres, ce procédé étant plus complexe à mettre en œuvre par le thérapeute, son usage nous semble plus indiqué chez des praticiens ou des centres spécialisés dans les affections neurologiques ou ayant une forte population d'amputés.

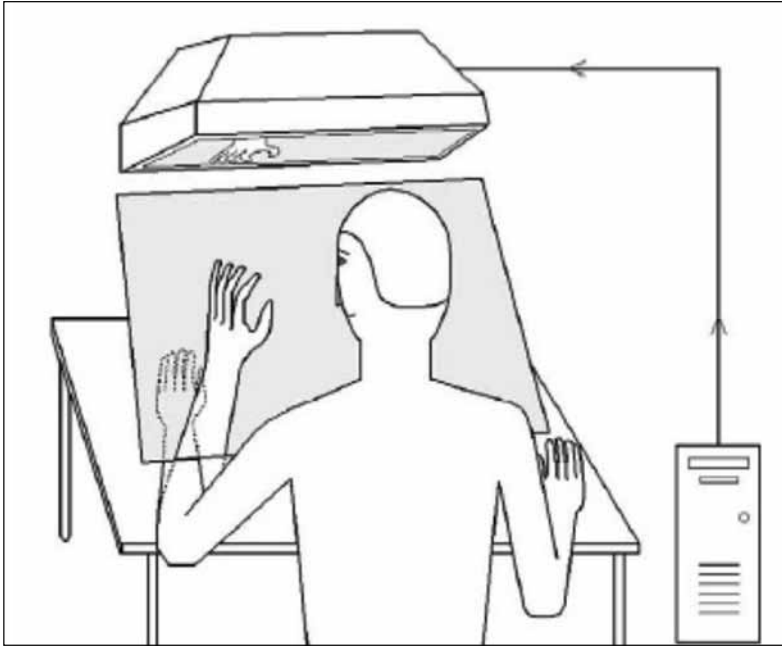


Figure 3 : Dispositif assisté par ordinateur ¹⁸.

2.3. Dispositif de réalité virtuelle

Avec l'avènement des nouvelles technologies et le développement informatique, la réalité virtuelle¹⁹, longtemps réservée au domaine de la science-fiction, arrive désormais dans un cadre thérapeutique comme le montre le procédé développé par Murray en 2006 [52] (figure 4). Celui-ci est d'autant plus complexe qu'une technologie et qu'un matériel hautement spécifique sont nécessaires à sa mise en œuvre. Le système nécessite en effet une interface de sortie visuelle (des lunettes V6 VR par exemple) afin de présenter l'environne-

18. GIRAUX P., SIRIGU A., *Illusory movements of the paralyzed limb restore motor cortex activity*, p. S108.

19. « La réalité virtuelle est une technologie permettant une simulation interactive en temps réel de la réalité. Il s'agit d'une technique de communication homme-machine consistant à immerger à l'aide de dispositifs d'entrée/sortie particuliers (casques, gants, etc.), une personne dans un univers sensoriel de synthèse recalculé en temps réel (images, son, sensations tactiles...). Elle est réalisée à l'aide d'images de synthèse, d'un environnement virtuel en 3D dans lequel on peut évoluer, donnant l'impression d'une immersion dans un monde réel » [Futura Science, http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/high-tech-1/d/realite-virtuelle_598/].

ment virtuel dans lequel sera immergé le patient (figure 5). Pour représenter virtuellement les mouvements des membres absents, un gant et des capteurs situés au poignet et au coude (chez les personnes amputées des membres supérieurs), et des capteurs placés à la cheville et au genou (chez les personnes amputées des membres inférieurs) seront indispensables. Enfin, ce système requerra un appareil capable de relever et d'interpréter la position et les déplacements du membre sain dans l'espace. Grâce à ces capteurs, un logiciel convertira l'image du membre sain vers le membre fantôme, de sorte que les mouvements du membre fantôme correspondront à une transposition des mouvements du membre sain.

Bien plus perfectionné, ce dispositif s'attache à corriger les inconvénients dont faisait preuve la boîte-miroir de Ramachandran. Désormais, le sujet étant *entièrement* immergé dans un environnement virtuel, son champ d'action spatial est illimité, tout comme il le serait dans la réalité. Il peut dès lors interagir avec tous les éléments présents dans cet environnement. Il n'y a plus aucune contrainte positionnelle comme nous pouvions en avoir dans le dispositif de 1996.

Cependant, une nouvelle fois, ce système n'est pas pour autant dépourvu d'inconvénients. Premièrement, la représentation du corps dans l'environnement virtuel (les muscles ou les ongles par exemple) est encore relativement sommaire et nécessite d'être amélioré [52]. Deuxièmement, technologie ne rime pas avec économie, de sorte qu'il nous semble difficile, pour des praticiens indépendants, d'utiliser un tel système. Son usage nous paraît donc particulièrement indiqué dans des centres spécialisés dans les affections neurologiques ou ayant une forte population d'amputés, ce que Murray suggère lui-même [54].



Figure 4 : Dispositif de réalité virtuelle²⁰.



Figure 5 : Environnement virtuel du sujet²¹.

* * *

Maintenant que nous sommes informés sur ces dispositifs et leur fonctionnement, nous allons pouvoir étudier les expériences qui ont été permises par leur utilisation.

20. MURRAY C. D., PATCHICK E., PETTIFER S., HOWARD T., CAILLETTE F., KULKARNI J., BAMFORD C., *Investigating the efficacy of a virtual mirror box in treating phantom limb pain in a sample of chronic sufferers*, p. 229.
21. MURRAY C. D., PATCHICK E., PETTIFER S., HOWARD T., CAILLETTE F., KULKARNI J., BAMFORD C., *Investigating the efficacy of a virtual mirror box in treating phantom limb pain in a sample of chronic sufferers*, p. 229.

3. Les expériences fondatrices

3.1. *Introduction*

Le dispositif de boîte-miroir développé par Ramachandran reste une découverte encore relativement récente puisqu'elle n'excède pas une quinzaine d'années (milieu des années 1990). Certaines de ses expériences fondatrices, pouvant présenter un intérêt thérapeutique, réalisées grâce à ce dispositif et toutes issues de son article *Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors* (1996), seront décrites avant d'être commentées. Nous tenterons alors de dégager les informations nous permettant de mieux appréhender et de mieux comprendre les phénomènes de PLS et de PLP, mais surtout de mettre en évidence des indications thérapeutiques possibles de son utilisation, notamment pour les kinésithérapeutes.

3.2. « *Amputation* » d'un membre fantôme

Dans cette expérience menée par Ramachandran en 1996 [63], le premier sujet à avoir expérimenté le dispositif de la boîte-miroir, un jeune homme de 28 ans, le patient D. S., a subi une avulsion du plexus brachial 10 ans avant sa prise en charge par Ramachandran, puis une amputation quelques centimètres au dessus du coude l'année suivant son avulsion.

D. S. avait la sensation vivace, premièrement que son fantôme était de taille normale, deuxièmement qu'il était figé dans la position dans laquelle il se trouvait avant l'amputation et troisièmement enfin qu'il était douloureux. Malgré tous ses efforts, il n'était en aucune manière capable de déplacer volontairement son fantôme.

Lors de l'entrée du patient dans l'essai clinique, l'expérimentateur, après lui avoir expliqué le mode de fonctionnement du dispositif, lui a demandé de placer ses mains (*i.e.* la saine et la fantôme) dans la boîte-miroir. Tout en fermant les yeux, D. S. devait essayer de bouger ses 2 mains, mais aucune réponse ne s'est produite du côté de son membre fantôme, celui-ci restant figé comme l'expérimentateur s'y attendait. En revanche, lorsque le sujet a recommencé la même manœuvre en pouvant cette fois regarder dans le miroir, il était, à sa grande surprise, capable de le faire bouger.

D. S. a ensuite tenté de déplacer son pouce et son index séparément, mais même lorsque son regard se portait sur le reflet du miroir, il n'a ressenti, cette

fois-ci, aucun mouvement se produire. Cette observation tendrait à montrer que la boîte-miroir ne fonctionnerait pas dans tous les cas, découverte importante en soi, puisqu'elle indiquerait que le mouvement ressenti par le sujet n'est pas le fruit de son envie de voir son membre fantôme bouger.

Afin de vérifier si l'utilisation régulière et répétée de ce système pourrait provoquer une persistance à long terme de cette sensation de mouvement, D. S. a été encouragé à utiliser ce procédé à raison de 15 minutes par jour. Au bout d'une semaine, le fantôme était toujours figé lorsque le patient n'utilisait pas la boîte-miroir, et mobile quand il l'utilisait. Il semblerait donc que nous puissions conclure que l'utilisation du miroir est une condition nécessaire au mouvement, mais qu'elle n'est cependant pas suffisante pour l'obtention de mouvements plus fins comme pour le mouvement des doigts.

Un phénomène inattendu s'est alors produit après trois semaines d'utilisation quotidienne du dispositif. Le patient a vu son membre fantôme disparaître en quasi-totalité. Ce dernier, de taille normale au début de l'expérimentation, s'est vu réduit à une partie de la paume de la main et des doigts, qui pendaient au niveau de son moignon à proximité de l'épaule. Il venait de subir un télescopage au cours duquel non seulement le bras fantôme, mais également la douleur vive ressentie au niveau du coude, en première approximation du moins, avaient disparu. Cette disparition de la douleur paraît cohérente : le coude fantôme n'existant plus, il n'y a plus aucune localisation possible pour la matérialisation de cette douleur. Suite à cette disparition, D. S. a cessé d'utiliser la boîte-miroir et a vu persister le phénomène de télescopage et la disparition de la douleur qui était associée à son membre fantôme, au moins six mois après cet arrêt. Ramachandran parle alors du « premier cas connu d'amputation d'un membre fantôme »²² et il conviendrait d'ajouter « amputation réussie » puisque sans séquelles (plus de douleurs).

Cette expérience met en évidence plusieurs intérêts de l'utilisation de ce dispositif.

En premier lieu, ce procédé de miroir permettrait de rendre une certaine mobilité à un fantôme figé. Une raison pour laquelle ce dernier serait figé proviendrait du conflit existant entre l'intention (*feedforward*) et la performance (*feedback*) du mouvement. Lorsque le cerveau compare le *feedback* du

22. RAMACHANDRAN V. S., ROGERS-RAMACHANDRAN D., *Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors*, p. 382 [nous traduisons].

mouvement par rapport au *feedforward* qu'il avait programmé, il observe une divergence, c'est alors que, petit à petit, le fantôme se fige. Le miroir rétablissant un *feedback* approprié au *feedforward* prévu par le cerveau, le mouvement du fantôme s'exécute [63].

En second lieu et de façon plus importante, cette expérience nous montre qu'une utilisation intensive du dispositif de façon régulière peut provoquer le phénomène de télescopage et donc une disparition du membre fantôme laquelle entraîne avec elle une disparition des PLP. Cependant, ce patient est, à notre connaissance, le seul cas répertorié ayant subi – ou bénéficié – d'une disparition quasi complète de son fantôme par l'utilisation de la boîte-miroir²³. Nous pouvons donc nous interroger sur la validité de cette expérience, puisqu'elle n'a, jusqu'aujourd'hui, jamais pu être reproduite, ni même mentionnée à nouveau dans la littérature, peut-être parce que ce phénomène de télescopage est relativement rare chez les personnes ayant subi une avulsion du plexus brachial [65].

Cette expérience unique révèle une découverte importante d'autant plus que les théories actuelles tendent à montrer que le télescopage serait, au contraire, une source de majoration des PLP [27]. Ainsi, en reproduisant cette expérience sur un plus grand nombre de sujets, nous serions plus à même de comprendre pourquoi, dans le cas des lésions nerveuses périphériques préamputatoires²⁴, le télescopage provoquerait une disparition des PLP.

3.3. *Fantôme paralysé et crampes de la main*

Après leur amputation, certains patients continuent d'éprouver des mouvements vivaces de leur fantôme comme, par exemple, masquer un bâillement, dire au revoir, se rattraper lors d'une chute, serrer la main d'une personne, etc. [63]. En revanche, d'autres perçoivent ce fantôme comme étant « paralysé » : il reste figé dans une position spécifique pouvant parfois être douloureuse (la plus fréquente étant une crampe de la main au cours de laquelle les doigts et les ongles viennent se planter dans la paume de la main).

23. Cependant, nous verrons par la suite qu'un phénomène similaire s'est produit avec l'utilisation de la réalité virtuelle.

24. En effet, de nombreux auteurs s'accordent à dire que les expériences préamputatoires auraient un impact sur la perception que le sujet pourrait avoir de son fantôme et notamment au niveau de la douleur, puisqu'il existerait une « mémoire de la douleur » [FLOR H., NIKOLAJSEN L., STAEHELIN JENSEN T., *Phantom limb pain : a case of maladaptive CNS plasticity ?*, p. 877].

Ces derniers sujets n'ont aucun contrôle volontaire sur la mobilité de leur fantôme, même au prix d'efforts intenses. Pour cette deuxième catégorie, Ramachandran [63] émit l'hypothèse que tout comme son dispositif de boîte-miroir avait déjà pu rendre sa mobilité volontaire à un fantôme paralysé (cf. partie II, § 3.2.), il pourrait également permettre aux sujets ayant des crampes de la main de pouvoir soulager leurs douleurs grâce à l'ouverture de celle-ci.

Le patient R. T., amputé quelques centimètres au-dessus du coude, avait un fantôme paralysé et souffrait de crampes de la main durant lesquelles il sentait ses ongles se planter dans la paume de sa main, crampes qu'il ne pouvait atténuer qu'après des efforts très intenses et prolongés. Lorsque R. T. a utilisé la boîte-miroir mise en place par Ramachandran, il a retrouvé, en regardant le reflet dans le miroir, la sensation de mouvements qu'il n'avait plus l'habitude de ressentir. Son contrôle était, grâce à ce dispositif, volontaire et total : à chaque fois qu'il souffrait d'une crampe, la boîte-miroir lui permettait d'ouvrir sa main et par conséquent de soulager, du moins pour quelques heures, la douleur qui y était associée comme le prévoyait l'expérimentateur.

La patiente P. N., amputée juste en dessous du coude, souffrait non seulement de crampes de la main, mais également de sensations de brûlure dans les doigts. Tout comme R. T., elle n'était pas capable de libérer cette crampe sans utilisation de la boîte-miroir. *A contrario*, lorsqu'elle utilisait le dispositif, elle pouvait étendre ses doigts et supprimer la douleur provoquée. En revanche, la sensation de brûlure qu'elle ressentait dans ses doigts n'a, en aucune manière, été affectée par la boîte-miroir, puisqu'elle persistait malgré tout.

Le patient R. L., ayant subi une désarticulation du coude, souffrait quant à lui au niveau de sa main fantôme, de crampes, d'une sensation de torsion involontaire et d'une paresthésie. Dans cette expérience, ce patient a servi de « contrôle placebo » puisqu'il lui a été demandé, lorsqu'il était atteint de crampes, d'utiliser un TENS sur son avant-bras réel afin de soulager la douleur ressentie dans son fantôme, ce qui s'est avéré ne pas fonctionner. En revanche, en utilisant la boîte-miroir, la crampe de la main et la douleur associée ont disparu, comme chez les deux autres patients. Cependant, comme pour la patiente P. N., la disparition des douleurs n'a pas été complète puisque, en l'occurrence dans ce cas-ci, la sensation de fourmillement n'a pas été affectée par le système miroir.

Afin d'expliquer pourquoi le relâchement de la crampe de la main provoque la disparition de la douleur qui y est associée, Ramachandran émet l'hypothèse que ces deux sensations (crampe et douleur) seraient intimement liées dans le cerveau, même chez les individus normaux, selon un mécanisme d'apprentissage Hebbien²⁵ [63]. Cette hypothèse rejoint donc le concept de neuromatrice [47] émis par le psychologue et physiologiste canadien Ronald Melzack, qui propose une organisation cérébrale complexe où les différentes parties du cerveau seraient liées dans le processus d'établissement de la douleur.

De nouvelles précisions se dégagent de cette expérience. Tout d'abord, elle vient confirmer qu'il est possible de rendre une mobilité à un fantôme paralysé, comme nous l'avions déjà observé chez le patient D. S. (cf. partie II, § 3.2.). Indépendamment de tout phénomène de télescopage, elle établit d'une part que ce mouvement permettrait de soulager, même de manière temporaire, certains types de douleurs, en l'occurrence les sensations de crampes de la main et d'autre part que toutes les formes de douleurs ne sont pas soulagées par ce dispositif : P. N. a conservé sa sensation de brûlure et R. L. a, quant à lui, toujours ses sensations de fourmillement.

3.4. *Feedback visuel sans mouvement du membre sain*

Dans les deux types d'expérimentations présentées précédemment, grâce à l'utilisation de la boîte-miroir, le fantôme des sujets a pu être mis en mouvements uniquement en envoyant au cerveau l'ordre de réaliser des mouvements symétriques des membres. Dans cette nouvelle expérience, Ramachandran [63] s'est demandé si les patients continueraient à ressentir cette sensation de mouvement lorsque la main placée face au miroir était celle de l'expérimentateur et non plus celle du sujet lui-même.

Deux patients, P. N. N. et K. S., se sont prêtés à l'expérience suivante. L'expérimentateur plaçait sa main du côté du miroir en totale symétrie avec

25. Donald Hebb (1904-1985), psychologue et neuropsychologue canadien, est à l'origine du concept d'apprentissage Hebbien. Il cherchait à établir une forme d'apprentissage associatif au niveau cellulaire. En d'autres termes, si deux neurones de part et d'autre d'une synapse (connexion) sont activés simultanément (d'une manière synchrone), alors la force de cette synapse doit être augmentée. En revanche, si les mêmes deux neurones sont activés d'une manière asynchrone, alors la synapse correspondante doit être affaiblie ou carrément éliminée [Université Laval, <http://wcours.gel.ulaval.ca/2007/a/21410/default/5notes/chapitre4.pdf>, p. 30].

les fantômes des sujets. Lorsque celui-ci réalisait un mouvement face au miroir, chaque sujet percevait des mouvements vivaces de son fantôme, bien qu'il n'ait lui-même envoyé aucune commande motrice à aucun de ses membres (*i.e.* ni au membre sain, ni au membre fantôme). Cependant, K. S. fit remarquer que les sensations de mouvements étaient moins fortes que lorsqu'il réalisait lui-même les mouvements face au miroir.

Dans une nouvelle série d'expériences menées en 2008 [66] et étudiant l'influence des neurones miroirs sur les membres fantômes, Ramachandran a montré chez 2 sujets, dans une première expérimentation, que le simple fait de regarder, dans le miroir, la main de l'observateur se faire toucher, provoquait chez l'amputé la même sensation tactile dans sa main fantôme que si elle avait été touchée. Dans sa deuxième expérience, il montre que même sans l'utilisation de son dispositif, les sujets amputés perçoivent également une sensation tactile dans leur fantôme lorsqu'ils observent – directement – la main de l'expérimentateur se faire toucher²⁶.

Faisons ressortir les nouvelles informations que nous apporte cette expérience. Tout d'abord, nous pouvons faire remarquer qu'il n'est pas nécessaire pour le sujet de réaliser lui-même un mouvement du membre sain en miroir du fantôme pour obtenir un effet de mouvement de celui-ci, ni que la main réelle du sujet soit touchée (elle est substituée par celle de l'expérimentateur) pour percevoir les sensations tactiles dans son fantôme. Ces constatations pourraient mettre en évidence l'implication des neurones miroirs et de l'observation motrice dans la réalisation des mouvements puisqu'elles émettent l'hypothèse que regarder une personne qui fait un mouvement serait déjà le réaliser ! L'observation motrice pourrait donc être d'une grande utilité, dans un premier temps tout du moins, chez les personnes n'ayant pas – ou plus – les capacités physiques de pouvoir réaliser physiquement un mouvement²⁷. Nu-
ançons cependant nos propos, car la réalisation du mouvement reste, tout de même, la meilleure manière d'améliorer les capacités physiques d'un individu.

26. Cependant, ce phénomène ne se produit pas chez la personne saine qui en regarde une autre se faire toucher : la première ne ressent pas la sensation tactile puisqu'aucun *feedback* tactile ne vient informer le cerveau que le membre a été touché.

27. L'observation motrice améliorerait ainsi, lors des premières semaines d'un réentraînement physique, les structures nerveuses responsables de l'augmentation de la force musculaire (adaptation neuromusculaire), avant qu'elle ne soit remplacée par l'hypertrophie musculaire.

Nous avons pu constater que l'observation motrice – qu'elle utilise la boîte-miroir ou non –, grâce aux neurones miroirs, pourrait également avoir une implication thérapeutique importante dans le sens où les sujets amputés, en regardant une autre personne se faire toucher, ressentent dans leur fantôme la même sensation que celle qui est en train de se faire toucher. Ne pourrait-on donc pas soulager certaines PLP en réalisant un massage chez un individu sain pendant que la personne amputée l'observe ?

Nous devons également faire remarquer que, bien que le feedback visuel soit suffisant pour susciter un mouvement du fantôme grâce au miroir cette sensation de mouvement est tout de même renforcée par les informations proprioceptives et motrices envoyées par le côté sain. En effet, lorsqu'il réalise un mouvement, chaque individu perçoit, en plus du feedback visuel, des informations proprioceptives et motrices de ses membres. De la même manière, chez le sujet amputé utilisant la boîte-miroir et son propre membre pour réaliser l'illusion du mouvement, ces trois composantes sont de nouveau réunies (les informations visuelles proviennent du miroir et les informations proprioceptives et motrices viennent, quant à elles, du membre sain et sont transmises à l'hémisphère opposé par le biais du corps calleux). Le retour de cette association permettrait alors d'accroître la sensation de mouvement du fantôme.

Une explication concernant la diminution de sensation de mouvement par les sujets consisterait à faire remarquer que chaque individu a une main différente (tant au niveau de sa couleur de peau, de sa taille, de ses déformations éventuelles, des bijoux portés), de sorte que cette diminution de sensation de mouvement pourrait simplement résulter d'une variation des paramètres individuels cités ci-dessus. Une telle hypothèse est cependant erronée puisque l'expérience a été menée une seconde fois avec le port d'un gant, ce qui annulait tous ces attributs individuels [63].

Il nous semble donc qu'il serait plus intéressant, du moins lorsque le patient en est capable, qu'il réalise, par lui-même, les mouvements qui lui permettront de rendre une mobilité à son fantôme et donc de soulager les douleurs qu'il pouvait ressentir (comme le montrent les expériences partie II, § 3.2. et § 3.3.). En revanche, lorsque le patient n'en est pas encore capable, la réalisation des mouvements dans le miroir par un tiers peut, quant à elle, précéder cette phase.

3.5. Sensations projetées (« referred sensations ») au membre fantôme

Les sensations projetées au membre fantôme ne sont pas des phénomènes propres à l'utilisation de la boîte-miroir. En effet, lors de la stimulation physique de certaines zones corporelles, de nombreux auteurs [31, 34, 38, 62, 64] font référence à l'apparition de problèmes de perceptions et de localisations de sensations inadéquates, auprès de zones totalement extérieures à celles stimulées. L'existence de telles sensations projetées a permis de mettre en évidence qu'il existait, lors de la disparition d'un membre²⁸, une réorganisation corticale des cortex sensitifs et moteurs.

Dans l'expérience suivante menée par Ramachandran avec sa boîte-miroir [63], l'objectif était de vérifier si l'utilisation du dispositif était susceptible d'améliorer la localisation des sensations projetées au membre fantôme.

Le patient R. L., qui avait déjà pris part à une autre expérience utilisant la boîte-miroir (cf. 2^e partie, § 3.3.), a participé, cette fois-ci, aux tests concernant le phénomène de sensations projetées. Lorsque ce sujet était touché ou frappé sur les doigts de sa main saine, sans qu'il puisse voir le reflet de celle-ci dans le miroir, il ne percevait aucune sensation projetée au niveau de son fantôme, mais seulement sur les zones réellement stimulées. En revanche, lorsque les mêmes stimulations lui furent appliquées et que son regard fixait le reflet dans le miroir, il discernait clairement les sensations tactiles non seulement au niveau de sa main saine, mais également aux endroits de son fantôme, qui sont symétriques à ceux réellement stimulés. Fort de cette première constatation, l'expérimentateur, en tamponnant la main saine avec de l'eau à 86 °C et à 0 °C, a voulu évaluer si les sensations de chaud ou de froid pouvaient être transmises au fantôme. Il s'est alors avéré qu'aucune information de température ne fut ressentie dans le fantôme, seulement les sensations tactiles.

Le patient J. P., amputé seulement 45 jours avant son entrée dans l'essai clinique, pouvait lui, identifier des sensations projetées (tactiles et vibratoires), mais non celles de températures, même sans l'aide du miroir. Cependant, lorsqu'il était autorisé à regarder le reflet de sa main dans le miroir, ces sensations étaient majorées. L'expérimentateur s'est alors posé la question de savoir si la sensation de douleur pouvait également être acheminée du membre sain

28. L'existence de sensations projetées survient également chez les patients ayant subi des lésions nerveuses périphériques telles qu'une avulsion du plexus brachial.

vers le membre fantôme. Phénomène surprenant, le sujet ressentait la pression laissée par l'aiguille sur son fantôme (comme si l'aiguille était directement appliquée au fantôme), mais nullement la douleur qui aurait dû y être associée. Enfin, lorsque l'expérimentateur plaçait sa main dans la boîte-miroir, en superposition du fantôme de J. P. qui regardait son reflet dans le miroir, et que les stimuli tactiles, vibratoires, caloriques ou douloureux lui étaient appliqués, aucune sensation n'était adressée au fantôme du sujet. J. P. a, par la suite, décidé d'utiliser la boîte-miroir à domicile à chaque fois qu'il avait des PLP, demandant à son frère de lui masser la main, pendant qu'il le regardait faire dans le miroir. Cette manœuvre avait la particularité de soulager invariablement celles-ci pendant au moins deux à trois heures.

Comme les deux autres sujets, le patient D. B. percevait les sensations tactiles, mais pas les sensations caloriques lorsqu'il pouvait utiliser le miroir. Tout comme pour J. P., aucune sensation projetée n'était transmise au fantôme lorsque sa main saine était substituée par celle de l'expérimentateur. Contrairement aux autres sujets, même sans l'utilisation du miroir, D. B. avait la particularité de ressentir des sensations projetées dans son fantôme qui provenait de son visage du côté de l'amputation, mais d'aucune autre zone corporelle éloignée du moignon²⁹ (phénomène que ne ressentait pas J. P. et qui n'a pas été testé sur R. L.). Comment une zone corporelle si éloignée pourrait-elle provoquer des sensations dans le fantôme des sujets ? L'explication qu'en donne Ramachandran serait liée à l'organisation corticale selon laquelle la zone de la main serait contiguë à celle du visage dans l'homunculus de Penfield et que la première serait envahie par la dernière lors de l'amputation d'une partie du membre supérieur.

Cette expérience sur les sensations projetées, bien que ce phénomène puisse se produire sans l'utilisation du miroir comme nous l'avons déjà évoqué plus haut, nous permet de tirer de nombreuses informations intéressantes. Il

29. Il est important de noter que des sensations projetées au membre fantôme par des stimuli appliqués depuis les orteils ou le mollet ipsilatéral à l'amputation du membre supérieur ont pu être observées chez certains sujets. Cette observation indiquerait que la réorganisation existant dans le cortex somatosensoriel primaire (SI) ne serait pas la seule à se produire et que d'autres structures telles que le noyau ventral postérolatéral (VPL) du thalamus ou le cortex somatosensoriel secondaire (SII), dans lesquels les zones de la main et du pied sont adjacentes, subiraient également ce remaniement [GRÜSSER S. M., MÜHLNICKEL W., SCHAEFER M., VILLRINGER K., CHRISTMANN C., KOEPPE C., FLOR H., *Remote activation of referred phantom sensation and cortical reorganization in human upper extremity amputees*, p. 100].

est important de préciser que par « sensations projetées », nous ne faisons pas la distinction entre les sensations qui sont transmises depuis le membre opposé au fantôme ou celles qui sont projetées depuis la zone du visage par exemple.

Tout d'abord, seules les sensations tactiles seraient transmises du membre sain au membre fantôme, mais nullement les sensations calorifiques, vibratoires ou douloureuses. Ramachandran explique que ce phénomène pourrait provenir du fait qu'il existerait des connexions commissurales (*i.e.* des connexions inter-hémisphériques par l'intermédiaire du corps calleux), qui transmettraient les sensations tactiles, mais que de telles connexions n'existeraient pas pour les sensations calorifiques, vibratoires et douloureuses [63].

Ensuite, certains patients, comme J. P. par exemple, sont capables de percevoir des sensations projetées même sans l'appui du miroir. Rappelons que ce patient avait subi une amputation très récemment avant l'expérience. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que, comme pour les fantômes « paralyés », le facteur temps influe sur les sensations projetées et que, par conséquent, plus l'amputation est récente et plus nous percevons de sensations projetées. De la même manière, plus le temps passe et plus ces sensations s'estompent, le cerveau ne recevant plus de feedback sensitif depuis longtemps. Cela pourrait expliquer, du moins en partie, pourquoi R. L. et D. B. ne sont plus capables de percevoir les sensations projetées sans miroir.

D'autres patients, quant à eux, sont victimes de sensations ressenties dans leur fantôme et provenant d'une autre partie de leur corps, comme le visage par exemple chez D. B., sans que cette autre partie ne soit prise au hasard. La question qui se pose alors, puisque tous les sujets ayant des PLS et des PLP subissent une réorganisation corticale, est de savoir pourquoi certains sujets ont ce genre de problèmes de cartographie localisée à différents endroits de leur fantôme et pourquoi d'autres non.

Autre observation d'importance, lorsque la main saine du sujet est substituée par celle de l'expérimentateur lors de la stimulation, aucune sensation n'est projetée. Cette observation tendrait à prouver que les indications visuelles seules ne sont pas suffisantes pour provoquer des sensations tactiles projetées au fantôme [63], ce qui n'était pas le cas pour les sensations de mouvements pour lesquelles le feedback visuel suffit (cf. 2^e partie, § 3.2., § 3.3., § 3.4.). Ainsi, les stimuli visuels et tactiles seraient complémentaires.

Enfin, une implication thérapeutique intéressante se dégage de cette expérience comme le montre le patient J. P. En effet, le fait de masser la main saine permettrait de soulager certains types de PLP, en utilisant les sensations projetées majorées par l'utilisation du miroir (ce qui confirme l'hypothèse que nous avons émise dans les commentaires de la 2^e partie, § 3.4.). Bien que l'effet ne soit que temporaire et que le processus nécessite l'interaction d'une tierce personne, il n'en reste pas moins que le soulagement peut être obtenu. Étant habitué aux massages et à ses techniques, le kinésithérapeute serait par conséquent la personne la plus appropriée dans le processus d'apprentissage de cette méthode de soulagement.

3.6. Conclusions

Les expériences fondatrices menées par Ramachandran et la mise en œuvre de son dispositif de boîte-miroir n'avaient pas, à l'origine, d'autres ambitions que de mieux comprendre, d'une part les phénomènes de PLS et de PLP et, d'autre part, l'influence d'une illusion visuelle sur ces manifestations. Ramachandran lui-même, en 1996, indique que sans de plus amples expérimentations utilisant son système de boîte-miroir, celui-ci ne devait en aucun cas être considéré comme étant un traitement des PLP [63].

Cependant, certaines de ses expériences nous ont tout de même fourni de précieuses informations et fait entrevoir la possibilité d'utiliser son dispositif comme outil thérapeutique. En effet, la boîte-miroir permettrait de rendre une mobilité à un fantôme paralysé (aussi bien lorsque le sujet l'utilise lui-même que lorsqu'une tierce personne superpose sa main au fantôme du sujet). Ce regain de mobilité permettrait de soulager certaines douleurs, comme les crampes de la main par exemple. D'autres expériences ont montré que les sensations projetées pouvaient également être utilisées pour soulager certaines PLP, notamment en réalisant un massage du membre sain pendant que le sujet observe le reflet dans le miroir.

De nombreux autres chercheurs, intrigués par ces découvertes, ont reproduit ou tenté d'améliorer le dispositif de Ramachandran, afin de confirmer (ou d'infirmier) l'utilisation d'une illusion visuelle pour soulager les PLP, aussi convient-il de présenter également ici leurs travaux. Ainsi, comme le souligne Murray [54], cette technique de boîte-miroir semble prometteuse. Elle ouvre la porte à l'utilisation de nouveaux dispositifs pouvant également produire des

illusions visuelles, tout en essayant de résoudre les problèmes inhérents à ce dispositif (cf. 2^e partie, § 2.I.).

(à suivre)