

Imagerie motrice et douleurs neuropathiques

Arnaud Saimpont^{1,2}, Francine Malouin^{1,3} et Philip L. Jackson^{1,2,4}

¹ Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRRIS), 525 boulevard Hamel, Québec (Qc) G1M 2S8, Canada

² École de psychologie, 2325 rue des bibliothèques, Université Laval, Québec (Qc) G1V 0A6, Canada

³ Département de réadaptation, Faculté de médecine 1050 avenue de la médecine, Université Laval, Québec (Qc) G1V 0A6, Canada

⁴ Centre de recherche de l'Institut universitaire en santé mentale de Québec, 2601 rue de la canardière, Québec (Qc) G1J 2G3, Canada

Reçu le 9 juin 2012 – Accepté le 29 octobre 2012

Résumé. Les douleurs neuropathiques – *i.e.* causée par une atteinte du système nerveux – seraient liées à des réorganisations corticales survenant notamment au niveau du cortex sensorimoteur. Depuis quelques années, diverses approches thérapeutiques basées entre autres sur la visualisation des parties du corps douloureuses et visant à renverser ces réorganisations corticales ont montré des effets antalgiques prometteurs. Dans cet article, nous rapportons plus particulièrement les résultats d'études montrant le potentiel de la pratique de l'imagerie motrice – *i.e.* la simulation mentale d'un mouvement sans son exécution – dans le traitement de trois formes de douleurs neuropathiques : les douleurs fantômes, le syndrome douloureux régional complexe et les douleurs consécutives à une lésion de la moelle épinière. Les mécanismes neurophysiologiques sous-tendant les effets antalgiques de l'imagerie sont discutés mais demeurent hypothétiques.

Mots clés : Imagerie motrice, pratique mentale, réorganisations corticales, douleurs fantômes, syndrome douloureux régional complexe, lésion de la moelle épinière

Abstract. Motor imagery and neuropathic pain.

Neuropathic pain – *i.e.* caused by damage in the central nervous system – would result from cortical reorganisations, notably within the sensorimotor cortex. For a few years, several therapeutic approaches based notably on the visualisation of the painful body parts and aimed at reversing these cortical reorganisations, have shown promising analgesic effects. In this paper, we report more specifically the findings of studies which have shown the potential of the practice of motor imagery – *i.e.* the mental simulation of a movement without its execution – in the treatment of three types of neuropathic pain: phantom pain, complex regional pain syndrome, and pain consecutive to a spinal cord injury. The neurophysiological underpinnings of the analgesic effects of motor imagery practice are discussed but remain hypothetical.

Key words: Motor imagery, mental practice, cortical reorganisations, phantom pain, complex regional pain syndrome, spinal cord injury

1 Introduction

Depuis quelques années, il apparaît de plus en plus clairement que la douleur implique à la fois des mécanismes périphériques et centraux. Notamment, il est maintenant relativement bien établi que les douleurs neuropathiques (*i.e.* causées par une atteinte du système nerveux) comme celles survenant lors d'une amputation, d'un syndrome douloureux régional complexe¹ (SDRC), ou d'une lésion

de la moelle épinière, s'accompagnent de changements structurels et fonctionnels dans les régions associées au traitement de la douleur, comme le cortex somatosensoriel, l'insula, le cortex cingulaire antérieur, l'amygdale et le cortex préfrontal (Henry, Chiodo, & Yang, 2011). En particulier, les réorganisations survenant au niveau du cortex sensorimoteur – qui intègre l'information sensorielle et motrice – joueraient un rôle important dans

lésion du système nerveux, une fracture, un traumatisme mineur, et même en l'absence de causes identifiées (Maihofner, Seifert, & Markovic, 2010).

¹ Le syndrome douloureux régional complexe se caractérise par des douleurs chroniques qui peuvent survenir après une

l'apparition des douleurs neuropathiques (Flor, 2003; Harris, 1999; Janig & Baron, 2002). Par exemple, il a été avancé que les douleurs fantômes présentes chez nombre de patients amputés² proviendraient d'une incongruence au niveau sensorimoteur entre les commandes motrices qui sont préservées malgré l'absence du membre, et les retours sensoriels qui ne sont plus là pour effectuer les ajustements nécessaires au bon déroulement du mouvement (Flor, Nikolajsen, & Staehelin Jensen, 2006; Harris, 1999). Cette hypothèse a notamment été avancée à la suite des travaux du groupe de Vilayanur Ramachandran dans les années 1990 qui a montré que le fait de fournir un *feedback* virtuel du membre amputé, à l'aide d'un miroir réfléchissant l'image du membre sain lorsque le patient bouge simultanément son membre fantôme et son membre atteint, pouvait rendre un certain contrôle sur le membre fantôme et atténuer les douleurs (Ramachandran & Rogers-Ramachandran, 1996; voir Ramachandran & Altschuler, 2009)³.

En plus d'apporter leur contribution à l'exploration des mécanismes impliqués dans les douleurs neuropathiques, ces travaux pionniers du groupe de Ramachandran ont inspiré le développement de thérapies visuo-motrices, basées sur l'utilisation de miroirs (« thérapies miroir ») ou de projecteurs fournissant une image virtuelle du membre atteint, pour soulager les douleurs chez des patients amputés (*e.g.*, Brodie, Whyte, & Waller, 2003; Chan *et al.*, 2007; Mercier & Sirigu, 2009) mais aussi chez d'autres patients douloureux comme ceux

présentant un SDRC (voir McCabe, Haigh, & Blake, 2008; Ramachandran & Altschuler, 2009). Le principe général de ces approches thérapeutiques est de renverser les réorganisations corticales supposées être à l'origine des douleurs en stimulant – de façon « *bottom-up* », *via* une entrée visuelle – les représentations sensorimotrices du membre atteint. De façon intéressante, cette stimulation des représentations d'un membre douloureux peut également se faire de façon « *top-down* », par exemple lors de la pratique de l'imagerie motrice (IM), *i.e.* la simulation mentale d'un mouvement sans son exécution. En effet, l'IM implique la réactivation interne d'images et sensations normalement associées au mouvement (Jeanerod, 1995) et permet ainsi notamment de solliciter les régions sensorimotrices contrôlant le membre atteint même en l'absence de celui-ci (lors d'une amputation, voir Raffin, Mattout, Reilly, & Giroux, 2012) ou lorsque celui-ci n'est pas ou peu utilisé (*e.g.*, lors d'un SDRC ou d'une lésion de la moelle épinière).

Ce sont les effets antalgiques de la pratique de l'IM (ou pratique mentale), utilisée seule ou combinée à des approches type « thérapie miroir », qui font l'objet de la présente revue de littérature. Plus particulièrement, nous rapportons ici les résultats d'études ayant testé l'utilité de la pratique mentale dans le contrôle de la douleur chez trois populations souffrant de douleurs neuropathiques : les personnes amputées, les individus avec un syndrome douloureux régional complexe, et les personnes ayant subi une lésion de la moelle épinière.

2 Imagerie motrice et douleurs fantômes

Un certain nombre de données neuroanatomiques et neurophysiologiques montrent que l'amputation d'un membre s'accompagne de changements fonctionnels au niveau du cortex sensorimoteur (Flor *et al.*, 2006). Par exemple, les représentations corticales des parties corporelles adjacentes au membre amputé ont tendance à se développer et à se superposer aux représentations corticales du membre manquant dans les cortex somatosensoriel (Mackert, Sappok, Grusser, Flor, & Curio, 2003) et moteur (Gagne, Hetu, Reilly, & Mercier, 2011; Mercier, Reilly, Vargas, Aballea, & Sirigu, 2006). Les manifestations cliniques associées à ces changements incluent des douleurs fantômes. Ainsi, chez des amputés du membre supérieur, il a été montré que l'ampleur des déplacements des représentations du visage vers celles de la main était corrélée avec l'incidence et l'importance des douleurs fantômes (Karl, Birbaumer, Lutzenberger, Cohen, & Flor, 2001; Lotze, Flor, Grodd, Larbig, & Birbaumer, 2001).

Diverses approches thérapeutiques ayant pour but de stimuler les représentations sensorimotrices du membre manquant et renverser les réorganisations corticales accompagnant l'amputation ont donc été testées. Parmi ces approches, la pratique mentale – utilisée depuis longtemps dans le domaine sportif et de la réadaptation

² La grande majorité des personnes subissant une amputation d'un membre continuent de percevoir la présence de ce dernier, qui peut ainsi être qualifié de membre fantôme (Mitchell, 1872). De plus, entre 50 et 80 % des patients amputés présentent des douleurs dans leur membre fantôme (Kooijman, Dijkstra, Geertzen, Elzinga, & van der Schans, 2000).

³ Il existe d'autres hypothèses tentant d'expliquer les douleurs fantômes. Pour certains auteurs (Devor & Faulkner, 1999; Sherman, Arena, Sherman, & Ernst, 1989) celles-ci pourraient provenir des décharges spontanées et désorganisées du névrome (nodule formé par la repousse anarchique des nerfs sectionnés). Cependant, le peu de succès des expériences de résection du névrome en termes de réduction de la douleur tend à réfuter cette hypothèse purement périphérique. Pour sa part, Ronald Melzack (Melzack, 1990, 1992) a proposé l'existence d'une neuromatrice cérébrale programmée génétiquement et responsable de l'expérience unitaire de notre corps. Dans ce cadre, les stimuli somatosensoriels seraient analysés par la neuromatrice pour donner naissance à diverses sensations dont des douloureuses. Elles pourraient cependant être également générées par la décharge spontanée – sans stimulation périphérique – de la neuromatrice, d'où la possibilité d'évoquer des sensations et douleurs fantômes. Bien qu'intéressante, cette théorie insiste sur le caractère inné des représentations corporelles, c'est pourquoi elle est questionnée par les données récentes faisant état de réorganisations corticales associées aux douleurs fantômes (voir Raffin, 2011 pour plus d'informations sur ces différentes hypothèses).

pour améliorer les performances motrices (voir Malouin, Sainpont, Jackson, & Richards dans ce numéro; Murphy, 1994) – a montré des effets prometteurs dans le contrôle des douleurs fantômes, comme le rapportent quelques études récentes. Par exemple, Moseley (2006) a démontré une diminution significative de l'intensité de la douleur chez un groupe de personnes amputées (ainsi que de patients présentant un SDRC) ayant suivi un entraînement combinant quatre semaines d'une pratique progressive de l'IM (voir section suivante pour plus de détails sur cette forme de pratique) et deux semaines de « thérapie miroir », comparé à un groupe contrôle ayant suivi un programme de physiothérapie classique pendant un temps équivalent. Plus tard, MacIver, Lloyd, Kelly, Roberts, et Nurmikko (2008) ont rapporté une diminution manifeste des douleurs fantômes chez neuf patients sur treize, amputés du membre supérieur, après six semaines de pratique intensive durant lesquelles ils effectuaient quotidiennement des exercices de relaxation et imaginaient (en se focalisant sur leurs sensations) des mouvements confortables des doigts, main et bras avec leur membre fantôme. De façon très intéressante, grâce à un protocole en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), ces auteurs ont montré que la diminution de la douleur était associée à un renversement de la réorganisation corticale qui avait eu lieu dans le cortex sensorimoteur après l'amputation (avant l'intervention, les représentations de la lèvre avaient en quelque sorte « envahi » les représentations de la main; la pratique mentale de mouvements de la main a donc permis de lui réattribuer les régions sensorimotrices occupées par la lèvre). Ces résultats témoignent encore une fois de la plasticité du cerveau ainsi que du remarquable impact que peut avoir l'IM sur celle-ci. Enfin, dans une étude récente de notre groupe, six personnes amputées d'un membre inférieur ou supérieur et qui souffraient de douleurs fantômes importantes depuis au moins six mois, ont pratiqué des exercices d'IM et d'observation de mouvements (via des vidéos) pendant huit semaines, dont quatre de façon autonome à leur domicile (Beaumont, Mercier, Michon, Malouin, & Jackson, 2011). À la fin du programme, quatre participants sur six ont rapporté une diminution de leurs douleurs de plus de 30 % par rapport au début. Cependant, les niveaux de douleur moyens rapportés par cinq des six patients étaient revenus à leurs niveaux initiaux au cours d'un suivi effectué six mois après (et alors que les patients avaient stoppé leur pratique de l'IM). Cette étude montre que la pratique mentale (dans ce cas combinant IM et observation du mouvement) peut être un outil facilement utilisable par les patients amputés. Cependant, elle amène aussi à se questionner sur l'importance de pratiquer régulièrement, ce qui pourrait potentiellement contribuer à maintenir des effets antalgiques à plus long terme.

D'autres études devront être menées dans le futur pour mettre à jour les conditions optimales d'utilisation de la pratique de l'IM, seule ou combinée à des approches

type « thérapie miroir », auprès de personnes amputées. Il sera aussi intéressant de comprendre pourquoi certains sujets ne semblent pas répondre positivement à cette approche; dans cette optique, il sera notamment essentiel de contrôler les capacités d'IM des patients, car on peut penser que l'impact de la pratique mentale sur la douleur soit lié, dans une certaine mesure, à la vivacité des images mentales formées (même si dans les études de MacIver, *et al.*, 2008 et Beaumont, *et al.*, 2011, le lien entre les deux n'est pas démontré). D'autre part, il sera aussi important de déterminer le réel potentiel de l'utilisation de l'IM au-delà d'un cadre purement expérimental où les sujets font l'objet de toute l'attention des expérimentateurs.

3 Imagerie motrice et syndrome douloureux régional complexe

La physiopathologie du SDRC n'est pas complètement comprise mais il existe de plus en plus de données qui montrent que des changements dans le système nerveux central pourraient contribuer à la formation des symptômes. Il a par exemple été montré que le SDRC était associé à des changements fonctionnels dans le cortex somatosensoriel (Maihofner, Handwerker, Neundorfer, & Birklein, 2003; Pleger, *et al.*, 2005) ainsi que dans le cortex moteur et l'aire motrice supplémentaire (Maihofner, *et al.*, 2007; Schwenkreis, *et al.*, 2003). Comme chez les personnes amputées, cette réorganisation corticale apparaît symptomatique puisque l'étendue de la réorganisation dans le cortex somatosensoriel primaire semble corrélée avec la douleur, l'hyperalgésie ou l'allodynie⁴ que l'on peut retrouver dans le SDRC (Maihofner, Handwerker, & Birklein, 2006; Maihofner, *et al.*, 2003; Pleger, *et al.*, 2005). De plus, lorsqu'un traitement est efficace, la réorganisation corticale peut être renversée (Maihofner, Handwerker, Neundorfer, & Birklein, 2004; Pleger, *et al.*, 2005). D'autres similarités existent entre les symptômes associés à une amputation et à un SDRC, comme le fait que les patients souffrant d'un SDRC présentent une perception altérée de leur membre ou qu'ils aient tendance à ne progressivement plus l'utiliser (voir Swart, Stins, & Beek, 2009).

Il a donc été avancé que cette population aussi pourrait bénéficier de thérapies visant à restaurer l'intégrité du traitement de l'information dans le cortex sensorimoteur. Dès le début des années 2000, il a ainsi été rapporté des effets antalgiques suite à l'utilisation d'une thérapie miroir chez des patients présentant un SDRC (McCabe, *et al.*, 2003). Par la suite, Lorimer Moseley a conduit une série d'études randomisées contrôlées dans lesquelles il a testé l'efficacité d'un programme d'IM progressive conçu pour activer de façon séquentielle les réseaux corticaux désorganisés et comprenant trois étapes : une tâche

⁴ L'allodynie est la survenue d'une douleur à la suite d'une stimulation normalement indolore (par exemple une légère pression sur la peau).

d'IM implicite censée activer plus spécifiquement le cortex prémoteur, une tâche d'IM explicite censée activer en plus le cortex moteur, et enfin une thérapie miroir durant laquelle le mouvement est réellement exécuté. Ce programme combine donc des approches « *top-down* » (imagerie motrice) et « *bottom-up* » (thérapie miroir). Dans une première étude (Moseley, 2004a), deux groupes de patients présentant un SDRC chronique du membre supérieur ont été constitués : un groupe expérimental suivant le programme d'IM progressive et un groupe contrôle recevant des soins médicaux standards. La tâche d'IM implicite consistait à identifier la latéralité d'images de mains⁵. Dans la seconde étape, les sujets devaient imaginer (explicitement) qu'ils prenaient différentes postures avec leur membre douloureux. Finalement, durant la dernière étape, les patients devaient adopter physiquement les différentes postures avec leurs deux mains ; ici, les mains des sujets étaient placées dans une boîte miroir, de telle façon que le membre atteint n'était pas visible et que les sujets pouvaient voir la réflexion de leur membre non-atteint dans le miroir. Chaque étape du programme d'IM progressive fut pratiquée tous les jours (environ 15 min à chaque heure) pendant deux semaines. Les résultats montrèrent une diminution significative de la douleur et même du gonflement des doigts au niveau du membre atteint dans le groupe expérimental. De plus, six semaines après le traitement, environ 50 % des sujets n'étaient plus diagnostiqués comme présentant un SDRC. Enfin, quand le groupe contrôle bénéficia par la suite lui aussi du programme d'IM progressive, des diminutions de la douleur et du gonflement similaires à celles observées dans le groupe expérimental furent rapportées. Dans une étude subséquente, Moseley (2005) montra que l'ordre dans lequel étaient proposées les trois étapes du programme d'IM progressive était important pour obtenir le maximum d'effets bénéfiques. Enfin, dans une dernière étude, il testa le programme d'IM progressive avec une cohorte plus large de patients présentant un SDRC et ressemblant plus aux patients inclus dans une pratique clinique routinière, ainsi qu'avec des patients amputés (Moseley, 2006). Une diminution significative de la douleur fut mise en évidence pour le groupe ayant suivi le programme d'IM progressive comparé à un groupe contrôle ayant suivi un programme de physiothérapie classique. De

⁵ Identifier si une image de main présentée dans différentes orientations et postures représente une main gauche ou une main droite nécessiterait un processus de rotation mentale de sa propre main afin de la placer dans la position de la main-stimulus. En effet, dans ces tâches de reconnaissance de latéralité, le temps de réponse est proportionnel au temps requis pour déplacer physiquement sa main dans la position de la main-stimulus ainsi que pour imaginer explicitement le même mouvement (Parsons, 1987, 1994). Ainsi, il est généralement admis que ces tâches impliquent un processus d'imagerie motrice implicite (deLange, Roelofs, & Toni, 2008 ; Parsons, 2001) même s'il a récemment été montré que d'autres mécanismes pourraient aussi être mis en jeu (Viswanathan, Fritz, & Grafton, 2012).

plus, les patients SDRC et les amputés tirèrent bénéfice du programme de façon similaire, renforçant l'idée que le phénomène des douleurs fantômes et le SDRC pourraient être sous-tendus par des mécanismes en partie communs.

Moseley suggéra deux mécanismes possibles pour expliquer l'atténuation des douleurs suite au programme d'IM progressive. Premièrement, la pratique progressive de l'IM pourrait permettre aux patients présentant un SDRC de focaliser leur attention sur leur membre atteint et ainsi de soulager des symptômes s'apparentant à un syndrome de négligence (Moseley, 2005). Sur ce point, il a par exemple été avancé que le fait que des personnes avec un SDRC mettent plus de temps à déterminer la latéralité d'un membre lorsque celui-ci correspond à leur membre atteint, proviendrait de leur tendance à « négliger » cette partie douloureuse de leur corps (Moseley, 2004b ; Schwoebel, Coslett, Bradt, Friedman, & Dileo, 2002 ; Schwoebel, Friedman, Duda, & Coslett, 2001)⁶. La pratique progressive de l'IM pourrait ainsi aider les patients à se réappropriier la partie de leur corps négligée et par là-même les conduire progressivement à contrôler leur douleur, même si ce dernier point reste spéculatif.

Deuxièmement, comme il en avait fait l'hypothèse dès sa première étude (Moseley, 2004a), ce programme permettrait un recrutement progressif des réseaux corticaux désorganisés (cortex prémoteur puis cortex moteur) et ainsi optimisant la réorganisation corticale. Le fait que l'ordre de présentation des différentes étapes du programme apparaisse crucial pour obtenir des effets antalgiques (Moseley, 2005) va dans le sens de cette hypothèse. Cependant, celle-ci reste à être documentée d'avantage. En effet, si l'on peut éventuellement comprendre le principe thérapeutique d'un recrutement progressif des régions corticales associées au mouvement, encore faut-il que cela soit effectivement le cas. Or, une activation du cortex moteur primaire a parfois été rapportée lors de tâches de reconnaissance de latéralité

⁶ Ces études (Moseley, 2004b ; Schwoebel, *et al.*, 2002 ; Schwoebel, *et al.*, 2001) sont par ailleurs intéressantes dans le contexte de l'exploration des liens entre IM et douleur car elles renversent la façon d'aborder le sujet en étudiant les effets de la douleur sur l'IM. Notons aussi qu'au-delà des patients avec un SDRC, un certain nombre d'études ont été réalisées dans cette perspective auprès de différentes populations, comme des personnes présentant des douleurs musculosquelettiques ou associées à une radiculopathie à l'épaule ou au bras (Coslett, Medina, Kliot, & Burkey, 2010b), des personnes souffrant de douleurs chroniques de la jambe ou du pied d'origines diverses (Coslett, Medina, Kliot, & Burkey, 2010a), des personnes amputées avec des douleurs fantômes (Reinersmann, *et al.*, 2010), des personnes souffrant de douleurs au dos (Bray & Moseley, 2011), ou des personnes souffrant d'arthrose du genou (Stanton, *et al.*, 2012). Dans leur ensemble, ces travaux rapportent une certaine spécificité de l'impact de la douleur sur l'IM du membre douloureux renforçant la notion que les représentations neuronales du mouvement et de la douleur sont en étroite relation.

(*e.g.*, Pelgrims, Michaux, Olivier, & Andres, 2011) et, à l'inverse, cette activité du cortex moteur primaire n'a pas toujours été montrée lors de tâches d'IM explicite (*e.g.*, Stephan, *et al.*, 1995). Ce point mériterait donc d'être exploré davantage en couplant notamment des données comportementales et de neuroimagerie, afin de déterminer quels sont les facteurs qui contribuent à la sollicitation du cortex moteur primaire pendant l'imagerie motrice.

À la suite des travaux de Moseley, quelques études de cas ont également rapporté des effets bénéfiques de l'IM progressive avec des patients présentant un SDRC (Lagueux *et al.*, 2012; Priganc & Stralka, 2011). Cependant, une étude récente de Johnson, *et al.* (2012) n'a pas réussi à montrer d'effets positifs du programme d'IM progressive lorsque celui-ci était implanté dans le cadre d'une pratique clinique routinière. Ici, sur les trente-deux patients inclus et ayant suivi le programme, seuls trois ont présenté une diminution de leurs douleurs. Plusieurs raisons ont été avancées pour expliquer ce peu d'effets. Premièrement, en raison des adaptations au milieu clinique dans lequel évoluaient les patients, ceux-ci avaient moins de contacts avec les thérapeutes que les personnes qui avaient participé aux études de Moseley (Moseley, 2004a, 2005, 2006). Dans ces études, les sujets étaient vus tous les jours et toute l'attention était portée sur eux. De même, il leur était rappelé de s'entraîner toutes les heures du jour. Dans l'étude de Johnson, *et al.* (2012), les thérapeutes ne voyaient les patients qu'aux deux (voire quatre) semaines. De plus, de nombreux patients ont rapporté ne pas s'être entraînés aux heures comme recommandé. Il serait intéressant de voir si de meilleurs résultats pourraient être obtenus si un contact quotidien était établi avec un thérapeute. Deuxièmement, les patients de l'étude de Johnson, *et al.* (2012) continuaient de recevoir des traitements de physiothérapie durant l'étude, et il est possible que ceux-ci aient pu interférer d'une façon ou d'une autre avec le programme d'IM progressive. Au final, cette étude est intéressante car elle met en perspective toute la difficulté d'implanter dans le « monde clinique réel » des protocoles expérimentaux bien cadrés.

En résumé, même si le programme d'IM progressive a suscité un fort engouement ces dernières années, on ne connaît pas encore vraiment les mécanismes d'action de cette intervention complexe. Dans le futur, il serait intéressant d'essayer de dissocier les effets antalgiques de chaque composante de l'IM progressive, et notamment les effets de l'IM implicite par rapport à l'IM explicite. Il sera également nécessaire d'identifier la dose de pratique optimale ainsi que la meilleure combinaison possible de cette thérapie avec d'autres formes de traitement.

4 Imagerie motrice et lésions médullaires

Environ les deux tiers des personnes présentant une lésion de la moelle épinière vont développer des douleurs neuropathiques souvent jugées comme très intenses (Siddall,

Yeziarski, & Loeser, 2002). Dans une étude récente, il a été montré que des sujets présentant une lésion complète de la moelle épinière et des douleurs sous-lésionnelles montraient une réorganisation du cortex somatosensoriel primaire dont l'étendue était corrélée avec l'intensité de la douleur ressentie (Wrigley, *et al.*, 2009). Ce résultat va dans le sens de ceux précédemment rapportés chez des patients amputés ou présentant un SDRC. Il apporte une nouvelle fois la preuve de l'existence de liens entre réorganisations corticales et douleurs neuropathiques. Ici encore, la pratique mentale a été utilisée dans le but de réduire la douleur chez ces patients. Cependant, les quelques études qui se sont intéressées à cette approche ont rapporté des résultats nettement moins positifs que ceux obtenus avec des patients amputés ou souffrant d'un SDRC. Dans une première étude, Moseley (2007) a utilisé un paradigme de *feedback* virtuel chez cinq patients paraplégiques présentant des douleurs au niveau de la lésion (quatre patients avec une lésion au niveau lombaire) ou sous le niveau de la lésion (un patient avec une lésion au niveau thoracique). Tous les patients expérimentèrent trois conditions, chacune durant 10 min, dans un ordre aléatoire : 1/ la marche virtuelle, 2/ l'imagerie guidée et 3/ une condition contrôle. Durant la condition de marche virtuelle, la vidéo d'un acteur en train de marcher sur un tapis roulant était projetée sur un écran. Un miroir était ingénieusement placé au niveau de la partie supérieure de l'écran de façon à ce que quand les patients (en fauteuil roulant) observaient l'écran, ils pouvaient voir la réflexion de la partie supérieure de leur corps. Les patients devaient alors aligner celle-ci avec les jambes de l'acteur pour créer l'illusion que c'était eux-mêmes qui étaient en train de marcher dans la vidéo. Dans cette condition, il était demandé aux patients de « s'observer » marcher tout en s'imaginant marcher. Durant la condition d'imagerie guidée, l'expérimentateur amenait les patients à s'imaginer qu'ils étaient dans un environnement apaisant et qu'ils réalisaient une activité non douloureuse. Durant la condition contrôle, les patients regardaient un film à l'écran. En moyenne, les patients ont présenté une diminution de la douleur de l'ordre de 65 % pour la marche virtuelle, 28 % pour l'imagerie guidée, et 6 % pour la condition contrôle. Cependant, le patient présentant des douleurs au niveau de sa lésion (thoracique) a été perturbé par la condition de marche virtuelle et a rapporté pour sa part une augmentation de la douleur (intensité non précisée dans l'article). Dans une étude ultérieure, Gustin, *et al.* (2008) ont demandé à quinze patients avec une lésion complète au niveau thoracique (sept présentant des douleurs sous-lésionnelles et huit ne présentant pas de douleurs) d'imaginer des mouvements de flexion/extension de la cheville en suivant un enregistrement audio, trois fois par jour, pendant une semaine. Six des sept sujets présentant des douleurs ont rapporté une augmentation significative de celles-ci durant les sessions d'IM (de 29 avant l'IM à 50 pendant l'IM sur une échelle analogue visuelle de 100 mm) qui perdurait même 20 à 40 min après l'entraînement, pour trois d'entre eux.

Tableau 1. Protocole et principal résultat des études ayant exploré les effets de l'imagerie motrice, pratiquée seule ou combinée à d'autres approches, dans le soulagement des douleurs neuropathiques associées à trois conditions : une amputation d'un membre, un syndrome douloureux régional complexe, et une lésion de la moelle épinière.

<i>Condition</i>	<i>Étude</i>	<i>Type de pratique de l'IM</i>	<i>Durée de pratique</i>	<i>Nombre séances</i>	<i>Durée séances</i>	<i>Principal résultat</i>
Amputation	Moseley 2006	IM progressive	6 semaines	≈300	10 min	Douleur ↓
Amputation	MacIver <i>et al.</i> 2008	IM et relaxation	6 semaines	42	40 min	Douleur ↓
Amputation	Beaumont <i>et al.</i> 2011	IM et observation	8 semaines	40	30 min	Douleur ↓
SDRC	Moseley 2004a	IM progressive	6 semaines	≈400	10 min	Douleur ↓
SDRC	Moseley 2005	IM progressive	6 semaines	≈300	10 min	Douleur ↓
SDRC	Moseley 2006	IM progressive	6 semaines	≈300	10 min	Douleur ↓
SDRC	Priganc & Stralka 2011	IM progressive	4 semaines	NS	NS	Douleur ↓
SDRC	Lagueux <i>et al.</i> 2012	IM progressive	8 semaines	≈150	10 min	Douleur ↓
SDRC	Johnson <i>et al.</i> 2012	IM progressive	5–40 semaines	NS	10 min	Douleur ≈
Lésion moelle	Moseley 2007	IM et observation	1 jour	1	10 min	Douleur ↓
Lésion moelle	Gustin <i>et al.</i> 2008	IM seule	1 semaine	21	8 min	Douleur ↑
Lésion moelle	Gustin <i>et al.</i> 2010	IM seule	1 semaine	21	8 min	Douleur ↑

Abréviations :

SDRC = syndrome douloureux régional complexe ;

IM = imagerie motrice ;

NS = non spécifié.

De plus, chez cinq des huit sujets ne présentant pas de douleurs, la pratique de l'IM a entraîné une augmentation significative de l'intensité des sensations non douloureuses (fourmillements ou picotements). Ainsi, même si les conditions de pratique de l'IM étaient différentes de celles de l'étude de Moseley (2007), ces deux études rapportent une exacerbation de la douleur avec la pratique mentale chez des patients paraplégiques présentant des douleurs sous-lésionnelles. Dans une étude subséquente, Gustin, Wrigley, Henderson, & Siddall (2010) ont repris le même protocole d'imagination mouvements de la cheville auprès de onze patients avec une lésion thoracique complète et souffrant tous de douleurs sous-lésionnelles. En plus de regarder l'évolution de la douleur avec la pratique de l'IM, les auteurs ont utilisé l'IRMf pour explorer les régions cérébrales mises en jeu durant l'IM chez ces patients ainsi que chez dix-neuf sujets contrôles. Pour neuf des onze patients, la pratique mentale a entraîné une augmentation significative de l'intensité de leurs douleurs (de 3,2 au repos à 5,2 pendant l'IM, sur une échelle analogique visuelle de 10 cm). Les résultats de neuroimagerie fonctionnelle ont montré une activation de l'aire motrice supplémentaire et du cortex cérébelleux chez les patients et les sujets contrôles durant l'IM, et, plus intéressant, une cartographie cérébrale de l'IM douloureuse a pu être mise en évidence. En effet, chez les blessés médullaires, l'intensité de la douleur ressentie durant l'IM était corrélée au niveau d'activité dans le cortex cingulaire antérieur, le cortex préfrontal dorsolatéral, le cortex prémoteur droit, et l'insula antérieure.

Dans leur ensemble, les résultats de ces études apparaissent donc plutôt moins engageants que ceux rapportés pour les patients amputés ou présentant un SDRC. Cependant, les effets positifs retrouvés chez les patients présentant une douleur au niveau de la lésion dans l'étude

de Moseley (2007) laissent malgré tout entrevoir un avenir pour ce type d'approche, au moins avec cette sous-population⁷. Notons par ailleurs que Moseley ne précise pas si les patients inclus dans son étude avaient une lésion complète ou incomplète de la moelle épinière (tous les patients avaient une lésion complète dans les études de Gustin, *et al.*, 2008, 2010). Ce facteur devrait être pris en compte dans de futures études.

En conclusion, l'exploration de l'usage de la pratique mentale pour contrôler la douleur chez des patients présentant une lésion de la moelle épinière est naissante et mériterait de plus amples développements avec, en particulier, la mise en place d'études randomisées contrôlées.

5 Conclusions

Les résultats des études rapportées dans cet article montrent globalement que la pratique de l'IM, seule ou en complément d'approches « *bottom-up* », peut entraîner une réduction des douleurs neuropathiques (voir Tab. 1 pour une synthèse). Cependant, tous les patients ne répondent pas positivement à la pratique mentale. La grande complexité des réorganisations corticales, à la suite par exemple d'une amputation, pourrait en partie expliquer les effets parfois contrastés de ces approches basées sur la restitution d'une organisation corticale normale (Raffin, 2011). Dans de futures études, il serait ainsi particulièrement intéressant de poursuivre l'investigation

⁷ Remarquons que les résultats de Moseley (2007) et Gustin, *et al.* (2008, 2010) apportent du crédit à la taxonomie actuelle qui identifie les douleurs au niveau et sous le niveau de la lésion comme deux entités distinctes, certainement sous-tendues par des mécanismes différents (Siddal, *et al.*, 2002).

des réorganisations du cortex sensorimoteur à la suite de la pratique mentale, car pour le moment les preuves directes des mécanismes d'action de cette approche sur la plasticité cérébrale restent limitées (MacIver, *et al.*, 2008). De plus, il sera important de contrôler les capacités d'IM des patients inclus dans de futurs protocoles, par exemple en combinant l'utilisation de questionnaires d'IM pour évaluer la vivacité des images motrices et de tests de chronométrie mentale pour évaluer le *timing* de l'IM (voir Malouin, *et al.* dans ce numéro sur ce point). D'un point de vue plus clinique, il sera également nécessaire de continuer à tester l'implantation de la pratique d'IM (seule ou combinée à des thérapies type miroir) dans le cadre d'activités cliniques routinières (Johnson, *et al.*, 2012). Enfin, la pratique mentale a commencé à être testée avec un certain succès auprès d'autres patients présentant des douleurs, comme des grands brûlés (Guillot, *et al.*, 2009). Il serait donc intéressant de poursuivre l'exploration des effets antalgiques de l'IM chez d'autres populations, et notamment des personnes souffrant de lombalgies, dont la prévalence ne cesse d'augmenter dans nos pays industrialisés.

Remerciements. Arnaud Saimpont a été soutenu par des bourses postdoctorales du réseau provincial de recherche en adaptation-réadaptation, de la Faculté des sciences sociales de l'Université Laval, du CIRRIIS, et du Ministère du développement Économique, de l'Innovation et de l'Exportation du Québec. Philip Jackson est détenteur d'une bourse salariale des Instituts de recherche en santé du Canada.

Bibliographie

- Beaumont, G., Mercier, C., Michon, P.E., Malouin, F., & Jackson, P.L. (2011). Decreasing phantom limb pain through observation of action and imagery: a case series. *Pain Medicine, 12* (2), 289–299.
- Bray, H., & Moseley, G.L. (2011). Disrupted working body schema of the trunk in people with back pain. *British Journal of Sports Medicine, 45* (3), 168–173.
- Brodie, E.E., Whyte, A., & Waller, B. (2003). Increased motor control of a phantom leg in humans results from the visual feedback of a virtual leg. *Neuroscience Letters, 341* (2), 167–169.
- Chan, B.L., Witt, R., Charrow, A.P., Magee, A., Howard, R., Pasquina, P.F., *et al.* (2007). Mirror therapy for phantom limb pain. *The New England Journal of Medicine, 357* (21), 2206–2207.
- Coslett, H.B., Medina, J., Kliot, D., & Burkey, A. (2010a). Mental motor imagery and chronic pain: the foot laterality task. *Journal of the International Neuropsychological Society, 16* (4), 603–612.
- Coslett, H.B., Medina, J., Kliot, D., & Burkey, A.R. (2010b). Mental motor imagery indexes pain: the hand laterality task. *European Journal of Pain, 14* (10), 1007–1013.
- de Lange, F.P., Roelofs, K., & Toni, I. (2008). Motor imagery: a window into the mechanisms and alterations of the motor system. *Cortex, 44* (5), 494–506.
- Devor, S.T., & Faulkner, J.A. (1999). Regeneration of new fibers in muscles of old rats reduces contraction-induced injury. *Journal of Applied Physiology, 87* (2), 750–756.
- Flor, H. (2003). Remapping somatosensory cortex after injury. *Advances in Neurology, 93*, 195–204.
- Flor, H., Nikolajsen, L., & Staehelin Jensen, T. (2006). Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity? *Nature Reviews. Neuroscience, 7* (11), 873–881.
- Gagne, M., Hetu, S., Reilly, K.T., & Mercier, C. (2011). The map is not the territory: Motor system reorganization in upper limb amputees. *Human Brain Mapping, 32* (4), 509–519.
- Guillot, A., Lebon, F., Vernay, M., Girbon, J.P., Doyon, J., & Collet, C. (2009). Effect of motor imagery in the rehabilitation of burn patients. *Journal of Burn Care & Research, 30* (4), 686–693.
- Gustin, S.M., Wrigley, P.J., Gandevia, S.C., Middleton, J.W., Henderson, L.A., & Siddall, P.J. (2008). Movement imagery increases pain in people with neuropathic pain following complete thoracic spinal cord injury. *Pain, 137* (2), 237–244.
- Gustin, S.M., Wrigley, P.J., Henderson, L.A., & Siddall, P.J. (2010). Brain circuitry underlying pain in response to imagined movement in people with spinal cord injury. *Pain, 148* (3), 438–445.
- Harris, A.J. (1999). Cortical origin of pathological pain. *Lancet, 354* (9188), 1464–1466.
- Henry, D.E., Chiodo, A.E., & Yang, W. (2011). Central nervous system reorganization in a variety of chronic pain states: a review. *The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation, 3* (12), 1116–1125.
- Janig, W., & Baron, R. (2002). Complex regional pain syndrome is a disease of the central nervous system. *Clinical Autonomic Research, 12* (3), 150–164.
- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia, 33* (11), 1419–1432.
- Johnson, S., Hall, J., Barnett, S., Draper, M., Derbyshire, G., Haynes, L., *et al.* (2012). Using graded motor imagery for complex regional pain syndrome in clinical practice: failure to improve pain. *European Journal of Pain, 16* (4), 550–561.
- Karl, A., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Cohen, L.G., & Flor, H. (2001). Reorganization of motor and somatosensory cortex in upper extremity amputees with phantom limb pain. *The Journal of Neuroscience, 21* (10), 3609–3618.
- Kooijman, C.M., Dijkstra, P.U., Geertzen, J.H., Elzinga, A., & van der Schans, C.P. (2000). Phantom pain and phantom sensations in upper limb amputees: an epidemiological study. *Pain, 87* (1), 33–41.
- Lagueux, E., Charest, J., Lefrancois-Caron, E., Mauger, M.E., Mercier, E., Savard, K., *et al.* (2012). Modified graded motor imagery for complex regional pain syndrome type 1 of

- the upper extremity in the acute phase: a patient series. *International Journal of Rehabilitation Research*, 35 (2), 138–145.
- Lotze, M., Flor, H., Grodd, W., Larbig, W., & Birbaumer, N. (2001). Phantom movements and pain. An fMRI study in upper limb amputees. *Brain*, 124 (Pt 11), 2268–2277.
- MacIver, K., Lloyd, D.M., Kelly, S., Roberts, N., & Nurmikko, T. (2008). Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery. *Brain*, 131 (Pt 8), 2181–2191.
- Mackert, B.M., Sappok, T., Grusser, S., Flor, H., & Curio, G. (2003). The eloquence of silent cortex: analysis of afferent input to deafferented cortex in arm amputees. *Neuroreport*, 14 (3), 409–412.
- Maihofner, C., Baron, R., DeCol, R., Binder, A., Birklein, F., Deuschl, G., et al. (2007). The motor system shows adaptive changes in complex regional pain syndrome. *Brain*, 130 (Pt10), 2671–2687.
- Maihofner, C., Handwerker, H.O., & Birklein, F. (2006). Functional imaging of allodynia in complex regional pain syndrome. *Neurology*, 66 (5), 711–717.
- Maihofner, C., Handwerker, H.O., Neundorfer, B., & Birklein, F. (2003). Patterns of cortical reorganization in complex regional pain syndrome. *Neurology*, 61 (12), 1707–1715.
- Maihofner, C., Handwerker, H.O., Neundorfer, B., & Birklein, F. (2004). Cortical reorganization during recovery from complex regional pain syndrome. *Neurology*, 63 (4), 693–701.
- Maihofner, C., Seifert, F., & Markovic, K. (2010). Complex regional pain syndromes: new pathophysiological concepts and therapies. *European Journal of Neurology*, 17 (5), 649–660.
- McCabe, C.S., Haigh, R.C., & Blake, D.R. (2008). Mirror visual feedback for the treatment of complex regional pain syndrome (type 1). *Current Pain and Headache Reports*, 12 (2), 103–107.
- McCabe, C.S., Haigh, R.C., Ring, E.F., Halligan, P.W., Wall, P.D., & Blake, D.R. (2003). A controlled pilot study of the utility of mirror visual feedback in the treatment of complex regional pain syndrome (type 1). *Rheumatology (Oxford)*, 42 (1), 97–101.
- Melzack, R. (1990). Phantom limbs and the concept of a neuromatrix. *Trends in Neurosciences*, 13 (3), 88–92.
- Melzack, R. (1992). Phantom limbs. *Scientific American*, 266 (4), 120–126.
- Mercier, C., Reilly, K.T., Vargas, C.D., Aballea, A., & Sirigu, A. (2006). Mapping phantom movement representations in the motor cortex of amputees. *Brain*, 129 (Pt 8), 2202–2210.
- Mercier, C., & Sirigu, A. (2009). Training with virtual visual feedback to alleviate phantom limb pain. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23 (6), 587–594.
- Mitchell, S.W. (1872). *Injuries of Nerves and Their Consequences*. Philadelphia: Lippincott, J.B.
- Moseley, G.L. (2004a). Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: a randomised controlled trial. *Pain*, 108 (1-2), 192–198.
- Moseley, G.L. (2004b). Why do people with complex regional pain syndrome take longer to recognize their affected hand? *Neurology*, 62 (12), 2182–2186.
- Moseley, G.L. (2005). Is successful rehabilitation of complex regional pain syndrome due to sustained attention to the affected limb? A randomised clinical trial. *Pain*, 114 (1-2), 54–61.
- Moseley, G.L. (2006). Graded motor imagery for pathologic pain: a randomized controlled trial. *Neurology*, 67 (12), 2129–2134.
- Moseley, G.L. (2007). Using visual illusion to reduce at-level neuropathic pain in paraplegia. *Pain*, 130 (3), 294–298.
- Murphy, S.M. (1994). Imagery interventions in sport. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26 (4), 486–494.
- Parsons, L.M. (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*, 19 (2), 178–241.
- Parsons, L.M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 20 (4), 709–730.
- Parsons, L.M. (2001). Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging. *Acta Psychologica*, 107 (1-3), 155–181.
- Pelgrims, B., Michaux, N., Olivier, E., & Andres, M. (2011). Contribution of the primary motor cortex to motor imagery: a subthreshold TMS study. *Human Brain Mapping*, 32 (9), 1471–1482.
- Pleger, B., Tegenthoff, M., Ragert, P., Forster, A.F., Dinse, H.R., Schwenkreis, P., et al. (2005). Sensorimotor retraining [corrected] in complex regional pain syndrome parallels pain reduction. *Annals of Neurology*, 57 (3), 425–429.
- Priganc, V.W., & Stralka, S.W. (2011). Graded motor imagery. *Journal of Hand Therapy*, 24 (2), 164–168 ; quiz 169.
- Raffin, E. (2011). *Les mouvements de membre fantôme : relations entre perceptions motrices et neuro-anatomie fonctionnelle étudiées en IRM fonctionnelle*. Saint Etienne : Université Jean Monnet.
- Raffin, E., Mattout, J., Reilly, K.T., & Giraux, P. (2012). Disentangling motor execution from motor imagery with the phantom limb. *Brain*, 135 (Pt 2), 582–595.
- Ramachandran, V.S., & Altschuler, E.L. (2009). The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*, 132 (Pt 7), 1693–1710.
- Ramachandran, V.S., & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 263 (1369), 377–386.

- Reinersmann, A., Haarmeyer, G.S., Blankenburg, M., Frettlöh, J., Krumova, E.K., Ocklenburg, S., *et al.* (2010). Left is where the L is right. Significantly delayed reaction time in limb laterality recognition in both CRPS and phantom limb pain patients. *Neuroscience Letters*, *486* (3), 240–245.
- Schwenkreis, P., Janssen, F., Rommel, O., Pleger, B., Volker, B., Hosbach, I., *et al.* (2003). Bilateral motor cortex disinhibition in complex regional pain syndrome (CRPS) type I of the hand. *Neurology*, *61* (4), 515–519.
- Schwoebel, J., Coslett, H.B., Bradt, J., Friedman, R., & Dileo, C. (2002). Pain and the body schema: effects of pain severity on mental representations of movement. *Neurology*, *59* (5), 775–777.
- Schwoebel, J., Friedman, R., Duda, N., & Coslett, H.B. (2001). Pain and the body schema: evidence for peripheral effects on mental representations of movement. *Brain*, *124* (Pt 10), 2098–2104.
- Sherman, R.A., Arena, J.G., Sherman, C.J., & Ernst, J.L. (1989). The mystery of phantom pain: growing evidence for psychophysiological mechanisms. *Biofeedback and Self-Regulation*, *14* (4), 267–280.
- Siddall, P.J., Yeziarski, R.P., & Loeser, J.D. (2002). Taxonomy and epidemiology of spinal cord injury pain. In R.P. Yeziarski & K.J. Burchiel (Eds.), *Spinal Injury Pain: Assessment, Mechanism, Management, Progress in Pain Research and Management* (Vol. 23, pp. 9–23). Seattle: IASP Press.
- Stanton, T.R., Lin, C.W., Smeets, R.J., Taylor, D., Law, R., & Lorimer Moseley, G. (2012). Spatially defined disruption of motor imagery performance in people with osteoarthritis. *Rheumatology (Oxford)*.
- Stephan, K.M., Fink, G.R., Passingham, R.E., Silbersweig, D., Ceballos-Baumann, A.O., Frith, C.D., *et al.* (1995). Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology*, *73* (1), 373–386.
- Swart, C.M., Stins, J.F., & Beek, P.J. (2009). Cortical changes in complex regional pain syndrome (CRPS). *European Journal of Pain*, *13* (9), 902–907.
- Viswanathan, S., Fritz, C., & Grafton, S.T. (2012). Telling the right hand from the left hand: multisensory integration, not motor imagery, solves the problem. *Psychological Science*, *23* (6), 598–607.
- Wrigley, P.J., Press, S.R., Gustin, S.M., Macefield, V.G., Gandevia, S.C., Cousins, M.J., *et al.* (2009). Neuropathic pain and primary somatosensory cortex reorganization following spinal cord injury. *Pain*, *141* (1-2), 52–59.