



**HAL**  
open science

# L'utilisation de l'imagerie motrice dans la rééducation des blessés médullaires

Julie Cartier

► **To cite this version:**

Julie Cartier. L'utilisation de l'imagerie motrice dans la rééducation des blessés médullaires. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-03079730

**HAL Id: dumas-03079730**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03079730v1>**

Submitted on 17 Dec 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ  
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION  
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE**

# **L'utilisation de l'imagerie motrice dans la rééducation des blessés médullaires**

**CARTIER Julie**

**Directeur de mémoire : M. ROSTAGNO Stephan**

## Remerciements

---

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de mémoire, Stephan Rostagno qui a ponctué ces quatre années de ses enseignements et sa pédagogie et a su attiser par sa soif de savoir, de comprendre et de savoir comprendre, mon envie et ma curiosité d'appréhender la recherche scientifique.

Par-dessus tout, et avec tout l'amour que je leur porte, je remercie mes filles, Liléa et Ana, les véritables héroïnes de cette épopée, qui ont supporté mes si nombreuses absences et me donnent tant de force et de fierté.

Merci à Sylvain qui malgré nos aléas est toujours resté un pilier pour ses filles et un soutien pour moi. A Éliane également sans qui cette gestion familiale à distance n'aurait pas été possible.

Je remercie ma famille qui me soutient et m'encourage.

A ma mère et mon père qui à leur manière si différente m'apportent l'aide dont j'ai besoin et ont la folie nécessaire pour croire encore en moi ; et Théo mon colocataire de choix.

Ces quatre années de formation, qui constituaient un véritable défi personnel, m'ont amené au-delà de mon futur métier, à de véritables rencontres.

A Hugo, plus qu'un binôme, un véritable coup de cœur. Merci pour ta présence, ton écoute, ta sensibilité et ta subtile impertinence.

Aux filles du groupe 8, Marie, Marion, Mathilde, Cyrille, Doriane, Laura, Heidi, que j'ai vu grandir et s'épanouir au cours de ces quatre années.

A Vanessa, personnage unique et rayonnant qui m'a illuminée par sa présence.

Et aux autres : conseiller de l'ombre, mains tendues de façon inopinée et spontanée, ces aides reçues ponctuelles mais sincères et toujours à point nommé ; à ces professeurs, les passionnés et les dévoués qui savent nous transmettre l'amour d'un métier bien fait et à toutes ces étincelles qui m'ont guidée sur ce bout de chemin.

*« Dans un voyage ce n'est pas la destination qui compte, c'est le chemin parcouru et les détours surtout »*

Cette destination n'est certes qu'une étape sur une route qui n'en finit pas de se tracer. En voyant ce chemin parcouru je suis reconnaissante d'avoir osé m'y élancer. Ne renoncez pas à vos rêves, aussi fous soient-ils. Le moment venu on trouve en nous et autour de nous des ressources insoupçonnées qui ne sont que là où on va les chercher.

## Table des matières

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PRESENTATION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. LES LESIONS MEDULLAIRES.....</b>	<b>2</b>
1.2.1. ÉPIDEMIOLOGIE.....	2
1.2.2. ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DE LA MOELLE EPINIERE.....	3
1.2.3. CONSEQUENCES D'UNE LESION MEDULLAIRE.....	5
1.2.4. CAPACITE D'IMAGERIE MOTRICE CHEZ LES BLESSES MEDULLAIRES.....	6
<b>1.3. L'IMAGERIE MOTRICE .....</b>	<b>7</b>
1.3.1. DEFINITION.....	7
1.3.2. SA PLACE DANS LA NEUROPHYSIOLOGIE DU MOUVEMENT.....	7
1.3.1. ÉVALUATION DE LA CAPACITE D'IMAGERIE MOTRICE.....	10
<b>1.4. LA PLASTICITE CEREBRALE .....</b>	<b>12</b>
1.4.1. DEFINITION.....	12
1.4.2. PLASTICITE, APPRENTISSAGE ET IMAGERIE MOTRICE .....	12
<b>1.5. INTERET DE LA REVUE .....</b>	<b>14</b>
<b>2. METHODE .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. QUESTION DE RECHERCHE .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. ÉQUATION DE RECHERCHE .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>17</b>
<b>3. RESULTATS.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2. DESCRIPTION DES ETUDES.....</b>	<b>20</b>
3.2.1. SYNTHÈSE DES ETUDES INCLUSES.....	20
<b>3.3. QUALITE METHODOLOGIQUE DES ETUDES .....</b>	<b>26</b>
3.3.1. ANALYSE QUANTITATIVE PAR UNE ECHELLE D'ÉVALUATION .....	26
3.3.2. ANALYSE QUALITATIVE .....	27
<b>3.4. RESULTATS DES ETUDES .....</b>	<b>28</b>
3.4.1. RESULTATS CONCERNANT LES CAPACITES MOTRICES DES SUJETS .....	28
3.4.2. RESULTATS CONCERNANT LES TESTS ET ECHELLES FONCTIONNELS.....	31
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1. ANALYSE DES PRINCIPAUX RESULTATS .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2. APPLICABILITE DES RESULTATS .....</b>	<b>36</b>
4.2.1. POPULATION.....	36
4.2.2. INTERVENTION .....	37
4.2.3. PERSPECTIVES ET INTERETS DE L'IMAGERIE MOTRICE .....	40
4.2.4. LIMITES DE LA PRATIQUE .....	40
<b>4.3. QUALITE DES PREUVES.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4. BIAIS POTENTIELS DE LA REVUE .....</b>	<b>42</b>
4.4.1. METHODOLOGIE DE LA REVUE .....	42

4.4.2. LES ETUDES INCLUSES .....	43
4.5. DECLARATION DES CONFLITS D'INTERET .....	44
<b>5. <u>CONCLUSION</u> .....</b>	<b>45</b>
<b>6. <u>BIBLIOGRAPHIE</u> .....</b>	<b>46</b>
<b>7. <u>ANNEXES</u> .....</b>	<b>50</b>

## 1. Introduction

### 1.1. Présentation générale

L'imagerie motrice est la représentation mentale d'une action sans production concomitante du mouvement. [1] Les techniques d'imagerie ont montré ces trois dernières décennies des similitudes des sites d'activation corticale avec l'action réellement exécutée. [2][3] De plus, le travail mental est un élément facilitateur de l'apprentissage favorisant l'amélioration de la performance. [4]

Les modifications de l'activité cérébrale et de la cartographie corticale montrent que l'imagerie motrice agirait sur l'organisation de la plasticité cérébrale et aurait un effet similaire à la pratique physique [5].

Par ces caractéristiques on peut envisager la place de l'imagerie motrice dans la rééducation notamment en rééducation neurologique « où la contribution de la kinésithérapie consiste à l'entraînement du contrôle moteur et l'optimisation de la performance motrice lors d'actions fonctionnelles » [6] par le biais de réapprentissage moteurs, lors de la récupération, ou de nouveaux apprentissages de compensation des séquelles.

On peut dès lors percevoir l'intérêt d'une pratique permettant la stimulation cérébrale même dans un contexte où le mouvement est fatigable voire impossible (paralysie, immobilisation, faiblesse musculaire importante).

Par ailleurs, l'accessibilité et le faible coût d'une telle pratique et le nombre croissant d'études montrant les bénéfices de l'imagerie motrice dans l'amélioration de la performance motrice ajoutent à l'intérêt de l'inclure dans nos outils de rééducation. [7]

L'imagerie motrice a largement été étudiée chez les sportifs [8], ainsi que dans le cadre d'atteintes neurologiques centrales comme l'AVC (Accident Vasculaire Cérébral) ou la maladie de Parkinson [9]. Elle est notamment incluse dans les recommandations de bonne pratique de prise en charge des AVC par l'HAS (Haute Autorité de Santé). [10]

Or, moins d'études concernent les blessés médullaires alors que :

- La lésion de la moelle épinière conduit à un phénomène de remaniement par plasticité au niveau local de la lésion et au niveau supérieur du cortex cérébral [11];
- Les patients blessés médullaire sont confrontés au cours de leur rééducation, à l'apprentissage et au réapprentissage moteur ;
- Le développement de techniques d'interface cerveau-machine utilisant la capacité d'IM du sujet nous oblige à approfondir la connaissance de cette technique, de son évaluation et des techniques d'apprentissage.

*Le but de ce travail est de faire un point des connaissances scientifiques actuelles répondant aux questions suivantes :*

- *Est-ce que l'utilisation de l'IM dans la rééducation des blessés médullaires améliore leurs performances motrices ?*
- *Cette amélioration se traduit-elle par un impact fonctionnel significatif pour le patient ?*

## 1.2. Les lésions médullaires

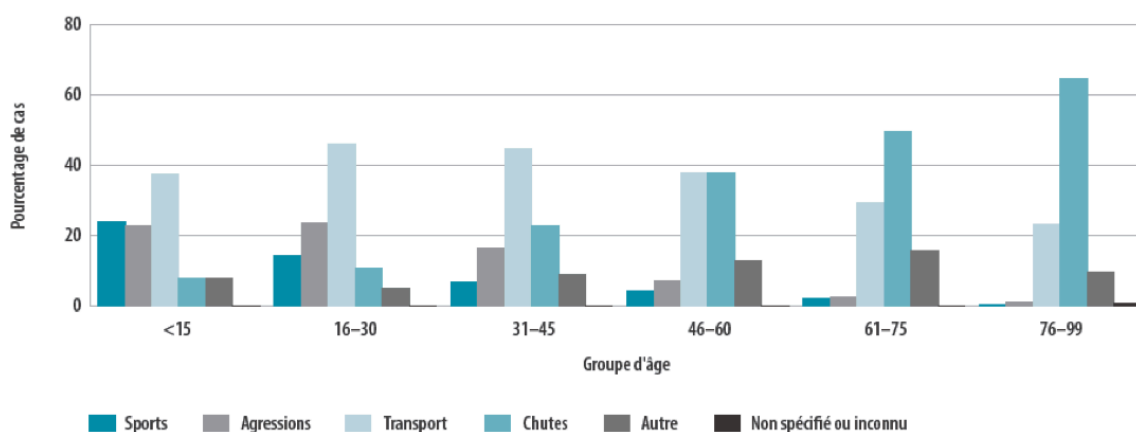
### 1.2.1. Épidémiologie

« En France, l'incidence des lésions médullaires traumatiques est de l'ordre de 1200 nouveaux cas par an (environ 19,4 nouveaux cas par million d'habitants), leur prévalence se situant autour de 50 000. Les causes traumatiques représentent plus de la moitié de l'ensemble des étiologies avec les AVP (accident de la voie publique) largement devant les chutes puis les suicides. Du fait de l'absence de registre national, l'incidence des autres causes, qui est probablement sous-estimée, reste aujourd'hui mal connue. Elles peuvent être d'origine vasculaire, tumorale, infectieuse, malformative et métabolique » (HAS) [12].

Une étude rapporte que seul 24% des blessés médullaires sont des femmes et plus de la moitié des blessés médullaires avait moins de 35 ans au moment de l'accident. Cette proportion s'aggrave si l'on considère seulement les tétraplégiques qui sont 70 % à avoir moins de 35 ans au moment de l'accident. [13]

La survenue d'un accident médullaire est un bouleversement dans la vie du patient proportionnel à son atteinte et ayant un impact d'autant plus important que le sujet est jeune et actif (étudiant, travailleur). L'espérance de vie a été largement améliorée par la qualité de prise en charge et, si elle reste inférieure à la moyenne, elle est quand même importante. Les patients jeunes vont donc vivre de nombreuses années avec leur handicap. La prise en charge rééducative est d'une importance majeure dans la réduction de l'impact fonctionnel des lésions et de leurs séquelles. Les principes de prise en charge vont consister à aider à la récupération et compenser les limitations d'activité (incapacités) et les restrictions de participation (handicap) par des programmes de soin, de rééducation et de réadaptation.

**Figure 2.7. Étiologie des LME par groupe d'âge (tous les groupes d'âge)**



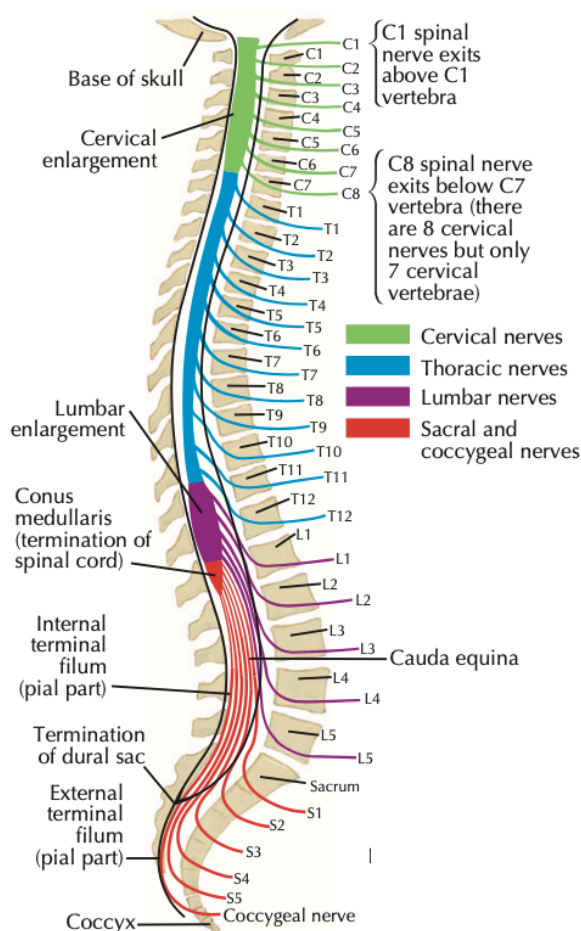
**Figure 1 :** Répartition des étiologies des lésions de la moelle épinière par groupe d'âge. Données issues du rapport statistique du centre national de la statistique sur les lésions de la moelle épinière (NSCISC)  
Source : rapport de l'OMS et l'ISCoS [14]

### 1.2.2. Anatomie et physiologie de la moelle épinière

Une bonne connaissance de l'anatomie et la physiologie neuro médullaire va permettre une meilleure compréhension des conséquences des lésions médullaires.

La moelle épinière (ME) appartient au système nerveux central. C'est un cordon nerveux qui prolonge le tronc cérébral en dessous du bulbe (ou moelle allongée) et qui descend dans le canal vertébral jusqu'au cône terminal. Elle s'étend des vertèbres C1 à L2.

La substance grise de la ME est formée d'éléments étagés qui correspondent à la subdivision métamérique de l'embryon. Chaque segment de moelle grise, appelé neuromère, donne naissance aux racines d'un nerf spinal. Ainsi sur toute la hauteur de la substance grise de la moelle naissent 31 paires de nerfs spinaux : 8 cervicales, 12 thoraciques, 5 lombaires, 5 sacrées et 1 coccygienne, qui sont chacune formées par la réunion de la racine antérieure (motrice) et de la racine postérieure (sensitive) et qui émergent par les trous de conjugaison. Rappelons que la moelle épinière est plus courte que la colonne vertébrale, il n'y a donc pas de concordance exacte de hauteur entre les neuromères médullaires et les niveaux vertébraux.



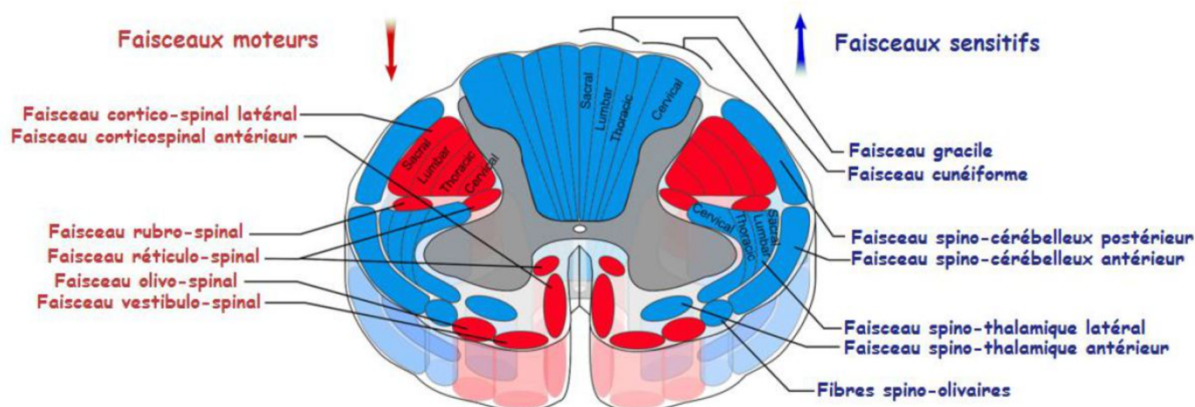
**Figure 2** : Rapports anatomiques entre moelle épinière et rachis sur une vue sagittale du canal vertébral.

Source : *Netter's Neurology*

Sur une coupe transversale, la moelle épinière est composée de deux parties : la substance blanche et la substance grise.



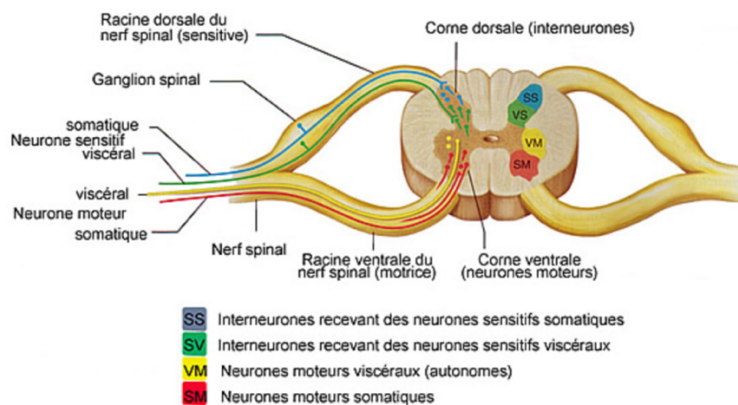
**La substance blanche** est constituée des voies nerveuses (axones) ascendantes pour la sensibilité et descendantes pour la motricité. Elle est organisée en différents cordons autour de la substance grise. Ainsi par exemple, la motricité volontaire (voie pyramidale) passe par le cordon latéral, la sensibilité épicrotique, conduite par les voies lemniscales, passe par les cordons postérieurs.



**Figure 3** : Coupe transversale de la moelle épinière avec schématisation des principaux cordons de la substance blanche

Source : <http://ressources.unisciel.fr/physiologie>

**La substance grise** est centrale, située autour du canal de l'épendyme. Elle est constituée de corps cellulaires et le lieu de relais nerveux. Elle est organisée en corne antérieure (relais de la motricité), corne postérieure (relais de la sensibilité) et corne latérale.



**Substance grise dans une coupe de la moelle spinale.**

**Figure 4** : coupe de la moelle et schéma de la substance grise

Source : <http://corpshumain.ca/>

Enfin on note la présence sur la racine postérieure du ganglion spinal qui contient le corps cellulaire des neurones sensitifs.

La substance grise est également le lieu de réflexes locaux comme le réflexe myotatique qui est un réflexe simple, ainsi que des relais nerveux entrant en jeu dans le contrôle de la motricité involontaire et de la motricité volontaire (cellules de Renshaw, inhibition réciproque).

### 1.2.3. Conséquences d'une lésion médullaire

La lésion médullaire est une souffrance de la moelle d'origine traumatique ou autre entraînant sa dégradation plus ou moins importante et plus ou moins définitive. L'échelle de déficience (AIS) (ASIA Impairment Scale) de l'ASIA (American Spinal Injury Association), basée sur l'échelle de Frankel, est utilisée pour classifier la gravité (complète ou plus ou moins complète) de la blessure chez les blessés médullaires. Elle permet d'identifier les niveaux sensoriels et moteurs indiquant le niveau le plus élevé de la moelle épinière présentant une fonction normale. (Annexe 1) Elle est le « gold standard » de l'évaluation des lésions médullaires car elle permet une évaluation fiable et reproductible [15] du niveau et de la sévérité de la lésion. [16]

Le degré d'incapacité et de désavantage lié à l'atteinte de la moelle épinière est propre à chaque lésion et dépendra à la fois de la hauteur et du caractère plus ou moins complet de l'atteinte. Le caractère incomplet traduit un meilleur pronostic avec un potentiel de récupération de la fonction motrice.[17]

La sévérité de l'atteinte est définie par la AIS selon cinq grades décrits dans le tableau suivant :

Échelle de déficience ASIA		Lésion
A	Aucune sensibilité ni motricité n'est préservée dans le segment sacré S4-S5	Complète
B	La sensibilité mais pas la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5	Incomplète
C	La motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score <ou = 3 (motricité non fonctionnelle)	Incomplète
D	La motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score > 3	Incomplète
E	La sensibilité et la motricité sont normales. Il peut persister des anomalies réflexes.	Normale

**Tableau 1** : échelle de déficience ASIA

L'application de cette évaluation est décrite en [annexe 1](#). Nous retiendrons ici une distinction importante pour l'évaluation de la population sélectionnée dans les études. Ainsi on considérera d'une part les patients AIS A (complet) et B (incomplet sensitif) comme des patients chez qui ne subsiste qu'une motricité supra lésionnelle. Les capacités motrices évaluées chez ces patients seront donc plutôt liées à des apprentissages de compensation des séquelles avec la motricité préservée, alors que pour des patients AIS C ou D, incomplets moteurs, en plus de ces apprentissages des compensations, pourra être observée et évaluée la récupération de la motricité altérée par la lésion.

Après le succinct rappel anatomique de la moelle épinière, on comprend qu'une lésion de la moelle épinière va avoir plusieurs conséquences concernant la motricité.

L'atteinte de la substance blanche de la moelle va entraîner l'interruption des voies descendantes de la motricité et donc de la commande volontaire des muscles en dessous de la lésion ; mais aussi des voies ascendantes de la sensibilité et donc de tous les retours sensitifs de la partie du corps infra lésionnelle.

L'atteinte de la substance grise va elle aussi avoir comme conséquence l'interruption du passage du message nerveux descendant et ascendant mais aussi une atteinte des réflexes locaux dont certains sont impliqués dans la motricité.

*Une atteinte de la moelle épinière entraîne des perturbations sensorimotrices affectant à la fois la commande motrice et le retour sensitif des conséquences du mouvement, altérant le contrôle du mouvement volontaire.*

#### 1.2.4. Capacité d'imagerie motrice chez les blessés médullaires

La commande motrice et le retour sensorimoteur des conséquences du mouvement, altérées lors de l'atteinte des voies médullaires, font partie de **la construction du mouvement et de son image**. Cependant, le principe même de l'imagerie motrice est la simulation d'un mouvement en l'absence de celui-ci. Ainsi la paralysie n'est pas limitante dans l'évocation mentale de mouvements connus ou imaginés. Plusieurs études montrent chez les blessés médullaires une préservation des schémas moteurs et de la capacité à générer une activation cérébrale des mouvements paralysés [18], même à distance de la lésion (en phase chronique). [19] Cette étude montre non seulement que la représentation des mouvements du pied est conservée chez des patients AIS A (complet), mais aussi que la vivacité d'imagerie réalisée est la même que chez les sujets sains et corrélée à l'activation cérébrale.

L'absence d'atteinte cognitive permet aux patients blessés médullaires de conserver une capacité d'imagerie et d'apprentissage. Certaines études montrent néanmoins que cette capacité ne serait pas tout à fait intacte et pourrait être perturbée par les phénomènes de réorganisation cérébrale suivant la lésion, avec une difficulté plus importante pour les patients par rapport aux sujets sains.[20] [21]

Un autre paramètre pouvant influencer la capacité d'imagerie dans cette population est la dépression. C'est un état psychologique répandu après une lésion médullaire [23] et qui pourrait altérer la capacité du sujet à réaliser de l'imagerie mentale [20]. C'est donc un élément important à prendre en compte lors de l'évaluation du sujet quant à ses capacités d'imagerie.

*Des difficultés peuvent limiter les effets de l'IM chez des blessés médullaires par rapport à des sujets sains. Cependant aucune limite n'empêche son utilisation. Il est donc intéressant d'envisager son intégration dans la rééducation de cette population et d'en mesurer les effets potentiels.*

### 1.3. L'imagerie motrice

#### 1.3.1. Définition

L'**imagerie motrice** est la représentation mentale d'une action sans production concomitante de mouvement. Elle appartient, dans le domaine de la psychologie cognitive, à l'**imagerie mentale** (aussi appelée visualisation) qui est définie comme « une forme singulière de représentation mentale et qui a pour caractéristique de conserver l'information perceptive sous une forme de représentation mentale qui possède un degré élevé de similitude structurale avec la perception, en l'absence du support de cette perception. » [24] Cette **imagerie mentale** est un mécanisme indispensable à l'apprentissage, la compréhension et la résolution de problèmes. Elle fait appel à différentes entrées sensibles : visuelle, auditive, kinesthésique, olfactive et gustative.

L'**imagerie motrice**, dont il est question ici, concerne la visualisation d'**actions motrices** et on s'y réfère en parlant de la répétition de la visualisation de tâches motrices en vue d'en améliorer leur performance.

Elle est elle-même classée en **imagerie motrice visuelle (IMV)** où le sujet se voit faire le mouvement ou l'action à la troisième personne (« il,elle »); et **l'imagerie motrice kinesthésique (IMK)** où le sujet s'imagine faire le mouvement (à la première personne, « je »). Cette dernière modalité fait appel à la kinesthésie du mouvement et à son ressenti. En pratique, les deux modalités sont utilisables.

#### 1.3.2. Sa place dans la neurophysiologie du mouvement

Pour mieux comprendre la place de l'imagerie motrice dans la neurophysiologie du mouvement, nous allons décrire le mouvement volontaire selon deux approches différentes : d'abord avec une approche chronologique des différentes étapes aboutissant à l'exécution d'un mouvement volontaire d'après *anatomie3d.univ-lyon*, puis avec une description neuro anatomique des régions corticales impliquées dans la séquence des différentes étapes aboutissant au mouvement volontaire d'après les travaux de *Marc Jeannerod*.

##### [Le contrôle du mouvement volontaire \(1\)](#)

Le mouvement volontaire est initié par l'**intention** du mouvement et se concrétise par la **réalisation effective** de ce mouvement. De l'un à l'autre plusieurs étapes sont nécessaires et vont activer différentes zones interconnectées du système nerveux.

##### ⇒ L'intention

Elle est à l'origine de tout mouvement volontaire. L'intention d'agir est contrôlée par le réseau du thalamus et du système limbique. Il est connecté aux autres réseaux par le cortex associatif.

---

(1) d'après <http://anatomie3d.univ-lyon1.fr>

⇒ La planification

Planifier c'est décider ce que l'on va faire. La planification sélectionne un plan d'action mémorisé parmi des stratégies motrices déjà réalisées (Copies d'efférence). Elle est contrôlée par les noyaux gris centraux en relation avec les cortex associatifs et converge vers le cortex moteur.

⇒ La programmation

Elle précise les paramètres de l'exécution du mouvement. Elle est contrôlée par le cervelet latéral et ajuste le plan d'action au contexte de son exécution.

**Intention, planification et programmation** correspondent à la préparation du mouvement. La planification et la programmation sélectionnent les neurones commandant l'exécution du mouvement.

⇒ L'exécution et la coordination du mouvement

C'est la mise en œuvre de la commande. Le **cortex moteur primaire** est le point de départ de la commande motrice. Puis elle emprunte les voies pyramidales qui décussent pour 90 % d'entre elles au niveau de la moelle allongée dans le tronc cérébral, descendent par le cordon latéral de la moelle épinière jusqu'aux motoneurones alpha de la corne antérieure. La commande se distribue aux différents motoneurones des agonistes du mouvements. Les motoneurones alpha des antagonistes sont eux inhibés par un réseau d'interneurones inhibiteurs. Enfin les antagonistes, étirés pendant le mouvement, freinent l'action en fin d'exécution par le réflexe myotatique.

⇒ La vérification

Le retour sensitif de l'exécution du mouvement permet une **comparaison avec la copie d'efférence** de ce mouvement en fonction du but atteint et une **intégration sensorimotrice de l'action**.

Activation des aires corticales. (2)

Différentes aires corticales sont impliquées dans le mouvement volontaire et décrites ainsi d'après les travaux de *Marc Jeannerod*: (voir [annexe 2](#) pour une cartographie cérébrale)

⇒ Le cortex moteur primaire (M1), situé dans l'aire 4 de Brodmann en avant du sillon préfrontal ; son activation entraîne l'envoi de la **commande motrice** par la voie pyramidale aux muscles effecteurs du mouvement.

⇒ Le Cortex moteur secondaire (M2) contenant les **informations sur le programme à exécuter**. Il gère l'exécution de l'acte, la motivation, la préparation des conséquences. Il est en lien avec les noyaux gris centraux et le thalamus.

---

(2) Marc Jeannerod, Le cerveau volontaire, Paris, Odile Jacob, 2009

- ⇒ L'aire somato sensorielle primaire (S1), située en arrière du sillon central, dans les aires 1, 2 et 3 de Brodmann. Elle reçoit les informations relatives à l'exécution du mouvement (retour sensitif). Elle est organisée selon la même somatotopie que M1 et en lien direct avec lui.
- ⇒ Le cortex pré moteur (CPM), aire 6 de Brodmann situé en avant de M1. Il comprend :
- Le PMd (cortex pré moteur dorsal), support du **but visuel de l'action** ;
  - Le PMv (cortex pré moteur ventral) support des **caractéristiques du mouvement**. Il est activé lors de mouvement des extrémités. Il contient les **neurones miroirs** qui représentent une action exécutée ou sur le point de l'être, que cette action soit observée ou propre au sujet.
  - La SMA (aire motrice supplémentaire) activée lors de mouvements lents.
- Ces trois éléments comportent les **propriétés visuo-motrices du mouvement**. Le CPM présente *une décharge anticipée et indépendante du fait que le mouvement soit exécuté*. Il est relation étroite avec le cortex visuel et lié aux actions dirigées vers un but.
- ⇒ Le cortex pariétal postérieur, divisé en lobule pariétal supérieur et inférieur. Ils sont activés par la **vision de l'objet vers lequel l'action est dirigée**. Le cortex pariétal analyse l'objet et est en lien avec le CPM qui lui **prépare** le mouvement en fonction de l'objet.
- ⇒ Le cortex préfrontal, dans les lobes frontaux en avant de l'aire 6. Il intervient dans la **préparation de l'action** par l'intégration sensorielle des informations internes et externes. La décharge des neurones de cette zone n'a pas de rapport avec l'exécution : elle anticipe la survenue de la réponse motrice et cesse au moment où elle survient.

### Corrélation entre mouvement et imagerie

*L'imagerie mentale constitue, d'après Jeannerod, « l'accès conscient au contenu de l'intention du mouvement qui est normalement inconscient pendant la phase de préparation du mouvement. » [18] [5]*

*De fait, l'activation du cortex interviendrait 7 à 10 secondes avant la perception de l'intention du mouvement par le sujet.*

*C'est à ce **contenu inconscient** que se réfère la pratique de l'imagerie motrice.*

De nombreuses études ces dernières années ont montré les similitudes entre l'imagerie motrice et le mouvement dans l'activation des zones cérébrales. Les résultats de ces études montrent que les mécanismes cognitifs de **planification**, de **construction** et de **programmation de la réponse**, [24] mais aussi de **préparation des conséquences sensorielles** [25] mis en œuvre au cours de l'imagerie mentale sont similaires à ceux de la pratique physique réelle. Cette similitude est évoquée par la notion **d'équivalence fonctionnelle**.

Toutefois la similitude ne serait pas totale. Par l'intensité, qui est moindre, et l'activation de l'aire motrice primaire qui est controversée. Celle-ci serait activée à 30% voire pas du tout selon les études et les modalités d'IM. En l'occurrence l'IMK favoriserait l'activation de l'aire motrice primaire et une augmentation du tonus de base des muscles effecteurs du mouvement imaginé.

**TABLE 2 | Key anatomical brain regions associated with MI and Motor Execution (ME).**

Anatomical region	MI	ME	Selected reference
dIPFC	Active	Active	Gerardin et al., 2000; Hanakawa et al., 2003; Kuitz-Buschbeck et al., 2003; Héту et al., 2013
SMA	Greater activity in rostral SMA Active pre-SMA	Active SMA No activity in pre-SMA	Stephan et al., 1995; Gerardin et al., 2000; Kuitz-Buschbeck et al., 2003; Vry et al., 2012
PMC	Active	Active	Gerardin et al., 2000; Hanakawa et al., 2003; Munzert et al., 2009
Par	Greater activity in PPC and IPL	Greater activity in S1	Gerardin et al., 2000; Hanakawa et al., 2003; Héту et al., 2013; Saiote et al., 2016
M1	Weak activation	Active	Munzert et al., 2009; Sharma and Baron, 2013; Bajaj et al., 2015; Saiote et al., 2016
Cerebellum	Greater activity caudally	Greater activity rostrally	Hanakawa et al., 2003; Ridderinkhof and Brass, 2015
Basal Ganglia	Active rostral caudate nucleus	Active caudal putamen	Gerardin et al., 2000; Héту et al., 2013

*Par, parietal cortex; IPL, inferior parietal lobule; PPC, posterior parietal cortex; dIPFC, dorsolateral prefrontal cortex; PMC, premotor cortex; SMA, supplementary motor cortex; S1, primary somatosensory cortex; M1, primary motor cortex; d, dorsal; l, lateral.*

**Figure 5** : principales aires corticales activées lors de l'IM et du mouvement [26]

En [annexe 3 et 5](#) sont proposés une cartographie comparant l'activation corticale lors de l'IM et lors du mouvement, ainsi qu'un tableau plus exhaustif des aires corticales activées par l'IM et le mouvement. [27]

*L'intérêt ici de l'activation des aires corticales liées au mouvement volontaire serait d'agir sur la récupération motrice dans un contexte où le mouvement est entravé par la paralysie plus ou moins complète avec un outil ayant un impact sur la plasticité cérébrale.*

### 1.3.1. Évaluation de la capacité d'imagerie motrice

On l'aura compris, l'imagerie motrice est un processus interne dont il est difficile de mesurer la portée et la réalisation. Néanmoins il existe des outils permettant d'évaluer la capacité des sujets à faire de l'imagerie motrice.[28] [29] En effet la capacité d'imagerie du sujet est un facteur influençant l'efficacité de cette pratique. [30] On parle de **qualité d'imageur**.









Les tests permettront d'évaluer la capacité du sujet à **créer** une image motrice.

⇒ Le **TDMI (Timed Dependant Motor Imagery)** mis en place par *Malouin* [31] d'après le principe de chronométrie mentale. Ce principe stipule que la durée du mouvement imaginé et la même que celle du mouvement exécuté et qu'un mouvement complexe prend plus de temps qu'un mouvement simple (Fitt's law). Ce principe constitue une preuve de l'exécution de l'IM et de sa similitude avec le mouvement.[18]

Le test consiste à imaginer un mouvement de steppage pendant 15 secondes, puis 25 secondes et enfin 45 secondes. L'objectif est de vérifier la progression du nombre de mouvements produit dans chaque cas. Le patient qui réussit présente donc une capacité à comprendre et réaliser l'IM mais ce test ne traduit pas la qualité de l'image évoquée.

⇒ **Le test de latéralité (HLT en anglais Hand laterality test)** dans lequel des images de mains dans différentes positions sont montrées au sujet qui doit déterminer s'il s'agit d'une main droite ou gauche. La justesse et la rapidité de réponse sont prises en compte. Ce test

repose sur le fait que la stratégie cognitive adoptée pour résoudre ce problème engage un mouvement mental de sa propre main et le temps de réponse reflète la capacité à créer ce type d'imagerie.[32] Par ailleurs ce test souligne aussi le principe de chronométrie mentale, car plus la position de la main est complexe, plus le temps de réponse est long. L'image ci-contre présente des exemples schématiques des images montrées au sujet. (La colonne de droite illustre le test MLD (Mirror Letter Discrimination) qui évalue les capacités de visualisation.) [22]

Types of Stimuli		
Hands		Letters
	0°	F
	90°	T
	180°	E
	270°	L
	0°	J
	90°	└
	180°	f
	270°	┘

- ⇒ **La réponse électrodermique**, traduisant une réponse végétative à l'effort mental produit pendant l'IM est aussi une preuve de la similitude de l'imagerie avec le mouvement, la réponse végétative étant une réponse automatique. Il a également été observé une augmentation de la fréquence cardiaque ou respiratoire en réponse à l'évocation mentale de l'effort.

Des questionnaires eux visent à évaluer **la qualité et la vivacité** (*vividness* en anglais) de l'image évoquée. L'effort d'imagerie est corrélé à la difficulté physique de la tâche à imaginer ainsi qu'à l'intensité de l'activation cérébrale :

- ⇒ **Le MIQ-RS (Movement Imagery Questionnaire, revised second version)**[33] dont une traduction française est proposée en [annexe 6](#) [34]. Ce questionnaire investigate deux types d'IM, l'IMK et l'IMV à travers huit mouvements courants qui devront être effectués puis imaginés par IMV et IMK. A chaque production d'une image motrice le sujet évalue sa qualité par une échelle de Lickert de 1 à 7. Cependant, le MIQ a été initialement développé pour une utilisation chez de jeunes adultes en bonne santé et peut présenter des difficultés d'application chez des patients aux capacités motrices limitées.
- ⇒ Pour cette raison a été développé **le KVIQ (Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire)** [35] dont la version française est proposée en [annexe 7](#). Sur le même principe que le MIQ, il évalue les deux modalités d'IM avec ici dix mouvements plus simples que dans le MIQ et qui sont évalués sur une échelle de 5 points. Pour le praticien, l'intérêt du KVIQ réside dans la possibilité de déterminer la modalité d'imagerie préférée du patient (modalité visuelle versus kinesthésique) et d'orienter la pratique en IM en tenant compte des préférences individuelles afin d'en maximiser les effets. [28]



## 1.4. La plasticité cérébrale

### 1.4.1. Définition

La plasticité cérébrale se définit comme étant **la capacité du cerveau à changer sa structure et son fonctionnement sous l'effet des expériences et de l'environnement**. Ce phénomène intervient tout au long de la vie, du développement embryonnaire à l'état adulte ainsi que dans les conditions pathologiques de lésions ou de maladie.

La plasticité cérébrale est liée à l'**apprentissage** et agit par **remaniement des connexions neuronales**. Elle se manifeste par des modifications structurales du cortex cérébral qui ont été mises en évidence dans de nombreuses études à l'aide de l'IRM morphologique, dont la plus connue est l'étude transversale sur les chauffeurs de taxi londoniens [36], ou par IRM fonctionnelle.

Dans un contexte de lésion du système nerveux central, il est décrit une plasticité post lésionnelle qui se distingue en 2 parties [37]:

- **La plasticité post lésionnelle de réparation** appelée encore apprentissage par l'inactivité. L'inactivité entraîne une amnésie motrice de la fonction atteinte et les structures neuronales sont alors affectées à une autre tâche.
- **La plasticité post lésionnelle fonctionnelle** où les activités nouvellement entraînées vont développer ou occuper de nouvelles structures neurologiques.

Dans ce cadre, la rééducation va pouvoir « piloter » la récupération et la plasticité en jouant sur l'activité et l'inactivité.

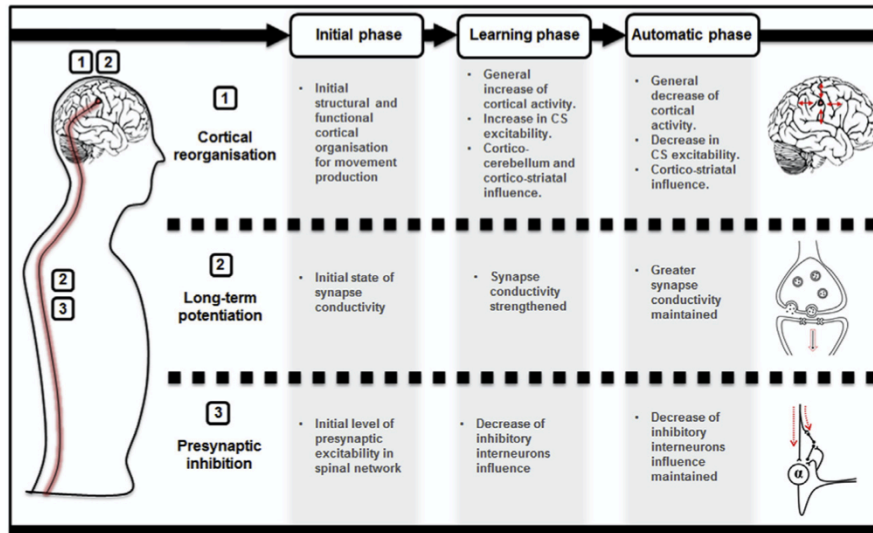
### 1.4.2. Plasticité, apprentissage et imagerie motrice

L'apprentissage d'un nouveau geste moteur ou le perfectionnement d'un geste entraîne une modification des connexions neuronales au niveau cortical par le phénomène de plasticité [38]. Il a été démontré dans cette étude chez des sujets sains, que la pratique de l'imagerie motrice seule permet l'amélioration de la performance motrice entraînée (il est question ici de l'apprentissage du piano), certes moindre qu'avec la pratique effective ; mais également que l'IM seule entraîne les mêmes remaniements corticaux que la pratique physique.

*Jackson et al* ont également observé que la plasticité cérébrale due à la pratique physique est aussi activée par l'imagerie motrice [5]. Notamment, **l'imagerie motrice active les réseaux de neurones qui contrôlent la planification et la programmation du mouvement, permettant de conserver actifs des programmes moteurs stockés dans la mémoire procédurale**.

Pour aller plus loin, *Ruffino & al* présentent un modèle de l'adaptation neuronale à la pratique mentale s'étendant au-delà du cortex cérébral jusqu'au niveau cortical et dans lequel la conductivité synaptique et les mécanismes d'inhibition de la moelle épinière jouent un rôle important. [39]

Ce modèle de l'adaptation neuronale liée à l'apprentissage est présenté dans la figure suivante :



**Fig. 5.** Neural adaptation model of mental practice with motor imagery. The chart describes the three phases related to learning, from the initial phase to the automatic phase, in relation to three potential neurophysiological processes (cortical reorganization, long-term potentiation and presynaptic inhibition). The graphical representations on the right depict the three processes occurring at the cortical (1 and 2) and spinal (2 and 3) levels. The first picture shows the cortical map modulation (increase and decrease) within the primary motor cortex. The second picture shows the greater synapse sensitivity through the conduction of neurotransmitters. The third picture shows the decrease of presynaptic inhibition at the alpha-motoneuron level. The dotted red arrows illustrate the subliminal motor output generated during motor imagery and its influence on presynaptic interneurons.

**Figure 6 :** modèle d'adaptation neuronale de la pratique l'imagerie motrice

*Après une lésion du système nerveux la récupération fonctionnelle serait liée à des processus de réorganisation des voies nerveuses lésées [40]. Or les modifications de l'activité cérébrale et de la cartographie corticale montrent que l'imagerie motrice agirait sur l'organisation et la plasticité cérébrale, d'où son rôle potentiel dans la réadaptation fonctionnelle.[27]*

## 1.5. Intérêt de la revue

Comme nous l'avons vu dans cette introduction :

- Un des enjeux de la rééducation des blessés médullaires concerne le **versant moteur** de l'atteinte qui va influencer sur **les répercussions fonctionnelles** de la blessure et de ses séquelles.
- L'imagerie mentale et l'imagerie motrice en particulier est un **outil d'apprentissage** des sciences cognitives activant les mêmes zones corticales que les mouvements et actions motrices. Cet outil est susceptible **d'améliorer la performance motrice et le geste.** (Annexe 4) Elle est utilisée depuis de nombreuses années dans le domaine du sport.
- L'intérêt de l'IM est de pouvoir simuler un mouvement lorsqu'un sujet est incapable de le produire physiquement en qualité ou en quantité [28]. De plus elle présente l'avantage d'être **peu coûteuse** et ne demande pas de matériel particulier de rééducation.
- **L'équivalence fonctionnelle** retrouvée entre l'imagerie motrice et la pratique physique est conservée chez les blessés médullaire, de même que l'absence d'atteinte cognitive leur permet une capacité d'imagerie motrice proche de celle d'un sujet sain.
- Les blessés médullaires se retrouvent à la fois sujets à des **apprentissages et réapprentissages moteurs** pouvant bénéficier de l'apport de l'IM sur la performance, mais aussi, lors de lésions incomplètes, sujets à une potentielle récupération neuronale par le mécanisme de **plasticité et de remaniements corticaux** qui sont des phénomènes potentialisés par la pratique de l'IM.
- Enfin l'IM a un effet visible par imagerie sur l'activité cérébrale [39]. Est-ce que les remaniements corticaux constatés ont un effet mesurable au niveau moteur et s'expriment de façon suffisante pour avoir un impact fonctionnel ?

Fort de ces connaissances théoriques, les effets attendus de l'utilisation de l'imagerie motrice en rééducation chez les blessés médullaire seraient en faveur d'un apport positif et non négligeable de cet outil dans notre pratique. Autrement dit, intégrer l'imagerie motrice dans la rééducation permettrait de renforcer les processus d'apprentissage moteurs amorcés par la pratique physique. [41]

*L'objectif de ce travail est de confronter cette hypothèse à la réalité des résultats existants dans la littérature scientifique et d'en tirer des conclusions objectives et concrètes pour l'adaptation à la pratique professionnelle.*

## 2. Méthode

Ce travail a été construit selon les lignes directrices PRISMA pour l'écriture des revues de littérature. [42]

### 2.1. Question de recherche

La problématique soulevée dans cette revue est une **question thérapeutique** dans ce qu'elle recherche à savoir si une technique utilisée est un traitement approprié et efficace pour le patient dans le cadre de la prise en charge de sa pathologie.

L'outil utilisé pour établir la question clinique est l'outil PICO où, après traduction de l'acronyme : [43]

P : *population/patient/problem* (population/patient/ problème) ;

I : *intervention* (intervention ou stratégie de prise en charge) ;

C : *comparison* (comparateur) ;

O : *outcome* (critère de jugement).

Dans le cas de la question **thérapeutique** nous aurons :

<b>Population</b>	<b>Intervention</b>	<b>Comparison</b>	<b>Outcome</b>
Pathologie Problème Symptomatologie Motif de consultation	Traitement à tester	« Rien » Soin usuel recommandé Placebo /sham Traitement en plus ou en moins	Critère de jugement d'intérêt pour le thérapeute et/ou le patient

Concernant la **population**, ce travail cible des patients ayant subi une lésion médullaire. Celle-ci peut être d'origine traumatique ou non et l'ancienneté de la lésion permettra de distinguer la phase aiguë ou chronique de la rééducation. Les éléments pris en compte pour caractériser les sujets sont : l'âge, le sexe, le niveau lésionnel d'après l'échelle ASIA et le grade AIS définissant le caractère complet ou incomplet de la lésion, ainsi que le temps écoulé depuis la lésion.

Concernant l'**intervention**, il s'agit de la mise en place d'un protocole d'imagerie motrice chez des patients blessés médullaires, plus ou moins associée à leur rééducation. Le terme d'imagerie motrice est privilégié mais il existe une terminologie vaste avec de nombreux termes qui peuvent finalement sous-entendre des subtilités dans la définition du travail mental engagé. Nous incluons ici tous les termes se rapportant à cette notion et serons attentifs dans l'interprétation à rechercher ces différences. Il s'agit d'imagerie motrice, visualisation motrice, entraînement mental, image mentale, simulation motrice.

Concernant le **comparateur**, le traitement appliqué ici n'a pas de placebo. Il sera comparé à une rééducation classique, un groupe contrôle pratiquant un autre type de travail mental ou à aucun comparateur.

Concernant l'**outcome**, en réponse à notre question de recherche soulevée par les postulats théoriques présentés, nous recherchons à savoir si les effets de l'IM s'expriment au niveau moteur et si cela a un impact au niveau fonctionnel. Aussi, les critères de jugement devront mesurer une performance motrice par la force musculaire, l'analyse du mouvement ; et un niveau fonctionnel par des tests et des échelles fonctionnels.

Pour ce travail de recherche les critères PICO sont les suivants :

➤ <b><u>Patients</u></b>	Patients ayant subi une lésion médullaire toutes étiologies confondues et quel que soit le niveau et le grade AIS, tous âges confondus, quel que soit le sexe.
➤ <b><u>Intervention</u></b>	Le traitement étudié est la mise en place d'un programme d'imagerie motrice en rééducation. Aucune modalité ni mode de mise en place n'est écarté / priorisé.
➤ <b><u>Comparateur</u></b>	Aucun comparateur n'est exclu : « rien », groupe contrôle, autre traitement.
➤ <b><u>Outcome</u></b>	Amélioration de la récupération motrice, de la performance motrice ou de la fonction.

L'établissement de ces critères nous amène à la question de recherche suivante :

« L'utilisation de l'imagerie motrice dans la rééducation des blessés médullaires permet-elle d'améliorer leur récupération motrice et fonctionnelle ? »

## 2.2. Équation de recherche

Les mots clé utilisés pour la recherche sont :

Pour les patients :

- ⇒ Spinal cord injury
- ⇒ Tetraplegic / tetraplegia
- ⇒ Quadriplegic / quadriplegia

Pour l'intervention

- ⇒ Mental imagery
- ⇒ Motor imagery
- ⇒ Mental training
- ⇒ Mental practice
- ⇒ Imagined movement

Ce qui donne l'équation de recherche suivante :

**(((spinal cord injury) OR tetrapleg\*) OR quadrapleg\*) AND (((mental imagery) OR motor imagery) OR mental practice) OR imagined movement)**

Pour la recherche dans la base de données Kinedoc Les mots clés ont également été établis en français :

Pour les patients :

⇒ Blessés, médullaires / Lésions médullaire/ Paraplégie, paraplégique / Tétraplégie, tétraplégique.

Pour l'intervention :

⇒ Imagerie motrice, entraînement mental, visualisation motrice, préparation mentale, simulation motrice.

### 2.3. Recherche bibliographique

Plusieurs bases de données ont été interrogées : Pubmed, PEDro, Cochrane et Kinédoc avec l'équation de recherche décrite précédemment et les différents mots clés. Les références de revues et articles trouvés pertinents ont été également analysés pour y extraire des articles supplémentaires.

La recherche a été effectuée essentiellement en langue anglaise. Les articles dans les langues autres que le français et l'anglais n'ont pas été retenus.

Pour ce type de revue de littérature, les articles les plus pertinents sont les essais cliniques randomisés. Étant donné le peu de recherches disponibles dans la littérature dans le domaine des blessés médullaires, aucun type d'article n'a été exclu en première intention, ni dans le temps.

Un premier lissage permet de retirer les doublons.

Après lecture des titres, ont été exclus :

- ⇒ Les articles traitant d'autres pathologies neurologiques (P de PICO),
- ⇒ Les articles n'utilisant pas l'imagerie motrice comme moyen thérapeutique (I de PICO)
- ⇒ Les articles traitant de l'interface cerveau machine (BCI) ou de la douleur.

Les articles retenus pour une lecture plus approfondie devront respecter les critères d'inclusion suivant :

- ⇒ Type d'article : étude de cas, étude expérimentale, série de cas, essai clinique ;
- ⇒ Étude incluant au moins l'évaluation d'une performance motrice avant et après IM chez un ou des patients blessés médullaires.
- ⇒ Qualité méthodologique de moyenne à bonne.

### 3. Résultats

#### 3.1. Recherche bibliographique

La recherche dans les quatre bases de données a été réalisée à plusieurs reprises entre septembre 2019 et janvier 2020.

Un résultat de 418 articles sont issus de cette recherche dans les bases de données et 5 articles issus de différentes références bibliographiques étudiées ont été jugés pertinents et ajoutés.

La lecture du titre permet de retirer les articles :

- ⇒ Ne correspondant pas à la pathologie (P)
- ⇒ Ne traitant pas de l'imagerie motrice (I)
- ⇒ Traitant de l'interface cerveau machine (en anglais BCI : brain computer interface)

A ce stade N=17

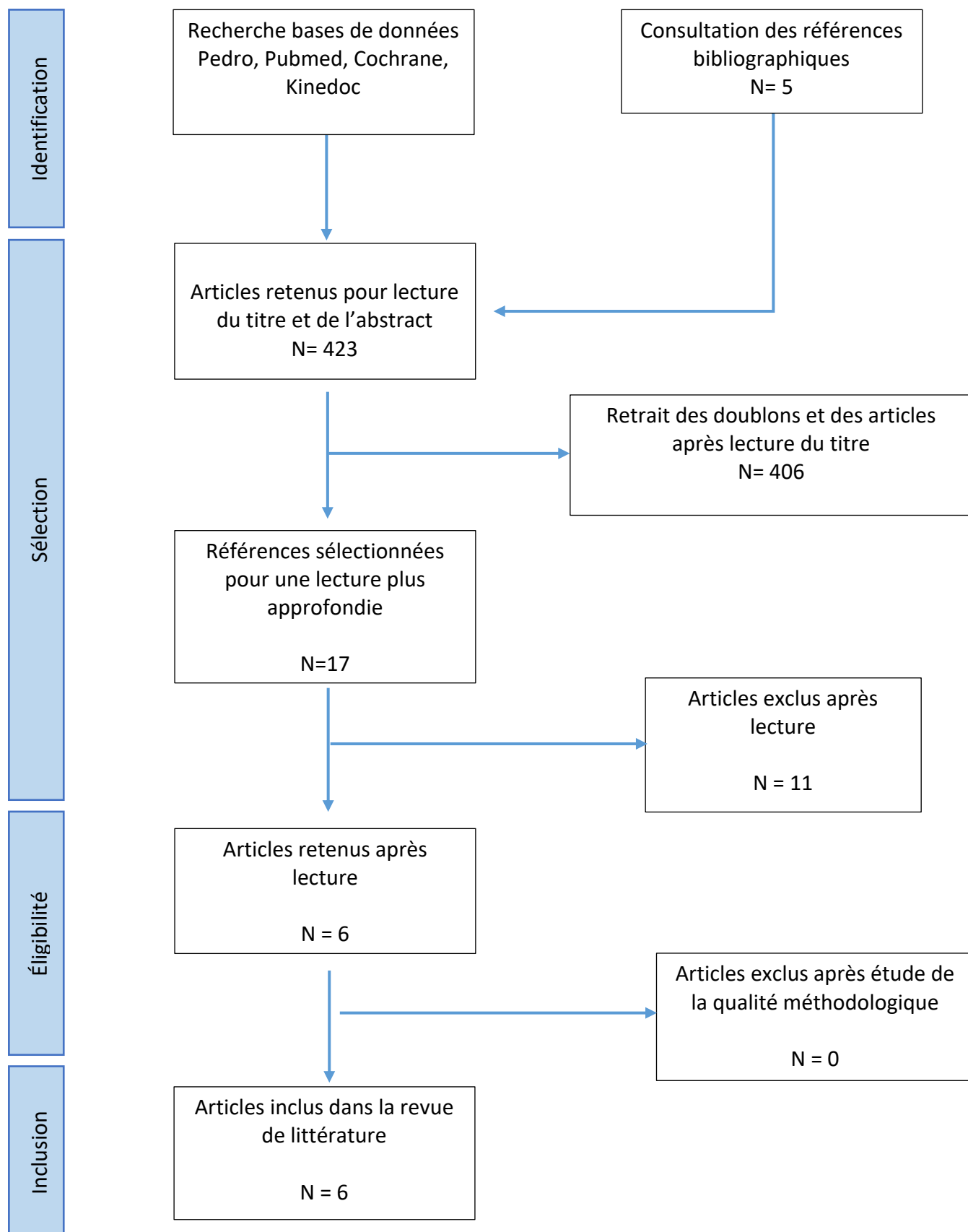
Parmi les références conservées pour lecture, les articles finalement incluses dans l'étude sont au nombre de 6.

Voici un récapitulatif des causes de l'exclusion des articles pré sélectionnés (voir [annexe 8](#)):

Articles	Motif d'exclusion
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Mateo &amp; al (2015)</li> <li>⇒ Aikat et Dua (2016)</li> <li>⇒ Opsommer et al (2019)</li> </ul>	<p><u>Type d'article</u> : revue de littérature</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Athanasiou <i>et al</i> (2018)</li> <li>⇒ Lopez-Larraz <i>et al</i> (2012)</li> <li>⇒ Chen <i>et al</i> (2016)</li> <li>⇒ DiRienzo <i>et al</i> (2014)</li> <li>⇒ Lacourse <i>et al</i> (1999)</li> </ul>	<p><u>Outcome</u> : étude de l'activité corticale par imagerie (EEG, MEG, IRM) sans mesure de performance motrice</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Thomschewski <i>et al</i> (2017)</li> <li>⇒ Roosink <i>et al</i> (2016)</li> <li>⇒ Matéo et al (2018)</li> </ul>	<p><u>Outcome</u> : évaluation de la capacité d'imagerie motrice sans évaluation de performance motrice</p>

**Tableau 2** : récapitulatif des études exclues après lecture

**Figure 7** : Diagramme de flux du processus de sélection des articles selon les directives PRISMA





### 3.2. Description des études

#### 3.2.1. Synthèse des études incluses

Au total 6 études ont été finalement incluses dont les principales caractéristiques ont été synthétisées dans le tableau II. Ce sont des études publiées en langue anglaise entre 2006 et 2015. L'intervalle de temps considéré est maintenu large compte tenu du faible nombre de travaux retrouvés dans ce domaine. Elles regroupent un total de 57 participants, dont 30 appartiennent aux groupes expérimentaux et 27 aux groupes contrôles.

Les études seront évoquées tout au long de ce travail sous la forme suivante : « *Grangeon 2010* » [41] ; « *Grangeon 2012* » [44] ; « *Di Rienzo 2014* » [45] ; « *Matéo 2015* » [46] ; « *Cramer 2006* » [47] et « *Sharp 2014* » [48].

#### Sujets inclus

Un nombre total de 40 patients blessés médullaires ont été inclus dans ces études. Leurs caractéristiques sont hétérogènes : quatre études concernent des tétraplégiques[41][44][45][46], une étude inclut des niveaux lésionnels allant de C5 à T10 [47] et la dernière concerne des lésions incomplètes dont le niveau n'est pas précisé mais dont le caractère incomplet de la lésion permet un niveau fonctionnel leur permettant de marcher.[48] L'âge moyen de tous les sujets inclus est de 34 ans (+/- 8,3). On retrouve une majorité d'hommes (une étude ne précise pas la proportion entre les 2 mais sur les 5 autres on retrouve 23 hommes pour 7 femmes). L'étiologie, lorsqu'elle est précisée, est une lésion traumatique et tous les patients sont à plus de 6 mois post lésionnel avec une moyenne de 35,5 (+/- 18) mois. (La moyenne est calculée d'après 5 sur les 6 études, la dernière ne fournit pas cette information).

Étude	Nombre de blessés médullaires	Âge	Sexe	Niveau lésionnel (grade ASIA)	Temps depuis l'accident	Étiologie de la lésion médullaire
Grangeon 2012	1	23	H	C6 (A)	8 mois	Fracture vertébrale
Grangeon 2010	1	41	H	C6 (A)	32 mois	Traumatique
Di Rienzo 2014	4	27,5 (+/- 5)	2H / 2F	C6 (A)	14,5 mois (+/-12)	NP
Matéo 2015	6	30,3 (+/-8,2)	4H /2F	5 C6 ; 1 C7 (A/B)	13,7 mois (+/- 9,8)	NP
Cramer 2006	10	30 (+/- 4)	NP	C5 à T10 (A/B)	66 mois (+/- 18)	NP
Sharp 2014	18	53,75 (+/- 11,5)	15H / 3F	NC	>12 mois	NP

**Tableau 3** : synthèse des principales caractéristiques des patients des études incluses.  
NP= non précisé ; H=homme ; F= femme.

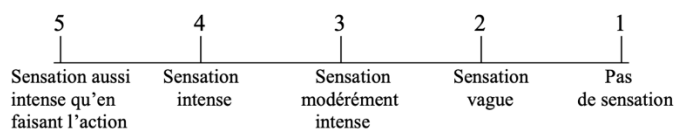
Une période de pré test avant le protocole, permettant de s'assurer que le sujet est stable quant à ses performances motrices, est mis en place dans 3 études sur les 6. Dans *Grangeon 2012* elle est de 10 jours, dans *Matéo 2015* et *Di Rienzo 2014* elle est de 5 semaines. Dans chaque étude, les mesures faites permettent de confirmer l'état stable du sujet.

Enfin, les capacités d'imagerie mentale ne font partie des critères d'inclusion des sujets dans aucune étude mais elles ont été évaluées avant le protocole dans trois études (*Grangeon 2012*, *Matéo 2015* et *Di Rienzo 2014*) par le questionnaire KVIQ ([annexe 3](#)). Les résultats sont exprimés en moyenne du score sur 5 aux échelles d'imagerie visuelle puis kinesthésique suivantes :

**Échelle d'imagerie visuelle**



**Échelle d'imagerie kinesthésique**



**Figure 8** : échelle d'évaluation de la qualité des images évoquées par IM , d'après le KVIQ [49]

La moyenne retrouvée chez les sujets des études, lorsqu'ils ont été évalués est de 3,8 / 5 (+/- 0,5) pour l'IMK et de 3,35/5 (+/-0,5) pour l'IMV. On retrouve donc en moyenne une meilleure qualité d'image ressentie en utilisant la modalité kinesthésique de l'IM.

**Intervention**

Les protocoles de mise en place du traitement par imagerie motrice varient selon plusieurs paramètres :

- ⇒ La durée de la séance qui est comprise entre 30 minutes et 1h ;
- ⇒ La fréquence des séances qui va de 3 séances par semaine pour la plus basse à 2 séances par jour pour la plus haute ;
- ⇒ La durée du traitement qui varie de 7 jours à 8 semaines ;
- ⇒ Le temps cumulé d'IM de l'intervention qui est compris entre 300 minutes et 840 minutes avec une moyenne de 647 minutes (+/- 182) ;
- ⇒ Les modalités d'imagerie motrice utilisées qui sont soit l'imagerie motrice visuelle, soit l'imagerie motrice kinesthésique. Elles peuvent être associées et certaines études ne précisent pas quelle imagerie est utilisée ;
- ⇒ Les conditions d'administration de l'IM se font soit guidé par un intervenant, soit par écoute d'un enregistrement ;
- ⇒ La description du contenu de la séance qui est plus ou moins détaillé voire absent ;
- ⇒ Les capacités d'imagerie des sujets évaluées avant le début de l'intervention à l'aide du Kinesthetic and visual imagery questionnaire ;
- ⇒ La qualité de l'imagerie motrice évaluée pendant et après la séance.

⇒ Si l'imagerie motrice est combinée à de la pratique physique du mouvement travaillé. Les caractéristiques de l'intervention dans chaque étude selon ces paramètres ont été regroupées dans le tableau suivant.

ÉTUDE	Grangeon 2010	Grangeon 2012	Di Rienzo 2014	Matéo 2015	Cramer 2007	Sharp 2014
Durée de la séance	30 min	45 min	45 min	45m min	1h	30 min
Fréquence	5 / sem.	3 / sem.	3 / sem.	3 / sem.	2 / jour	3 / sem.
Durée du traitement	2 semaines	5 semaines	5 semaines	5 semaines	7 jours	8 semaines
Temps cumulé d'IM	300 minutes	675 minutes	675 minutes	675 minutes	840 minutes	720 minutes
Modalité d'IM	IMK	IMV et IMK	IMV et IMK	IMV et IMK	Non précisé	Non précisé
Mouvement associés	?	Oui	Oui	Oui	Non	Non
Conditions	Séance guidée	Séance guidée	Séance guidée	Séance guidée	Enregistrement	Enregistrement
Description du contenu de la séance	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
Évaluation de la capacité d'IM avant	Non	Oui (KVIQ, MC, EDR)	Oui (KVIQ)	Oui (KVIQ)	Non	Non
Évaluation de l'IM Après	Oui	Oui (LS)	Oui (LS)	Oui (EVA)	Non	Pas pour tous les sujets

**Tableau 4** : synthèse des paramètres des séances d'IM effectuées dans les différentes études.

Abréviations : IM = imagerie motrice ; IMV= imagerie motrice visuelle ; IMK= Imagerie motrice kinesthésique ; KVIQ= kinesthetic and visual imagery questionnaire ; MC=mental chronometry ; EDR= electrodermal response ; LS= Lickert Scale ; EVA= échelle visuelle analogique.

### Comparateur

Le comparateur utilisé dans les études sélectionnées diffèrent largement :

- ⇒ Une étude de cas n'a pas de comparateur (*Grangeon 2012*)
- ⇒ La 2eme étude de cas compare un bras à l'autre bras du même sujet (schéma en cross over entre les 2 bras) (*Grangeon 2010*) ;
- ⇒ 2 études comparent le groupe traité à un groupe de **sujets sains** pratiquant de la **visualisation non motrice** (*Di Rienzo 2014* et *Matéo 2015*) ;
- ⇒ Une étude compare le groupe traité à un groupe suivant le même programme d'IM mais constitué de **sujets sains** (*Cramer 2006*) ;
- ⇒ Enfin la dernière étude compare 2 groupes de **patients** équivalents, le groupe contrôle suivant des séances autre que de l'imagerie motrice (*Sharp 2014*).

### Critères de jugement

Les critères de jugement retenus pour ce travail sont ceux évaluant une capacité motrice et une évaluation fonctionnelle. Quatre études s'intéressent au membre supérieur et en particulier à la fonction de prise manuelle engageant tout le membre supérieur (fonction de *reach and grasp*), une étude s'intéresse aux mouvements de la langue et du pied et une travaille sur la marche et l'équilibre.

Les mesures retrouvées évaluant les capacités motrices sont :

- ⇒ Données cinétiques du mouvement : durée du mouvement effectué, trajectoire de la main pendant le mouvement, vitesse du mouvement, fréquence du mouvement ;
- ⇒ Goniométrie : extension de poignet, amplitudes de l'épaule, du coude ;
- ⇒ Force musculaire.

Les mesures retrouvées évaluant des capacités fonctionnelles sont :

- ⇒ La vitesse de marche ;
- ⇒ Box and block test (BBT). Il s'agit d'un test dédié au membre supérieur où le patient déplace le maximum de cubes d'un bac à un autre dans le temps imparti ;
- ⇒ Minnesota test (MMNT), test de dextérité manuelle donc aussi dédié au membre supérieur, dans lequel on évalue le temps mis par le sujet pour déplacer 60 disques.
- ⇒ Functional Independence Measure (FIM) ([annexe 8](#)) ; c'est une échelle comprenant 18 items permettant une évaluation fonctionnelle des activités de la vie quotidienne. Le score maximum est de 126 points.
- ⇒ Spinal Cord Injury Independence Measure (SCIM). ([Annexe 9](#)) C'est une grille de mesure de l'indépendance fonctionnelle dédiée au sujet paraplégique et tétraplégique suite à une lésion médullaire. Le score maximal est de 100 points.
- ⇒ POMA (Performance Oriented Mobility Assessment) aussi connu sous le nom de test de Tinetti ([Annexe 10](#)). C'est un test évaluant l'équilibre statique et dynamique du sujet à travers 17 items. Le score maximal est de 28 points.

D'autres critères de jugement sont retrouvés dans les études mais dont les résultats ne seront pas analysés :

- ⇒ Les mesures évaluant les capacités d'imagerie motrice : le KVIQ, La chronométrie mentale et la réponse électro dermique.
- ⇒ L'évaluation de l'activation cérébrale au cours de l'imagerie motrice par magnétoencéphalographie et IRM fonctionnelle.

Le tableau suivant regroupe tous les critères de jugement retrouvés dans les études retenues. Il nous permet ainsi de mettre en évidence la multiplicité de ces derniers.

## L'imagerie motrice chez les patients blessés médullaires

Étude	CJ Moteurs	CJ Fonctionnels	CJ Imagerie motrice	Autres
<b>Grangeon 2012</b>	Durée du mouvement Trajectoire de la main	BBT MMDT	KVIQ MC EDR	
<b>Grangeon 2010</b>	Force musculaire Goniométrie	FIM		ASIA
<b>DiRienzo 2014</b>	Durée du mouvement Variabilité du mouvement		KVIQ	MEG
<b>Matéo 2015</b>	Extension de poignet Vitesse et durée du mouvement	BBT MMDT		MEG
<b>Cramer 2007</b>	Fréquence du mouvement			IRM EMG
<b>Sharp 2014</b>	Vitesse de marche	POMA SCIM		SWLS

**Tableau 5** : synthèse des critères de jugement retrouvés dans les études.

Abréviations : CJ : critères de jugement ; BBT : Box and block test ; MMDT= minnesota manual dexterity test ; FIM= fonctionnal Independent measure; POMA= test de Tinetti ; SCIM=Spinal cord independent measure; KVIQ= Kinesthetic and visual imagery questionnaire; MC= mental Chronometry; EDR= electrodermal response, MEG= magnéto encéphalographie; IRM= imagerie à résonance magnétique ; EMG= électromyogramme, SWLS= satisfaction and wellness of life questionnaire.

Synthèse des études incluses

Étude (auteur, année)	Type d'étude	N (GT/GC)	Age (moyenne)	Niveau lésionnel (ASIA)	Type d'IM	Description de l'intervention en IM	Comparateur	Mouvement travaillé	Critère de jugement principal
Grangeon & al (2010)	Étude de cas	1	41	C6 (A)	IMK	5 séances de 30 minutes par semaine pendant 2 semaines guidées par un intervenant	Cross over entre les 2 bras	Atteindre une cible	Force musculaire Amplitudes articulaires trajectoire de la main
Grangeon & al (2012)	Étude de cas	1	23	C6 (A)	IMV Et IMK	3 séances de 45 minutes par semaine pendant 5 semaines guidées par un intervenant	-	Attraper un verre sur la table	Cinétique du mouvement (vitesse et trajectoire)
Di Rienzo & al (2014)	Étude pilote	4 / 4	27	C6 (A)	IMV Et iMK	3 séances de 45 minutes par semaine pendant 5 semaines guidées par un intervenant	4 sujets sains pratiquant de la visualisation non motrice	Attraper des objets différents et extension de poignet	Durée et fluctuations du mouvement
Matéo & al (2015)	Étude pilote	6 / 6	30,2	C6 – C7 (A/B)	IMV Et IMK	3 séances de 45 minutes par semaine pendant 5 semaines guidées par un intervenant	6 sujets sains pratiquant de la visualisation non motrice	Attraper une pomme / extension de poignet	Paramètres cinétiques du mouvement
Cramer & al (2006)	Étude expérimentale	10 / 10	30	C5 -> T10 (A/B)	Non précisé	2 séances d'1h par jour pendant 7 jours à la maison en suivant un enregistrement	10 sujets sains suivant le même traitement par IM	Atteindre des cibles avec la langue / avec le pied	Fréquence du mouvement
Sharp & al (2014)	ECR	8 / 7	52,3	Non précisé (incomplet)	Non précisé	3 séances de 30 minutes par semaine pendant 8 semaines en suivant un enregistrement	Placebo : 7 sujets contrôles enregistrement autre que de l'IM	La marche / l'équilibre	Vitesse de marche

**Tableau 6** : synthèse des principales caractéristiques des études incluses

Abréviations : ECR = essai clinique randomisé. IMV = imagerie motrice visuelle. IMK = Imagerie motrice kinesthésique ; GC = groupe contrôle ; GT = groupe traité.

### 3.3. Qualité méthodologique des études

#### 3.3.1. Analyse quantitative par une échelle d'évaluation

Les *études expérimentales* ont été évaluées par l'échelle Pedro [50] qui est utilisée pour évaluer la qualité méthodologique d'un essai clinique sur sa validité interne et l'interprétation des résultats en passant en revue les différents biais possibles.(annexe 12) Si un résultat élevé reflète une bonne méthodologie de l'étude, il n'évoque cependant pas la validité de son résultat qui doit être analysé à son tour. L'échelle comprend 11 critères. Le premier lié à la validité externe n'est pas inclus dans le score final, qui est sur 10. Les critères 2 à 9 évaluent la validité interne et les critères 10 et 11 l'interprétation des résultats. Les scores ont été interprétés ainsi : < 3 comme mauvaise qualité méthodologique, 4-5 comme qualité moyenne et > 6 comme bonne qualité.

Seule une étude présente un score Pedro élevé reflétant une bonne qualité méthodologique. Les 3 autres études présentent un score moyen. (4/10)

Étude	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Score Pedro
Di Rienzo (2014)	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4
Mateo (2015)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4
Cramer (2006)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4
Sharp (2014)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	9

**Tableau 7** : analyse méthodologique des études par l'échelle Pedro.

Le critère I n'est pas pris en compte dans le score final.

I : critères de sélection ; II : répartition aléatoire ; III : assignation secrète ; IV : groupes similaires ; V : sujets en aveugles ; VI : thérapeutes en aveugle ; VII : examinateurs en aveugle ; VIII : 85% des mesures obtenues ; IX : analyse « en intention de traiter » ; X : résultats intergroupes ; XI : estimation des effets et de leur variabilité.

Les principaux biais retrouvés sont les suivants :

Biais de sélection : une seule étude respecte une répartition secrète et aléatoire entre le groupe traité et le groupe contrôle ;

Biais d'évaluation : les sujets et les intervenants ne sont pas en aveugles ;

Biais de détection : les évaluateurs ne sont pas en aveugles.

Dans aucune des études les sujets ne sont en aveugle du traitement reçu.

Les *études de cas* ont été évaluées par l'échelle SCED (Single Case Experimental Design) [51][52]. De la même façon que pour l'échelle Pedro, 11 critères sont évalués « présent ou absent » et le score final ne tient pas compte du critère 1 et est donc sur 10.

Les scores obtenus pour les 2 études de cas sont de 5/10 et 6/10.

## L'imagerie motrice chez les patients blessés médullaires

Étude	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Score
Grangeon (2012)	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	6
Grangeon (2010)	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5

**Tableau 8:** Analyse méthodologique des études de cas par l'échelle SCED.

Le critère I n'est pas pris en compte dans le résultat final.

I : History ; II : target behavior ; III : design ; IV : Baseline ; V : behaviour during treatment; VI: raw data; VII: inter rater reliability; VIII: independent assessor; IX: statistical analysis; X: replication; XI: generalisation.

On retrouve dans les 2 études un biais d'évaluation : les sujets et les intervenants ne sont pas en aveugle. La même personne administre le traitement et évalue les différents critères de jugement.

### 3.3.2. Analyse qualitative

Une analyse qualitative identifiant les principales limites des études a été effectuée pour chacun des articles. On retrouve principalement un nombre limité de sujets, des groupes non comparables, un groupe de contrôle constitué de sujets sains, l'absence d'un protocole d'imagerie motrice, absence d'évaluation des capacités d'imagerie motrice du sujet avant la séance, la multiplication des critères de jugement par étude, l'absence du calcul de la taille de l'effet.

Comme constaté dans le tableau 5, les études présentent une grande variabilité dans les critères de jugement évalués. Ceci amène un risque de surajustement, d'autant plus que le nombre de sujets est limité dans toutes les études ( $1 < n < 20$ )

Le tableau suivant récapitule les limites identifiées.

Limites	Grangeon & al 2010	Grangeon et al 2012	DiRienzo & al 2014	Matéo et al 2015	Cramer et al 2006	Sharp et al 2014
Pas d'informations sur le nombre de sujets nécessaires	+	+	+	+	+	+
Groupe contrôle sain ou absence de groupe contrôle	+		+	+	+	
La capacité d'imagerie des sujets n'est pas un critère d'inclusion	+	+	+	+	+	+
Absence de calcul de la taille de l'effet	+	+	+		+	
Absence de phase test avant l'intervention	+				+	+
Absence de phase de suivi après l'intervention			+		+	

**Tableau 9 :** récapitulatif des limites retrouvées dans les études.



### 3.4. Résultats des études

Les études sélectionnées présentent une grande hétérogénéité autant sur méthodologie que sur les critères étudiés. Les résultats seront donc présentés de façon narrative avec une analyse des résultats constatés en fonction des capacités motrices évaluées puis des capacités fonctionnelles.

#### 3.4.1. Résultats concernant les capacités motrices des sujets

Les fonctions motrices ont été évaluées dans les six études sélectionnées. Quatre concernent le membre supérieur, une cinquième les mouvements de la langue et la dernière la marche.

##### Le membre supérieur

Le membre supérieur a été évalué dans 4 études [44][41][46][45] chez des patients tétraplégiques (C6 et C7) de grade AIS A ou B, dans un mouvement de *reach and grasp*. Ce mouvement fonctionnel engage tout le membre supérieur et consiste à attraper un objet placé devant le sujet. La particularité chez le patient tétraplégique dont les fléchisseurs des doigts sont paralysés, est qu'il est réalisé grâce à la prise ténodèse. Lors de ce mouvement l'extension active du poignet entraîne la mise en tension passive des tendons des fléchisseurs des doigts et donc une fermeture de la main qui permet une prise. L'apprentissage de ce mouvement est une étape importante dans le gain d'autonomie du patient tétraplégique.

Par rapport à ce mouvement ont été mesurés :

La durée du mouvement : dans l'étude de *Grangeon 2012*, la durée du mouvement est diminuée de façon significative après intervention ( $p < 0,001$ ) soit une diminution de 32% du temps nécessaire pour effectuer le mouvement dans l'espace ipsi latéral, et de 26% dans l'espace controlatéral. Une telle diminution n'est pas retrouvée dans l'étude de *Matéo 2015* ni dans celle de *Di Rienzo 2014* où la durée de mouvement reste inchangée par l'intervention.

Les fluctuations de la trajectoire pendant le mouvement : les 2 études *Grangeon 2010* et *Grangeon 2012* rapportent une diminution nette de ces fluctuations qui serait un témoin d'un meilleur contrôle du mouvement.

Les fluctuations de durée du mouvement de l'extension du poignet étudiées dans l'étude de Di Rienzo 2014 montrent une diminution significative après l'entraînement par imagerie motrice ( $p = 0,01$ ). Là aussi ce paramètre serait témoin d'une meilleure efficacité motrice (un geste moteur maîtrisé se réalise plus vite et avec une meilleure reproductibilité).

L'amplitude maximale de l'extension du poignet pendant la réalisation du geste : dans l'étude de *Matéo 2015* est observée une augmentation significative de l'extension de poignet ( $p < 0,001$ ) Cette augmentation entraîne une amélioration de l'efficacité de la prise ténodèse. En effet, plus l'extension de poignet est importante plus la tension passive induite sur les fléchisseurs des doigts est grande donc plus la prise sera assurée. Si la taille d'effet mesurée

est importante (9°), l'intervalle de confiance 95% compris entre -7 et 26,7 est large et ne permet pas de conclure à une efficacité statistiquement significative.

Enfin dans l'étude de cas de *Grangeon 2010* est évaluée la force musculaire de l'extension de coude après transfert tendineux. Dans un schéma d'étude de cross over entre les 2 bras, la même amélioration de la force est constatée après rééducation par pratique physique qu'après la même période de traitement par imagerie motrice ; puis cette amélioration se stabilise après cross over entre les 2 bras.

### La langue

L'étude de *Cramer 2006* s'intéresse au mouvement de la langue. En comparant la vitesse de réalisation d'une séquence travaillée par imagerie motrice et d'une séquence non répétée, on constate une amélioration significativement plus importante sur la séquence travaillée par imagerie motrice ( $p < 0,0005$ ) (taille d'effet 0,2 Hz IC95(0,01 ;0,39)). Cette amélioration est moindre que celle observée dans le groupe de sujets sains chez qui la taille d'effet est de 0,5 Hz IC95 (0,41 ;0,59). Exprimée en pourcentage de différence entre les moyennes, l'augmentation de la performance est de 74,6% (+/-16) chez les sujets sains, et elle est de 46,3% (+/-10) chez les sujets blessés médullaires.

### Le membre inférieur

Une seule étude, *Sharp 2014*, concerne le membre inférieur avec l'étude de la marche chez des patients blessés médullaires incomplets. Le groupe traité suit un programme de rééducation de la marche et le groupe contrôle suit le même programme associé à de l'entraînement mental. Les résultats montrent qu'il y a une amélioration de la vitesse de marche chez les deux groupes sans différence significative entre les deux groupes. (Moyenne des différences -8 IC95 (-25 ;7,5))

Les résultats concernant les performances motrices sont résumés dans le tableau suivant (tableau 10).

Étude	Capacité motrice évaluée	Mesure pré test Moyenne (écart type)	Mesure post test Moyenne (écart type)	p	Résultat
<b>Grangeon 2012</b>	Durée du mouvement d'attraper un objet (en ms)	IL=2345 ms CL= 2312 ms	IL= 1595 ms CL= 1700 ms	p<0,001	Diminution de la durée du mouvement de 32% (IL) et 26% (CL)
	Fluctuations de la trajectoire de la main pendant le mouvement (en mm)	IL=12,9 mm CL=16,64 mm	IL : 4,38 mm CL : 8,32mm	NC	Amélioration de la régularité de la trajectoire de 66% (IL) et de 50% (CL)
<b>Grangeon 2010</b>	Force musculaire extension de coude (G/D)	4- / 3+	4/4	NC	Une amélioration de force musculaire est constatée autant après la période d'IM (bras droit) qu'après la période de rééducation physique (bras G) et se stabilise après inversion des procédures
	Trajectoire de la main qui attrape un objet (coordonnées x et y)	NC	NC	p= 0,005 (x) p=0,28 (y)	Amélioration de la régularité de la trajectoire quel que soit l'ordre des procédures (IM avant PP ou PP avant IM)
<b>Di Rienzo 2014</b>	Durée du mouvement d'extension de poignet	NC	NC		La durée du mouvement reste inchangée après intervention
	Fluctuations du mouvement d'extension de poignet	NC	NC	P<0,01	Diminution significative des fluctuations du mouvement
<b>Matéo 2015</b>	Extension de poignet pendant le mouvement d'attraper un objet	17,8° (+-15,4)	26,6° (+-18,5)	P<0,001	Taille d'effet moyen calculé par le test de Cohen d=0,69 correspond à une taille d'effet moyenne (différence avant après= 9,9 IC95 (-7 ;26,7))
	Durée du mouvement	NC	NC	P=0,21	Pas de modification observée avant / après
<b>Cramer 2007</b>	Fréquence du mouvement de la langue	Séquence travaillée : 1,4Hz (0,2) Autre séquence : 1,2Hz (0,1)	Séquence travaillée : 1,8Hz (0,2) Autre séquence : 1,6Hz (0,2)	P<0,0005	L'amélioration de la fréquence est significativement supérieure pour le mouvement travaillé par IM Effet : +0,2 IC95 (0,01 ;0,39)
<b>Sharp 2014</b>	Vitesse de marche (en cm par seconde)	GT= 55,2 (37,8) GC= 41,2 (31,5)	GT=62,2 (39,6) GC=56,2 (50,6)		Pas de différence significative entre les 2 groupes. Moyenne des différences rapportée à la valeur de référence : -8,8 IC95(-25 ;7,5)

**Tableau 10** : synthèse des résultats des évaluations motrices retrouvées dans les études.

Abréviations : IL = ipsilatéral ; CL = controlatéral ; NC = non communiqué ; IM = Imagerie motrice ; GT= groupe traité ; GC = groupe contrôle.

### 3.4.2. Résultats concernant les tests et échelles fonctionnels

Les capacités fonctionnelles évaluées sont là encore nombreuses et variées. On retrouve des tests pour le membre supérieur que sont le box and block test et le test de dextérité manuelle Minnesota, le test POMA (Performance Oriented Mobility Assessment ou Tinetti) et une échelle spécifique aux blessés médullaires la SCIM (Spinal cord independence Measure). Ces échelles fonctionnelles ont été retenues comme critère de jugement évaluant l'impact de l'IM dans trois études : *Grangeon 2012*, *Matéo 2015* et *Sharp 2014*. Les résultats observés sont résumés dans ce tableau.

ETUDE (N)	TEST/EHELLE (Unité/score)	Mesure Pré test Moyenne (écart type)	Mesure Post test Moyenne (écart type)	P	Différence inter groupe
GRANGEON 2012 (N=1)	<b>BBT (Nombre)</b>	25	28	NC	NR
MATEO 2015 (N=6)		23,8 (37,8)	25,8 (14,3)	1	NR
GRANGEON 2012 (n=1)	<b>MMDT (Secondes)</b>	213	127	NC	NR
MATEO 2015 (N=6)		135,5 (88,3)	144,7 (109,6)	0,53	NR
SHARP 2014 (N=18)	<b>POMA (0-28)</b>	GT : 16,6 (5,7) GC : 15,9 (8,5)	GT : 18,1 (6,5) GC : 18,0 (6,9)	NC	-1,0 IC95 : -2,5 / 7,5
SHARP 2014 (N=18)	<b>SCIM (0-100)</b>	GT : 26,3 (8,9) GC : 25,4 (9,1)	GT : 27,3 (9,7) GC : 24,0 (9,5)	NC	-1,7 IC95 -11,9 à 8,5

**Tableau 11** : résultats des évaluations fonctionnelles des patients avant et après imagerie motrice  
Abréviations : BBT = box and block test; MMDT = minesota manual dexterity test; FIM = functional independence measure; POMA = performance oriented mobility assessment; SCIM = Spinal cord injury independence measure; GT= groupe traité; GC = groupe contrôle, NC = non communiqué ; NR = non réalisable.

#### BBT (Box and Block Test)

Dans l'étude de cas de *Grangeon 2012*, le patient montre une amélioration du score de 3 points. Cette amélioration reste stable dans le temps lorsqu'il est répété à 1 puis 3 mois après l'intervention. En revanche dans l'étude de *Matéo 2015* aucune différence n'est constatée entre les cinq différentes sessions (trois pendant la phase test, une après intervention et une 8 semaines plus tard).

### MMDT (Minnesota Manual Dexterity Test)

Dans l'étude de cas de *Grangeon 2012* le temps de réalisation du test de Minnesota est amélioré de 1 minute 25 secondes et le score reste stable à 1 mois puis 3 mois après l'intervention. Dans l'étude de *Matéo 2015* il n'y a pas de différence entre les 5 différentes sessions, ni dans le groupe traité, ni dans le groupe contrôle.

### POMA et SCIM

Dans l'étude de *Sharp 2014*, l'ajout de l'entraînement mental à la rééducation à la marche n'entraîne aucune différence significative avec l'évaluation initiale que ce soit sur le POMA (amélioration moyenne -1 point IC95%(-5,9 ;4)) ou sur la SCIM (différence moyenne -1,7 point IC95 (-11,9 ;8,5)).

## 4. Discussion

L'hétérogénéité des études analysées ne permet pas de généraliser les résultats observés à une amélioration significative des performances motrices des blessés médullaires. Cependant elles nous permettent de faire des observations intéressantes et d'ouvrir la discussion sur le sujet de l'imagerie motrice et sa place dans la rééducation et en particulier ici des blessés médullaires. Par ailleurs des limites existent sur la revue de la littérature liées à la méthodologie et aux études incluses.

### 4.1. Analyse des principaux résultats

L'étude Sharp 2014 est l'étude présentant la meilleure qualité méthodologique avec un score Pedro de 9/10. Il s'agit du seul essai clinique randomisé étudiant l'efficacité de l'IM chez les blessés médullaires en adjuvant d'une rééducation classique. Le résultat de cette étude est que l'ajout de l'IM n'a pas de conséquence positive ni négative sur les performances des sujets. On remarque que dans cette étude, malgré un score important au travers de la grille Pedro, le protocole de mise en place de l'imagerie motrice est celui, parmi les études incluses, qui est le moins rigoureusement établi : le contenu de la séance n'est pas disponible, les sujets ne sont pas encadrés pendant la séance puisqu'il s'agit de l'écoute d'un enregistrement, la capacité d'IM et son efficacité ne sont pas évalués, la modalité d'imagerie motrice n'est pas précisée, les répétitions de visualisation ne sont pas accompagnées de mouvement exécutés, les séances ne sont répétées que 3 fois chacune.

D'autre part le biais existant dans cette étude d'après les critères Pedro est que les sujets ne sont pas en aveugle du traitement. Cela soulève une question par rapport à la nature de l'intervention. En effet peut-on mettre en place un traitement placebo dans un processus qui implique la participation consciente et intentionnelle du sujet ?

Enfin à propos du protocole d'imagerie motrice, l'écoute d'un enregistrement est un facteur pouvant altérer la qualité de l'imagerie motrice qui nécessite un processus d'apprentissage cognitif assez important qui sera favorisé par un accompagnement dans le cadre d'une séance individuelle. Mais c'est cette condition de séance pré enregistrée qui permet d'avoir des thérapeutes en aveugle et donc d'améliorer la méthodologie de l'étude.

Dans l'étude Cramer 2006 ce sont les mouvements de la langue qui sont étudiés et il est observé une amélioration de la performance du mouvement après l'entraînement par IM. L'intervention n'est ici pas associée à de la rééducation. Il s'agit du plus court programme d'imagerie motrice des études puisqu'il dure 7 jours ; mais aussi du plus gros cumul de temps d'IM avec 840 minutes au total. La faible qualité méthodologique de l'étude ne permet pas de conclure à une efficacité de l'IM. Il n'y a pas de répartition aléatoire, pas de double aveugle et le groupe contrôle n'en est pas un puisqu'il s'agit de comparer chez la même personne une séquence travaillée mentalement versus une séquence non travaillée. Là encore la séance d'IM est un enregistrement et les sujets suivent le protocole à la maison. Il serait intéressant de voir des études comparant l'impact de l'IM motrice en séance individuelle et par un enregistrement et de savoir s'il est possible d'obtenir la même efficacité d'une façon et de l'autre. En effet il est intéressant de pouvoir avoir des outils de rééducation favorisant l'autonomisation du patient et l'auto-rééducation.

Par ailleurs dans cette étude les résultats montrent une différence de l'amélioration de la performance entre le groupe de sujets sains et le groupe de patients en faveur du groupe

sain. Cela amène une réflexion sur les capacités d'imagerie motrice chez les sujets blessés médullaires qui ne sont pas tout à fait identiques aux sujets sains, malgré l'absence d'atteinte cognitive, et des limites que cela peut amener à la pratique. [20]

Trois études sont plus comparables par le protocole de l'imagerie motrice mis en place et la performance motrice étudiée : *Grangeon 2012*, *Matéo 2015* et *Di Rienzo 2014*. Dans ces trois études, concernant le protocole d'IM on retrouve :

- ⇒ Une phase test longue qui permet de constater que l'état du patient et ses performances sont stables avant le début de l'intervention ;
- ⇒ La même répartition des séances : des séances de 45 minutes, 3 fois par semaine, pendant 5 semaines ce qui fait un cumul de temps de 675 minutes d'imagerie.
- ⇒ Les 2 modalités d'IM y sont utilisées : l'imagerie motrice visuelle et kinesthésique, et elles sont associées à des mouvements (le même que celui travaillé par IM) pour améliorer la sensation kinesthésique sans toutefois que la quantité de mouvements effectués soit suffisante pour qu'elle soit à l'origine d'une amélioration de performance.
- ⇒ Les séances sont individuelles et guidées par un intervenant et elles sont évaluées avant par le KVIQ et après par une échelle de Lickert ou une échelle analogique visuelle.

Dans ces 3 études, c'est le mouvement fonctionnel de *reach and grasp* chez des patients tétraplégiques (C6-C7) qui est travaillé et évalué. Malgré un protocole équivalent appliqué dans chacune des études, les résultats ne sont pas unanimes :

Chez *Grangeon 2012*, qui est une étude de cas, on retrouve une nette amélioration du mouvement pour sa durée (améliorée de 32% pour le mouvement effectué dans l'espace ipsilatéral) et pour les fluctuations de sa trajectoire qui diminuent de 66% dans le même mouvement.

Chez *DiRienzo 2014*, étude avec quatre patients tétraplégiques, on retrouve une diminution des fluctuations du mouvement d'extension de poignet mais pas d'amélioration de sa durée d'exécution.

Chez *Matéo 2015*, étude sur six patients, on retrouve une amélioration de l'extension de poignet pendant le mouvement de près de 10 ° mais non généralisable car l'intervalle de confiance 95% est (-7 ;26,7) est large et inclus le zéro. De plus la durée du mouvement n'est pas améliorée après l'intervention.

Ces études présentent une faible qualité méthodologique car le groupe contrôle est composé de sujets sains, la répartition n'est pas donc pas aléatoire et il n'y a pas de double aveugle. Pour des raisons éthiques, dans l'étude de *Di Rienzo* le groupe contrôle n'a pas pu être constitué de patients ne recevant aucun adjuvant à leur rééducation. Cependant le protocole d'imagerie motrice est appliqué de manière plus rigoureuse et donc plus reproductible.

Il serait intéressant d'envisager des études à plus large échelle et sur une durée plus longue. En effet chacune de ses trois études fait remarquer une notion d'apprentissage et d'amélioration de la performance de l'imagerie elle-même avec une augmentation de la capacité des sujets à répéter le mouvement visualisé à mesure des séances. Autrement dit, plus le sujet fait de l'imagerie, plus il augmente le nombre de répétitions à chaque séance. Par exemple dans ces études le ratio entre le nombre de mouvements imaginés par mouvement exécuté passe de 5 pour 1 dans les premières séances, à 9 (*Grangeon 2012*) voire 10 (*Matéo 2015* et *Di Rienzo 2014*) pour 1 en 15 séances. Ainsi on peut supposer qu'un

protocole d'imagerie motrice réalisé sur une durée encore plus longue ou précédé d'une phase d'apprentissage et de perfectionnement de l'imagerie motrice, voire encore réalisé chez des patients maîtrisant déjà cette technique, permettrait de potentialiser de manière plus évidente les éventuels effets bénéfiques d'une telle pratique. Là encore des études seraient nécessaires pour tester cette hypothèse.

Enfin l'étude de Grangeon 2010 est une étude de cas sur un patient tétraplégique opéré d'un transfert tendineux du biceps pour récupérer l'extension de coude. Cette étude présente le plus court protocole d'IM avec 10 séances au total sur 2 semaines soit un cumul de 300 minutes d'IM. Le comparatif ici se fait entre les deux bras. La chirurgie du transfert est effectuée sur chaque bras à des moments différents. La rééducation du bras droit commence par deux semaines d'IM puis est suivie par deux semaines de pratique et inversement pour l'autre bras. L'amélioration de force de l'extension de coude est la même après deux semaines de l'un ou de l'autre puis reste inchangée après l'inversion.

Cette étude se distingue des autres par son contexte parce que même s'il s'agit d'un patient tétraplégique, nous sommes ici dans le cadre d'une rééducation post chirurgicale. Ainsi, contrairement aux études précédentes, le patient n'est pas dans un état stabilisé avant son intervention. Cette étude de cas constate une évolution identique entre la rééducation classique et l'IM pour la récupération de la force musculaire mais ne permet pas de conclure si cette évolution aurait été différente comparé à « rien ».

#### Conclusion de l'analyse des résultats :

*A travers l'analyse des résultats de ces différentes études, on observe une tendance à l'amélioration de certaines composantes du mouvement travaillé par imagerie motrice avec un apport bénéfique pour ce qui est de la trajectoire du mouvement constaté dans les trois études ayant évalué ce paramètre. Il serait le reflet d'un meilleur contrôle du mouvement. On trouve également une amélioration de la fréquence du mouvement, une amélioration possible mais inconstante de la durée du mouvement, de l'amplitude articulaire ou de la force musculaire.*

*Ces améliorations constatées n'ont toutefois pas d'impact sur les scores fonctionnels mesurés. Par ailleurs d'autres paramètres étudiés ne montrent aucune amélioration apportée par l'imagerie motrice comme la vitesse de marche ou la durée du mouvement.*

*Enfin il est important de constater qu'aucun effet délétère de la pratique de l'imagerie motrice n'a été observé dans ces études.*

*Toutefois l'hétérogénéité et la qualité basse des études ne permet pas d'étendre ces résultats constatés à une généralisation des effets de l'imagerie motrice. Des études supplémentaires sont nécessaires pour pouvoir affirmer ou infirmer de façon plus fiable l'intérêt d'une telle pratique dans la rééducation des blessés médullaires.*



## 4.2. Applicabilité des résultats

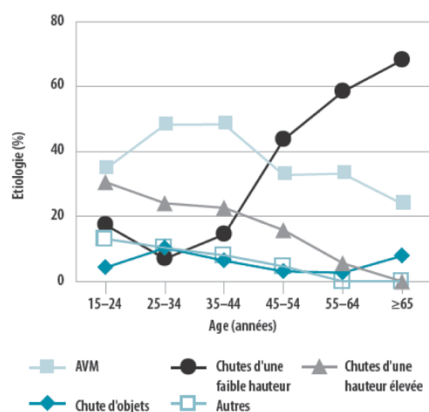
### 4.2.1. Population

La population prise en compte dans ces études présente un petit échantillon de patients. L'âge moyen de 34 ans (+/- 8,3) correspond à la moyenne d'âge constatée à une échelle plus large ainsi que l'est la proportion entre homme et femme. Celle-ci est de 23 pour 7 dans les études soit environ 3 pour 1 qui est la proportion constatée dans la population de blessés médullaires (cf introduction).

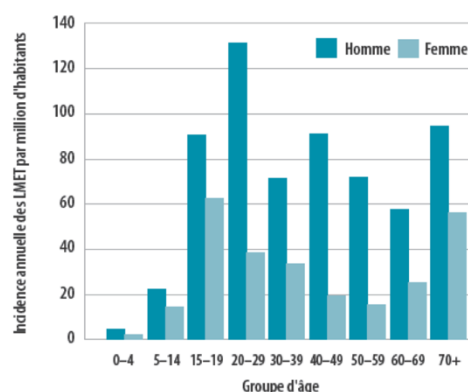
Cependant, des études menées dans différents pays constatent une récente augmentation de l'âge d'apparition des lésions médullaires, ainsi qu'une augmentation des lésions d'origine non traumatique. Ces deux résultats pourraient être liés au vieillissement de la population. Notamment une augmentation des lésions liées aux chutes de faible hauteur est constatée au Canada où la prévalence rattraperaient celle des AVP. Ainsi cette augmentation de l'âge moyen devrait être prise en compte dans de futures études. Le taux d'incidence des lésions reste cependant toujours plus élevé chez les hommes même en tenant compte des chutes des personnes plus âgées. [14]

Les 2 figures suivantes issues du rapport de l'OMS et de l'ISCoc « *International Perspectives on Spinal Cord Injury* » illustrent ces deux phénomènes. Dans la figure 2.4 le pic constaté chez une population jeune de l'incidence des LMET (lésion de la moelle épinière d'origine traumatique) concerne plutôt des AVP alors que le 2ème pic à un âge plus avancé serait expliqué par les chutes de la personne âgée. Les données sont issues d'analyses épidémiologiques d'autres pays que la France mais montrent une tendance généralisable aux pays développés.

**Figure 2.8.** Répartition de l'étiologie par groupe d'âge en Chine



**Figure 2.4.** Taux d'incidence par âge et par sexe pour les LMET au Canada



**Figure 9**

Abréviations : AVM = accidents avec véhicule à moteur ; LMET : lésion médullaire traumatiques.

La population est également caractérisée par le **niveau lésionnel et l'ancienneté de la lésion**. Si l'on se réfère aux données théoriques de l'intérêt de l'IM sur la plasticité, il apparaît pertinent de distinguer des patients en phase aiguë, proche de la lésion où les phénomènes

de plasticité et de remaniements neuronaux sont les plus importants. Or aucune des études n'a été faite sur des patients à moins de 6 mois de la lésion. Est-ce que des patients en phase aigüe de récupération des lésions peuvent bénéficier de façon plus importante des effets de l'IM sur la plasticité neuronale guidant ainsi leur récupération ?

Une autre distinction qu'il convient de faire concerne **le caractère complet ou incomplet de la lésion**. Cela influence l'objectif de l'utilisation de l'IM. Dans le cadre du caractère complet, l'IM serait utilisée dans un objectif d'apprentissage et d'amélioration des performances des compétences motrices nouvellement acquises, comme la prise ténodèse, les transferts, le maniement du fauteuil roulant ; et ce dans un contexte où l'enjeu de la rééducation est d'amener la meilleure autonomie possible au patient. Dans la cadre d'une lésion incomplète motrice notamment les lésions AIS D, où l'enjeu porte sur la récupération de la marche, l'IM serait alors tournée vers la potentialisation de la récupération d'une compétence motrice lésée mais avec un potentiel de récupération, posant la question suivante : est-ce que l'utilisation de l'IM chez les patients blessés médullaires incomplets permet de potentialiser la récupération sous lésionnelle ?

D'autre part, **la qualité d'imageur** du sujet est un paramètre qu'il faut considérer. Plusieurs outils présentés plus hauts permettent de l'évaluer, et cela semble être un facteur d'efficacité de l'IM [30], la qualité de l'imagerie étant corrélée à l'intensité de l'activation corticale associée [20]. Cependant si cette capacité doit être évaluée, elle ne saurait être un critère d'exclusion des sujets à la pratique, car cette dernière est sujette à un apprentissage et des sujets débutants pourrait se montrer habiles après une phase de perfectionnement. Ainsi dans les études présentées ici il est observé un tel phénomène chez les sujets qui voient leur facilité d'IM s'améliorer avec le temps et la pratique.

D'autre part l'évaluation par le KVIQ amène une précision quant à **la modalité d'IM** la mieux maîtrisée par le sujet (IMK ou IMV). Au-delà de la valeur du score obtenu, la différence entre les deux nous donne un renseignement primordial pour guider au mieux le sujet lors de la pratique, notamment en phase d'apprentissage.

#### 4.2.2. Intervention

Comme nous l'avons constaté tout au long de cette analyse, le protocole d'imagerie motrice présente des avantages et des inconvénients mais aussi quelques lacunes.

Tout d'abord il représente un outil de rééducation ne demandant ni matériel ni coût particulier et ne présentant aucun risque. Sa réalisation n'est pas empêchée par l'incapacité du patient de bouger ni par sa fatigabilité. Cependant c'est une pratique qui demande du temps et peut être une formation de l'intervenant. Pour ce qui est du temps, la rééducation des blessés médullaires étant longue, au moins plusieurs mois, elle permet la mise en place d'un protocole sur du long terme, donnant du temps pour l'apprentissage voire l'autonomisation du sujet sur la pratique.

En revanche, d'après les études analysées, on ne retrouve pas de protocole clair et évident à mettre en place ; et même si un protocole un peu plus structuré ressort de trois études, on ne peut pas dire d'après les résultats constatés, si les changements et les variations entre les protocoles ont un impact sur les résultats, ni dans quelles mesures.

*Il semble donc nécessaire de structurer l'imagerie motrice, pour parvenir à un consensus sur les conditions et modalités de son utilisation et la rendre plus reproductible, d'une part pour faciliter son applicabilité en pratique, mais aussi pour renforcer la qualité des études effectuées et donc la pertinence de leurs résultats.*

Pour cela des pistes sont à rechercher dans le domaine de la psychologie du sport et des sciences cognitives.

Dans « *Relation entre imagerie mentale et performance sportive* » [53] l'auteur, en analysant les résultats de différentes études conduites dans le domaine sportif, en tire ces conclusions :

- ⇒ La pratique de l'IM est mieux que « rien » ;
- ⇒ L'IM couplée à la pratique physique donne des résultats meilleurs que l'IM seule et au moins équivalents à la pratique physique seule ;
- ⇒ L'IMK est plus efficace que l'IMV qui est plus efficace que l'observation seule ;
- ⇒ La relaxation en début de séance donne de meilleurs résultats ;
- ⇒ Les tâches motrices impliquant une habileté motrice (précision) ou une habileté fermée (marche) demandant des ajustements visuo-moteurs bénéficieraient plus de l'IM.
- ⇒ L'évaluation de la capacité des sujets est importante car les sujets ayant une meilleure capacité d'IM présenteraient de meilleurs résultats.

Concernant la distinction entre IMV et IMK qui sont, nous le rappelons, la visualisation de la tâche motrice à la 3ème personne pour l'IMV et à la première personne pour l'IMK, il paraît difficile de contrôler si le sujet utilise exclusivement l'une ou l'autre pendant qu'il imagine le mouvement. Il paraît plus probable que les deux soient interdépendantes. Ainsi même en se voyant faire le mouvement à la 3ème personne, le sujet peut avoir recours à des sensations kinesthésiques du mouvement. Finalement il semble plus pertinent de laisser le sujet choisir librement l'un ou l'autre, voire les deux en fonction de ses besoins et de ses facilités pour visualiser le mouvement demandé.

Des recommandations sur la mise en pratique en rééducation existent mais restent larges. Cinq points sont retenus [28] :

- évaluer les capacités du patient à suivre un programme d'IM ;
- expliquer la nature du traitement proposé ;
- enseigner la technique d'imagerie ;
- incorporer le traitement dans la prise en charge ;
- développer une flexibilité dans la capacité du patient à auto-gérer son traitement.

Certains points sont inhérents à la pratique de la kinésithérapie et il convient de préciser un protocole plus spécifique notamment dans son contenu et ses conditions d'administration.

Toujours dans le domaine du sport, *Holmes et Collins* ont développé un modèle d'après les données des neurosciences, donnant une trame de bonnes pratiques à la mise en place de l'imagerie motrice. Il s'agit du modèle PETTLEP, d'après les 7 critères décrits par Holmes et Collins (2001)[54] : Physical, Environnement, Task, Timing, Learning, Emotion et Perspective.

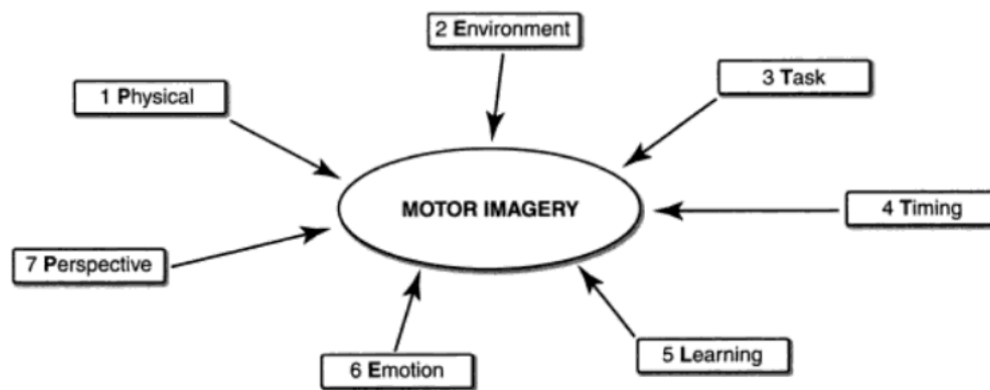


Figure 9 : le modèle PETTLEP

- Physical / Physique : il s'agit de rendre l'IM la plus proche possible de la sensation physique du mouvement. Les rappels kinesthésiques évoqués doivent être le plus précis possible et propres à l'individu.
- Environment / Environnement : le lieu où se déroule l'IM doit évoquer au plus près les conditions du mouvement travaillé, et si ce n'est pas possible l'utilisation de rappels audio et visuels sont possibles (photo, vidéo).
- Task / Tâche : le contenu de l'imagerie doit être adapté à chaque individu suivant à la fois sa capacité d'IM et son niveau de performance motrice.
- Timing / temps : la vitesse d'exécution du mouvement imaginé doit être la plus proche possible du mouvement réel.
- Learning / Apprentissage : le contenu de l'IM doit évoluer avec l'amélioration de la capacité d'IM de l'individu.
- Emotion / Emotion : l'implication émotionnelle de l'individu au mouvement exécuté améliore l'IM.
- Perspective / Modalité : l'IMK semble plus pertinente mais parfois le mouvement préfère l'utilisation de l'IMV ; mais surtout il faut respecter la préférence du sujet en la matière.

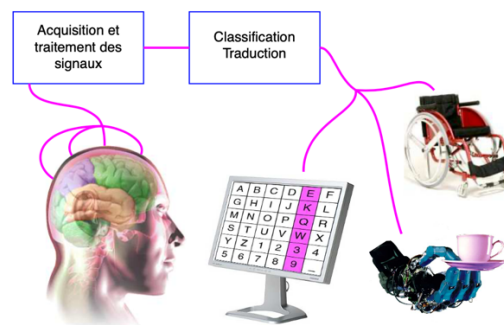
Pour conclure et d'après ces critères il en ressort l'importance d'un **protocole adapté et propre à l'individu concerné**. Ainsi il semblerait préférable d'effectuer l'IM dans le cadre de séances individuelles et personnalisées avec un échange entre intervenant et patient sur les sensations, la vivacité de l'IM, le ressenti du mouvement effectué et de celui imaginé et de l'évolution de ces paramètres.

Toutefois ces pistes évoquées sont tirées du domaine du sport et leur applicabilité en pratique clinique doit être approfondie.

#### 4.2.3. Perspectives et intérêts de l'imagerie motrice

Au-delà de l'utilisation de l'IM dans le but d'améliorer la performance motrice ou fonctionnelle, il est un domaine où l'IM trouve tout son intérêt. Il s'agit de l'interface cerveau machine. (En anglais BCI, Brain Computer Interface). Ce n'est pas le sujet de ce travail mais il me paraît important de l'évoquer. En effet elle utilise le principe même de l'équivalence fonctionnelle entre l'IM et le mouvement.

La BCI fonctionne par des systèmes enregistrant l'activité cérébrale au travers des potentiels évoqués et transcrivant cette activité en commande à l'intention d'une machine[55].



**Figure 10** : structure d'une interface cerveau machine

Ces interfaces, qui peuvent être plus ou moins invasives, sont destinées à des machines facilitant la communication mais aussi la mobilité (fauteuil roulant, prothèse, exo squelette). Ainsi l'intérêt ici de la pratique de l'imagerie motrice est que le sujet apprenne à maîtriser afin de produire des potentiels évoqués les plus précis possible pour améliorer la précision du pilotage de la machine.

Ces interfaces offrent un potentiel d'amélioration de la dépendance des sujets atteints de handicaps sévères. Ils servent à la fois d'outils palliatifs à la perte de fonction en amenant une aide technique performante, mais aussi, dans certaines conditions, d'outils de rééducation permettant le réapprentissage du contrôle moteur en amenant un feedback visuel. [56]

Ainsi, l'apprentissage et la pratique de l'imagerie motrice chez les blessés médullaires pourrait également permettre le contrôle de cette technologie lorsque le patient peut y avoir accès.

#### 4.2.4. Limites de la pratique

La pratique de l'imagerie motrice demande l'implication active du sujet, du temps de mise en place, la formation et l'implication du thérapeute. Elle doit être apprise et la capacité de visualisation du sujet doit être évaluée. L'outil principalement utilisé pour cela est le KVIQ. Par ailleurs il est difficile de contrôler ce qui se passe à l'intérieur d'une séance dans la tête du patient même si certains outils sont utilisés pour témoigner de l'efficacité de l'IM comme la chronométrie mentale ou les réponses végétatives.

### 4.3. Qualité des preuves

Ces dernières années, afin de faire le lien entre la pratique clinique et la recherche scientifique, se développe la médecine basée sur les preuves. Dans le domaine de la rééducation on parle de « l'EBP (*Evidence Based Practice* ou pratique basée sur les preuves) et elle se construit autour :

- Des données issues de la recherche scientifique ;
- Des compétences et de l'expérience du praticien ;
- De l'état bio-psycho-social des patients, ainsi que leurs valeurs et attentes individuelles. »[57]

Elle amène à l'établissement des recommandations de bonnes pratiques (RBP) qui « sont définies dans le champ de la santé comme des propositions développées méthodiquement pour **aider le praticien et le patient à rechercher les soins les plus appropriés dans des circonstances cliniques données.** »[58]

Elles reposent sur un système de niveau de preuve et de gradation rigoureux. Ainsi d'après l'état des lieux de la HAS sur les RBP, « Le niveau de preuve d'une étude caractérise la capacité de l'étude à répondre à la question posée. La capacité d'une étude à répondre à la question posée est jugée sur la correspondance de l'étude au cadre du travail (question, population, critères de jugement) et sur les caractéristiques suivantes :

- l'adéquation du protocole d'étude à la question posée;
- l'existence ou non de biais importants dans la réalisation ;
- l'adaptation de l'analyse statistique aux objectifs de l'étude ;
- la puissance de l'étude et en particulier la taille de l'échantillon. »

D'après le système de gradation GRADE (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*) on trouve 2 niveaux de preuve :

Recommandation	Description
Forte	Quand le groupe de travail est confiant dans le fait que les effets souhaitables de l'adhésion à une recommandation l'emportent sur les effets indésirables.
Faible	Indique que les effets souhaitables de l'adhésion à une recommandation l'emportent probablement sur les effets indésirables, mais le groupe de travail est moins confiant.

Le travail présenté ici reflète un **faible niveau de preuve** pour plusieurs raisons :

Une **hétérogénéité** des résultats : des différences de l'effet du traitement ressortent de l'analyse des études.

Le **caractère indirect** des données scientifiques : les populations traitées ont des caractéristiques différentes entre les études, le groupe contrôle varie et les conditions de l'intervention ne sont pas les mêmes.

Une **imprécision** des données : l'échantillon de patients présenté est faible et les intervalles de confiance de résultat sont larges.

## 4.4. Biais potentiels de la revue

### 4.4.1. Méthodologie de la revue

La méthodologie de la revue a été évaluée par la grille d'évaluation AMSTAR.

	Items	Remarque	Réponse
1	Un plan de recherche établi a priori est-il fourni ?	La question de recherche et les critères d'inclusion des études doivent être déterminés avant le début de la revue	Oui
2	La sélection des études et l'extraction des données ont-ils été confiés à au moins deux personnes ?	Au moins deux personnes doivent procéder à l'extraction des données de façon indépendante, et une méthode de consensus doit avoir été mise en place	Non <i>Ce mémoire de fin d'étude est un travail individuel</i>
3	La recherche documentaire était-elle exhaustive ?	Au moins 2 sources électroniques doivent avoir été utilisés. Le rapport doit comprendre l'horizon temporel de la recherche et les bases de données interrogées. Les mots clé ou termes MESH doivent être indiqués. Si possible la stratégie complète doit être exposée.	Oui <i>4 bases de données ont été interrogées, ainsi que des références d'articles mais pas la littérature grise</i>
4	La nature de la publication (littérature grise, par exemple) était-elle un critère d'inclusion ?	Les auteurs doivent indiquer s'ils ont cherché tous les rapports, quel que soit le type de publication ou s'ils ont exclu des rapports sur la base du type de publication, de la langue...	Oui <i>Les articles dans une langue autre que le français et l'anglais n'ont pas été retenus</i>
5	Une liste des études (incluses et exclues) est-elle fournie ?	Une liste des études incluses et exclues doit être fournie	Oui
6	Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées ?	Les données portant sur les sujets qui ont participé aux études, les interventions et les résultats doivent être regroupés sous forme de tableau par exemple.	Oui
7	La qualité scientifique des études incluses a-t-elle été évaluée et consignée ?	Les méthodes d'évaluation déterminées a priori doivent être indiquées, pour d'autres types d'études, d'autres critères d'évaluation seront à prendre en considération	Oui <i>Les études ont été évaluée à l'aide d'une échelle appropriée (Pedro et SCED)</i>
8	La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation des conclusions ?	Les résultats de l'évaluation de la rigueur méthodologique et de la qualité scientifique des études incluses doivent être pris en considération dans l'analyse et les conclusions de la revue	Oui
9	Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées ?	Si l'on veut regrouper les résultats des études, il faut effectuer un test d'homogénéité afin de s'assurer qu'elles sont combinables.	Non <i>La trop grande hétérogénéité des études incluses ne permet pas de combiner les résultats</i>
10	La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée ?	Une évaluation du biais de publication doit comprendre une association d'outils graphiques (diagramme de dispersion des études ou autre test) et des tests statistiques.	Non
11	Les conflits d'intérêt ont-ils été déclarés ?	Les sources possibles de soutien doivent être déclarés, tant pour la revue que pour les études qui y sont incluses	Oui

**Tableau 12** : méthodologie de la revue d'après la grille AMSTAR

La recherche bibliographique a été faite sur quatre bases de données regroupant de nombreuses publications scientifiques dans le domaine médical. De plus de nombreuses bibliographies d'articles jugés pertinents ont été parcourus pour ajouter des références supplémentaires. Toutefois seules les références en langue française et anglaise ont été retenues ce qui a pu nous faire passer à côté de références intéressantes et la littérature grise n'a pas été investiguée, amenant un biais dans la sélection des articles de la revue.

D'autre part, pour que la recherche soit la plus reproductible possible, des mots clés ont été établis, ainsi que des critères d'inclusion puis d'exclusion. Mais bien qu'elle ait été effectuée à plusieurs reprises, elle ne l'a été que par une seule et même personne ce qui peut amener un biais de sélection dans le choix des articles. De plus, le MeSH (Medical Subject Headings), outil qui permet de trouver les termes anglais équivalent afin d'interroger les bases de données, a été utilisé mais renvoyait à la notion de visualisation dans le domaine de la psychologie qui s'éloignait trop du sujet de la rééducation physique et n'a donc pas servi dans la construction de la méthodologie de la recherche bibliographique.

La qualité méthodologique des études a été évaluée à l'aide des échelles Pedro et SCED. Les études incluses présentent un score modéré à chacune des échelles sauf une étude (*Sharp 2014*). Une formation nous a été apportée sur l'utilisation de l'échelle Pedro, cependant mon niveau de maîtrise de cet outil ne peut être qualifié d'expert de même pour l'échelle SCED. Et là encore l'évaluation n'a été réalisée que par une seule personne.

Pour la recherche bibliographique comme pour l'évaluation méthodologique il aurait été intéressant de confronter les résultats des démarches réalisées par au moins deux personnes de façon indépendante.

Enfin il s'agit ici de mon premier travail de ce type en recherche et analyse de résultats scientifiques. Bien que suivant une méthodologie et un guide de rédaction de façon la plus rigoureuse possible, il doit être considéré en tant que tel.

#### 4.4.2. Les études incluses

Une limite évidente ici est le faible nombre de sujets étudiés. Cela combiné à la faible qualité méthodologique des études incluses empêche la comparaison des études entre elles et rend difficile de généraliser quelque résultat à une population plus large. Les auteurs dans chaque article s'accordent sur le fait qu'il faudrait étendre les études sur un panel plus large de patients.

Le protocole d'IM n'est pas assez standardisé pour permettre une comparaison entre les études et sa mise en œuvre nécessite d'être étudiée de plus près pour permettre de mettre en place un protocole strict et reproductible.

Par ailleurs les études présentent souvent de très nombreux critères de jugements non uniquement moteurs, élargissant les observations faites sur plusieurs conséquences possibles de la pratique, et ouvrant ainsi sur la perspective d'études plus larges pour vérifier les résultats obtenus. La recherche sur l'efficacité de l'IM dans le cas particulier des blessés



médullaires est relativement récente comme l'est l'introduction de cette pratique comme technique de rééducation. Les recherches dans ce domaine se multiplient rapidement.

Dans la littérature on retrouve beaucoup d'études concentrées sur l'analyse de l'activité cérébrale par IRM ou MEG. Plusieurs raisons semblent l'expliquer : d'abord cela permet de vérifier l'hypothèse de l'équivalence fonctionnelle, ensuite cela permet d'évaluer et de comparer cette équivalence fonctionnelle entre les sujets sains et les blessés médullaires. La prochaine étape se profilant comme suite logique est l'étude de l'effet de cette équivalence fonctionnelle au niveau de l'amélioration motrice. Cette recherche, qui est l'objet de ce travail, est donc en plein développement.

Enfin, comme nous l'avons vu précédemment, l'équivalence fonctionnelle entre l'IM et le mouvement est largement recherchée et évaluée dans le but du développement et de l'utilisation de la technologie de l'interface cerveau machine. (BCI)

#### 4.5. Déclaration des conflits d'intérêt

Je déclare n'avoir aucun conflit d'intérêt dans la réalisation de ce travail.  
Aucun conflit d'intérêt n'a été retrouvé dans les études incluses.

## 5. Conclusion

Ce travail de recherche a permis de trouver une esquisse de réponse à la question qui l'a motivé, mais aussi de soulever certaines limites.

Aussi, si l'utilisation de l'imagerie motrice semble bénéficier d'un large support théorique en sa faveur, les résultats des études en pratique clinique ne sont pas si unanimes. Le faible niveau de preuve ne permet pas de trancher sur les résultats obtenus mais plusieurs observations positives en ressortent et justifient que l'on se penche davantage sur la question au travers d'autres essais cliniques.

L'imagerie motrice est une technique prometteuse pour l'amélioration des performances motrices des blessés médullaires avec un risque nul et un faible coût. Même si sa mise en place demande du temps et de l'investissement de la part du thérapeute, son apport dans un contexte où le patient a sa mobilité et sa motricité entravée par la paralysie ou la faiblesse musculaire paraît non négligeable. D'autant plus que c'est une technique pouvant aboutir à une autonomisation du patient et l'encourager vers l'auto-rééducation. Les études incluses ici le montrent, le nombre de répétitions effectuées par imagerie peuvent être considérables. Ceci combiné à l'autonomie du patient peut amener un potentiel de nombre de répétitions qui ne serait pas envisageable en pratique ni dans le temps imparti à la rééducation, encore plus chez un patient immobilisé.

De nombreuses pistes sont encore à explorer dans le domaine, comme la mise en place d'un protocole plus cadré d'imagerie motrice qui permettrait en outre de cadrer la recherche sur le sujet.

Par ailleurs, le fait de réaliser ce travail de recherche, aussi frustrante que soit la conclusion sur l'incertitude des résultats, m'a donné l'occasion d'appivoiser les outils de recherche bibliographique, de me familiariser avec la lecture critique d'articles scientifiques et de savoir comment aller chercher des réponses les plus objectives possibles dans les résultats. Ainsi cela permettra d'orienter ma pratique de façon plus objective et pertinente vers la pratique basée sur les preuves et sur l'intérêt de confronter les idées reçues, entendues ou acquises à la réalité des preuves scientifiques et de la recherche.

Enfin ce travail effectué autour d'un sujet relativement récent qui a beaucoup évolué en peu de temps permet de réaliser l'intérêt de rester en contact avec l'actualité scientifique qui évolue en permanence afin de garder une pratique pertinente et à jour des évolutions scientifiques.

## 6. Bibliographie

- [1] Decety J, Grèzes J. Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends Cogn Sci* 1999;3:172–8. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01312-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01312-1).
- [2] Villiger M, Estévez N, Hepp-Reymond MC, Kiper D, Kollias SS, Eng K, et al. Enhanced Activation of Motor Execution Networks Using Action Observation Combined with Imagination of Lower Limb Movements. *PLoS One* 2013;8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072403>.
- [3] Jeannerod M. The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behav Brain Sci* 1994;17:187–202. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00034026>.
- [4] Lebon F, Gueugneau N, Papaxanthis C. Modèles internes et imagerie motrice. *Mov Sport Sci - Sci Mot* 2013;82:51–61. <https://doi.org/10.1051/sm/20103092>.
- [5] Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, Richards CL, Doyon J. Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *Neuroimage* 2003;20:1171–80. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00369-0](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00369-0).
- [6] Shepherd R, Carr J. reeducation neurologique:les données de la science pour la pratique clinique. *Kinesithérapie La Rev* 2005;volume 5.
- [7] Dickstein R, Deutsch JE. Motor Imagery in Physical Therapist Practice. *Phys Ther* 2007;87:942–53. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060331>.
- [8] Cumming J, Williams SE. The Role of Imagery in Performance. *Oxford Handb Sport Perform Psychol* 2012:213–32. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199731763.013.0011>.
- [9] Caligiore D, Mustile M, Spalletta G, Baldassarre G. Action observation and motor imagery for rehabilitation in Parkinson's disease: A systematic review and an integrative hypothesis. *Neurosci Biobehav Rev* 2017;72:210–22. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.005>.
- [10] Jean-Pierre BLETON, Olivier RÉMY-NÉRIS MG. Accident vasculaire cérébral: méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. *Haute Autorité La Santé* 2012:236.
- [11] Raineteau O, Schwab ME. Plasticity of motor systems after incomplete spinal cord injury. *Nat Rev Neurosci* 2001;2:263–73. <https://doi.org/10.1038/35067570>.
- [12] Dur ADEL. Paraplégie. *Ann Réadaptation Médecine Phys* 2001;44:388–92. [https://doi.org/10.1016/s0168-6054\(01\)00123-4](https://doi.org/10.1016/s0168-6054(01)00123-4).
- [13] Seuret F. Portrait chiffré des blessés médullaires. *Faireface Paratetra* 2011;11:6–8.
- [14] OMS, ISCos, SPF. Lésions de la moelle épinière. Perspectives internationales. 2014.
- [15] Furlan JC, Noonan V, Singh A, Fehlings MG. Assessment of impairment in patients with acute traumatic spinal cord injury: A systematic review of the literature. *J Neurotrauma* 2011;28:1445–77. <https://doi.org/10.1089/neu.2009.1152>.
- [16] van Middendorp JJ, Goss B, Urquhart S, Atresh S, Williams RP, Schuetz M. Diagnosis and Prognosis of Traumatic Spinal Cord Injury. *Glob Spine J* 2011;1:001–7. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1296049>.
- [17] Eckert MJ, Martin MJ. Trauma: Spinal Cord Injury. *Surg Clin North Am* 2017;97:1031–45. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2017.06.008>.
- [18] Lotze M, Halsband U. Motor imagery. *J Physiol Paris* 2006;99:386–95. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.012>.

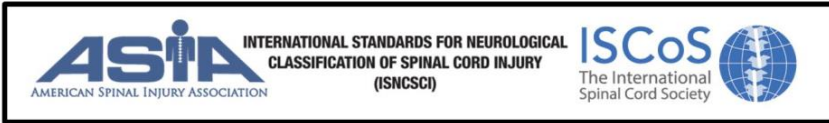
- [19] Hotz-Boendermaker S, Funk M, Summers P, Brugger P, Hepp-Reymond MC, Curt A, et al. Preservation of motor programs in paraplegics as demonstrated by attempted and imagined foot movements. *Neuroimage* 2008;39:383–94. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.07.065>.
- [20] Thomschewski A, Ströhlein A, Langthaler PB, Schmid E, Potthoff J, Höller P, et al. Imagine there is no plegia. Mental motor imagery difficulties in patients with traumatic spinal cord injury. *Front Neurosci* 2017;11:1–9. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00689>.
- [21] Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, Richards C, Doyon J. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:1133–41. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.24286>.
- [22] Fiori F, Sedda A, Ferrè ER, Toraldo A, Querzola M, Pasotti F, et al. Motor imagery in spinal cord injury patients: Moving makes the difference. *J Neuropsychol* 2014;8:199–215. <https://doi.org/10.1111/jnp.12020>.
- [23] Saurí J, Chamarro A, Gilabert A, Gifre M, Rodriguez N, Lopez-Blazquez R, et al. Depression in Individuals With Traumatic and Nontraumatic Spinal Cord Injury Living in the Community. *Arch Phys Med Rehabil* 2017;98:1165–73. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.11.011>.
- [24] Denis M. *Image et Cognition*. psychologi. Paris: Presses Universitaires de France; 1989.
- [25] Bonnet M, Decety J, Jeannerod M, Requin J. Mental simulation of an action modulates the excitability of spinal reflex pathways in man. *Cogn Brain Res* 1997;5:221–8. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(96\)00072-9](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(96)00072-9).
- [26] O'Shea H, Moran A. Does motor simulation theory explain the cognitive mechanisms underlying motor imagery? A critical review. *Front Hum Neurosci* 2017;11:1–13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00072>.
- [27] Grangeon M, Guillot A, Collet C. Effets de l'imagerie motrice dans la rééducation de lésions du système nerveux central et des atteintes musculo-articulaires. *Sci Mot* 2009;67:9–38. <https://doi.org/10.3917/sm.067.0009>.
- [28] Rulleau T, Toussaint L. L'imagerie motrice en rééducation. *Kinesithérapie* 2014;14:51–4. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2013.12.015>.
- [29] Collet C, Guillot A, Lebon F, MacIntyre T, Moran A. Measuring motor imagery using psychometric, behavioral, and psychophysiological tools. *Exerc Sport Sci Rev* 2011;39:85–92. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31820ac5e0>.
- [30] Robin N, Dominique L, Toussaint L, Blandin Y, Guillot A, Her M Le. Effects of motor imagery training on service return accuracy in tennis: The role of imagery ability. *Int J Sport Exerc Psychol* 2007;5:175–86. <https://doi.org/10.1080/1612197x.2007.9671818>.
- [31] Malouin F, Richards CL, Durand A, Doyon J. Reliability of Mental Chronometry for Assessing Motor Imagery Ability After Stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2008;89:311–9. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.11.006>.
- [32] Héту S, Grégoire M, Saimpont A, Coll MP, Eugène F, Michon PE, et al. The neural network of motor imagery: An ALE meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 2013;37:930–49. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.03.017>.
- [33] Gregg M, Hall C, Butler A. The MIQ-RS: A suitable Option for examining movement imagery ability. *Evidence-Based Complement Altern Med* 2010;7:249–57. <https://doi.org/10.1093/ecam/nem170>.

- [34] Loison B, Moussaddaq AS, Cormier J, Richard I, Ferrapie AL, Ramond A, et al. Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire - Revised Second version (MIQ-RS). *Ann Phys Rehabil Med* 2013;56:157–73. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.01.001>.
- [35] Malouin F, Richards CL, Jackson PL, Lafleur MF, Durand A, Doyon J. The kinesthetic and visual imagery questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: A reliability and construct validity study. *J Neurol Phys Ther* 2007;31:20–9. <https://doi.org/10.1097/01.NPT.0000260567.24122.64>.
- [36] Maguire EA, Gadian DG, Johnsrude IS, Good CD, Ashburner J, Frackowiak RSJ, et al. Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2000;97:4398–403. <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>.
- [37] Taub E. Harnessing Brain Plasticity through Behavioral Techniques to Produce New Treatments in Neurorehabilitation. *Am Psychol* 2004;59(8):692–704. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.8.692>.
- [38] Pascual-Leone A, Dang N, Cohen LG, Brasil-Neto JP, Cammarota A, Hallett M. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol* 1995;74:1037–45. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.74.3.1037>.
- [39] Ruffino C, Papaxanthis C, Lebon F. Neural plasticity during motor learning with motor imagery practice: Review and perspectives. *Neuroscience* 2017;341. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.11.023>.
- [40] Aikat R, Dua V. Mental Imagery in Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *J Spine* 2016;5. <https://doi.org/10.4172/2165-7939.1000310>.
- [41] Grangeon M, Guillot A, Sancho PO, Picot M, Revol P, Rode G, et al. Rehabilitation of the Elbow Extension With Motor Imagery in a Patient With Quadriplegia After Tendon Transfer. *Arch Phys Med Rehabil* 2010;91:1143–6. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.04.011>.
- [42] Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinesithérapie* 2015;15:39–44. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.004>.
- [43] Pallot A, Davergne T, Gallois M, Guémann M, Martin S, Morichon A, et al. Evidence-based practice en rééducation. Démarche pour une pratique raisonnée, © 2019 Elsevier Masson SAS. Elsevier M. 2019.
- [44] Grangeon M, Revol P, Guillot A, Rode G, Collet C. Could motor imagery be effective in upper limb rehabilitation of individuals with spinal cord injury? A case study. *Spinal Cord* 2012;50:766–71. <https://doi.org/10.1038/sc.2012.41>.
- [45] Di Rienzo F, Guillot A, Mateo S, Daligault S, Delpuech C, Rode G, et al. Neuroplasticity of imagined wrist actions after spinal cord injury: a pilot study. *Exp Brain Res* 2014;233:291–302. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4114-7>.
- [46] Mateo S, Di Rienzo F, Reilly KT, Revol P, Delpuech C, Daligault S, et al. Improvement of grasping after motor imagery in C6-C7 tetraplegia: A kinematic and MEG pilot study. *Restor Neurol Neurosci* 2015;33:543–55. <https://doi.org/10.3233/RNN-140466>.
- [47] Cramer SC, Orr ELR, Cohen MJ, Lacourse MG. Effects of motor imagery training after chronic, complete spinal cord injury. *Exp Brain Res* 2007;177:233–42. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0662-9>.
- [48] Sharp KG, Gramer R, Butler L, Cramer SC, Hade E, Page SJ. Effect of overground training augmented by mental practice on gait velocity in chronic, incomplete spinal

- cord injury. Arch Phys Med Rehabil 2014;95:615–21.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.11.016>.
- [49] Al. M et. Questionnaire d'Imagerie Visuelle et Kinesthésique ( KVIQ ) Procédures de passation Échelle visuelle Échelle kinesthésique 2007:1–8.
- [50] Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials. Phys Ther 2003;83:713–21.  
<https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.713>.
- [51] Tate RL, McDonald S, Perdices M, Togher L, Schultz R, Savage S. Rating the methodological quality of single-subject designs and n-of-1 trials: Introducing the single-case experimental design (SCED) scale. Neuropsychol Rehabil 2008;18:385–401. <https://doi.org/10.1080/09602010802009201>.
- [52] Krasny-Pacini A, Evans J. Single-case experimental designs to assess intervention effectiveness in rehabilitation: A practical guide. Ann Phys Rehabil Med 2018;61:164–79. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.12.002>.
- [53] Cadopi M, Arripe-Longueville F d'. Relations entre imagerie mentale et performance sportive. Les Cah l'INSEP 1998;22:165–93. <https://doi.org/10.3406/insep.1998.1403>.
- [54] Wakefield C, Smith D. Perfecting practice: Applying the PETTLEP model of motor imagery. J Sport Psychol Action 2012;3:1–11.  
<https://doi.org/10.1080/21520704.2011.639853>.
- [55] Bekaert M, Botte-lecocq C, Cabestaing F, Bekaert M, Botte-lecocq C, Cabestaing F, et al. Les interfaces Cerveau-Machine pour la palliation du handicap moteur sévère To cite this version : HAL Id : hal-00521052 Les interfaces Cerveau-Machine pour la palliation du handicap moteur sévère 2010.
- [56] Donati ARC, Shokur S, Morya E, Campos DSF, Moioli RC, Gitti CM, et al. Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients. Sci Rep 2016;6:1–16.  
<https://doi.org/10.1038/srep30383>.
- [57] Pallot A. evidence based practice en rééducation démarche pour une pratique raisonnée. 2019.
- [58] HAUTE AUTORITÉ DE SANTÉ. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique. Etat Des Lieux 2013:192.
- [59] Bioulac B, Burbaud P, Cazalets JR, Gross C. Fonctions motrices. EMC - Neurol 2004;1:277–329. <https://doi.org/10.1016/j.emcn.2004.02.002>.
- [60] Hanakawa T, Dimyan MA, Hallett M. Motor planning, imagery, and execution in the distributed motor network: A time-course study with functional MRI. Cereb Cortex 2008;18:2775–88. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn036>.

## 7. Annexes

# Annexe 1



Nom du patient \_\_\_\_\_ Date / heure de l'examen \_\_\_\_\_

Nom de l'examineur \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_



	<b>DROITE</b>	<b>MOTEUR MUSCLES CLÉS</b>	<b>SENSITIF POINTS SENSITIFS CLÉS</b>		<b>POINTS SENSITIFS CLÉS</b>	<b>MOTEUR MUSCLES CLÉS</b>	<b>GAUCHE</b>
			Toucher (LTD)    Piqûre (PPD)		Toucher (LTG)    Piqûre (PPG)		
			C2				
			C3				
			C4				
<b>MSD</b> (membre supérieur droit)		Flexion du coude C5					
		Extension du poignet C6					
		Extension du coude C7					
		Flexion du majeur C8					
		Abduction du 5ème doigt T1					
<b>Remarques</b> (Muscle non-clé ? Raison de NT ? Douleur ?)			T2				
			T3				
			T4				
			T5				
			T6				
			T7				
			T8				
			T9				
			T10				
			T11				
			T12				
			L1				
<b>MID</b> (membre inférieur droit)		Flexion de la hanche L2					
		Extension du genou L3					
		Dorsiflexion de cheville L4					
		Extension du gros orteil L5					
		Flexion plantaire de cheville S1					
<b>(VAC) Contraction Anale Volontaire</b> (Oui / Non) <input type="checkbox"/>			S2				
			S3				
			S4-5				
			<b>TOTAL DROITE</b>				
			(MAXIMUM) (50) (56) (56)				
<b>MSD</b>							
<b>MIG</b> (membre inférieur gauche)							
			S2				
			S3				
			S4-5				
			<b>TOTAL GAUCHE</b>				
			(MAXIMUM) (50) (56) (56)				
<b>SCORES MOTEURS</b>				<b>SCORES SENSITIFS</b>			
MSD	MSG	MS TOTAL	MID	MIG	MI TOTAL	LTG	PPG
MAX (25)	(25)	(50)	MAX (25)	(25)	(50)	MAX (56)	(56)
						(112)	MAX (56)
						(56)	(56)
						(112)	(112)
<b>NIVEAUX NEUROLOGIQUES</b>							
Étapes de classification 1 à 5 au verso		1. SENSITIF	D	G	3. NIVEAU LÉSIONNEL	4. COMPLETE OU INCOMPLETE	5. SCORE DE DEFICIENCE ASIA (AIS)
		2. MOTEUR	D	G	Incomplète : toute fonction motrice ou sensitive en S4-5	ZONE DE PRÉSERVATION PARTIELLE	SENSITIVE MOTRICE
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



### Cotation fonction musculaire

- 0 = paralysie totale
- 1 = contraction visible ou palpable
- 2 = mouvement actif dans son amplitude complète, sans pesanteur
- 3 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre pesanteur
- 4 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre résistance
- 5 = mouvement normal (dans son amplitude complète, contre résistance complète)
- NT = non testable (immobilisation, douleur, amputation, hypertonie sur > 50% amplitude du mouvement)

### Cotation sensitive

- 0 = absente
- 1 = diminuée (appréciation partielle ou altérée, incluant hyperesthésie)
- 2 = normale
- NT = non testable

### Fonctions musculaires non clés (facultatif)

Peut être utilisé pour attribuer un niveau moteur et différencier AIS B vs C

Mouvement	Racine
<b>Epaule</b> : flexion, extension, abduction, adduction, rotation interne et externe <b>Coude</b> : supination	C5
<b>Coude</b> : pronation <b>Poignet</b> : flexion	C6
<b>Doigts</b> : flexion, extension <b>Pouce</b> : flexion, extension, abduction dans le plan	C7
<b>Doigts</b> : flexion MCP <b>Pouce</b> : opposition, adduction et abduction dans le plan perpendiculaire à la paume	C8
<b>Doigts</b> : abduction de l'index	T1
<b>Hanche</b> : adduction	L2
<b>Hanche</b> : rotation externe	L3
<b>Hanche</b> : extension, abduction, rotation Interne	L4
<b>Genou</b> : flexion <b>Chevilles</b> : inversion et éversion <b>Orteils</b> : extension MTP et IP	L5
<b>Hallux et Orteils</b> : flexion et abduction IPP et IPD	L5
<b>Hallux</b> : adduction	S1

## Echelle de déficience ASIA

**A = Complet** : aucune sensibilité ou motricité dans le territoire S4-S5.

**B = Incomplet sensitif** : la sensibilité mais pas la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5.

**C = Incomplet moteur** : la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au dessous de ce niveau a un score < 3 (motricité non fonctionnelle).

**D = Incomplet moteur** : la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au dessous de ce niveau a un score  $\geq 3$ .

**E = Normal** : la sensibilité et la motricité sont normales. Il peut persister des anomalies des réflexes.



INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI)



## Etapas de la classification

- Déterminer les niveaux sensitifs pour les côtés droit et gauche.  
*Le niveau sensitif est le dernier dermatome sain pour la piqure et le toucher.*
- Déterminer les niveaux moteurs pour les côtés droit et gauche.  
*Défini par le dernier muscle clé côté  $\geq 3$ , à condition que les muscles sus-jacents soient considérés intacts.*  
*Note : dans les régions où il n'y a pas de myotome à tester, le niveau moteur est présumé être le même que le niveau sensoriel, si la fonction motrice testable au dessus de ce niveau est également normale.*
- Déterminer le niveau lésionnel  
*Il s'agit de la partie la plus distale avec sensibilité intacte et force musculaire antigravitaire ( $\geq 3$ ), pourvu qu'il y ait au-dessus respectivement une fonction normale. Le niveau lésionnel est la plus proximal des niveaux sensoriels et moteurs déterminés dans les étapes 1 et 2.*
- Déterminer si la lésion est complète ou incomplète.  
*(c'est à dire l'absence ou la présence d'épargne sacrée)*  
Si la contraction anale volontaire = **Non** ET tous scores sensoriels S4-S5 = **0** ET la pression anale profonde = **Non**, alors la lésion est considérée comme **Complète**. Sinon, la lésion est **Incomplète**.

### 5. Déterminer le score de déficience ASIA

Est-ce une lésion complète ? Si **OUI**, **ASIA = A** et noter la zone de préservation partielle (dernier dermatome ou myotome de chaque côté avec une préservation)

Est-ce une lésion motrice complète ? Si **OUI**, **ASIA = B**  
(Non = contraction anale volontaire OU présence d'une fonction motrice sur plus de trois niveaux au-dessous du niveau moteur sur un côté donné, si le patient a une classification sensitive incomplète)

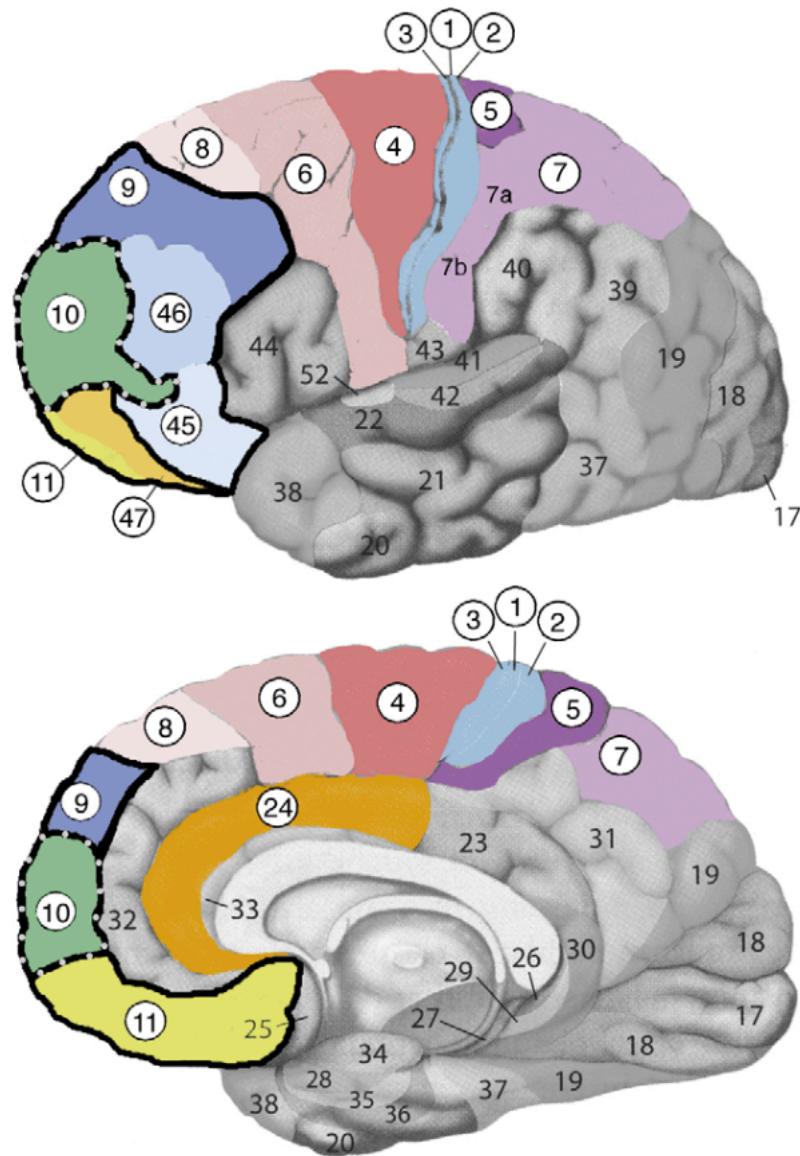
Y a-t'il au moins la moitié (moitié ou plus) des muscles clés en dessous du niveau neurologique lésionnel classés 3 ou mieux ?

**NON** ↓ **ASIA = C**      **OUI** ↓ **ASIA = D**

Si la sensation et la fonction motrice sont normales dans tous les segments, alors **ASIA = E** (si ATCD lésion documentée)

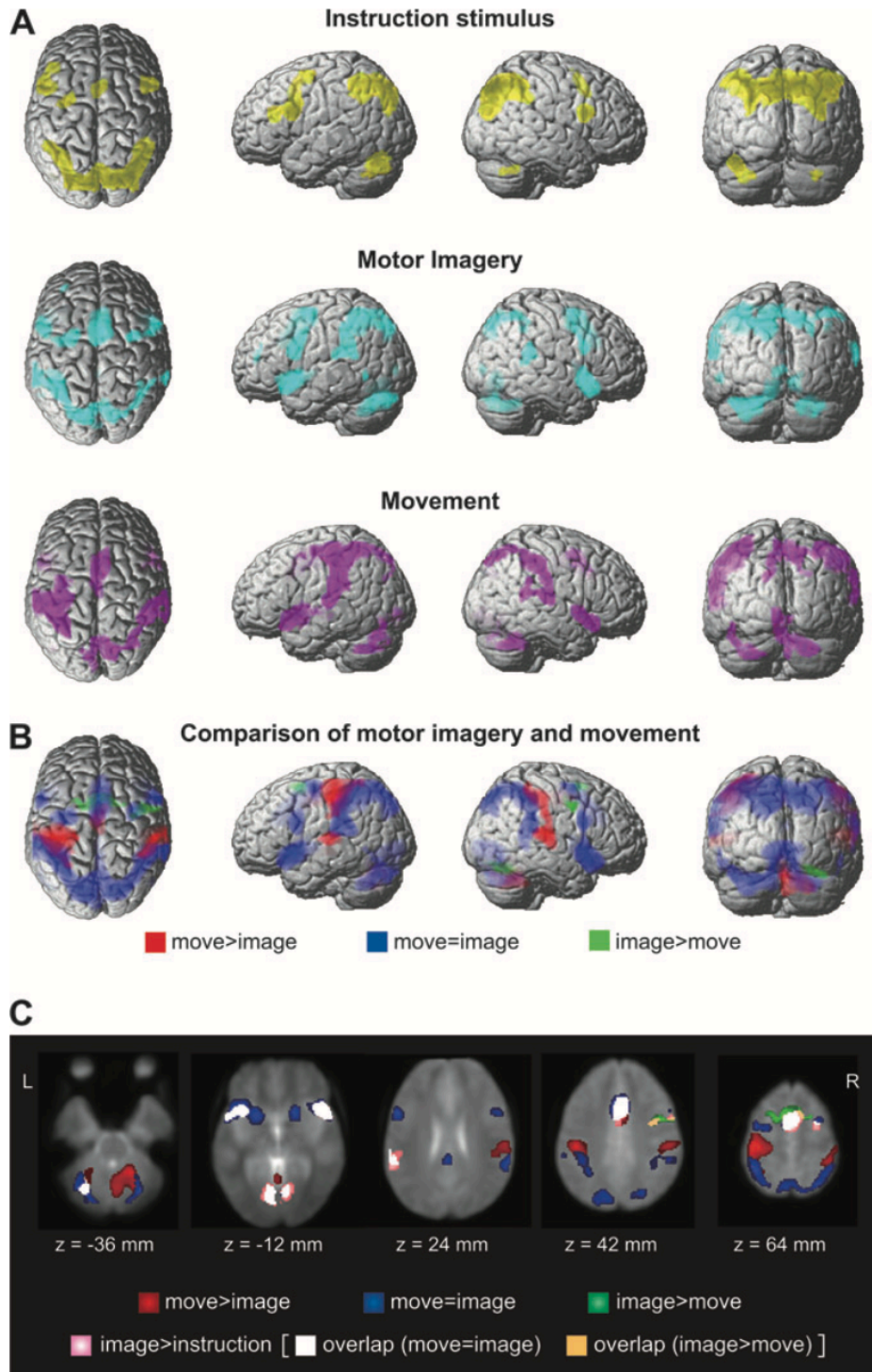
## Annexe 2

Cartographies des aires corticales impliquées dans le mouvement volontaire. [59]



**Figure 8** Aires corticales primaires et associatives impliquées dans la planification de l'action. La numérotation correspond à la classification de Brodman. Cortex moteur : aire 4 ( $M_1$ ) ; cortex somesthésique : aires 3, 1, 2 ( $S_1$ ) ; cortex prémoteur : aire 6 (face latérale), aire motrice supplémentaire : aire 6 (face mésiale) ; aire frontale oculocéphalogyre : aire 8. Secteur préfrontal : cortex dorsolatéral préfrontal : aire 46, 45, 9 et 10, cortex orbito-frontal 47, 25, 11 et 10. L'aire 10, inscrite dans les pointillés, est commune à ces deux territoires. Cortex cingulaire antérieur : aire 24 c, 32 (face mésiale). Secteur pariétal : cortex pariétal postérieur : aires 5 et 7 (7a et 7b) élargies aux aires 39 et 40 (empruntée à Gazzaniga et al. modifiée).

### Annexe 3



Cartographie de l'analyse paramétrique statistique des potentiels évoqués lors de la pratique de l'imagerie motrice et de mouvements. Ces données sont issues d'une étude sur des sujets sains. [60] on peut voir en bleu en B les zones corticales communes activées lors du mouvement et lors de l'imagerie motrice.

**TABLEAU I**

Synthèse des travaux relatifs à l'effet de l'IM sur la performance motrice chez le sujet sain.  
(Seuls les travaux illustrant les propos de l'article ont été présentés).

Paramètre étudié après entraînement par IM	Auteurs	Tâches	Résultats
Force musculaire	Cornwall <i>et al.</i> (1991)	Flexion/extension de la jambe (force isométrique du quadriceps)	+
	Newson <i>et al.</i> (2003)	Flexion/extension du poignet (force isométrique)	-
	Ranganathan, Kuykendall, Siemionow & Yue (2002)	Abduction du petit doigt, flexion de l'avant-bras sur le bras	+
	Zijdewind, Toering, Bessem, Van der Laan & Diercks (2003)	Flexion plantaire de la cheville	+
	Ranganathan & Yue (2004)	Abduction du petit doigt, flexion de l'avant-bras sur le bras	+
	Herber, Dean & Gandevia (1998)	Flexion de l'avant-bras sur le bras	-
	Yue & Cole (1992)	Extension de l'abducteur du petit doigt	+
	Vitesse du mouvement	Blair, Hall, & Leyshon (1993).	Tir au penalty en football
Gentili, Papaxanthis & Pozzo (2006)		Pointage d'une cible dans le plan frontal	+
Régulation posturale	Linden <i>et al.</i> (1999)	Régulation posturale de la marche chez les personnes âgées	-
	Funsler <i>et al.</i> (1985)	Maintien de l'équilibre sur une jambe	+
	Ryan et Simon (1982)	Régulations posturales lors du maintien de la station debout sur stabilomètre	+
	Hamel & Lajoie (2005)	Régulations posturales lors du maintien de la station debout sur stabilomètre	+
	Guillot <i>et al.</i> (2006)	Régulations posturales lors du maintien de la station debout sur stabilomètre	+
	Rodrigues <i>et al.</i> (2003)	Régulations posturales lors du maintien de la station debout sur stabilomètre	+

Paramètre étudié après entraînement par IM	Auteurs	Tâches	Résultats
Apprentissage ou amélioration d'une habileté motrice	Lejeune <i>et al.</i> (1994)	Coup droit en tennis de table	+
	Yaguez <i>et al.</i> (1998).	Réalisation de deux tâches graphiques.	+
	Grove <i>et al.</i> (2001)	Technique en golf	+
	Roure <i>et al.</i> (1998)	Réception sur passeur fixe en volley	+
	Rodgers <i>et al.</i> (1991)	Exécution de figures en patinage artistique	-
	Mumford & Hall (1985)	Exécution de figures en patinage artistique	-
	Calmels & Fournier (2001)	Effet d'un entraînement mental sur les performances en gymnastique	-
	Pascual-Leone <i>et al.</i> (1995).	Mouvement des Cinq doigts au piano	+

Signes utilisés : + : amélioration apportée par l'IM ; - : aucun effet observé après un travail par IM.

## Annexe 4

Synthèse des travaux relatifs à l'effet de l'IM sur la performance motrice du sujet sain

[27]

## Annexe 5 : tableau récapitulatif des aires corticales activées pendant l'imagerie et le mouvement. [27]

**TABLEAU 2**

Synthèse des publications comparant les régions corticales activées lors de l'IM et l'exécution réelle. Plusieurs techniques de mesure sont présentées : la magnéto-encéphalographie (MEG), la tomographie d'émission mono-photonique (TEMP), la tomographie par émission de positrons (TEP), l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), l'électro-encéphalographie (EEG). Les résultats montrent une identité des structures activées pendant l'exécution du mouvement et sa représentation mentale (avec un effet relatif toutefois au niveau du cortex moteur primaire). C'est ce principe qui permet de poser l'hypothèse d'un effet positif de la pratique de l'IM sur la rééducation des fonctions motrices.

Méthode	travaux	tâche	régions corticales activées										
			Cp	PM	AMS	Cg	SM	M1	S1	Ps	Pi	Ce	NG
MEG	Lang <i>et al.</i> (1996)	Mvts des doigts							E+I				
	Schnitzler <i>et al.</i> (1997)	Mvts des doigts							E+I				
TEMP	Ingvar et Philipson (1977)	Mvt de main	I	E+I					E		E	E+I	
	Roland <i>et al.</i> (1980)	Opposition de doigts	E	E	E+I		E	E	E				
	Gelmers <i>et al.</i> (1981)	Opposition de doigts	I		E+I		E			E+I			
	Decety <i>et al.</i> (1988)	Écriture	E+I	E+I	E+I		E					E+I	
EEG	Naito et Matsumura (1994)	Mvts de doigts			E+I								
	Beitseiner <i>et al.</i> (1995)	Mvts de joystick					E+I						
	Cunnington <i>et al.</i> (1996)	Taper sur un clavier			E+I								
	Green <i>et al.</i> (1998)	Mvts de doigts		I	I				E				

Méthode	travaux	tâche	régions corticales activées										
			Cp	PM	AMS	Cg	SM	M1	S1	Ps	Pi	Ce	NG
IRMf	Rao <i>et al.</i> (1993)	Mvts de doigts		E+I	E+I				E	E			
	Sanes <i>et al.</i> (1994)	Dessiner un carré		E+I	E+I	E+I			E	E	E+I		
	Tyszka <i>et al.</i> (1994)	Opposition de doigts		E+I	E+I								
	Leonardo <i>et al.</i> (1995)	Opposition de doigts		E+I			E+I			E+I			
	Sabbah <i>et al.</i> (1995)	Mvts de doigts			E		E+I						
	Roth <i>et al.</i> (1996)	Opposition de doigts		E+I	E+I			E+I	E				
	Porro <i>et al.</i> (1996)	Opposition de doigts		E				E+I	E				
	Luft <i>et al.</i> (1998)	Opposition de doigts		E+I				E+I	E+I			E+I	E
	Lotze <i>et al.</i> (1999)	Mvt de main		E+I	E+I	E+I		E+I	E			E+I	
TEP	Stephan <i>et al.</i> (1995)	Mvts de joystick		E+I	E+I	E+I	E			E+I	E+I	E	
	Jueptner <i>et al.</i> (1997)	Mvts de joystick										E+I	
	Seitz <i>et al.</i> (1997)	Écriture		E	E	I		E	E	E+I	E+I	E	
	Deiber <i>et al.</i> (1998)	Mvts de doigts dirigés	I	E	E+I	E+I						E+I	E
		Mvts de doigts libres	I	E+I	E+I	E+I		E				E+I	E
Naito <i>et al.</i> (2002)	Mvts du poignet			E+I	E+I		E+I				E+I		

Source : Abréviations utilisées : Mvts : mouvements ; E : exécution réelle ; I : imagerie motrice ; Cp : cortex préfrontal, PM : cortex prémoteur ; AMS : aire motrice supplémentaire ; Cg : cortex cingulaire ; SM : cortex sensorimoteur ; M1 : cortex moteur primaire ; S1 : cortex sensorimoteur primaire ; Ps : cortex pariétal supérieur ; Pi : cortex pariétal inférieur ; Ce : cervelet ; NG : noyaux gris centraux.

## Annexe 6

## Version française du MIQ-R

### Instructions

Ce questionnaire envisage deux façons de se représenter mentalement les mouvements. Elles sont utilisées par certaines personnes plus que d'autres et sont plus applicables à certains types de mouvements qu'à d'autres. La première est d'essayer de former une image visuelle ou une image du mouvement dans votre esprit. La seconde consiste à sentir la représentation d'un mouvement sans réellement l'effectuer. Dans ce questionnaire, il vous est demandé de réaliser l'une et l'autre de ces tâches mentalement pour une variété de mouvements et ensuite d'apprécier combien vous trouverez ces tâches faciles ou difficiles. Les estimations que vous donnez ne sont pas conçues pour évaluer la bonne ou la mauvaise qualité de la façon dont vous exécutez ces tâches mentales. Elles visent à mettre en évidence la capacité que les sujets manifestent pour se représenter ces tâches dans des mouvements différents. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises estimations ou d'estimations meilleures que d'autres.

Chacun des énoncés suivants décrit une action ou un mouvement particulier. Lisez chaque énoncé attentivement et exécutez ce mouvement tel qu'il est décrit. Exécutez ce mouvement une seule fois. Revenez à la position de départ du mouvement comme si vous alliez exécuter l'action une deuxième fois. Ensuite en fonction de ce qu'il vous est demandé de faire :

- Soit 1. Former une image mentale aussi claire et vive que possible du mouvement que vous venez d'exécuter,
- Soit 2. Essayer de vous sentir en train de réaliser le mouvement exécuté sans réellement le faire.

Après avoir accompli la tâche mentale exigée, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous avez été capable de l'effectuer. Portez votre estimation sur l'échelle en portant une croix dans la case correspondante. Soyez aussi exact que possible et prenez le temps qu'il vous est nécessaire pour arriver à l'estimation adéquate de chaque mouvement. Vous choisirez la même estimation pour chaque mouvement « visualisé » ou « senti » et il n'est pas nécessaire d'utiliser la totalité de la longueur de l'échelle.

Echelles d'évaluation :

### Échelle d'imagerie visuelle

Très difficile à visualiser	Difficile à visualiser	Assez difficile à visualiser	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à visualiser	Facile à visualiser	Très facile à visualiser

### Échelle d'imagerie kinesthésique

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

1. **Position de départ** : Debout, pieds joints, bras le long du corps.

**Action** : Montez votre genou aussi haut que possible afin de vous tenir sur une jambe. Le genou de la jambe levée doit être maintenu fléchi. Maintenant abaissez votre jambe jusqu'à ce que vous vous retrouviez en position pieds joints. Exécutez ces actions lentement.

**Tâche Mentale** : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

2. **Position de départ** : Debout, pieds légèrement écartés, bras le long du corps.

**Action** : Fléchissez complètement les jambes et sautez verticalement aussi haut que possible avec les deux bras étendus au dessus de votre tête. Réceptionnez vous pieds légèrement écartez en abaissant latéralement les bras le long du corps

**Tâche Mentale** : Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image visuelle aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

Très difficile à visualiser	Difficile à visualiser	Assez difficile à visualiser	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à visualiser	Facile à visualiser	Très facile à visualiser
-----------------------------	------------------------	------------------------------	---------------------------------	---------------------------	---------------------	--------------------------

3. **Position de départ** : Élevez latéralement (sur le côté) votre bras afin qu'il soit parallèle au sol, la paume vers le bas.

**Action** : Déplacez votre bras parallèlement au sol jusqu'à ce qu'il soit directement devant vous. Gardez votre bras tendu pendant le mouvement et faites le mouvement lentement.

**Tâche Mentale** : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

**4. Position de départ :** Debout, pieds légèrement écartés, et vos bras complètement étendus au-dessus de votre tête.

**Action :** Lentement, fléchissez le haut du corps vers l'avant au niveau de la taille et essayez de toucher vos orteils avec le bout de vos doigts (ou si possible, touchez le sol avec le bout de vos doigts ou vos mains). Maintenant revenez à la position de départ en vous redressant avec les bras tendus au-dessus de votre tête.

**Tâche Mentale :** Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à visualiser	Difficile à visualiser	Assez difficile à visualiser	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à visualiser	Facile à visualiser	Très facile à visualiser

**5. Position de départ :** Debout, pieds légèrement écartés, bras le long du corps.

**Action :** Fléchissez complètement les jambes et sautez verticalement aussi haut que possible avec les deux bras étendus au dessus de votre tête. Réceptionnez vous pieds légèrement écartez en abaissant latéralement les bras le long du corps

**Tâche Mentale :** Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

**6. Position de départ :** Debout, pieds joints, bras le long du corps.

**Action :** Montez votre genou aussi haut que possible afin de vous tenir sur une jambe. Le genou de la jambe levée doit être maintenue fléchi. Maintenant abaissez votre jambe jusqu'à ce que vous vous retrouviez en position pieds joints. Exécutez ces actions lentement.

**Tâche Mentale :** Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à visualiser	Difficile à visualiser	Assez difficile à visualiser	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à visualiser	Facile à visualiser	Très facile à visualiser



**7. Position de départ :** Debout, pieds légèrement écartés, et vos bras complètement étendus au-dessus de votre tête.

**Action :** Lentement, fléchissez le haut du corps vers l'avant au niveau de la taille et essayez de toucher vos orteils avec le bout de vos doigts (ou si possible, touchez le sol avec le bout de vos doigts ou vos mains). Maintenant revenez à la position de départ en vous redressant avec les bras tendus au-dessus de votre tête.

**Tâche Mentale :** Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

**8. Position de départ :** Elevez latéralement (sur le côté) votre bras afin qu'il soit parallèle au sol, la paume vers le bas.

**Action :** Déplacez votre bras parallèlement au sol jusqu'à ce qu'il soit directement devant vous. Gardez votre bras tendu pendant le mouvement et faites le mouvement lentement.

**Tâche Mentale :** Prenez la position de départ. Essayez de vous voir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter avec une image aussi claire et vive que possible. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à visualiser	Difficile à visualiser	Assez difficile à visualiser	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à visualiser	Facile à visualiser	Très facile à visualiser

### Questionnaire d'Imagerie Visuelle et Kinesthésique (KVIQ)

#### Procédures de passation

Le but de ce questionnaire est d'obtenir un indice de la capacité des individus à se représenter mentalement différents mouvements. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse. Ce questionnaire n'est pas auto-administré; il a été préparé pour être administré à des personnes à mobilité réduite et/ou présentant une incapacité physique. Tous les items sont évalués en position assise. Le questionnaire comprend une échelle visuelle et une échelle kinesthésique.

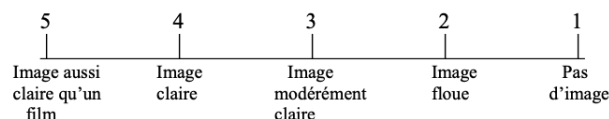
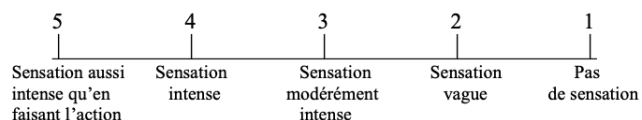
La version longue (KVIQ-20) comporte 20 items (10 mouvements pour chaque échelle) et la version courte comprend 10 items (5 mouvements pour chaque échelle). Pour chaque item, on procède suivant 4 étapes qui sont énoncées comme suit. Premièrement, vous devrez prendre une position de départ. En second lieu, on vous demandera d'effectuer un mouvement en position assise une seule fois, selon des consignes précises et tel que je vous le démontrerai (*répétez cette consigne aux sujets lors de la passation du questionnaire car les sujets ont tendance à exécuter les mouvements plus d'une fois*). Troisièmement, vous devrez reprendre la position de départ, mais cette fois-ci, vous devrez imaginer le mouvement que vous venez d'exécuter. Vous ne devez pas exécuter physiquement le mouvement lorsque vous l'imaginez (*répétez cette consigne au sujet lors de la passation du questionnaire si le sujet a tendance à bouger*). Finalement, on vous demandera de coter, sur une échelle de 1 à 5, soit la clarté visuelle de l'image que vous vous êtes formée (items V1 à V10) ou l'intensité de la sensation de cette même image (items K1 à K10).

L'échelle est présentée verbalement au participant et au besoin elle est présentée visuellement (personnes ayant des problèmes de communication). Utilisez les descripteurs et non pas les chiffres lorsque vous demandez aux participants de coter les mouvements imaginés. Le sujet doit imaginer suivant une perspective interne ou à la première personne (comme si c'était lui qui exécutait le mouvement). Pour vous en assurer demandez-lui de vous décrire ce qu'il voit lorsqu'il imagine. Par exemple pour l'item 4 (Flexion du coude), le sujet devrait décrire qu'il voit la paume de sa main. Si un doute persiste répétez ce type de question pour d'autres gestes.

Suivez l'ordre des items indiqué dans le questionnaire suivant la dominance du sujet. Par contre, lors de la description des mouvements aux participants, n'utilisez pas les mots «dominant» et «non-dominant», mais précisez plutôt le côté avec lequel ils doivent exécuter le mouvement «côté droit» ou «côté gauche» compte tenu de leur dominance. Respectez également l'ordre des items suivant la dominance pour les personnes présentant une incapacité physique. Précisez sur la feuille-réponse le côté évalué (D, G) et le côté affecté ou non-affecté.

Le questionnaire a été validé en commençant par l'échelle visuelle suivie de l'échelle kinesthésique (Malouin et al. 2007). Chez des personnes en santé, l'ordre de passation des échelles ne semble pas affecter la cotation (Résultats non publiés: Malouin et al.). Pour les personnes incapables de faire un mouvement en raison d'une incapacité physique, faites exécuter le mouvement avec le membre non-affecté, puis demandez d'imaginer le mouvement du côté affecté. Notez sur la feuille-réponse les items pour lesquels le mouvement a été exécuté du côté non-affecté puis imaginé du côté affecté.

**NB.** Le questionnaire usuel évalue en alternance le côté dominant et non-dominant. Cependant, si vous souhaitez comparer les deux côtés les items correspondant aux mouvements des membres supérieurs et inférieurs (échelle visuelle: 3V, 4V, V5 et 7V, 8V, 9V, 10V et échelle kinesthésique 3K, 4K, 5K et 7K, 8K, 9K, 10K) voici comment procéder. Faites passer les items #3, #4, #5 tel qu'indiqué au questionnaire puis après l'item #5 répétez les mouvements des items #3, #4, #5 de l'autre côté; de la même façon, après les items #7, #8, #9, #10, répétez-les de l'autre côté. Cette procédure est utilisée pour éviter de répéter 2 fois de suite le même mouvement.

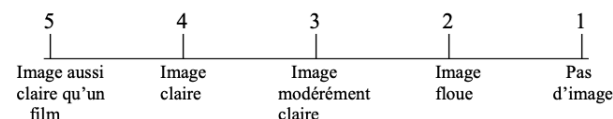
**Échelle d'imagerie visuelle****Échelle d'imagerie kinesthésique**

<u>KVIQ-20</u>	<u>Mouvements</u>	<u>KVIQ-10</u>
1V	1K Flexion/extension de la tête	
2V	2K Haussement des épaules	
3Vnd	3Knd Élévation du bras à la verticale	<b>3Vnd 3Knd</b>
4Vd	4Kd Flexion du coude	
5Vd	5Kd Opposition pouce-doigts	<b>5Vd 5Kd</b>
<i>*Répétez les gestes #3, #4, #5 du côté opposé*</i>		
6V	6K Flexion antérieure du tronc	<b>6V 6K</b>
7Vnd	7Knd Extension du genou	
8Vd	8Kd Abduction de la jambe	<b>8Vd 8Kd</b>
9Vnd	9Knd Taper du pied	<b>9Vnd 9Knd</b>
10Vd	10Kd Rotation externe du pied	
<i>*Répétez les mouvements #7, #8, #9, #10 du côté opposé*</i>		

d: dominant nd: non-dominant

\* Si évaluation bilatérale des gestes des membres

**Référence:** Malouin F, Richards CL, Jackson PL, Lafleur MF, Durand A, Doyon J. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for Assessing Motor Imagery in Persons with Physical Disabilities: A reliability and Construct Validity Study. Journal of Neurologic Physical Therapy 2007; 31:20-29.

**Échelle d'imagerie visuelle****Item 1V. Flexion/extension de la tête**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Inclinez votre tête le plus loin possible, d'abord vers l'avant, puis vers l'arrière.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez ce mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 2V. Haussement des épaules**

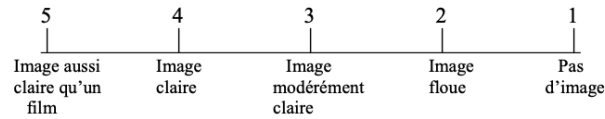
1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Tout en gardant les bras le long du corps, relevez vos deux épaules le plus haut possible sans bouger la tête.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez ce mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 3Vnd. Élévation du bras à la verticale**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Levez votre bras non-dominant (ex: le bras gauche si vous êtes droitier et vice-versa) vers le haut en le gardant tendu et devant vous jusqu'à ce qu'il soit à la verticale.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez ce mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 4Vd. Flexion du coude**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, le bras dominant tendu à l'horizontale vers l'avant, la main ouverte et la paume vers le haut.
2. Pliez votre coude de façon à venir toucher avec la main dominante votre épaule du même côté.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Échelle d'imagerie visuelle****Item 5Vd. Opposition pouce-doigts**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses, les paumes vers le haut.
2. Avec votre main dominante, ramenez chacun de vos doigts en contact avec votre pouce, un par un en commençant par l'index, au rythme de un mouvement par seconde.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez ce mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 6V. Flexion antérieure du tronc**

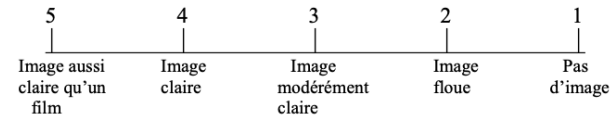
1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Inclinez votre corps le plus loin possible vers l'avant, puis redressez-vous.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez ce mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 7Vnd. Extension du genou**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Relevez votre avant-jambe du côté non-dominant le plus près possible de l'horizontale puis redescendez-la.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez ce mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 8Vd. Abduction de la jambe**

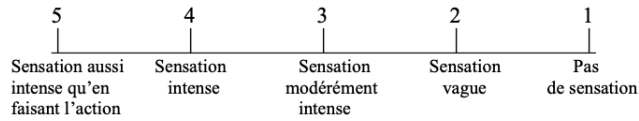
1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Déplacez le pied de votre côté dominant d'environ 30 centimètres (12 pouces) vers l'extérieur puis ramenez-le.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Échelle d'imagerie visuelle****Item 9Vnd. Taper du pied**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Avec votre jambe non-dominante, tapez du bout du pied trois fois au rythme de un mouvement par seconde tout en gardant le talon en contact avec le sol.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 10Vd. Rotation externe du pied**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Sans bouger le talon, déplacez le bout du pied de votre jambe dominante vers l'extérieur, le plus loin possible.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur la clarté de l'image.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Échelle d'imagerie kinesthésique****Item 1K. Flexion/extension de la tête**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Inclinez votre tête le plus loin possible, d'abord vers l'avant, puis vers l'arrière.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 2K. Haussement des épaules**

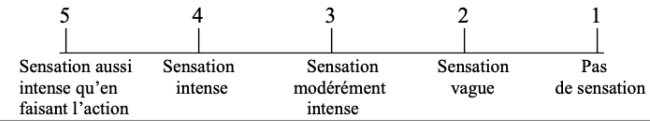
1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Tout en gardant les bras le long du corps, relevez vos deux épaules le plus haut possible sans bouger la tête.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 3Knd. Élévation du bras à la verticale**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Levez votre bras non-dominant (ex: le bras gauche si vous êtes droitier et vice-versa) vers le haut en le gardant tendu et devant vous jusqu'à ce qu'il soit à la verticale.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 4Kd. Flexion du coude**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, le bras dominant tendu à l'horizontale vers l'avant, la main ouverte et la paume vers le haut.
2. Pliez votre coude de façon à venir toucher avec la main dominante votre épaule du même côté.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Échelle d'imagerie kinesthésique****Item 5Kd. Opposition pouce-doigts**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses, les paumes vers le haut.
2. Avec votre main dominante, ramenez chacun de vos doigts en contact avec votre pouce, un par un en commençant par l'index, au rythme de un mouvement par seconde.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 6K. Flexion antérieure du tronc**

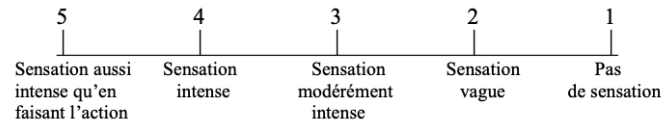
1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Inclinez votre corps le plus loin possible vers l'avant, puis redressez-vous.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 7Knd. Extension du genou**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Relevez votre avant-jambe du côté non-dominant le plus près possible de l'horizontale puis redescendez-la.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 8Kd. Abduction de la jambe**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Déplacez le pied de votre côté dominant d'environ 30 centimètres (12 pouces) vers l'extérieur puis ramenez-le.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Échelle d'imagerie kinesthésique****Item 9Knd. Taper du pied**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
2. Avec votre jambe non-dominante, tapez du bout du pied trois fois au rythme de un mouvement par seconde tout en gardant le talon en contact avec le sol.
3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.

**Item 10Kd. Rotation externe du pied**

1. Demeurez assis, la tête bien droite, les deux mains posées sur vos cuisses.
  2. Sans bouger le talon, déplacez le bout du pied de votre jambe dominante vers l'extérieur, le plus loin possible.
  3. Revenez à la position initiale. Maintenant, imaginez le mouvement. Concentrez-vous sur l'intensité de la sensation.
  4. Indiquez sur l'échelle suivante l'énoncé qualifiant le mieux le mouvement que vous venez de vous imaginer.
-

## Annexe 8

Tableau de synthèse des études exclues

Auteurs	Année	Titre	Motif d'exclusion
Mateo & al	2015	Motor imagery reinforces brain compensation of reach to grasp movement after cervical spinal cord injury.	<u>Type d'article :</u> Revue de littérature
Aikat et Dua	2016	Mental Imagery in Spinal Cord Injury: A Systematic Review.	
Opsommer et al	2019	Motor imagery for pain and motor function after spinal cord injury: a systematic review.	
Athanasidou et al	2018	Functionnal brain connectivity during multiple motor imagery tasks in spinal cord injury.	<u>Outcome :</u> Étude de l'activité corticale par imagerie (EEG, MEG, IRM) sans mesure de performance motrice
Lopez-Larraz et al	2012	Continuous decoding of motor attempt and motor imagery from EEG activity in SCI patients.	
Chen et al	2016	Functional preservation and reorganization of brain during motor imagery in patients with incomplete spinal cord injury: a pilot fMRI study.	
Di Rienzo et al	2014	Motor inhibition during motor imagery: a MEG study with a quadriplegic patient.	
Lacourse et al	1999	Cortical potentials during imagined movements in individuals with chronic spinal cord injury.	
Thomschewski et al	2017	Imagine there is no plegia. Mental motor imagery difficulties in patients with traumatic spinal cord injury.	<u>Outcome :</u> évaluation de la capacité d'imagerie motrice sans évaluation de performance motrice
Matéo et al	2018	Descriptive pilot study of vividness and temporal equivalence during motor imagery training after quadriplegia.	
Roosink et al	2016	Interactive virtual feedback improves gait motor imagery after spinal cord injury: An exploratory study.	

## Annexe 9

# Mesure de l'Indépendance Fonctionnelle (MIF)

Indépendance            7 : indépendance complète (appropriée aux circonstances et sans danger)  
                               6 : indépendance modifiée (appareil, adaptation)

Dépendance modifiée 5 : surveillance  
                               4 : aide minimale (autonomie = 75 % +)  
                               3 : aide moyenne (autonomie = 50 % +).

Dépendance complète 2 : aide maximale (autonomie = 25 % +)

Si un élément n'est pas vérifiable, cocher niveau 1.

	Entrée	Séjour	Sortie	Suivi
<b>Soins personnels</b>				
A Alimentation				
B Soins de l'apparence				
C Toilette				
D Habillage - partie supérieure				
E Habillage - partie inférieure				
F Utilisation des toilettes				
G Vessie				
H Intestins				
<b>Mobilité, transferts</b>				
I Lit, chaise, fauteuil roulant				
J W.C.				
K Baignoire, douche				
<b>Locomotion</b>				
L Marche	M	M	M	M
Fauteuil roulant	F	F	F	F
M Escaliers				
<b>Communication</b>				
N Compréhension	A	A	A	A
	Vi	Vi	Vi	Vi
O Expression	Ve	Ve	Ve	Ve
	N	N	N	N
<b>Conscience du monde extérieur</b>				
P Interactions sociales				
Q Résolution des problèmes				
R Mémoire				
<b>Total</b>				

**M** : marche    **F** : fauteuil roulant    **A** : auditive    **Vi** : visuelle    **Ve** : verbal    **N** : non verbal

Nom du patient : .....  
 Prénom : .....

Date de naissance : .... / .... / .....  
 Date de l'examen : .... / .... / .....



Nom du patient : ..... Date de naissance : .../.../.....  
 Prénom : ..... Date de l'examen : .../.../.....

## Annexe 10

# SCIM (Spinal Cord Independence Measure) Version III

	Dates		
	/ /	/ /	/ /
<b>SOINS PERSONNELS</b>			
<b>1. Alimentation (couper viande, ouvrir boîte, tenir gobelet plein, verser du liquide, porter les aliments à la bouche)</b>			
0- Nutrition parentérale, gastrotomie ou assistance totale pour alimentation orale			
1- Assistance partielle pour manger et/ou boire, ou pour Aliments coupés, assiette et couverts adaptés, incapable de tenir un gobelet			
2- Indépendant pour manger, besoin d'AT ou assistance seulement pour couper les aliments et/ou verser et/ou ouvrir boîte)			
3- Indépendant dans toutes les tâches sans assistance ou AT			
<b>2. Toilette (utiliser le savon, manipuler les robinets, se laver, se sécher le corps et la tête)</b>			
<b>A. Partie supérieure du corps</b>			
0- Assistance totale			
1- Assistance partielle			
2- Indépendant avec AT ou installation spéciale			
3- Indépendant sans AT ni installation spéciale			
<b>B. Partie inférieure du corps</b>			
0- Assistance totale			
1- Assistance partielle			
2- Indépendant avec AT ou installation spéciale			
3- Indépendant sans AT ni installation spéciale			
<b>3. Habillage (préparation des habits, habillage, déshabillage, chaussage, mise en place des orthèses permanentes)</b>			
<b>A. Partie supérieure du corps</b>			
0- Assistance totale			
1- Assistance partielle pour avec les vêtements sans boutons, fermetures éclair ou lacets ( <b>vsbfl</b> )			
2- Indépendant pour <b>vsbfl</b> ; besoin AT e/ ou installation spéciale			
3- Indépendant pour <b>vsbfl</b> ; pas besoin AT e/ ou installation spéciale sauf pour <b>bfl</b>			
4- Indépendant (pour tout type de vêtement) sans AT e/ ou installation spéciale			
<b>B. Partie inférieure du corps</b>			
0- Assistance totale			
1- Assistance partielle pour avec les vêtements sans boutons, fermetures éclair ou lacets ( <b>vsbfl</b> )			
2- Indépendant pour <b>vsbfl</b> ; besoin AT e/ ou installation spéciale			
3- Indépendant pour <b>vsbfl</b> ; pas besoin AT e/ ou installation spéciale sauf pour <b>bfl</b>			
4- Indépendant (pour tout type de vêtement) sans AT e/ ou installation spéciale			

<b>4. Soins d'apparence (se laver les mains et le visage, se coiffer, brossage des dents, rasage, maquillage)</b>			
0- Assistance totale			
1- Assistance partielle			
2- Indépendant avec AT			
3- Indépendant sans AT			
<b>Sous total (0-20)</b>			
<b>RESPIRATION ET CONTROLE SPHINCTERIEEN</b>			
<b>5. Respiration</b>			
0- Sonde trachéale (ST) et ventilation assistée (VA) permanente ou intermittente			
2- Respire spontanément avec ST; besoin oxygène, assistance pour tousser et soins trachéaux			
4- Respire spontanément avec ST + peu d'assistance pour tousser ou soins trachéaux			
6- Respire spontanément sans ST + besoin d'oxygène et soins importants pour tousser, un masque ou VA			
8- Respire sans ST; besoin d'un peu d'assistance mécanique pour tousser			
10- Respiration normale sans aide ou AT			
<b>6. Contrôle vésico-sphinctérien - Vessie</b>			
0- Sonde urinaire à demeure			
3- Résidu post mictionnel (RPM) > 100 cc, pas de sonde, pas de SI			
6- RPM <100 cc, ou auto sondages intermittents, aide nécessaire pour vidange vésicale			
9- Auto sondages intermittents < 100 cc, utilise une AT pour vidange vésicale sans assistance			
11- Auto sondages intermittents, continent entre les sondages, sans AT			
13- RPM < 100 cc, vidange vésicale externe uniquement sans aide			
15- RPM < 100 cc, totalement continent sans vidange vésicale			
<b>7. Contrôle sphincter anal</b>			
0- Evacuation des selles inappropriées, ou irrégulières, ou fréquence < à 1x/3j			
5- Evacuation régulière et adaptée avec assistance (ex: mise du suppo), rares fuites (< 1x/mois)			
8- Evacuation régulière et adaptée sans assistance, rares fuites (< 1x/mois)			
10- Evacuation régulière sans assistance pas d'accidents			
<b>8. Utilisation des toilettes (hygiène périnéale, déshabillage, rhabillage, utilisation de couches ou de serviettes périodiques)</b>			
0- Besoin d'assistance totale			
1- Assistance partielle; ne peut se laver seul			
2- Assistance partielle, peut se laver seul			
4- Indépendant dans toutes les tâches, nécessite AT ou installation spéciale			
5- Indépendant sans AT ni installation spéciale			
<b>Sous total (0-40)</b>			

<b>MOBILITE (Chambre et Toilettes)</b>			
<b>9. Mobilité dans le lit et prévention des points d'appui</b>			
0- Besoin d'assistance totale dans toutes les activités : tourner le haut et bas du corps dans le lit, s'asseoir, push-up en fauteuil, avec ou sans AT, mais sans aides électriques			
2- Peut accomplir une de ces activités sans aide			
4- Peut accomplir deux ou trois activités sans aide			
6- totalement indépendant pour toutes les activités de mobilité dans le lit et prévention des points d'appui			
<b>10. Transferts lit-FR (bloquer le fauteuil, soulever les appuis-pieds, enlever et ajuster les repose-bras, transfert, lever les pieds)</b>			
0- Besoin d'assistance totale			
1- Besoin d'assistance partielle et/ou surveillance et/ou AT (ex: planche de transfert)			
2- Indépendant (ou n'a pas besoin de FR)			
<b>11. Transferts FR-WC (bloquer le fauteuil, soulever les appuis-pieds, enlever et ajuster les repose-bras, transfert, lever les pieds)</b>			
0- Besoin d'assistance totale			
1- Besoin assistance partielle et/ou surveillance ou aménagement (ex: barre d'appui)			
2- Indépendant (ou n'a pas besoin de FR)			
<b>DEPLACEMENTS (à l'intérieur et à l'extérieur, sur surfaces planes)</b>			
<b>12. Déplacements à l'intérieur (courtes distances)</b>			
0- Assistance totale			
1- A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM			
2- Se déplace seul avec un FRM			
3- Surveillance pour la marche (avec ou sans AT)			
4- Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing)			
5- Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque)			
6- Marche avec 1 canne simple			
7- Utilise seulement une orthèse			
8- Marche sans AT			
<b>13. Déplacements sur distances moyennes (10 - 100 m)</b>			
0- Assistance totale			
1- A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM			
2- Se déplace seul avec un FRM			
3- Surveillance pour la marche (avec ou sans AT)			
4- Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing)			
5- Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque)			
6- Marche avec 1 canne simple			
7- Utilise seulement une orthèse			
8- Marche sans AT			
<b>14. Déplacements à l'extérieur (&gt; 100 m)</b>			

0- Assistance totale			
1- A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM			
2- Se déplace seul avec un FRM			
3- Surveillance pour la marche (avec ou sans AT)			
4- Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing)			
5- Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque)			
6- Marche avec 1 canne simple			
7- Utilise seulement une orthèse			
8- Marche sans AT			
<b>15. Escaliers</b>			
0- Incapable de monter ou descendre des escaliers			
1- monte et descend au moins 3 marches avec aide ou surveillance d'un tiers			
2- monte et descend au moins 3 marches avec appui d'une rampe et / ou canne			
3- monte et descend au moins 3 marches sans aucun appui ni surveillance			
<b>16. Transferts FR - voiture (accéder à la voiture, bloquer le FR, enlever les appuis-pieds et repose-bras, transfert FR-Voiture, mettre/sortir le FR)</b>			
0- besoin d'assistance totale			
1- besoin d'assistance partielle et / ou surveillance et / ou aide technique			
2- indépendant sans aide technique			
<b>17. Transferts FR – sol</b>			
0- besoin d'assistance totale			
1- indépendant pour les transferts avec ou sans AT			
<b>Sous total (0-40)</b>			
<b>TOTAL (sur 100)</b>			

AT : aide technique / FRM : Fauteuil roulant manuel / FRE : Fauteuil roulant électrique / RPM : résidu post-mictionnel

## Annexe 11

Nom du patient : .....

Date de naissance : .... / .... / .....

Prénom : .....

Date de l'examen : .... / .... / .....

# Test de Tinetti

	SCORE
<b>Le patient est assis sur une chaise sans accoudoirs</b>	
<b>1. Equilibre assis sur la chaise</b>	
0 = se penche sur le côté, glisse de la chaise 1 = sûr, stable	
<b>On demande au patient de se lever, si possible sans s'appuyer sur les accoudoirs</b>	
<b>1. Se lever</b>	
0 = impossible sans aide 1 = possible, mais nécessite l'aide des bras 2 = possible sans les bras	
<b>2. Tentative de se lever</b>	
0 = impossible sans aide 1 = possible, mais plusieurs essais 2 = possible lors du premier essai	
<b>3. Equilibre immédiat debout (5 premières secondes)</b>	
0 = instable (chancelant, oscillant) 1 = sûr, mais nécessite une aide technique debout 2 = sûr sans aide technique	
<b>Test de provocation de l'équilibre en position debout :</b>	
<b>4. Equilibre lors de la tentative debout pieds joints</b>	
0 = instable 1 = stable, mais avec pieds largement écartés (plus de 10 cm) ou nécessite une aide technique 2 = pieds joints, stable	
<b>6. Poussées (sujets pieds joints, l'examineur le pousse légèrement sur le sternum à 3 reprises)</b>	
0 = commence à tomber 1 = chancelant, s'agrippe, et se stabilise 2 = stable	
<b>7. Yeux fermés</b>	
0 = instable 1 = stable	
<b>Le patient doit se retourner de 360°</b>	
<b>8. Pivotement de 360°</b>	
0 = pas discontinus 1 = pas continus	
<b>9. Pivotement de 360°</b>	
0 = instable (chancelant, s'agrippe) 1 = stable	

Nom du patient : .....

Date de naissance : .... / .... / .....

Prénom : .....

Date de l'examen : .... / .... / .....

<b>Le patient doit marcher au moins 3 mètres en avant, faire demi-tour et revenir à pas rapides vers la chaise. Il doit utiliser son aide technique habituelle (cane ou déambulateur)</b>	
<b>10. Initiation de la marche (immédiatement après le signal du départ)</b>	
0 = hésitations ou plusieurs essais pour partir 1 = aucune hésitation	
<b>11. Longueur du pas : le pied droit balance</b>	
0 = ne dépasse pas le pied gauche en appui 1 = dépasse le pied gauche en appui	
<b>12. Hauteur du pas : le pied droit balance</b>	
0 = le pied droit ne décolle pas complètement du sol 1 = le pied droit décolle complètement du sol	
<b>13. Longueur du pas : le pied gauche balance</b>	
0 = ne dépasse pas le pied droit en appui 1 = dépasse le pied droit en appui	
<b>14. Hauteur du pas : le pied gauche balance</b>	
0 = le pied gauche ne décolle pas complètement du sol 1 = le pied gauche décolle complètement du sol	
<b>15. Symétrie de la marche</b>	
0 = la longueur des pas droit et gauche semble inégale 1 = la longueur des pas droit et gauche semble identique	
<b>16. Continuité des pas</b>	
0 = arrêt ou discontinuité de la marche 1 = les pas paraissent continus	
<b>Ecartement du chemin (observé sur une distance de 3 m)</b>	
0 = déviation nette d'une ligne imaginaire 1 = légère déviation, ou utilisation d'une aide technique 2 = pas de déviation sans aide technique	
<b>Stabilité du tronc</b>	
0 = balancement net ou utilisation d'une aide technique 1 = pas de balancement, mais penché ou balancement des bras 2 = pas de balancement, pas de nécessité d'appui sur un objet	
<b>Largeur des pas</b>	
0 = polygone de marche élargi 1 = les pieds se touchent presque lors de la marche	
<b>Le patient doit s'asseoir sur la chaise :</b>	
<b>17. S'asseoir</b>	
0 = non sécuritaire, juge mal les distances, se laisse tomber sur la chaise 1 = utilise les bras ou n'a pas un mouvement régulier 2 = sécuritaire, mouvement régulier	
<b>SCORE MAXIMUM = 28 points</b>	

**Interprétation :**

**Total inférieur à 20 points :** Risque de chute très élevé

**Total entre 20-23 points :** Risque de chute élevé

**Total entre 24-27 points :** Risque de chute peu élevé, chercher une cause comme une inégalité de longueur des membres

**Total à 28 points :** Normal

## Échelle PEDro

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (*Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Résumé :

**Introduction :** l'imagerie motrice est la répétition mentale d'actions motrices sans production de mouvement. En activant certaines aires motrices liées à la motricité volontaire, elle joue un rôle dans l'amélioration de la performance. On peut dès lors percevoir l'intérêt d'une pratique permettant la stimulation cérébrale même dans un contexte où le mouvement est fatigable voire impossible. Son intérêt et son impact dans le domaine de la rééducation neurologique est de plus en plus étudié mais peu chez les blessés médullaires. L'objectif de cette revue est de faire un point de la littérature scientifique pour savoir si l'utilisation de l'imagerie motrice chez les blessés médullaires améliore leurs performances motrices et fonctionnelles.

**Méthodes :** quatre bases de données ont été interrogées entre septembre 2019 et janvier 2020, Pubmed, Pedro Cochrane et Kinedoc suivants les critères d'inclusion et d'exclusion établis. Les études expérimentales ont été sélectionnées puis analysées méthodologiquement avant d'en extraire les résultats.

**Résultats :** les 6 études sélectionnées présentent une grande hétérogénéité et le nombre de sujets reste faible. Les résultats retrouvés ne sont pas unanimes. Des résultats positifs sur les fonctions motrices ont été retrouvés dans 5 études, la dernière ne montrant aucun effet, et ces résultats n'entraînent pas d'amélioration des scores fonctionnels.

**Conclusion :** l'imagerie motrice est une technique qui se développe dans le domaine de la rééducation. Ses avantages sont nombreux et prometteurs mais il n'existe pas de cadre établi sur le protocole de mise en place. Des recherches doivent être faites dans ce sens pour améliorer sa reproductibilité afin que des études à plus large échelle puissent être menées.

**Mots clé :** blessés médullaires, imagerie motrice, performance motrice, amélioration fonctionnelle

Abstract :

**Introduction:** motor imagery is the mental rehearsal of movements without overt execution. By activating certain motor areas linked to voluntary motor skills, it plays a role in improving performance. We can therefore perceive the interest of a practice allowing cerebral stimulation even in a context where movement is tiring or even impossible. Its interest and its impact in the field of neurological rehabilitation is more and more studied but little in the spinal cord injury area. The objective of this review is to take stock of the scientific literature to find out whether the use of motor imagery in SCI patients improves their motor and functional performance.

**Methods:** four databases were queried between September 2019 and January 2020, Pubmed, Pedro Cochrane and Kinedoc following the inclusion and exclusion criteria established. The experimental studies were selected and then analyzed methodologically before extracting the results.

**Results:** the six studies selected show great heterogeneity and the number of subjects remains low. The results found are not unanimous. Positive results on motor functions have been found in five studies, the last showing no effect, and these results do not lead to an improvement in functional scores.

**Conclusion:** motor imagery is a technique that is developing in the field of rehabilitation. Its advantages are numerous and promising but there is no established framework on the implementation protocol. Research must be done in this direction to improve its reproducibility so that studies on a larger scale can be carried out

**Key words:** spinal cord injury, motor imagery, motor skills, functional improvement