



**Institut de Formation  
des Professions de Santé  
IFMK**



**La contrainte induite et ses effets sur la plasticité cérébrale  
des patients hémipariés en phase chronique**

*Revue de la littérature*

Mémoire réalisé dans le cadre de l'UE28

M<sup>lle</sup> Mathilde Perret-Gentil

Promotion 2017-2021

Directeur de mémoire : M. Christopher PLUSA



## Remerciements

Je souhaite remercier monsieur Christopher Plusa, directeur de ce mémoire, pour sa patience, ses conseils et son accompagnement pendant ce suivi.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'IFMK de Besançon ainsi que les intervenants, dont monsieur Thibaut Ferreux qui a pris de son temps pour répondre à mes questions.

Je tiens aussi à remercier mes tuteurs et tutrices de stage qui m'ont accompagné et m'ont transmis leurs savoirs.

J'aimerais également remercier ma famille et mes amis pour leurs soutiens inestimables et leurs encouragements tout au long de mes études et tout particulièrement durant la rédaction de ce mémoire.

## Glossaire :

**AVC** : Accident Vasculaire Cérébral

**CI** : Contrainte Induite

**EBP** : *Evidence Based Practice*

**EEG** : électroencéphalographie / électroencéphalogramme

**EMG** : électromyogramme

**FMA** : *Fugl-Meyer Assessment*

**HAS** : Haute Autorité de Santé

**iPS** : Période Silencieuse ipsilatérale

**IRM** : Imagerie par Résonance Magnétique

**IRMf** : Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle

**LI** : Indice de Latéralité

**MAL** : *Motor Activity Log / Journal d'activité motrice*

**MeSH** : *MEdical Subject Headings*

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**PEM** : potentiel évoqué moteur

**PICO** : Patient, Intervention, Comparateur, *Outcome = Critère de jugement*

**ROI** : région par intérêt

**SEP** : Sclérose En Plaque

**SCP** : potentiels corticaux lents liés au mouvement

**tDCS** : stimulation magnétique transcrânienne par courant direct

**TEMP** : Tomographie par émission monophonique

**TEP** : Tomographie par Emission de Positons

**TP** : *transfer package*

**WMFT** : *Wolf Motor Functiun Test*

## **Table des matières :**

<b>Remerciements</b> .....	
<b>Glossaire</b> :.....	
<b>1 Introduction générale</b> :.....	<b>1</b>
<b>2 Cadre conceptuel</b> : .....	<b>2</b>
2.1 Présentation succincte :.....	2
2.2 Accident Vasculaire Cérébral : .....	2
2.3 La plasticité cérébrale :.....	6
2.4 La prise en charge rééducative de l'hémiplégie :.....	8
2.5 La thérapie du mouvement par contrainte induite :.....	10
2.6 Processus de problématisation : .....	12
<b>3 Méthodologie</b> :.....	<b>13</b>
3.1 Définition des mots clefs : .....	13
3.2 Critères d'éligibilités des articles : .....	14
3.3 Recherches bibliographiques :.....	15
3.4 Sélection des données pertinentes :.....	17
3.5 Diagramme de flux :.....	18
<b>4 Résultats</b> :.....	<b>19</b>
4.1 Structure des études :.....	19
4.2 Résultats des scores moteurs :.....	22
4.3 Résultats des outils de neuroimagerie : .....	25
4.4 Corrélations des scores moteurs et des outils de neuroimagerie : .....	35
<b>5 Discussion</b> :.....	<b>37</b>
5.1 Synthèse des résultats : .....	37
5.2 Les limites de cette revue : .....	38
5.3 Les points forts de cette revue :.....	45
5.4 L'applicabilité clinique :.....	47
<b>6 Conclusion</b> :.....	<b>49</b>
<b>Bibliographie</b> : .....	
<b>Table des figures et des tableaux</b> : .....	
<b>Annexes</b> : .....	
<b>Résumé</b> : .....	



# 1 Introduction générale :

L'accident vasculaire cérébral (AVC) représente un problème de santé publique majeur puisqu'il s'agit de la première cause de handicap physique acquis de l'adulte en France (1), 40 à 60% des patients victimes d'AVC gardent des séquelles importantes (1). Le temps de récupération de ces séquelles est variable selon les individus, mais 80 à 95% d'entre eux garderont des séquelles et seront considérés comme des patients chroniques. Cette récupération fonctionnelle, dans la majorité des cas, a d'abord lieu au niveau des membres inférieurs, puisque la récupération de la fonctionnalité des membres supérieurs est traitée comme un objectif secondaire lors des premiers temps de la rééducation (2–4). Une récupération fonctionnelle tardive est possible. Ce phénomène est expliqué par les différents mécanismes de la plasticité cérébrale post lésionnelle (5,6).

Ainsi, pour un thérapeute prenant en charge un patient hémiparétique suite à un accident vasculaire cérébral en phase chronique, d'après les recommandations de la Haute autorité de santé (HAS) (2), différents choix thérapeutiques sont possibles. Néanmoins, aucune technique n'a démontré de preuve de supériorité. Cette revue a comme thématique la thérapie du mouvement par contrainte induite. Cependant, cette technique n'est notablement efficace que pour la phase chronique(2). Puisque la technique de contrainte induite repose sur des principes de plasticité cérébrale, il semble intéressant de se demander comment elle agit sur le cerveau lorsqu'elle est utilisée lors de cette phase.

Cette revue aura pour objectif de répondre à la problématique suivante : « Quels effets la contrainte induite a-t-elle sur la plasticité cérébrale chez le patient hémiparétique en phase chronique ? ».

Dans un premier temps, un état de l'art vous sera présenté avec comme objectif de poser un cadre à cette revue dans lequel différentes notions seront développées comme par exemple les notions d'accident vasculaire cérébral, de plasticité cérébrale, de prise en charge rééducative et de thérapie du mouvement par contrainte induite. Une partie intitulée méthodologie sera ensuite présentée comme guide méthodologique de cette revue. Une partie résultat fera un état des lieux des résultats des études sélectionnées lors de la partie méthodologie. La partie discussion vous sera ensuite présentée. Il y sera question des différentes limites et points forts de cette étude. Elle aura également pour objectif de répondre à cette problématique. Enfin, la conclusion vous amènera à la finalisation de cette revue, et apportera une ouverture sur l'applicabilité clinique de cette étude.

## **2 Cadre conceptuel :**

### **2.1 Présentation succincte :**

En deuxième année d'étude de masso-kinésithérapie, j'ai effectué un stage de six semaines au centre de rééducation « Les Salins de Bregille » à Besançon. Ce centre est spécialisé dans le domaine de la rééducation neurologique. J'ai eu l'opportunité de prendre en charge des patients atteints d'hémiplégie à la suite d'un accident vasculaire cérébral (AVC), dont une patiente atteinte d'une hémiparésie droite du membre supérieur. Cette patiente avait des difficultés en ce qui concerne la récupération de la fonction motrice de son membre parétique supérieur. Je me suis donc questionnée sur les possibilités de choix thérapeutiques que je pourrais utiliser pour faire progresser cette patiente.

Les recommandations de l'HAS (2) au sujet de la rééducation de l'AVC indiquent que de nombreuses techniques de rééducations ont fait leurs preuves. La diversité de ces techniques s'explique par les différents courants de pensée. Depuis quelques années certaines techniques se sont en effet développées avec une approche rééducative basée sur d'autres concepts de neurosciences telles que la thérapie miroir, l'utilisation de la réalité virtuelle ou encore la thérapie du mouvement par contrainte induite. Actuellement, aucune technique n'a pu démontrer une preuve de supériorité sur les autres (2). Ainsi, lorsque nous devons rééduquer un patient hémiplégique, un choix non exhaustif de techniques s'offre à nous.

Parmi ces différentes techniques, la thérapie par contrainte induite m'a interpellée. Cette technique a pour principe la récupération de la fonctionnalité du membre supérieur par une approche fonctionnelle et intensive basée sur une sursollicitation du membre atteint, avec pour résultat l'obtention d'une récupération motrice (2).

En dialoguant avec mon tuteur, j'ai appris que cette technique était utilisée dans ce centre. Son utilisation nécessite des impératifs, en particulier un temps important de prise en charge, ainsi qu'un accompagnement soutenu par le thérapeute. Son application est complexe. Cette technique a cependant démontré son efficacité en ce qui concerne la récupération du membre supérieur chez un patient hémiplégique en phase chronique.

### **2.2 Accident Vasculaire Cérébral :**

#### **2.2.1 Définition :**

D'après l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) : « *Un accident vasculaire cérébral (AVC) résulte de l'interruption de la circulation sanguine dans le cerveau, en général quand un vaisseau sanguin éclate ou est bloqué par un caillot. L'apport en oxygène et en nutriments est stoppé, ce qui endommage les tissus cérébraux* » (7).

La conséquence principale d'un AVC est une perte brutale de la fonction cérébrale atteinte, cette atteinte pouvant avoir comme origine une lésion artérielle ou veineuse (8).

Les trois principales origines d'un AVC sont (9) :

- Les ischémies cérébrales artérielles
- Les hémorragies cérébrales
- Les thromboses veineuses cérébrales

## 2.2.2 Epistémologie :

En France, selon les données de l'INSERM (10), chaque année, 140 000 nouveaux cas sont recensés. Un patient est victime d'un AVC toutes les 4 minutes. L'AVC peut survenir à n'importe quel âge, même si l'âge moyen est de 74 ans. Par ailleurs, le nombre d'AVC dans la population jeune a augmenté de façon significative : 25 % des patients qui en sont atteints ont moins de 65 ans et 10 % ont moins de 45 ans.

L'AVC est la première cause d'handicap physique acquis de l'adulte. D'après la fondation de la recherche sur l'AVC (1), 60 % des personnes atteintes gardent des séquelles neurologiques plus ou moins importantes. Ces séquelles peuvent être des troubles moteurs, sensitifs, visuels, et cognitifs. La dépression est également fréquente, 30 % des patients en sont affectés. Seulement un tiers des personnes reprennent une activité professionnelle.

## 2.2.3 Physiopathologie :

Selon le type d'AVC, la physiopathologie sera différente s'il s'agit un AVC constitué ou bien transitoire (2,8,9).

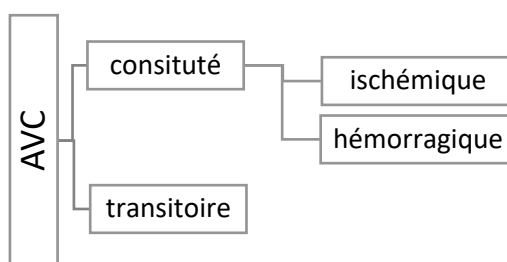


Figure 1 – Physiopathologie de l'AVC

La localisation de l'atteinte va avoir un impact direct sur le tableau clinique du patient hémiparétique. Selon le territoire et l'artère touchés, le tableau clinique est différent en ce qui concerne l'hémiparésie et les troubles associés (troubles praxiques, visuels, sensitifs ou cognitifs) (8).

D'autres troubles, tels que les troubles mnésiques, affectifs, ou de la personnalité, peuvent être présents, indépendamment de la localisation de la lésion (8).

	Artère cérébrale moyenne	Artère cérébrale antérieure	Artère cérébrale postérieure
Territoire superficiel	<b>Hémiplégie sensorimotrice brachiofaciale</b> Droite ou Gauche	<b>Hémiplégie sensitivomotrice membre inférieur</b>	<u>Séquelles visuelles</u> (HLH controlatérale, agnosie)
Territoire profond	<b>Hémiplégie proportionnelle massive motrice</b>		<u>Séquelles sensitives</u> (dysesthésie, douleur spontanée)

Figure 2 – Tableau récapitulatif du tableau clinique en fonction de la localisation de l'atteinte

Les troubles associés sont à prendre en compte lors de la rééducation, car ils peuvent compliquer certaines prises en charge. C'est le cas par exemple de la dépression (8).

## 2.2.4 Hémiplégie :

L'hémiplégie est l'atteinte d'un hémicorps controlatéral de l'hémisphère atteint (*Figure 2*).

C'est un trouble de la commande. Le syndrome pyramidal est l'élément principal retrouvé dans l'hémiplégie. Ce syndrome pyramidal comprend des troubles du tonus (phénomène de spasticité), une perte de force, des mouvements anormaux tels que la syncinésie ou encore une hyperréactivité des réflexes ostéotendineux (8,11).

Selon la latéralité de l'hémiplégie, les troubles associés à cette hémiplégie sont différents (*8*)(*Figure 3*).

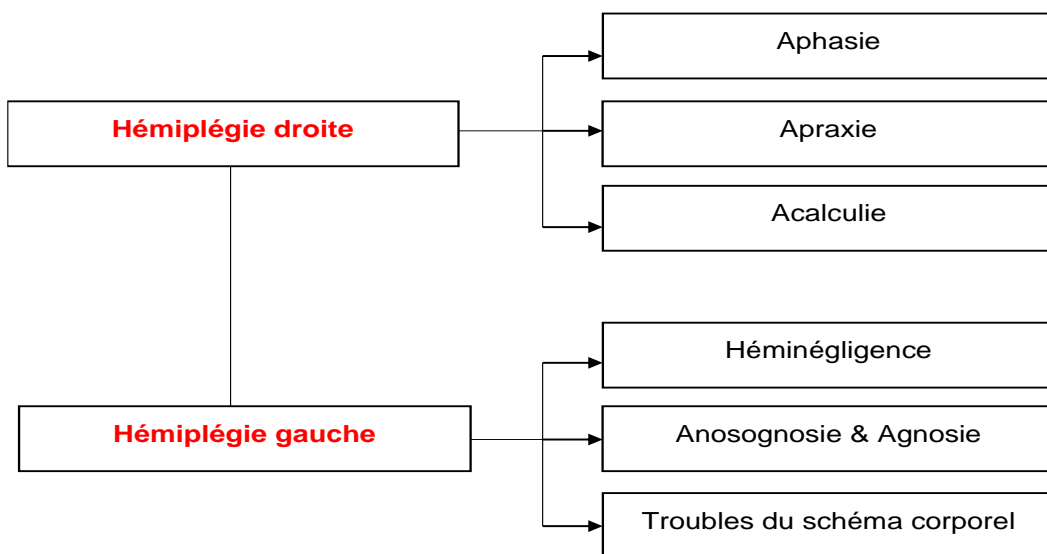


Figure 3 – Troubles associés

Jusqu'aux années 1950, l'hémisphère gauche a été considéré comme l'hémisphère dominant, et l'hémisphère droit comme l'hémisphère mineur. L'hémisphère droit joue pourtant un rôle prédominant sur notre compréhension individuelle et lors d'interactions avec notre environnement. Son rôle sur la fonction cognitive est considéré comme global, contrairement à l'hémisphère gauche qui a un rôle plus analytique (12).

En effet, les capacités cognitives entre l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche sont différentes.

- **L'hémisphère droit** permet d'analyser les stimuli perceptifs et linguistiques. Il permet de comprendre une conversation non verbale, des émotions ou encore le sarcasme (12).
- **L'hémisphère gauche** nous permet de communiquer en utilisant les différentes spécificités du langage, telles que les fonctions lexicales et linguistiques (12).

## 2.2.5 La récupération :

La classification de Rabadi, datant de 2011 (13), est la classification de référence pour décrire la chronologie de l'AVC :



Figure 4 – Classification de Rabadi

Cette chronologie est importante car elle permet de décrire les différentes étapes de la récupération ainsi que de la rééducation du patient hémiparétique (2).

Selon l'hémiparésie du patient, la récupération est différente, car cette récupération des capacités fonctionnelles du membre inférieur diffère de celle du membre supérieur. Parmi les patients hospitalisés à la suite d'un AVC, 65% ont une récupération au niveau des membres inférieurs alors que la récupération fonctionnelle du membre supérieur est, quant à elle, plus longue et plus complexe. Seulement 5 à 20% des patients en phase chronique ont une récupération fonctionnelle complète (2-4).

La capacité de récupération est inversement proportionnelle au temps : elle est maximale durant les trois premières semaines, puis elle se poursuit pendant les six premiers mois. Au-delà du sixième mois, une amélioration fonctionnelle peut néanmoins avoir lieu (9,14).

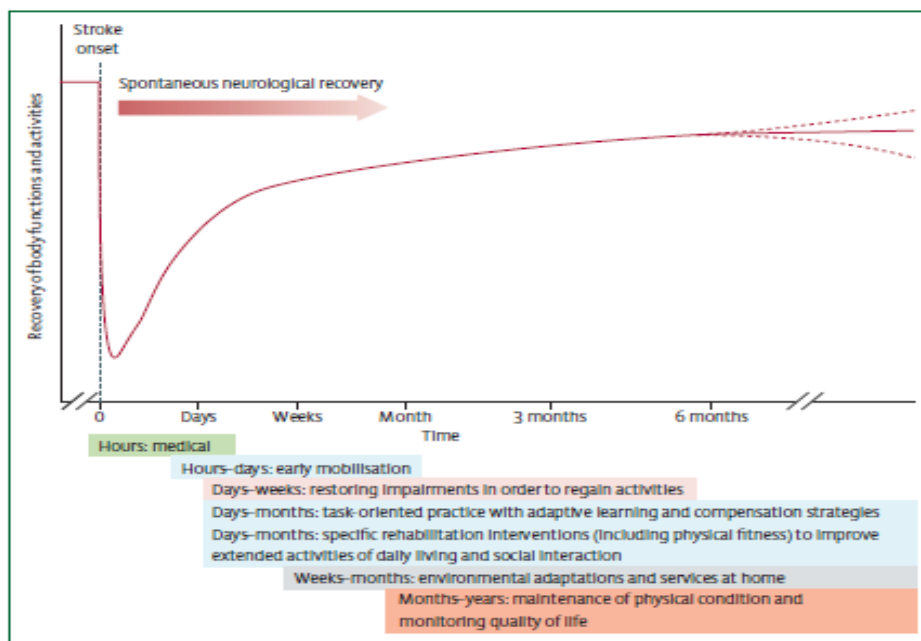


Figure 5 – Modèle hypothétique de récupération après un accident vasculaire cérébral avec calendrier des stratégies d'intervention issu de l'article de Langhorne (12)

Les mécanismes de récupération passent généralement par deux procédés. La récupération se fait tout d'abord spontanément, puis, passée cette première phase, des mécanismes plus complexes apparaissent. Ils sont expliqués en partie par le phénomène de la plasticité cérébrale (2).

## 2.3 La plasticité cérébrale :

### 2.3.1 Définition :

La plasticité est « *la capacité du cerveau à être influencé par l'expérience, à apprendre et se souvenir* », en lien avec les phénomènes d'apprentissages (5,6).

Lors d'un AVC, le cerveau subit une lésion cérébrale mettant en jeu la plasticité adaptative ou plasticité post-lésionnelle. La plasticité post-lésionnelle est « *la capacité du cerveau à se restructurer, à s'organiser après une lésion* » en utilisant son organisation structurale (histologique et anatomique) et son organisation fonctionnelle (5,6).

La constitution du cerveau est différente entre un adulte et un enfant. Alors que le cerveau adulte est, par définition, mature, celui de l'enfant est en cours de modelage. Cette différence a un impact sur le mécanisme de plasticité cérébrale en cas de lésion (6). Chez l'adulte, la plasticité cérébrale a pour objectif de ramener au maximum à la fonction cérébrale initiale, c'est-à-dire à la fonction cérébrale que le patient avait avant son AVC (6).

### 2.3.2 Mécanismes :

La plasticité cérébrale d'un cerveau adulte sain repose sur différents types de mécanismes, tels que le mécanisme moléculaire, le mécanisme cellulaire, ou encore le mécanisme synaptique (15).

Les mécanismes moléculaires et cellulaires sont issus de travaux en neurobiologie (16) et ont permis de mettre en avant deux notions (6,15) :

- La notion de **région cérébrale impliquée**, « *lorsqu'une aire cérébrale spécifique est perturbée, la conséquence est un déficit spécifique* » (6,15).
- La notion de **période critique** qui explique que « *chaque région cérébrale a un programme particulier de développement et[que] les capacités de plasticité en sont fortement dépendantes* » (6,15).

Le mécanisme synaptique a pour fonction d'induire les phénomènes d'apprentissage et de mémorisation au niveau neuronal. Il repose sur deux mécanismes qui se complètent (6,15).

- Le **mécanisme hebbien** : les synapses fonctionnent ensemble et elles se renforcent mutuellement. Elles fonctionnent en réseau ce qui permet leurs stabilisations. Cette stabilisation induit la mémorisation de l'évènement qui a provoqué l'activation de ce réseau.
- La **plasticité homéostatique**, s'applique lorsque les fonctions cérébrales tentent de faire revenir l'ensemble d'un réseau synaptique au point d'équilibre. Chaque synapse doit avoir le même niveau d'activité que les synapses de ce même réseau.

La plasticité post lésionnelle est influencée par différents facteurs (6,15,17) :

- **Les caractéristiques de la lésion** (localisation uni ou multi focale, son étendue)
- **La prédisposition génétique**
- **La rééducation**

- **Le stade de développement / l'âge du patient** : selon le principe de Kennard « *plus la lésion survient précocement plus il y a de chance que le cerveau s'adapte* »
- **Les facteurs socio-environnementaux et économiques**

La plasticité post lésionnelle est basée en partie sur le phénomène homéostatique. Elle a pour objectif de ramener les fonctions cérébrales du cerveau atteint à leurs états initiaux. Cette plasticité est influencée par le phénomène de période critique. Plus la période critique, c'est à-dire l'âge de l'individu, est éloignée, moins la plasticité engendrée est importante (6,15).

Cette plasticité peut être bénéfique ou au contraire néfaste car elle peut empêcher la récupération neurologique de se faire correctement (5). Lorsqu'elle est délétère, la perte neuronale au niveau de la lésion va provoquer un manque de neurones inhibiteurs. Cela va engendrer une suractivation de la fonction cérébrale. Cette hyperexcitabilité peut être un facteur prédisposant aux crises d'épilepsies, aux douleurs ou encore à l'apparition d'une spasticité (6,15,18).

Cette plasticité bénéfique nommée plasticité adaptative, agit pour permettre la réorganisation corticale et ainsi lutter contre la mise en place de cette plasticité inadaptée.

Deux principaux phénomènes résultent de cette plasticité inadaptée :

- Le phénomène **d'utilisation non acquise** : le patient utilise son membre non parétique de façon excessive, entraînant une négligence de l'utilisation, par le patient de son membre parétique (18).
- Le phénomène **d'inhibition inter-hémisphérique**. Chez un sujet sain, chacun des hémisphères cérébraux a une action inhibitrice sur l'autre. Cette inhibition est équilibrée. En cas de lésion, l'hémisphère qui a subi une lésion devient peu à peu inactif. L'hémisphère controlatéral qui est sain conserve son action inhibitrice sur l'hémisphère lésé. Cette inhibition accentue l'hypoactivité de l'hémisphère atteint, ce qui provoque l'aggravation du déficit de la fonction cérébrale. En effet, puisque l'hémisphère lésé ne conserve plus son action inhibitrice sur l'hémisphère opposé, celui-ci devient hyperexcitable, ce qui a pour conséquence une suractivation de la fonction cérébrale (16,18).

Ainsi, l'enjeu de la rééducation est de moduler la plasticité cérébrale pour qu'elle soit bénéfique pour le patient, grâce à une meilleure compréhension de ces mécanismes d'inadaptations (6,15).

### 2.3.3 Les outils de la neuroimagerie :

Les techniques de neuroimagerie ont pour but d'analyser les interactions cérébrales. Elles permettent de mettre en évidence le phénomène de plasticité cérébrale post lésionnelles (19).

Ils existent différents types d'outils de neuroimagerie.

- L'électroencéphalographie (EEG)
- La Tomographie par Emission de Positrons (TEP)
- L'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf)

**L'IRMf** est plus utilisée que la TEP car elle est non invasive. Son imagerie permet d'obtenir une meilleure résolution spatiotemporelle et elle possède une fine sensibilité des variations locales des flux sanguins (19). Les IRMf mettent en évidence la réorganisation cérébrale lors de la réalisation d'une tâche motrice de la main droite (Figure 6). Les aires corticales des patients atteints de SEP et d'AVC sont plus activées et étendues que celles des sujets sains (19,20).

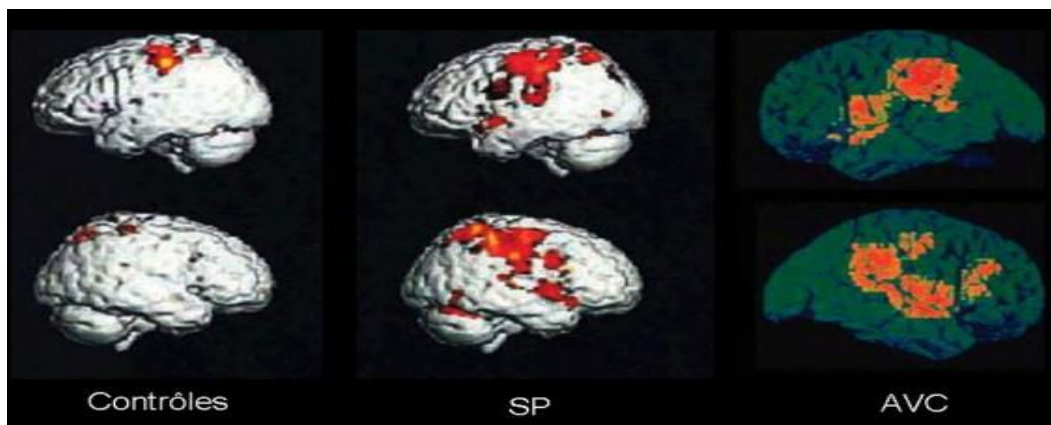


Figure 6 – La comparaison entre des patients atteints de sclérose en plaque (SEP) et d'AVC, et sujets sains dits contrôles. (19)

Il existe deux types d'IRMf, l'IRMf d'activation et l'IRMf de repos. L'IRMf d'activation est l'outil principal à être utilisé. Cet outil met en évidence la réorganisation cérébrale liée à la récupération motrice lors de l'exécution d'une tâche motrice. Il est utilisé en tant que facteur pronostic et il permet également de quantifier la réponse à une thérapie. L'évaluation d'une thérapie est mesurée par l'index d'asymétrie lors de l'activation cérébrale par la réalisation d'une tâche motrice (plus l'index est grand, plus la récupération est importante) ainsi que par le volume d'activation observé par l'IRMf (18).

Cet index se calcule de la façon suivante : (18)

$$LI = \frac{QLH - QRH}{QRH}$$

« QLH : représentant un nombre de voxels ou une intensité d'activation au niveau de l'hémisphère gauche

QRH : représentant un nombre de voxels ou une intensité d'activation au niveau de l'hémisphère droit, controlésionnel »

Ainsi l'index nous informe sur la zone de latéralisation d'une région cérébrale activée et sur l'hémisphère dominant lors la réalisation d'une tâche motrice (18).

## 2.4 La prise en charge rééducative de l'hémiplégie :

### 2.4.1 Les recommandations de la Haute Autorité de Santé :

Selon les recommandations de l'HAS de 2012, le but de la rééducation pour un patient hémiplégique est de récupérer les déficits moteurs tels que la mobilité des membres inférieurs et supérieurs, la station debout et l'équilibre, la marche, la préhension ainsi que la suppléance des fonctions lésées. Elle doit également permettre l'autonomisation du patient dans ses activités quotidiennes, professionnelles et sociales, à travers des exercices et de l'éducation, le tout encadré par le rééducateur (2).

## 2.4.2 Les principes de la rééducation :

L'**intensité** et la **répétitivité** des exercices de rééducation sont des facteurs importants pour la récupération des fonctions. Cependant, la recherche n'a actuellement pas identifié la posologie journalière qui engendrent une récupération efficace (2).

Selon les auteurs, certains principes de rééducation sont différents mais une **rééducation active** est à privilégier dès la phase initiale pour éviter que le membre hémiplegique ne soit pas en non-utilisation et pour permettre ainsi à la réorganisation des fonctions cérébrales d'avoir lieu le plus précocement possible (2,4).

L'objectif principal de la rééducation est le centrage sur des exercices **fonctionnels**, axé sur des **tâches orientées** permettant au patient de récupérer son autonomie dans ses activités de la vie quotidienne (4).

## 2.4.3 Les moyens de rééducation :

### 2.4.3.1 Les tests fonctionnels :

Pour évaluer la récupération fonctionnelle du membre supérieur d'un patient ayant été victime d'un AVC, les rééducateurs utilisent des tests fonctionnels. Ces tests permettent d'évaluer la fonction du membre supérieur, la préhension, la dextérité ainsi que l'autonomie du patient dans son environnement écologique (2).

Selon l'évaluation fonctionnelle de l'AVC par l'HAS de 2006 (21), les principaux tests utilisés sont :

- *L'Action Research Arm test (ARA)* (22)
- *Le Sødring Motor Evaluation of Stroke Patient (SMES)* (23)
- *Le Frenchay Arm Test* (24)

De nombreuses études, utilisent principalement le test de *Fugl-Meyer Assessment* (25).

### 2.4.3.2 Les techniques :

Les recommandations émises par l'HAS de 2012 (2), indiquent qu'aucune technique de rééducation du patient hémiplegique n'a montré de preuve de supériorité.

Ces dernières années, de nouveaux concepts se sont développés et traitent des différentes spécificités du patient hémiplegique. Ces techniques ont montré des preuves d'efficacité (2,26,27). L'utilisation de la marche sur tapis roulant avec suspension partielle du poids du corps (Lokomat®) (28) concerne la rééducation fonctionnelle des membres inférieurs. Concernant la rééducation du membre supérieur du patient hémiplegique, la rééducation par bras robotique (29) a montré des preuves d'efficacité en ce qui concerne la récupération des déficiences motrices. Certaines de ces techniques sont basées sur le principe de neuroplasticité telles que l'imagerie mentale (30), la réalité virtuelle (31), la thérapie miroir (32,33), ainsi que **la thérapie par contrainte induite** (26,34).

## 2.5 La thérapie du mouvement par contrainte induite :

### 2.5.1 Définition :

La thérapie du mouvement par contrainte induite est une technique de rééducation qui a pour but d'empêcher le patient hémiplegique d'utiliser son membre supérieur sain pour qu'il n'utilise que son membre hémiparétique (2,34–36).



Figure 7 — Illustration d'une séance de contrainte induite par des exercices de tâches orientées. La main non parétisée est contrainte dans un gant.(37)

### 2.5.2 Principe et théorie :

La technique de contrainte induite est issue de travaux réalisés par la scientifique SS. Tower en 1940 sur un primate avec une lésion pyramidale unilatérale provoquée. Elle y décrit pour la première fois, le phénomène de **non-utilisation acquise**. Le primate ne pouvant plus utiliser son membre lésé, il n'utilise que son membre sain, au détriment du membre paralysé. Elle observe également un phénomène de **réorganisation corticale** des fonctions du membre sain et décrit l'effet d'une contrainte physique qui empêche l'utilisation du membre sain. Le primate se sert de son membre lésé, ce qui engendre une amélioration de la fonction du membre supérieur lésé (37).

En 1989, le chercheur SL. Wolf évalue l'effet de cette contrainte. Il constate une amélioration significative de la fonction motrice du membre supérieur lésé (37,38). Cependant, c'est le chercheur E. Taub, qui décrit le premier protocole de la thérapie par contrainte induite en 1993 sur des patients hémiplegiques suite à un AVC (39).

En 2006, E. Taub explique également le phénomène de la **non-utilisation acquise**. La non-utilisation acquise est expliquée par la conséquence de la lésion neurologique qui fait que l'utilisation du membre lésé est plus difficile. Cette difficulté entraîne la répétitivité des échecs. Le patient n'utilise donc plus son membre lésé mais un mécanisme compensatoire, spécifique au membre supérieur sain (37,40).

La technique est également basée sur le **phénomène de réorganisation corticale**. Cette réorganisation implique un phénomène de plasticité cérébrale, en particulier sur le principe de **l'inhibition inter-hémisphérique**. Lorsque le membre supérieur sain est contraint, l'hémisphère controlatérale de la lésion a une action inhibitrice sur l'hémisphère lésé qui est restreinte. Tandis que l'hémisphère lésé est stimulé par l'utilisation du membre hémiplegique, les neurones péri-lésionnels sont activés et la réorganisation corticale est favorisée (36,39,41).

### 2.5.3 Application clinique :

#### 2.5.3.1 Protocoles :

Le protocole classique est décrit par E. Taub en 1993 (39). Cette méthode princeps est basée sur une immobilisation du membre sain lors des 90% du temps d'éveil, une rééducation intensive d'une durée de 6 h par jour du membre hémiparétique, et ce pendant une durée de 14 jours (2,36,39).

A cause des nombreuses contraintes imposées par ce protocole, des protocoles dit modifiés se sont développés (42,43). Il n'existe pas de protocole modifié spécifique. Chaque thérapeute décide individuellement de la façon dont il module les différents axes du protocole classique, comme par exemple le temps d'utilisation, mais le principe de l'utilisation de la technique reste le même.

La rééducation est faite par un rééducateur. Ce rééducateur peut être un masso-kinésithérapeute ou encore un ergothérapeute. La rééducation est axée sur l'intensité et la répétitivité de tâches fonctionnelles, inspirées de son environnement écologique (2,35,36,39,44). Il existe différents types de contention pour contraindre le membre supérieur sain. La principale contrainte est une écharpe du membre supérieur (2,36,41).

Les recommandations d'utilisation de cette technique sont un état psychologique favorable et l'absence de troubles cognitifs ainsi que la capacité motrice d'extension active des doigts ou d'extension du poignet (2,34,38,39).

Les limites de cette technique sont l'impact psychologique de cette thérapie, car elle confronte le patient à ses incapacités, et l'importance du temps quotidien que le rééducateur doit consacrer au patient (2,34,38).

#### 2.5.3.2 Evaluation clinique :

L'évaluation de l'effet de la thérapie par contrainte induite a été faite en 1989 par SL. Wolf. Celui-ci a créé une échelle pour évaluer cette efficacité : le *Wolf Motor Function Test* (WMFT) (45). Cette échelle évalue de nombreuses tâches manuelles. SL. Wolf conclue que l'efficacité de la technique est présente et perdure un an après la fin du traitement (37,38).

En 2006 puis en 2010, SL. Wolf réalise l'étude EXCITE (35,37,44). Cette étude est effectuée sur des patients hémiparétiques en phase aiguë, en phase subaiguë, et en phase chronique. L'efficacité de la technique des patients en phase aiguë n'a pas été démontrée. Par contre, une amélioration très significative de l'échelle WMF test est présente. Les conclusions de cette étude sont que la technique de contrainte induite est efficace durant deux ans chez les patients hémiparétiques en phase subaiguë et en phase chronique.

Les recommandations sur AVC de l'HAS de 2012 (2), indiquent une efficacité de cette technique, que ce soit à l'issue d'un protocole classique, ou à l'issue d'un protocole modifié. L'efficacité a un grade B chez les patients hémiparétiques en phase chronique. En ce qui concerne la phase subaiguë, l'efficacité n'a pas été encore démontrée. Selon l'HAS (2), l'utilisation de la technique chez des patients en phase aiguë aurait des effets délétères. Une revue cochrane datant de 2015 (34), soutient l'efficacité de l'utilisation de la thérapie par contrainte induite chez les patients hémiparétiques en phase chronique.

## 2.6 Processus de problématisation :

L'AVC est la première cause de handicap physique acquis chez l'adulte. En France, actuellement, une personne est atteinte toutes les quatre minutes. La probabilité d'être victime de cette maladie est indépendante de l'âge et du sexe. Parmi les personnes qui survivent à un AVC, 60% gardent des séquelles neurologiques. L'hémiplégie est la conséquence principale d'un déficit moteur. Selon la localisation de la lésion, les conséquences cliniques sont différentes (1,8,10).

Lorsque les troubles neurologiques surviennent, un processus de récupération a lieu. Mais il existe une différence de récupération des fonctionnalités entre membre inférieur et membre supérieur. Généralement, la récupération du membre supérieur plégique est beaucoup plus complexe et longue (2,3), d'où l'importance de se préoccuper précocement de sa rééducation. Cette récupération est liée à un phénomène de temporalité. L'essentiel de la récupération a lieu pendant les trois premiers mois. Ceci s'explique par des mécanismes décrits et des mécanismes spontanés. La récupération se poursuit jusqu'au sixième mois. Au-delà du sixième mois, des mécanismes plus tardifs et complexes se mettent en jeu (Cf. Figure 6). Ces mécanismes sont en partie décrits à travers le phénomène de plasticité cérébrale (2,4,9,14).

La plasticité cérébrale est « *la capacité du cerveau à être influencé par l'expérience* ». Elle nous permet d'apprendre et de nous souvenir. Il convient de la différencier de la plasticité post-lésionnelle qui intervient lorsque le cerveau subit une lésion cérébrale. Les mécanismes de plasticité cérébrale sont différents en fonction du caractère sain ou lésé du cerveau. Ces mécanismes sont également différents entre un cerveau d'adulte et un cerveau d'enfant. L'objectif principal de la plasticité post-lésionnelle chez un adulte est de récupérer les capacités fonctionnelles initiales.

Lorsqu'un masseur-kinésithérapeute rééduque un membre supérieur d'un patient hémiplégique, différentes techniques de rééducations lui sont proposées. Selon les recommandations de l'HAS de 2012 (2), aucune de ces techniques n'a démontré une preuve de supériorité. Ces dernières années, des nouvelles techniques se sont développées. Elles ont une approche plus fonctionnelle basée sur la récupération par la modulation de la plasticité post lésionnelle. La thérapie de mouvement par contrainte induite fait partie de ces techniques. (2,26,27,34,46). Son efficacité clinique est décrite par les recommandations de la HAS de 2012 (2) avec un niveau de preuve de grade B mais seulement pour les patients en phase chronique. Ces propos sont soutenus par une revue cochrane datant de 2015 (34).

Puisque son efficacité clinique n'a été démontrée que pour les patients en phase chronique et qu'en ce qui concerne les phases subaiguë et aiguë, aucun consensus n'existe et que d'après les recommandations de la HAS de 2012 (2), l'utilisation en phase aiguë serait même délétère, il paraît intéressant de mettre en évidence les effets de la contrainte induite sur le cerveau par des outils de neuroimagerie. Ces dernières années, les recherches en neurosciences se sont intéressées à la plasticité cérébrale (5,6,15). Les évolutions scientifiques ont permis de l'analyser, entre autres par l'imagerie et en particulier grâce à l'IRM fonctionnelle (19,20).

Ainsi, les points qui précèdent ayant été exprimés en guise de préambule, ce mémoire aura pour objectif de répondre à la problématique suivante :

**« Quels effets la contrainte induite a-t-elle sur la plasticité cérébrale chez le patient hémiplégique en phase chronique ? »**

### 3 Méthodologie :

#### 3.1 Définition des mots clefs :

A partir de la problématique établie, les mots clefs ont été identifiés à partir du modèle PICO :

- P (population) : patient hémiparalysé en phase chronique
- I (intervention) : la contrainte induite
- C (comparateur) : il n'y a pas de comparateur
- O : (critère de jugement) : la plasticité cérébrale

Quand cela était possible les mots clefs ont été déterminés en MeSH (*Medical Subject Headings*). Les mots clefs étant en français, j'ai procédé à leur traduction en anglais via le site web « *HeTop* ». En ce qui concerne les autres mots clefs qui ne sont pas des termes MeSH, ils ont été sélectionnés ainsi que leurs traductions à partir des revues de littératures utilisées dans la partie cadre conceptuel de cette revue.

Les mots clefs utilisés dans les équations de recherche sont résumés dans le tableau ci-dessous (*Tableau 1*). Le terme « patient hémiparalysé » a été modifié par « hémiparésie » puisqu'il s'agit d'un terme MeSH.

<b>PICO</b>	<b>Mots clefs</b>	<b>MeSH terme</b>	<b>Traduction anglaise</b>
<b>Population</b>	Hémiparésie	<i>Hemiplegia</i>	
	Phase chronique	Aucun	<i>Chronic stroke</i>
<b>Intervention</b>	Contrainte induite	Aucun	<i>Constraint-Induced</i>
			<i>Constraint-Induced Movement therapy</i>
			<i>CI therapy</i>
			<i>CIMT</i>
			<i>Constraint-induced therapy</i>
	<i>Constraint-therapy</i>		
<b>Critère de jugement</b>	Plasticité cérébrale	<i>Neural plasticity / Neural plasticities</i> <i>Neuronal plasticity / Neuronal plasticities</i> <i>Neuroplasticity</i> <i>Plasticity / Plasticities</i>	

Tableau 1 – Récapitulatif des mots clefs

Lors de l'équation de recherche, les mots clefs ont été associés grâce à des opérateurs booléens. Les termes synonymes ont été regroupés en utilisant l'opérateur « OR » tandis que les mots clefs issus du PICO « P » et « I » ont été regroupés via l'opérateur booléens « AND ». Seuls les mots clefs « P » et « I » ont été utilisés afin de rassembler un ensemble de résultats optimum en réduisant les silences.

### 3.2 Critères d'éligibilités des articles :

Pour sélectionner les articles les plus pertinents, des critères d'éligibilités ont été définis.

Le premier critère d'éligibilité est linguistique. Seuls les articles écrits en anglais et en français ont été jugés suffisamment pertinents car ce sont les seules langues maîtrisées. Ceux rédigés dans une autre langue ont été exclus.

Le second critère d'inclusion est la période de publication qui se limite aux articles publiés entre 2000 et 2020 car les recherches sur la contrainte induite ainsi que son effet sur la plasticité cérébrale ont débuté dans les années 2000 et se sont développées aux cours des années. Tous les articles publiés avant l'année 2000 ont été exclus.

Dans le cas de cette revue, la population incluse concerne les patients hémipariés à la suite d'un AVC, en phase chronique. La population âgée de 0 à 18 ans est exclue de cette revue bien que la technique de contrainte induite se soit fortement développée au sein de cette population ces dernières années. Le critère de jugement étant la plasticité cérébrale, la plasticité post lésionnelle diffère donc entre un adulte et un enfant. Les mécanismes étudiés sont ainsi différents puisque le cerveau d'un enfant est en phase de modelage jusqu'à l'âge de 18 ans contrairement à celui de l'adulte qui lui est déjà construit (6).

Les revues de littérature, les méta-analyses ainsi que les mémoires et les thèses ont été exclus puisqu'il s'agit ici d'une revue systématique. Les essais cliniques randomisés et non randomisés ont été, quant à eux, inclus à cause de leur qualité méthodologique élevée et de leur haut niveau de preuve. Certaines séries de cas ont été également incluses car elles ont une taille d'échantillon élevée et permettent d'apporter à cette revue plus de données pertinentes. Cependant, les études de cas ainsi que les séries de cas avec une faible taille d'échantillon ont été exclues en raison de leur faible qualité méthodologique, ainsi qu'en raison de la faible applicabilité de leurs résultats.

Le champ des interventions étudiées dans cette revue concerne toute rééducation par thérapie par contrainte induite, tous protocoles confondus. Dans certains essais cliniques, la thérapie par contrainte induite est couplée à de la stimulation magnétique transcrânienne (SMT). Ces essais ont été acceptés uniquement si la technique de contrainte induite était au centre de l'étude. Toute rééducation qui ne concerne pas principalement la contrainte induite ou qui la compare avec d'autres techniques de rééducations n'a donc pas été étudiée dans cette revue.

Le critère de jugement permettant l'inclusion des articles est l'évaluation de la plasticité cérébrale lors d'une rééducation par thérapie par contrainte induite. L'indicateur de suivis principal est l'utilisation de l'IRMf. D'autres indicateurs sont présents dans les études tels que les échelles liées à l'évaluation des scores moteurs ainsi que des indicateurs plus spécifiques à l'utilisation de la TMS. Les critères d'exclusions sont les articles ne traitant pas de la plasticité cérébrale.

Enfin, les articles ne comprenant pas l'intégralité du texte ou n'ayant pas été publiés ont été exclus.

Un tableau récapitulatif de critères d'éligibilité se trouve ci-dessous :

	<b>Critères d'inclusion</b>	<b>Critères d'exclusion</b>
<b>Langue</b>	Anglais & Français	Autres langues
<b>Date de publication</b>	De 2000 à 2020	<2000
<b>Population</b>	Patients adultes hémiplegiques suite à un AVC, en phase chronique	Patients âgés de 0 à 18ans
<b>Type d'étude</b>	Essais cliniques randomisés et non randomisés Série de cas avec fort échantillon	Revue systématique, méta-analyse, mémoire, thèse Etude de cas et série de cas avec faible échantillon
<b>Intervention</b>	Thérapie par contrainte induite tous protocoles confondus	Autres techniques de rééducation, CI comparée avec d'autres techniques de rééducation
<b>Critères de jugements</b>	L'évaluation de la CI sur la plasticité cérébrale.	Articles ne concernant pas la plasticité cérébrale.
<b>Autres</b>	Article en texte intégral	Article avec texte intégral non obtenu ou non publié

Tableau 2 - Récapitulatif des critères d'éligibilités

### 3.3 Recherches bibliographiques :

La veille documentaire de cette revue s'étend du 30 mars 2020 au 15 septembre 2020. A partir des mots clefs « P » et « I » définis, des équations de recherches ont été faites sur les différentes bases de données. L'utilisation de l'opérateur booléen « NOT » ainsi que le mot clef "child" ont été préférés à l'opérateur booléen « AND » pour le mot clef "adult" puisque « NOT » est plus fort que « AND ». Les bases de données questionnées proviennent du moteur de recherche **Medline** de **PubMed** ainsi que des bases de données **PEDro**, **Cochrane Library**, **Science direct** et **Google Scholar**.

L'équation de recherche saisie sur le moteur de recherche **MEDLINE** est la suivante :

```
((Hemiplegia[MeSH Terms]) OR (Hemiplegia[Title/Abstract]) AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (alladult[Filter]))) OR (Chronic stroke[Title/Abstract] AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (alladult[Filter]))) AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (alladult[Filter])) AND (((((((Constraint-Induced[Title/Abstract]) OR (Constraint-Induced Movement therapy[Title/Abstract]) OR (CI therapy[Title/Abstract]) OR (CIMT[Title/Abstract]) OR (Constraint-induced therapy[Title/Abstract]) OR (constraint-therapy[Title/Abstract]) AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (alladult[Filter])))) Filters: Clinical Trial, Randomized Controlled Trial, Adult: 19+ years, from 2000 – 2020.
```

Les filtres utilisés pour affiner la recherche sont : « *Clinical Trial, Randomized Controlled Trial, Adult : 19+ years, from 2000 – 2020* ». Suite à cette recherche, **63** résultats ont été obtenus.

Cette équation finale est le résultat d'addition de diverses équations de recherche tel qu'il est montré dans le tableau suivant *search strategy table* :

	<i>Equations de recherches</i>	<i>Résultats</i>
#1	(Hemiplegia[MeSH Terms]) OR (Hemiplegia[Title/Abstract]),,"Clinical Trial, Randomized Controlled Trial, Adult: 19+ years",,""Hemiplegia""[MeSH Terms] OR ""Hemiplegia""[Title/Abstract]"	683
#2	Chronic stroke[Title/Abstract],,"Clinical Trial, Randomized Controlled Trial, Adult: 19+ years",,""chronic stroke""[Title/Abstract]"	726
#3	#1 OR #2	1 344
#4	(((((Constraint-Induced[Title/Abstract]) OR (Constraint-Induced Movement therapy[Title/Abstract])) OR (CI therapy[Title/Abstract])) OR (CIMT[Title/Abstract])) OR (Constraint-induced therapy[Title/Abstract])) OR (constraint-therapy[Title/Abstract]),,"Clinical Trial, Randomized Controlled Trial, Adult: 19+ years",,""constraint induced""[Title/Abstract] OR ""constraint induced movement therapy""[Title/Abstract] OR ""ci therapy""[Title/Abstract] OR ""CIMT""[Title/Abstract] OR ""constraint induced therapy""[Title/Abstract] OR ""constraint-therapy""[Title/Abstract]"	406
#5	#3 AND #4	64
#6	<b>#5 + filtre de la période de publication de 2000 à 2020</b>	63

*Tableau – 3 Search Strategy Table*

L'équation de recherche a été saisie sur la base de données **PEDro** en tant que recherche avancée. Les mots clefs « "Constraint-Induced Movement therapy" "chronic stroke" » ont été notés dans la rubrique « *Abstract & Title* ». La « *method : clinical trial* » a été sélectionnée ainsi que la période de publication notée à partir de l'année 2000, **23** résultats ont été obtenus.

L'équation saisie sur **Cochrane Library** a été posée dans la rubrique recherche avancée : « "Constraint-induced movement therapy" AND "chronic stroke" NOT "child" ». Les mots clefs ont été entrés en tant que Tittle/Abstract. La période temporelle saisie s'étend de 2000 à 2020, **124** résultats ont été obtenus.

Pour ce qui est de **Science Direct**, une recherche avancée a également été faite en entrant les mots clefs dans la rubrique « *Title, abstract or author-specified keywords* » : « ("Constraint-induced movement therapy" OR "CIMT" OR "CI therapy" OR "Constraint therapy OR "constraint-induced") AND "chronic stroke" NOT "child" ». Puis, la période temporelle a été sélectionnée de 2000 à 2020 ainsi que la sélection « *Reasearch articles* », ce qui a permis d'obtenir **167** résultats.

Enfin, pour **Google Scholar**, l'équation de recherche enregistrée est la suivante : « "Constraint-Induced" "Constraint-Induced Movement therapy" "CI therapy" "CIMT" "Constraint-induced therapy" "constraint-therapy" "Hemiplegia" "chronic stroke adults" ». La période temporelle saisie est de 2000 à 2020. Les résultats obtenus sont au nombre de **54**.

Puis, suite aux résultats issus de l'équation de recherche, les articles ont été sélectionnés en se référant aux critères d'éligibilités des articles définis précédemment.

### 3.4 Sélection des données pertinentes :

Les références obtenues à l'issue des recherches sur les bases de données sont au nombre total de **431** dont :

- **63** : sur Medline
- **23** : sur PEDro
- **124** : sur Cochrane Library
- **167** : sur Science Direct
- **54** : sur Google Scholar

Puis, suite à la suppression des doublons, le nombre de références sélectionnées est de **350**. Après la lecture des titres et des résumés de ces références, **26** d'entre elles ont été sélectionnées, et **324** ont été exclues. Sur les 26 articles, seuls **19** ont été obtenus en textes intégraux. Enfin, après la lecture des textes intégraux obtenus, **7** références ont été incluses dans cette revue systématique et **12** références ont été exclues définitivement.

Cette démarche a été résumée dans le diagramme de flux issu des recommandations de l'échelle PRISMA (47).

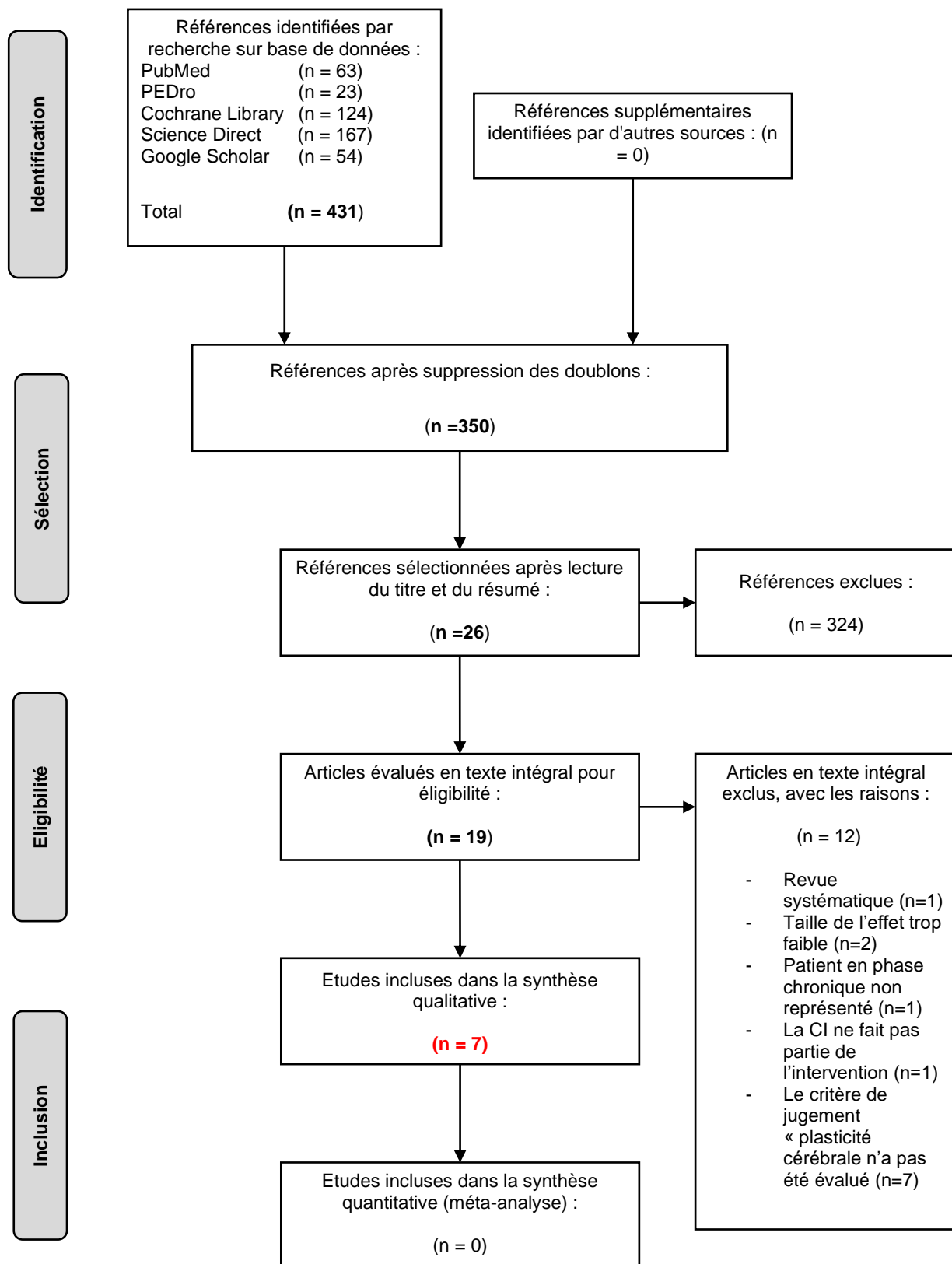
Les articles inclus sont : **3 essais cliniques randomisés**, **1 essai clinique non randomisé** et **3 séries de cas**.

Le tableau récapitulatif ci-dessous, illustre l'analyse des essais cliniques inclus pour cette étude et est présenté dans la partie (Annexe I). L'apparition des articles analysés dans cette grille est dans l'ordre croissant en fonction de leur date de publication.

De plus, une analyse spécifique de ces essais cliniques a été réalisée à partir de la grille PEDro française (48) présente dans la partie (Annexe II).

Articles (titre, auteur, date) Type d'étude	Objectifs de l'étude	Population	Méthodologie- protocole utilisé	Résultats	Grille de lecture utilisée / score	Intérêts pour le mémoire
--	----------------------------	------------	---------------------------------------	-----------	---	--------------------------------

### 3.5 Diagramme de flux :



## 4 Résultats :

Cette revue systématique a sélectionné trois essais cliniques randomisés de séries de cas, un essai clinique non randomisé, et trois séries de cas.

### 4.1 Structure des études :

#### 4.1.1 Population :

L'étendue de la taille des effets variait selon le type d'études. Les trois ECR ont une moyenne d'effectif de 30.67 sujets, les trois séries de cas ont une moyenne de douze sujets et l'essai non randomisé a une taille d'effet de douze sujets également.

Pour toutes les études, les sujets étaient atteints d'un AVC chronique. L'âge moyen de la population, lorsqu'il était renseigné, était de 55.52 ans et l'étendue s'étendait de 47 ans à 64.5 ans. Selon les études, la latéralité du sujet a été précisée, comme dans les articles de **Gauthier et al** (49), de **Rijntjes et al** (50) et de **Könönen et al de 2005** (51). Ainsi que la latéralité du membre parétique dans les articles de **Könönen et al de 2005** (51) grâce à l'IRM pré-intervention. **Gauthier et al** (49), **Rijntjes et al** (50) et **Sterr et al** (52) l'ont précisé également.

#### 4.1.2 Protocole / Intervention :

Les protocoles sont assez similaires. Dans chaque article, la contrainte induite était utilisée comme intervention principale puisqu'il s'agissait d'un critère d'éligibilité pour cette revue.

Selon la qualité méthodologique de l'article, les critères d'éligibilités pour la sélection de leur patient étaient mentionnés ou non. Les critères d'inclusions étaient similaires. Le sujet devait avoir une extension active des doigts et du poignet de 10° minimum, ne pas présenter de troubles de la communication, ni de maladies cardio-vasculaires. Les critères de non inclusion ont été en lien avec la contre-indication d'effectuer une IRM fonctionnelle, tels que la présence d'objets métalliques ou d'antécédents de troubles dépressifs, comme le mentionne **Sterr et al** (52). Le principal critère d'exclusion des études était l'incapacité du sujet de réaliser une IRM fonctionnelle, comme la claustrophobie, tel qu'il a été mentionné dans les articles de **Könönen et al de 2005** (51) et de **Gauthier et al** (49).

Les protocoles utilisés étaient spécifiés dans l'article de **Könönen et al de 2012** (53), dans l'article de **Tarkka et al** (54) et dans l'article **Rijntjes et al** (50). Ces trois études se sont servies du protocole décrit par Taub ou encore par Miltner. Les autres articles ont renseigné leurs méthodes utilisées sans mentionner les protocoles. La durée de l'intervention avait lieu en moyenne pendant une période de dix jours répartis sur une période de deux semaines. **Cunningham et al** (55) fait exception car sa période d'intervention a eu lieu pendant quinze jours répartis sur une période de cinq semaines. Dans chacune des interventions, le sujet devait réaliser des exercices qui ont été adaptés pour chaque individu avec une difficulté qui augmentait progressivement. Ces exercices avaient une visée fonctionnelle et étaient adaptés à l'environnement du patient dans ses activités quotidiennes. Le type de contention pour

restreindre le membre lésé ainsi que sa durée différaient selon les études. **Tarkka et al** (54) et **Könönen et al de 2012** (53) utilisaient un plâtre, tandis que **Rijntjes et al** (50) utilisaient une attelle placée pendant les 90% des heures de veilles tout comme **Gauthier et al** (49) qui immobilisaient pendant la même durée sans préciser le type de contention. **Cunningham et al** (55) utilisaient un gant et **Könönen et al de 2005** (51) un poids lesté pendant dix heures par jour.

Dans l'étude de **Sterr et al** (52), le protocole d'intervention différait par rapport à la mise en place de la contention ainsi qu'à sa durée. Les sujets ont été répartis en deux groupes. Cette répartition s'est faite de façon randomisée. Le groupe 1 a reçu l'intervention avec la mise en place d'une contrainte du membre non atteint et le groupe 2 a reçu l'intervention mais sans contrainte du membre non atteint. Puis une deuxième randomisation s'est déroulée dans les deux groupes avec ou sans contrainte. Deux sous-groupes devaient effectuer trois heures de thérapie par contrainte induite tandis que les deux autres devaient effectuer une heure et demie de thérapie.

L'étude de **Gauthier et al** (49) différait également par rapport aux autres études puisque la contrainte induite est utilisée comme intervention, mais un des deux groupes dont la répartition a été randomisée recevait, en complément, une technique dit *transfer package* pendant trente minutes. Le *transfer package* a pour but de faciliter l'amélioration des capacités physiques afin de favoriser l'adaptation aux activités quotidiennes et de trouver des solutions, à l'aide d'un thérapeute, pour surmonter les problèmes qui ont été difficiles à résoudre. La méthode d'application n'a pas été détaillée dans l'étude.

L'étude de **Rijntjes et al** (50) se sont servis de la stimulation magnétique transcrânienne (SMT) seulement dans un but de classer les sujets de l'étude dans les deux groupes. Ce classement a été basé sur l'intégralité de la voie pyramidale. Cette évaluation de l'intégralité de la voie pyramidale a été faite à partir des données des potentiels évoqués moteurs (PEM) et par un test de conduction du moteur central (CMC). La limite supérieure du test de CMC était de 8.5 ms. Les sujets qui présentaient un score inférieur de 8.5 ms au test de CMC avaient une voie pyramidale intacte et étaient attribués au groupe 1 tandis que les sujets qui avaient un score de CMC supérieur à 8.5 ms avaient une voie pyramidale atteinte et étaient attribués au groupe 2.

L'étude de **Cunningham et al** (55) a utilisé la SMT dans son protocole d'intervention. Une répartition randomisée des deux groupes a eu lieu. Le groupe numéro un recevait une dose de stimulation à courant continu appelé *Transcranial direct current stimulation* (tDCS), ce groupe était nommé comme étant le groupe tDCS+CI tandis que l'autre groupe recevait une stimulation fictive et était appelé groupe placebo+CI.

#### 4.1.3 Evaluation :

Pour chacune des études, que ce soit les séries de cas ou les essais cliniques, l'évaluation s'est déroulée avant et après l'intervention. L'étude de **Rijntjes et al** (50) a, quant à elle, réalisé une évaluation en trois temps, une avant traitement, et deux après traitements. Ces évaluations se sont déroulées le dernier jour de l'intervention, et une autre six mois après l'intervention.

Les indicateurs utilisés lors de l'évaluation de ces études se divisent en trois parties. Pour toutes les études, l'évaluation des scores moteurs a été faite soit par l'échelle de *Wolf motor function test* (WMFT) soit par l'échelle *Fugl-Meyer Assessment of sensorimotor recovery after stroke* (FMA). Certaines études ont également utilisé le journal d'activité motrice (MAL). Puis une évaluation spécifique par l'utilisation d'outils de neuroimagerie a été utilisée. Cette évaluation est réalisée par l'utilisation d'un électroencéphalogramme (EEG), d'une scintigraphie, d'une imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), ou d'un scanner. La stimulation magnétique transcrânienne est considérée comme un outil de neuroimagerie à part entière. Un tableau récapitulatif des études et des échelles ainsi que des indicateurs utilisés lors de l'évaluation est situé ci-dessous :

		Könönen et al 2005 (51)		Tarkka et al (54)		Gauthier et al (49)		Rijntjes, et al (50)		Könönen et al 2012 (53)		Sterr et al (52)		Cunningham et al (55)	
<b>Population</b>	Âge (x)	48		47		64.5		57.1						61	
	Taille de l'échantillon	12		13		49		12		11		31		12	
	D	G				41 8		11 1							
	hD	hG		5 6		20 29		8 4				16 15			
<b>Intervention</b>	Durée	10 J 6h/J		10 J 6h/J		10J 3h/J		2s 6h/J		10J 6h/J		10J Varient		15J en 5sem 2x30mins/J	
	Protocole	Taub		Taub				Taub		Taub					
	Contention	10h/jour				90% temps de veille		90% heure de veille				Spécifique au protocole			
		Poids lesté		Plâtre				Attelle		Plâtre				Gant	
	Particularités du protocole					Transfer package		Voie pyramidale intacte VS lésée				Contention VS Non contention		tDCS+CI VS placebo+CI	
<b>Evaluation</b>	Score moteurs	WMFT		WMFT		WMFT MAL		WMFT MAL		WMFT		WMFT MAL		WMFT	
	Outils de neuroimagerie	TEMP		EEG		IRMf		IRMf		IRMf		Scanner			
	TMS			SMT						SMT				SMT	

Tableau – 4 Tableau récapitulatif de la structure des études

## 4.2 Résultats des scores moteurs :

### 4.2.1 Wolf Motor Function Test :

La *Wolf motor function test* (WMFT) a pour but d'évaluer la capacité motrice du membre supérieur atteint à travers dix-sept items. Le patient doit réaliser différentes tâches fonctionnelles qui sont chronométrées. D'autres items évaluent la force ainsi que la qualité du mouvement. **Rijntjes et al** (50) et **Könönen et al de 2005** (51) spécifient les indicateurs d'évaluation du temps total (en seconde) et le score total de fonctionnalité du mouvement (score maximum possible de 80).

Les études de **Könönen et al de 2005** (51), de **Rijntjes et al** (50), de **Gauthier et al** (49), et de **Sterr et al** (52) évaluent la technique de contrainte induite en utilisant la WMFT. Toutes ces études, ont eu une amélioration significative de leur score moteur.

- L'étude de **Könönen et al de 2005** (51) a vu leur temps diminué de manière significative ( $p < 0.035$ ) ainsi qu'une amélioration significative du score moyen de fonctionnalité ( $p < 0.02$ ) et du score de qualités du mouvement ( $p < 0.02$ ). Les améliorations de ce test ont été corrélés de manière significative avec la fonctionnalité par le coefficient de Pearson (0.963  $p_0 = 0.001$ ) ainsi que par la qualité du geste par le coefficient de Pearson (0.951 avec  $p_0 = 0.001$ ).
- Dans l'étude de **Rijntjes et al** (50) pour ces deux groupes, (voies pyramidales intactes ou atteintes), une amélioration significative ( $p < 0.005$ ) du score de WMFT a eu lieu, mais aucune différence significative entre ces deux groupes n'a été montrée. Cependant, lors de l'évaluation à six mois post intervention, une amélioration significative pour le groupe 1 est restée stable dans le temps tandis que, pour le groupe 2, une détérioration du score a été montrée.
- L'étude de **Gauthier et al** (49) a montré pour les deux groupes, ceux avec et ceux sans *transfer package*, une amélioration significative du score ( $p < 0.012$ ). De plus, aucun effet d'interaction n'a été observé, ce qui indique que les deux thérapies sont aussi efficaces l'une que l'autre vis-à-vis du score de la WMFT. Cependant, une différence existe par rapport à la quantité d'utilisation du membre supérieur lors des activités quotidiennes en situation de vie. En effet, le groupe utilisant en plus le *transfer package* a eu une amélioration augmentée de l'utilisation du membre supérieur par rapport au groupe qui effectuait seulement la technique de contrainte induite.
- L'étude de **Sterr et al** (52) a également montré une amélioration significative de la WMFT : score moteur ( $p < 0.001$ ) ; durée du test ( $p = 0.001$ ). Cette amélioration était présente lorsque les deux groupes étaient testés séparément : avec contrainte (N = 14 : score moteur ( $p = 0,007$ ) ; durée du test ( $p = 0,001$ ) ; sans contrainte (N = 17 : score moteur ( $p = 0,11$ )). Cependant, dans le groupe sans contrainte, aucun effet sur la durée du test n'a été montré ( $p = 0,102$ ).

Les études de **Tarkka et al** (54) et de **Könönen et al de 2012** (53) évaluaient la technique de contrainte induite en utilisant également la WMFT mais ont eu la particularité d'utiliser la stimulation magnétique transcrânienne c'est pourquoi elles sont à différencier des autres études citées précédemment. Chacune de ces trois études a eu une amélioration significative sur l'échelle de la WMFT.

- L'étude de **Tarkka et al** (54) a également eu une diminution significative du temps de passation du test, passant de 3 minutes 55 secondes avant thérapie, à 2 minutes et 30 secondes après thérapie ( $p < 0.034$ ). Le score fonctionnel total a eu une amélioration significative de 14% ( $p < 0.002$ ) et le score de la qualité des mouvements aussi de 17% ( $p = 0.000$ ). L'effet de l'intervention par rapport à la taille de l'échantillon a été calculé en pourcentage selon le coefficient de Cohen. Le non-recouvrement variait entre 27 et 38 %.
- L'étude de **Könönen et al de 2012** (53) a également vu le temps moyen diminuer significativement ( $p = 0.013$ ), tandis que le score fonctionnel a augmenté de manière significative ( $p = 0.003$ ). D'après le résultat négatif de la corrélation de Spearman ( $\rho = 0.753$  avec un  $p = 0.008$ ), entre le résultat du score fonctionnel et la fonctionnalité du membre supérieur avant l'intervention, ce qui signifie que les sujets qui partaient avec une fonctionnalité minimale de leur membre supérieur parétique obtenaient une valeur supérieure au score de la WMFT par rapport aux sujets avec des capacités initiales élevées.

#### 4.2.2 Fugl-Meyer Assessment :

La Fugl-Meyer Assessment (FMA) est un index qui indique les incapacités des membres supérieurs et inférieurs spécifiques au patient atteint d'un AVC, basé sur un score de 100 points. Elle évalue la fonction motrice, la sensibilité, l'équilibre, l'amplitude articulaire, et la douleur. Lors de l'évaluation, si la tâche est accomplie complètement, le patient obtient deux points, partiellement accomplie, un point, et non accomplie, zéro point.

Cette échelle est utilisée dans l'article de **Cunningham et al** (55) mais seulement pour la partie concernant le membre supérieur (FMA) basée sur un total de 60 points. Un test de Wilcoxon a montré de manière significative qu'une amélioration a eu lieu dans le groupe tDCS+CI ( $p = 0,028$ ), tandis que le groupe placebo+CI n'a montré aucune amélioration significative ( $p = 0,102$ ). L'amélioration du groupe tDCS+CI a eu une ampleur d'effet modéré de  $d = 0.53$  (avec une ampleur d'effet du groupe placebo+CI de  $d = 0.25$ ).

#### 4.2.3 Journal d'activité motrice :

Le journal d'activité motrice (MAL) permet d'évaluer les performances de l'utilisation du membre supérieur dans les activités quotidiennes du patient de façon subjective. Le MAL se divise en deux échelles : le MAL-AOU qui évalue la quantité de l'utilisation du membre supérieur atteint et le MAL-QOM qui évalue la qualité du mouvement lors de la réalisation d'une tâche fonctionnelle perçue par le patient.

Les études de **Rijntjes et al** (50), de **Gauthier et al** (49) et de **Sterr et al** (52) évaluaient la technique de contrainte induite en utilisant le MAL. Toutes ces études ont globalement eu une amélioration significative du score du journal d'activité motrice.

- L'étude de **Rijntjes et al** (50) a montré, pour ces deux groupes, une amélioration significative ( $p < 0.001$ ) directe après la thérapie en phase 1 (après intervention). Lors de la deuxième phase (après six mois), aucun des deux groupes n'a montré d'améliorations significatives.

Lorsque les données avant l'intervention et après 6 mois ont été comparées, le groupe avec voie pyramidale intacte a toujours montré une amélioration pour tous les tests moteurs (WMFT et MAL, tandis que l'autre groupe n'a montré qu'une différence significative dans les tests d'auto-évaluations (MAL-QOM et MAL-AOU).

- L'étude de **Gauthier et al** (49) a indiqué que le groupe qui avait reçu la CI et le *transfer package* a montré une utilisation parétique beaucoup plus importante que pour le groupe de comparaison CI simple ( $p < 0.0001$ ). Une amélioration significative de l'utilisation du membre parétique dans les activités quotidiennes a également été montrée ( $p < 0.0001$ ;  $d = 2.34$ ) soit 2.88 fois supérieure à celle observée dans le groupe de thérapie par contrainte seule, même si ce groupe a également eu une amélioration significative par rapport au test MAL avant thérapie ( $p < 0.001$ ;  $d = 1.02$ ).
- L'étude de **Sterr et al** (52) a montré des améliorations significatives, après thérapies, pour tous les participants soit  $N = 31$ , pour le score du MAL-AOU ( $p < 0.001$ ) et le score du MAL-QOM5 ( $p < 0.001$ ). Lorsque les données des groupes ont été analysées séparément, les améliorations significatives ont également été montrées. Pour le groupe avec contrainte induite ( $N = 14$ ), le score MAL-AOU obtenait  $p = 0,003$  et le score MAL-QOM un  $p < 0,001$  et pour le groupe sans contrainte ( $N = 17$ ), le score du MAL-AOU obtenait un  $p < 0.001$  et le score de MAL-QOM,  $p < 0.001$ .

L'étude de **Cunningham et al** (55) évaluait la technique de contrainte induite en utilisant le MAL mais a aussi utilisé la stimulation magnétique transcrânienne.

- Aucune différence entre les deux groupes n'était présente en ce qui concerne les résultats des scores de base du MAL ( $p = 1$ ). Le groupe placebo+CI a montré une augmentation de la quantité d'utilisation perçue ( $p = 0,075$ ) et la qualité d'utilisation perçue de façon significative ( $p = 0,028$ ) avec une grande taille d'effet pour la quantité et la qualité (réciproquement de 1 et de 1.3). Le groupe tDCS+CI n'a pas montré de changement, mais il a démontré un effet modéré de 0.52 pour la quantité d'utilisation et de 0.61 pour la qualité d'utilisation.

Dans les autres études, **Tarkka et al** (54), **Könönen et al de 2005** (51) et **Könönen et al de 2012** (53) ne se sont pas servis du journal d'activité motrice (MAL) pour évaluer l'effet de la contrainte induite.

#### 4.2.4 Récapitulatif des résultats des scores moteurs :

Ainsi, les scores moteurs évalués par les échelles WMFT, FM et MAL ont montré, pour la quasi-totalité des articles, une amélioration significative après l'utilisation de la technique par contrainte induite.

Un tableau récapitulatif des résultats des scores moteurs est présenté ci-dessous :

Tableau 5 – Résultat des scores moteurs (Le symbole ↑ signifie une augmentation/amélioration et le symbole ↓ signifie une diminution)

	WMFT			FMA	MAL	
	Durée du test	Score fonctionnel	Qualité du mouvement	UM	QOM	AOU
<i>Könönen et al de 2005</i> (51)	↓ (p<0.035)	↑ (p<0.02)	↑ (p<0.02)			
<i>Rijntjes et al</i> (50)	Amélioration significative globale (p<0.005) du WMFT				Phase 1 : ↑(p<0.001) Phase 2 : ↓	
<i>Gauthier et al</i> (49)	Amélioration significative globale (p<0.012)				↑(p<0.001)	
<i>Sterr et al</i> (52)	↓ (p<0.001)	↑(p=0.001)			↑(p<0.001)	↑(p<0.001)
<b><u>Utilisation de la SMT :</u></b>						
<i>Tarkka et al</i> (54)	↓ (p<0.034)	↑ (p<0.002)	↑ (p=0.000)			
<i>Könönen et al de 2012</i> (53)	↓ (p<0.013)	↑ (p<0.003)				
<i>Cunningham et al</i> (55)				tDCS+CI ↑(p=0.028)	Placebo+CI ↑ (p=0.0075)	Placebo+CI ↑ (p=0.08=)

### 4.3 Résultats des outils de neuroimagerie :

Quatre types d'outils de neuroimagerie sont utilisés dans les études : l'EEG, la scintigraphie, l'IRMf et le scanner. L'étude de **Tarkka et al** (54) a utilisé l'EEG, **Könönen et al de 2005** (51) se sont servis de la scintigraphie, **Rijntjes et al** (50), **Könönen et al de 2012** (53) et **Gauthier et al** (49) ont utilisé l'IRMf et l'étude de **Sterr et al** (52) a utilisé le scanner.

A cause de la spécificité des outils de neuroimagerie, les indicateurs d'évaluations diffèrent selon les études. **Tarkka et al** (54), à l'aide de l'EEG, ont utilisés comme indicateur d'évaluation les potentiels corticaux lents liés au mouvement (SCP).

L'étude de **Könönen et al de 2005** (51) a utilisé la scintigraphie et a eu, comme indicateur d'évaluation, l'analyse de la perfusion cérébrale au repos et à l'activité.

Les autres études, qu'elles aient utilisé l'IRMf ou bien le scanner, se sont servies de différents indicateurs. Ces indicateurs sont retrouvés dans plusieurs études. Les études de **Gauthier et al** (49) et de **Sterr et al** (52) ont eu comme indicateur l'évaluation de la matière grise soit en évaluant sa quantité soit en évaluant son épaisseur.

A partir des changements de matière grise, les études de **Gauthier et al** (49) et **Sterr et al** (52) ont déterminé des régions d'intérêt (ROI), L'étude de **Könönen et al de 2012** (53) a également utilisé les ROI comme indicateur d'évaluation et s'en est servi pour déterminer l'indice de latéralité.

#### 4.3.1 L'électroencéphalogramme :

L'électroencéphalogramme (EEG) évalue l'activité électrique cérébrale et permet de décrire son fonctionnement. L'étude de **Tarkka et al** (54) l'a utilisé et eu, comme indicateur d'évaluation, le *movement related cortical potential (MRCP)* traduit en français comme étant les potentiels corticaux lents liés au mouvement (SCP).

L'étude de **Tarkka et al** (54) a enregistré les SCP par l'acquisition d'un EEG continue grâce à un filet de cent-vingt-huit électrodes placées sur le crâne des dix sujets. L'EEG a été enregistré d'abord sur la main non affectée puis sur la main affectée. Les sujets devaient réaliser une tâche motrice grossière de la main, pour que ce mouvement soit réalisable par tous. Les mouvements enregistrés étaient, en moyenne, au nombre de cent, à l'exception des mains spastiques qui étaient quant à eux, de soixante. L'EEG était déclenché par le début amplifié du pic enregistré par l'EMG dont les électrodes étaient placées sur le muscle fléchisseur du carpe du radius lors de l'exécution du mouvement. Pendant toute la séquence de l'enregistrement, les balayages étaient en continu et les signaux obtenus ont fait l'objet d'une moyenne. Les SCP de la main non lésée et de la main lésée ont été analysés séparément et les données, avant et après intervention, ont été comparées.

- Les SCP de la main non affectée n'ont montré aucune différence après l'intervention, que ce soit au niveau de l'amplitude, ou au niveau de la fréquence de l'amplitude de la crête.
- Les amplitudes de la crête n'ont pas changé après l'intervention dans l'hémisphère atteint. Mais un changement significatif ( $p=0.014$ ) a eu lieu en ce qui concerne la fréquence des pics d'amplitudes des SCP au niveau de la main parétique. En effet, un déplacement du pic de fréquence vers une fréquence plus basse a été montré. Le changement de la fréquence des SCP s'est davantage produit au niveau des zones frontales, au-dessus de l'espace moteur supplémentaire, plutôt qu'au niveau de celle de l'aire motrice principale.

#### 4.3.2 La tomographie par émission monophotonique :

La tomographie par émission monophotonique (TEMP) est une technique d'imagerie fonctionnelle. Cette technique se rapproche de la TEP (Tomographie par émission par positrons).

L'étude de **Könönen et al de 2005** (51) a réalisé une IRM structurelle avec une pondération de T1 pour localiser le site de la lésion. La lecture des imageries a été faite par un neurologue.

La TEMP a été utilisée pour montrer l'effet de la contrainte induite sur le cerveau. La prise d'imagerie a duré 25 minutes. Un produit de contraste a été injecté 45 minutes au préalable. Les images ont été réfléchies quand il le fallait, pour que chaque image

soit analysée de la même manière. Lors de la lecture de l'imagerie, l'hémisphère droit était considéré comme hémisphère lésionnel et l'hémisphère gauche comme hémisphère non lésionnel. Une fois le traitement des images effectué, une analyse statistique avec le test t de student a été réalisée pour permettre la comparaison de l'état de perfusion avant et après intervention. Une échelle proportionnelle a été utilisée, avec, comme moyenne globale, une valeur de 50mL/min. Le masquage des seuils était également proportionnel d'une valeur globale de 0.8. Cette valeur globale a été calculée comme une valeur moyenne de voxel. Seuls les voxels de 160mm<sup>3</sup> ont été considérés. A savoir que les tests statistiques voxel par voxel pouvaient conduire à la possibilité d'une signification faussement positive des voxels en raison du grand nombre de voxels dans un volume. Les analyses statistiques d'une valeur de p de moins de 0.005 et les groupes d'une valeur de p <0.001 ont été jugés comme résultat significatif.

- ➔ La perfusion cérébrale au repos a été modifiée dans les deux hémisphères (lésé et non lésé) après l'intervention de deux semaines par rapport à celle réalisée avant l'intervention.
- ➔ Des zones d'augmentation et de diminution de la perfusion ont été rencontrées lors de cette analyse.
- ➔ Dans l'hémisphère lésé :
  - Les zones spécifiques avec une augmentation de la perfusion étaient dans le gyrus précentral (zone 6 de Brodmann BA6 avec p<0.001) et dans le gyrus supérieur (BA10 avec p<0.001).
  - La perfusion au repos a diminué dans une zone cérébrale, au niveau du gyrus lingual (BA18, p<0.001) ;
- ➔ Dans l'hémisphère non lésé :
  - Les zones spécifiques avec une augmentation de la perfusion étaient dans le gyrus frontal supérieur (BA6 avec p<0.001) et dans le gyrus cingulé (BA31 avec p<0.001).
  - La perfusion au repos a diminué dans quatre zones cérébrales, au niveau du cortex frontal, plus particulièrement au niveau de deux zones dans le gyrus frontal central (BA8, p<0.001 et BA10, p<0.001).
- ➔ Dans le cervelet, une augmentation de la perfusion a eu lieu, quel que soit le côté de l'hémisphère lésé (p<0.001).

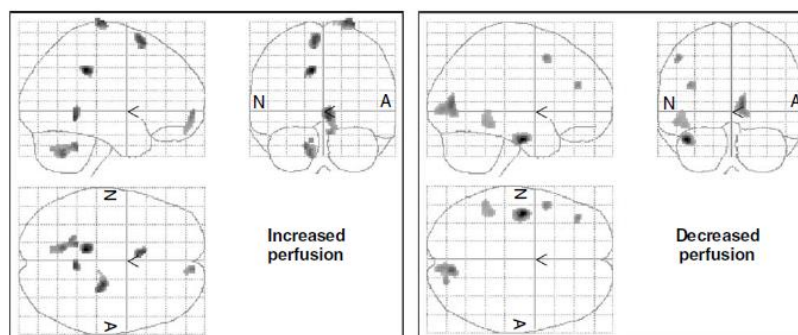


Figure 8 – Représentation des aires cérébrales avec une augmentation de la perfusion (à gauche) ou une diminution (à droite). (50)

### 4.3.3 L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle :

**L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)** a été utilisée dans les études de **Gauthier et al** (49), de **Rijntjes et al** (50) et de **Könönen et al de 2012** (53). Même si le principe restait le même, le protocole de la passation de l'IRMf était très spécifique.

L'étude de **Gauthier et al** (49) a enregistré des images en utilisant l'IRMf. Toutes les images ont été placées pour que le site de la lésion soit situé dans l'hémisphère placé à droite sur l'imagerie et que l'hémisphère situé à gauche soit considéré comme l'hémisphère non lésé. Douze sujets ont été exclus de l'étude pour éviter la confusion entre les données statistiques. Onze présentaient des lésions qui occupaient au moins 1% de la zone des cortex moteurs et sensoriels, et un sujet présentait un objet métallique dans le cortex moteur de l'hémisphère lésionnel.

À partir des imageries, une étude par morphométrie longitudinale en utilisant les voxels a été réalisée. Cette morphométrie avait pour but d'analyser les changements focaux de la matière grise parmi les différents groupes. Ces changements ont été identifiés par une analyse statistique voxel par voxel par un test t de student. Les changements plus diffus ont été quantifiés par des tests d'augmentation par une analyse statistique par grappe. À partir de ces deux types d'analyses statistiques des régions par intérêt (ROI) ont été définis puis analysés de façon séparée. Les régions d'intérêt comprenaient les régions bilatérales des cortex moteurs primaires, prémoteurs, supplémentaires de la zone motrice et des cortex sensoriels. Les sujets qui étaient atteints d'un infarctus dans ces zones étaient exclus.

Les analyses de la matière grise ont été faites seulement dans les régions qui ont connu une augmentation significative par rapport aux analyses intra-groupes faites précédemment. Ces analyses ont concerné le groupe sensorimoteur de l'hémisphère sain, le groupe sensorimoteur de l'hémisphère lésé, et les régions hippocampes bilatérales. Les régions hippocampes ont été intégrées lors des analyses de suivi. Les groupes de l'hémisphère lésé ont été analysés séparément à cause des différences de matière grise.

- Pour le groupe thérapie avec contrainte induite et *transfer package* :
  - Les changements analysés voxel par voxel ont montré une augmentation de la matière grise dans les aires motrices bilatéralement et symétriquement, ainsi que dans les cortex sensoriels et primaires, dans l'aire motrice antérieure supplémentaire et en partie dans la zone pré-motrice.  
Des changements individuels ont également eu lieu dans l'aire motrice antérieure supplémentaire contralatérale de l'hémisphère lésé ( $p=0.05$ ).
  - Les changements diffus, analysés, ont montré une augmentation significative et importante de la matière grise dans les zones motrices pour les hémisphères non atteints ( $p=0.002$ ) et pour les hémisphères atteints ( $p=0.023$ ) ainsi que dans les hippocampes contralatéraux ( $p=0.005$ ) et ipsilatéraux ( $p=0.033$ ).
- Pour le groupe de thérapie de comparaison (CI seule) :
  - Ce groupe ne présentait pas d'augmentation de la matière grise par rapport à l'autre groupe.
- La variation totale de la matière grise pour le groupe *transfer package* dans chaque région d'intérêt a montré que l'augmentation de la matière grise après intervention par rapport à avant l'intervention a été davantage importante

dans le groupe sensorimoteur ( $p=0.041$ ) et dans l'hippocampe ( $p=0.006$ ) ipsilatéraux et pour le groupe controlatéral ( $p=0.087$ ).

- L'utilisation en supplément du *transfer package* a montré une augmentation nettement supérieure par rapport à l'utilisation de la technique de contrainte induite classique.
- A savoir que les augmentations de la matière grise dans ces zones du cerveau n'ont pas eu de corrélation significative avec l'âge, l'ampleur de l'infarctus ou son implication corticale.

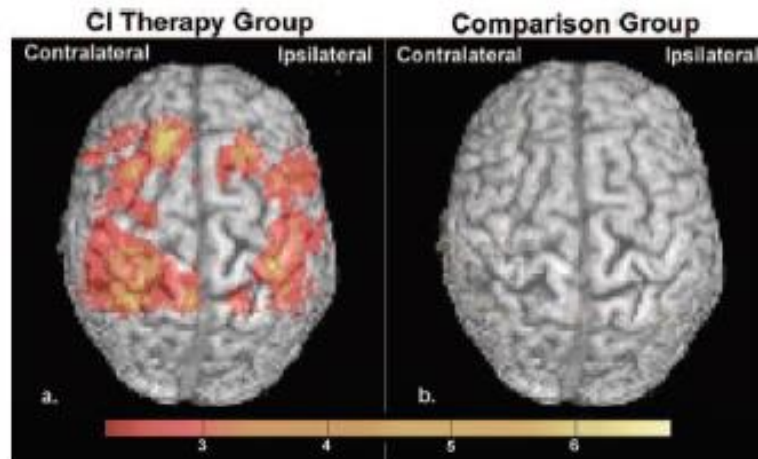


Figure 9 – Images du rendu de surface corticale de la substance grise, (a) groupe CI ; (b) groupe contrôle. (48)

L'étude de **Rijntjes et al** (50), a également enregistré une IRM structurale en 3D pondérée en T1 pour chaque patient pour localiser l'infarctus. Puis, trois IRMf ont été réalisées avant l'intervention, une à la fin des deux semaines après l'intervention et une six mois après l'intervention. Lors de l'acquisition de l'IRMf, le sujet devait effectuer quatre blocs de mouvements passifs en alternance avec quatre blocs de repos dans un ordre pseudo-aléatoire dont les blocs duraient trente et une secondes. Des électrodes ont été placées sur les muscles fléchisseurs et extenseurs de l'avant-bras. L'acquisition de l'IRM débutait lorsque le sujet avait une détente complète de son bras. L'acquisition était une image pondérée en T2. Un total de cent-soixante volumes d'images était acquis en neuf minutes. Tous les volumes ont été réalignés sur le premier volume. Les effets de mouvements résiduels enregistrés ont été éliminés. L'IRM structurale T1 était co-enregistrée avec l'image moyenne des volumes réalignés de l'IRMf pris en T2. Les images fonctionnelles qui étaient prises par l'IRMf et le volume structurel de l'IRM structurale ont été normalisées dans l'espace. Un masque des lésions a été inclus dans cette procédure pour éliminer l'entrée de données dans les mauvaises normalisations. Les images fonctionnelles ont été lissées. Les images d'IRMf avec une lésion dans l'hémisphère gauche ont été retournées pour que l'hémisphère gauche soit considéré pour toutes les IRMf comme étant l'hémisphère non lésé et l'hémisphère à droite comme l'hémisphère lésionnel. Les données sur l'ampleur d'activation du signal BOLD ont été analysées par des tests statistiques de t, voxel par voxel.

- Dans le groupe 1 : sujets avec voie pyramidale intacte selon la SMT :
  - Une diminution de l'activation du signal BOLD dans le cortex sensorimoteur lors de la phase 1 (avant VS après intervention) a atteint son maximum au niveau de la main. Pour les autres zones, aucun changement n'a été montré.
- Dans le groupe 2 : sujets avec voie pyramidale lésée selon la SMT :
  - Deux pics d'activation du signal BOLD accrue dans le cortex sensorimoteur ont été enregistrés lors de la phase 1, une située dans la zone motrice des mains et une, plus importante, dans le cortex moteur primaire.
  - La plus forte augmentation globale du signal BOLD a été enregistrée pour le gyrus cingulaire, ainsi que des augmentations supplémentaires, bilatéralement, dans le cervelet.
  - Aucune zone avec des diminutions du signal BOLD n'a été constatée.
- Pour les deux groupes, le mouvement passif de la main non affectée a montré une diminution dans le cortex sensorimoteur controlésionnel en phase 1.

L'étude de **Könönen et al de 2012** (53), a réalisé une IRM structurelle avec une pondération de T1 pour localiser l'emplacement définitif des lésions profondes et/ou corticales, confirmé par un neuroradiologue. Les IRM fonctionnelles ont été réalisées avant et juste après l'intervention. Lors de l'acquisition de l'IRMf, les patients effectuaient des mouvements répétitifs actifs d'extension et de flexion des doigts à un rythme visuel de 0.5Hz pour permettent à l'ensemble des sujets d'effectuer ces tâches du côté sain et du côté parétique. La tâche réalisée était une alternance de 6 blocs à gauche et de 6 blocs à droite de mouvements volontaire. Ces tâches étaient réalisées sous contrôles visuels. L'analyse fonctionnelle des IRM a été réalisée par le logiciel *SPM5*. Pour analyser les images, une correction de mouvement et de la synchronisation des tranches a été faite. Puis une analyse statistique pour chaque patient a été effectuée sur une base de voxel par voxel.

Ils ont quantifié l'activité de l'IRMf dans le cortex sensorimoteur et ont également utilisé l'approche par région d'intérêt. Les régions d'intérêt (ROI) ont été analysées manuellement pour chaque sujet à partir de repères anatomiques dans la zone du cortex sensorimoteur primaire (SM1). Tandis que la zone corticale pré-motrice (pM) a été analysée à partir de l'atlas probabiliste d'Elckhoff. Lorsqu'ils y avaient des voxels qui étaient communs à ces deux régions, ils étaient exclus. Les contrastes ont été calculés entre les tâches motrices et les temps de repos pour les mains parétiques et non parétiques. Les résultats ont été comparés avant et après intervention. Ces contrastes ont permis de calculer l'indice de latéralité (LI) et pour quantifier l'ampleur d'activation. Seules les valeurs t positives sur tous les voxels selon les ROI ont été utilisées pour le calcul du LI.

L'ampleur de l'activité de l'IRMf a été définie en pourcentage par rapport aux changements de signal entre l'intensité moyenne des conditions motrices et de repos de tous les voxels pour les ROI bilatéraux de SMI et de pM.

L'étendue de l'ampleur d'activation de l'IRMf a pour but d'étudier l'effet de la CI. Elle a été réalisée chez tous les sujets en utilisant le test t entre les activités pré et post intervention. Les données d'activations des mains parétiques et non parétiques ont été traitées séparément.

→ L'indice de latéralité :

- Avant l'intervention le mouvement de la main parétique a induit plus d'activité dans le SMI bilatérale que le mouvement de la main non parétique ( $0,099 \pm 0,279$  contre  $0,487 \pm 0,193$  ;  $p=0,008$ ).
- Après l'intervention, la latéralité de l'activation différait sensiblement entre les mouvements de la main parétique par rapport à la main non parétique ( $0,027 \pm 0,024$  contre  $0,221 \pm 0,348$  ;  $p=0,041$ ) ainsi que dans la zone sensorimotrice ( $0,165 \pm 0,293$  contre  $0,541 \pm 0,277$  ;  $p=0,021$ ).
- L'équilibre inter-hémisphérique n'a pas présenté de changement car les indicateurs n'ont présenté aucunes différences avant et après l'intervention.

→ Les changements dans l'activation :

- La main parétique a produit une amplitude d'activation plus élevée de façon significative par rapport à la main non parétique dans la zone pM ipsilatérale (avant CIMT  $p = 0,010$  et après CIMT  $p = 0,003$ ) et dans la zone SM1 (avant CIMT  $p=0,007$  et après CIMT  $p=0,003$ )

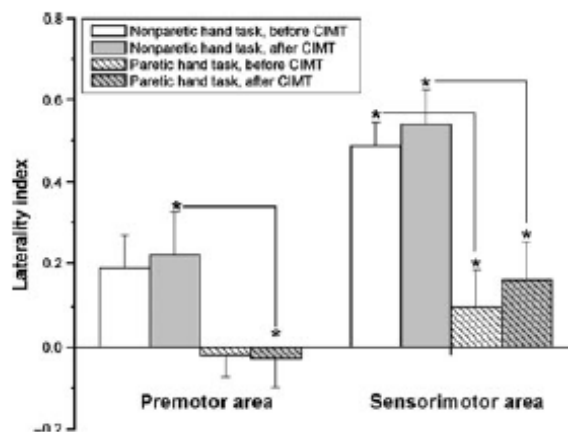


Figure 10 – Indice de latéralité (LI) des différentes zones des aires motrices avant et après CI, (\*) signifie différence significative entre le membre parétique et le membre non parétique. (52)

#### 4.3.4 Le scanner :

L'étude de **Sterr et al** (52) s'est servie du scanner pour obtenir des images structurelles à haute résolutions. L'acquisition a été réalisée avant l'intervention et après intervention.

Les images pondérées en fonction de la diffusion ont été acquises avec un seul cliché par séquence d'imagerie en fonction de la diffusion. Certaines images ont été retournées pour que toutes les images soient analysées dans le sens où l'hémisphère est placé à droite soit dans le sens de l'hémisphère non lésé. Les images de chacun des sujets ont été analysées en utilisant le site *pipeline*. Ce site se base sur la modélisation de la surface corticale et la segmentation automatisée des régions corticales. Mais cette analyse n'a pu se faire que lors de l'absence de lésions. Cette analyse n'a donc été effectuée que pour l'hémisphère non lésé. Elle a permis de déterminer le volume cortical estimé pour chaque sommet. Une analyse par région d'intérêt (ROI) a été effectuée à partir des volumes corticaux des gyrus pré et post centraux. Cette analyse s'est basée sur l'atlas de Desikan. Les différences significatives en ce qui concerne l'épaisseur corticale cérébrale entière après

l'intervention a été comparée entre le groupe avec contrainte et le groupe sans contrainte en utilisant le modèle linéaire général intégré dans l'interface QDEC (*Query, Design, Estimate and Contrast*). L'analyse des régions par intérêts (ROI) a été effectuée pour déterminer l'effet de la contrainte sur les différents volumes des gyrus pré et post centraux en utilisant les tests t des échantillons indépendants.

→ Analyse de l'épaisseur corticale dans l'hémisphère :

- Pour tous les sujets, une augmentation de l'épaisseur corticale après thérapie a été montrée, avec un amas plus important au niveau du gyrus précentral. Dans le gyrus post-central (S1) et le milieu du gyrus frontal, une augmentation a également été présente.
- A partir de l'analyse pour ROI dans les zones M1 et S1, une augmentation significative du volume cortical était présente dans du gyrus post-central (S1 :  $p=0.005$ ) mais elle ne l'était pas dans le gyrus pré-central (M1 :  $p=0.1$ ).
- L'augmentation du volume cortical observée dans le gyrus post-central n'était pas significativement différent pour le groupe avec contrainte par rapport au groupe sans contrainte ( $p=0.097$ ), ni par rapport aux heures de traitements reçues ( $p=0.9$ ).

#### 4.3.5 Résultats de l'utilisation de la SMT :

Pour les études de **Tarkka et al** (54) et de **Könönen et al de 2012** (53), l'évaluation de la contrainte induite est accompagnée par l'utilisation de la stimulation magnétique transcrânienne. La SMT a comme indicateur d'évaluation le potentiel évoqué moteur (PEM).

L'étude de **Tarkka et al** (54) a utilisé l'EEG et la stimulation magnétique transcrânienne. La SMT a été réalisée par le stimulateur magnétique MES-10 qui réalisait des impulsions uniques biphasiques d'une durée de 0.1ms, d'une intensité maximale à 100 % et localisé au niveau des deux hémisphères, d'abord sur l'hémisphère non atteint puis sur l'hémisphère lésé à l'aide de la bobine. Les zones de stimulation étaient C4/C5, FC4/FC3, C6/C5, CP4/CP3 et C2/C1 qui sont des zones définies par le système international utilisé pour l'enregistrement de l'EEG. Ces zones ont été stimulées avec une intensité de 90 % et a permis d'effectuer une cartographie. Puis, les zones qui ont donné une réponse musculaire maximale ont été stimulées deux fois avec une intensité de 60%. Les deux mains étaient activées par une contraction volontaire des muscles durant la stimulation indépendamment de l'hémisphère stimulé. Quatre canaux d'EMG de surface ont été enregistrés via le logiciel Viking IV. Les électrodes ont été placées au niveau du court abducteur du V et le long abducteur du pouce, ce qui a permis d'obtenir leurs potentiels moteurs évoqués mesurés bilatéralement. Cette procédure a été effectuée avant et après l'intervention.

Le but de la cartographie du cortex moteur de la zone de la main était d'évaluer si l'excitabilité pouvait changer après deux semaines d'intervention chez les douze sujets.

- Avec une stimulation d'intensité de 90 %, les amplitudes des PEM ont été significativement plus élevées pour les muscles de la main non affectée que pour les muscles de la main affectée, que ce soit avant ou après l'intervention.

- Pour les deux groupes de muscles, le temps de latence de l'apparition des PEM est resté inchangé autant pour la main affectée que pour la main non affectée.
- Une augmentation significative du nombre de PEM de l'abducteur du V a été observé dans la main affectée après l'intervention ( $p < 0.05$ ).

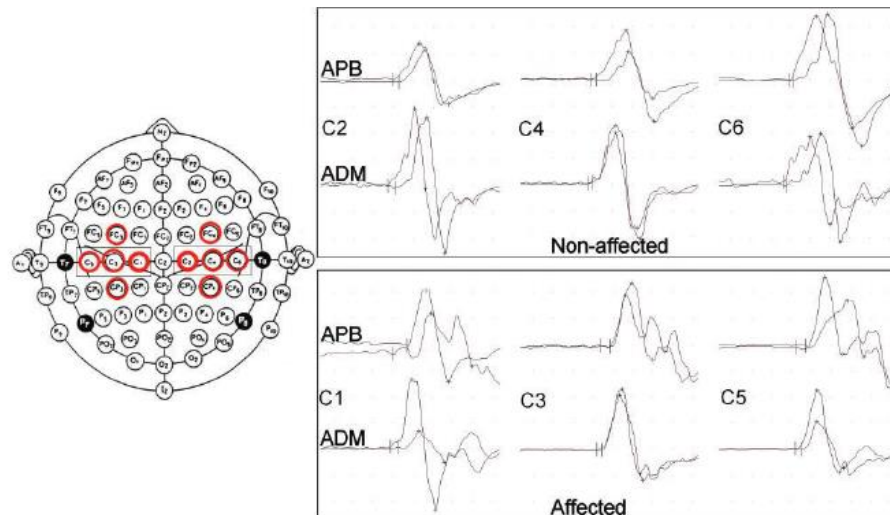


Figure 11 – Mise en évidence des potentiels évoqués moteurs (PEM) chez un sujet hémiparétique droit de l'étude, en noir résultats avant thérapie et en rouge après thérapie, (APB : adducteur du V et ADM / Adducteur du pouce). (53)

L'étude de **Könönen et al de 2012** (53) s'est servie de l'IRMf et également de la SMT. La procédure de la SMT est la même que celle décrite dans l'article de 2008 de Tarkka détaillé précédemment. Un sujet a été exclu car il présentait des antécédents de crises d'épilepsie. L'intensité de la stimulation a été fixée à 90% de la puissance maximale et les électrodes ont été placées au niveau de la zone C4/C3 soit la zone du cortex moteur primaire. Les potentiels moteurs évoqués ont été enregistrés à partir de l'enregistrement de l'EMG au niveau des muscles long abducteur du pouce et le court abducteur du V. Le site de la période de latence et les amplitudes des potentiels moteurs évoqués ont été comparés aux données de l'IRMf ainsi qu'aux changements des scores moteurs.

- Les PEM ont été sollicités pour sept sujets.  
En parallèle de l'enregistrement, l'hémisphère lésé était stimulé.
- Avant l'intervention, la stimulation de l'hémisphère lésé a produit, de façon significative, des latences plus longues pour les PEM que la stimulation de l'hémisphère non lésé.
- Après l'intervention, lors de la stimulation de l'hémisphère lésé, le temps de latence a été raccourci pour le muscle long abducteur du pouce ( $p = 0.046$ ).

L'étude de **Cunningham et al** (55) a utilisé seulement la SMT pour déterminer les indices neuronaux. Elle a également utilisé comme indicateur d'évaluation les potentiels évoqués moteurs pour évaluer l'effet de la contrainte induite. Contrairement aux autres études, cette étude n'a pas utilisé les outils de neuroimagerie en tant qu'outil d'évaluation et se sont servis de l'IRMf pour guider la SMT. Cette étude a comme point commun l'utilisation de l'indicateur d'évaluation qui est l'inhibition inter-hémisphérique, retrouvé dans l'étude de **Könönen et al de 2012** (53).

L'étude de **Cunningham et al** (55) a utilisé la SMT à impulsion unique avec une bobine en forme de huit. Lorsque les mains étaient au repos, les potentiels moteurs évoqués étaient enregistrés lorsqu'ils dépassaient ou étaient égaux à 200V lors d'au moins 3 essais sur 5. Les électrodes étaient positionnées au niveau des muscles inter osseux dorsaux. Le seuil moteur actif (SMa) a également été enregistré lorsqu'il y avait une contraction volontaire des muscles inter osseux dorsaux d'une intensité de 15% par rapport à la force maximale. L'inhibition inter-hémisphérique a également été observée à partir de la période silencieuse ipsilatérale (iSP). Les patients devaient alors avoir une contraction d'une intensité de 50% et pour maintenir cette intensité un retour visuel les accompagnait.

Mais, la particularité de l'étude de **Cunningham et al** (55) était l'utilisation ou la non utilisation de la tDCs selon son groupe. Pour tous les sujets, le centre de l'électrode tDCS était placé dans le cortex prémoteur. L'électrode délivrait une dose de 1mA lors de la totalité de la séance de contrainte induite. Pour les électrodes dites placebos, un courant électrique était activé de façon transitoire au début de la séance.

- Aucun des deux groupes n'a montré une augmentation de l'excitabilité de l'hémisphère lésé. Le groupe placebo+CI a montré une diminution significative de la taille du groupe dans l'hémisphère lésé ( $p=0.046$ ).
- La récupération de la fonction motrice pour les deux groupes n'était pas liée aux changements neurophysiologiques au niveau de l'hémisphère lésé.
- Pour tous les groupes, les sujets avec la plus grande amélioration des scores moteurs ont montré de façon significative la plus grande augmentation des cartes cortico-motrices dans l'hémisphère controlatéral à la lésion ( $p=0.047$ ). Les sujets avec la plus grande déficience des scores moteurs au départ ont eu la plus forte augmentation de façon significative des cartes cortico-motrices dans l'hémisphère controlatéral à la lésion ( $p=0.072$ ).
- L'évaluation de l'inhibition inter-hémisphérique :
  - **Pour le groupe tDCS+CI**, la capacité d'inhibition inter-hémisphérique de l'hémisphère lésé a été améliorée de façon significative ( $p=0.046$ ) mais aucun changement significatif a été montré par l'hémisphère controlatéral. Il n'y a également pas eu de changement significatif par rapport à l'évaluation faite avant l'intervention ( $p=0.240$ ). Une augmentation de l'excitabilité de l'hémisphère controlatéral a été constatée, marquée par une diminution du seuil moteur de repos ( $p=0.072$ ).
  - **Pour le groupe placebo+CI** aucun changement de l'inhibition de l'hémisphère lésé et controlatéral n'a été montré.

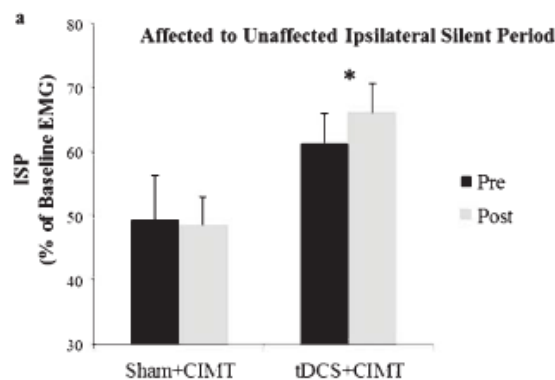


Figure 12 – Résultats de la période silencieuse iPS ipsilatérale avant et après thérapie pour les groupes placebo+CI et tDCS+CI. (54)

#### 4.4 Corrélations des scores moteurs et des outils de neuroimagerie :

Les études de **Rijntjes et al** (50), de **Gauthier et al** (49), de **Sterr et al** (52) et de **Könönen et al de 2012** (53) ont calculé la corrélation entre leurs résultats obtenus par l'utilisation des scores moteurs et les résultats obtenus en utilisant les outils de neuroimagerie.

L'étude de **Sterr et al** (52) ont effectué des analyses statistiques en utilisant les corrélations rho de Spearman pour évaluer l'association entre le volume cortical dans ces régions d'intérêts et les bénéfices du traitement montrés dans les scores des échelles de la WMFT et du MAL.

- Les changements de volume cortical n'étaient pas associés de manière significative avec l'amélioration des scores de MAL (Mal-AOU  $p=0.9$  ; MALQOM :  $p=0.7$ ) et les scores de WMFT (WMFT score fonctionnel :  $p=0.12$  ; WMFT durée de passation :  $p=1$ ).

Dans l'étude de **Könönen et al de 2012** (53), lorsque les données ont été confrontées entre l'échelle WMFT et celles de l'IRMf, une valeur négative de corrélation a été obtenue lors de la phase pré-intervention. Une augmentation de l'étendue de l'activation de l'IRMf pour la main parétique a également été montrée. Ceci signifie que les patients qui avaient au départ un résultat du score fonctionnel plus faible obtenaient, après l'intervention, une étendue de l'ampleur d'activation de la main parétique supérieure à ceux qui partaient avec un score initial de la WMFT élevé.

L'étude de **Rijntjes et al** (50) a également calculé la corrélation des données de l'échelle WMFT et les amplitudes d'activation obtenues par l'IRMf. Le calcul a été propre à chaque groupe ainsi qu'à chaque phase d'évaluation. Le niveau du seuil de signification a été fixé pour tous à  $p<0.01$ .

##### → Groupe voie pyramidale intacte :

- Phase 1 (avant VS après intervention) : l'amélioration de la diminution de la passation du test WMFT a été corrélée avec les diminutions des signaux différentiels dans le cortex sensorimoteur au niveau de la main.
- Phase 2 (après 6 mois) : l'amélioration globale du score de la WMFT a été corrélée avec l'augmentation de l'activation dans le cortex sensorimoteur.

##### → Groupe voie pyramidale lésée :

- Phase 1 (avant VS après intervention) : l'amélioration de la diminution de la passation du test WMFT a été corrélée avec l'augmentation des signaux d'activation.
- Phase 2 (après 6 mois) : le schéma similaire à la première phase a été trouvé.

L'étude de **Könönen et al de 2012** (53) a même calculé la corrélation entre les résultats obtenus à partir de l'utilisation de l'IRMf avec les résultats obtenus avec l'utilisation de la stimulation magnétique transcrânienne.

- Aucune corrélation n'a été trouvée entre les paramètres de l'IRM et ceux de la SMT dans les zones prémotrices et sensorimotrices.
- L'augmentation de l'ampleur de l'activation obtenue par l'IRMf a été significativement plus importante chez les sujets sans PME de référence chez les patients avec des PME.

Un tableau récapitulatif des résultats des outils de neuroimagerie, ainsi que de leurs corrélations avec les scores fonctionnels est situé ci-dessous :

	<i>Könönen et al 2005 (51)</i>	<i>Tarkka et al (54)</i>	<i>Gauthier et al (49)</i>	<i>Rijntjes et al (50)</i>	<i>Könönen, et al 2012 (53)</i>	<i>Sterr et al (52)</i>	<i>Cunningham et al (55)</i>
<b>Outils de neuroimagerie</b>	<b>TEMP</b>	<b>EEG</b>	<b>IRMf</b>	<b>IRMf</b>	<b>IRMf</b>	<b>Scanner</b>	
	<u>Perfusion cérébrale</u> : Hémisphères lésé/non lésé : des zones ont ↑ et ↓	<u>SCP</u> : ↑ f des pics d' (p=0.014)	<u>Matière grise</u> : Groupe transfer package : ↑ globale (ex CSM : p=0.041)	<u>Ampleur d'activation</u> : Groupe voie pyramidale lésée : ↑	<u>Indice de latéralité</u> : différence accentuée (p=0.041)  <u>Ampleur d'activation</u> : Main parétique > Main non parétique (p=0.003)	<u>Épaisseur corticale</u> : ↑ globale	
<b>SMT</b>		<u>PEM</u> : ↑ (p<0.05) du nombre de PEM			<u>PEM</u> : temps de latence ↓ (p=0.046)		<u>PEM</u> : pas d'↑  <u>iPS</u> : iDCS+CI ↑(p=0.046)
<b>Corrélation</b>			Corrélation entre score MAL et quantité de matière grise	Corrélation score entre WMFT et l'ampleur d'activation	Lien entre le score WMFT et l'IRMf  Pas de corrélation entre l'IRMf et les PEM	Pas de corrélation entre score WMFT/MAL et épaisseur corticale	

Tableau 6 – Résultats pour outils de neuroimagerie : (Le symbole ↑ signifie une augmentation/amélioration et le symbole ↓ signifie une diminution ; iPS = inhibition inter-hémisphérique ; PEM = potentiel évoqué moteur ; SCP = potentiel moteur lent lié au mouvement)

## 5 Discussion :

Le but de cette revue était de savoir quels effets la contrainte induite avait sur la plasticité cérébrale chez les patients adultes atteints d'AVC chronique. Sept revues ont été sélectionnées pour y répondre.

### 5.1 Synthèse des résultats :

Parmi ces sept études, trois ont utilisé dans leur protocole la stimulation magnétique transcrânienne en plus de la contrainte induite. Donc quatre n'en utilisaient pas. De ce fait, l'analyse des résultats se divise en deux catégories : les études qui utilisent seulement la contrainte induite et les études qui utilisent la contrainte induite et également la stimulation magnétique transcrânienne (**Tarkka et al** (54), de **Könönen et al de 2012** (53) et de **Cunningham et al** (55) ).

Pour déterminer l'effet que la contrainte induite sur la plasticité cérébrale deux types d'évaluations ont été retrouvés dans les études : l'évaluation par l'utilisation des scores moteurs (WMFT, MAL et Fugl-Meyer) et l'évaluation par l'utilisation des outils de neuroimagerie (TEMP, EEG, IRMf et scanner). Certaines études ont même cherché à savoir s'il existait une corrélation entre le résultat des scores moteurs et le résultat des outils de neuroimagerie.

En ce qui concerne les résultats des scores moteurs des études qui n'ont utilisé que la contrainte induite, l'ensemble a révélé une amélioration significative des scores moteurs de l'échelle WMFT et de l'échelle de la MAL. Les études de **Tarkka et al** (54) et de **Könönen et al de 2012** (53) ont également utilisé l'échelle de la WMFT et ont, elles aussi, obtenu une amélioration significative de leur score moteur. Tandis que pour l'étude de **Cunningham et al** (55) une amélioration significative n'a été montrée que pour le groupe tDCS+CI, par l'utilisation de l'échelle de Fugl Meyer, et une amélioration significative du score moteur évalué par l'échelle MAL n'était présente que pour le groupe placebo+CI. Ainsi, à l'exception de l'étude de **Cunningham et al** (55), et de ces résultats concernant l'échelle du Fugl Meyer, nous pouvons dire que **l'utilisation de la contrainte induite permet d'obtenir une amélioration significative des résultats des différents scores moteurs.**

A partir de l'utilisation des outils de neuroimagerie, il existe différents indicateurs qui permettent de montrer l'effet de la contrainte induite sur la plasticité cérébrale. L'étude de **Könönen et al de 2005** (51), nous montre une modification des zones de perfusions des hémisphères cérébraux lésés et controlésionnels par l'utilisation de la TEMP. L'étude de **Tarkka et al** (54), met en évidence la présence d'une réorganisation corticale puisqu'ils montrent une augmentation significative de la présence des pics des potentiels corticaux lents. Les études de **Sterr et al** (52) et de **Gauthier et al** (49) montrent cet effet en analysant la matière grise. L'étude de **Sterr et al** (52) a indiqué une augmentation globale de la quantité de matière grise en cas d'AVC en phase chronique et l'étude de **Gauthier et al** (49) a révélé une augmentation de l'épaisseur corticale de façon significative. Les études de **Rijntjes et al** (50) ainsi que celles de **Könönen et al de 2012** (53), ont révélé une augmentation de l'ampleur d'activation dans la voie pyramidale lésée et ainsi de la main parétique ce qui indique un effet supplémentaire de la contrainte induite sur la plasticité cérébrale. Enfin, l'étude de **Könönen et al de 2012** (53), a également montré cet effet à travers l'indice de latéralité qui montre une différence accentuée de façon significative par rapport aux deux hémisphères. Cette différence inter-hémisphère suite à l'utilisation de la

contrainte induite est également montrée par l'étude de **Cunningham et al** (55), puisqu'ils ont obtenu pour le groupe tDCS+CI une augmentation significative de l'indice d'inhibition inter-hémisphérique.

**Ainsi, lorsque la contrainte induite est utilisée, différents effets sur la plasticité cérébrale sont montrés par la présence de changements de perfusion cérébrale, d'une augmentation des pics des potentiels corticaux lents, d'une augmentation de la matière grise dans les deux hémisphères, d'une augmentation de l'ampleur d'activation du côté lésé et d'une différence d'inhibition inter-hémisphérique.**

Lorsque la SMT est utilisée, un autre indicateur d'évaluation de l'effet de la contrainte induite sur la plasticité est utilisé. Cet indicateur correspond aux potentiels moteurs évoqués. Les études de **Tarkka et al** (54) et de **Könönen et al de 2012** (53) ont montré, soit une augmentation significative de leur nombre, soit une diminution significative de leur temps de latence tandis que l'étude de **Cunningham et al** (55) n'a révélé aucune modification.

De plus, les études de **Gauthier et al** (49), **Rijntjes et al** (50) et de **Könönen et al de 2012** (53), ont montré une corrélation entre le résultat des scores moteurs et des outils de neuroimagerie. **Gauthier et al** a montré l'existence d'une corrélation entre l'amélioration du score MAL et l'augmentation de la quantité de matière grise tandis que les études de **Rijntjes et al** (50) et **Könönen et al de 2012** (53) ont montré une corrélation entre l'amélioration des scores de la WMFT et l'augmentation de l'ampleur d'activité. Cependant, **Sterr et al** n'a pas montré de corrélation entre le résultat des scores moteurs (WMFT et MAL) et l'augmentation de l'épaisseur corticale.

Ainsi, la contrainte induite a plusieurs effets sur la plasticité cérébrale. Ces effets peuvent être montrés à travers des tests cliniques par l'utilisation d'échelles et par l'utilisation de divers outils de neuroimagerie et d'indicateurs d'évaluations. Par ailleurs, nous pouvons supposer que lorsqu'il y a une amélioration des scores moteurs une amélioration structurelle serait également présente.

## **5.2 Les limites de cette revue :**

### **5.2.1 Les études sélectionnées et leurs qualités méthodologiques :**

Les critères d'éligibilités ont dû être élargis en vue du faible nombre de résultats obtenus. Ainsi, la période de publication s'étend jusqu'aux années 2000. Les années 2000 représentent la période où les neurosciences ont pu mettre en avant le phénomène de plasticité cérébrale à partir d'outils de neuroimagerie (56) mais également celle où l'utilisation de la contrainte induite s'est développé en rééducation. Le critère de niveau de preuve a dû également être élargi et des études de faibles niveaux de preuves tels que les études de cas ont été sélectionnés. Ainsi, cette revue est composée de trois essais cliniques randomisés, un essai clinique non randomisé et trois séries de cas.

Pour analyser la qualité méthodologique de ces études, la grille PEDro (48) a été utilisée pour ces trois types d'études. Cette grille est principalement adaptée aux essais cliniques randomisés, mais les échelles spécifiques n'existant pas en ce qui concerne les essais cliniques non randomisés et les séries de cas l'échelle PEDro a été privilégiée. A savoir que les séries de cas ont un niveau de recommandation de grade C avec un faible niveau de preuve d'après la grille de la

HAS (57) à cause de la présence de nombreux biais en ce qui concerne leur méthodologie. Les trois séries de cas et l'essai clinique non randomisé ont donc un niveau de preuve faible de grade C. L'étude de **Könönen et al de 2005** (51) obtient un score total de 3/10 et **Tarkka et al** (54) de 4/10. Les études de **Könönen et al de 2012** (53) et de **Rijntjes et al** (50) obtiennent toutes deux la note de 5/10. Enfin, les essais cliniques randomisés de **Gauthier et al** (49) et de **Sterr et al** (52) obtiennent un score de 6/10 et présentent également des biais. Ils ont donc eu aussi un niveau de preuve faible. Néanmoins, l'étude de **Cunningham et al** (55) a un grade B de recommandation avec une présomption scientifique d'après la grille de la HAS (57), et obtient un score total de 8/10 à l'échelle PEDro.

		Grille PEDro						
		Könönen et al de 2005	Tarkka et al	Könönen, et al de 2012	Rijntjes, et al	Gauthier et al	Sterr et al	Cunningham et al
<b>Types d'études : ECR / EC / Séries de cas (SdC)</b>		SdC	SdC	SdC	EC non R	ECR	ECR	ECR
1. Les critères d'éligibilité ont été précisés		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
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	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
3. La répartition a respecté une assignation secrète		Non	Non	Non	Non	Non	Non	OUI
4. Les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
5. Tous les sujets étaient « en aveugle »		Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui
6. Tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient « en aveugle »		Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui
7. Tous les examinateurs étaient « en aveugle » pour au moins un des critères de jugement essentiels		Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
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		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
9. Tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôlée 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"		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
10. Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels		Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
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	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>Score total</b>		<b>3/10</b>	<b>4/10</b>	<b>5/10</b>	<b>5/10</b>	<b>6/10</b>	<b>6/10</b>	<b>8/10</b>

Figure 13 - Grille PEDro : analyses de la qualités méthodologiques des études

Différents biais sont donc présents dans les études, qui sont classées en deux types : les biais de sélections et les biais de réalisations.

- Les biais de sélections concernent surtout les participants de l'étude. Pour chacune des études, la notion de consentement du patient a été annoncée clairement mais la façon dont le recrutement a eu lieu n'est pas précisée à chaque fois. Les critères d'éligibilités des études sont énoncés dans toutes mais seule l'étude de **Sterr et al** (52) fait apparaître à la fois les critères d'inclusion et les critères de non inclusion, les autres études énoncent soit l'un soit l'autre. Certaines études détaillent leurs critères d'exclusions au cours de l'étude telle que celle de **Könönen et al de 2012** (53) par rapport aux crises d'épilepsie ou encore la claustrophobie d'un sujet mentionnées dans les études de **Könönen et al de 2005** (51) et de **Gauthier et al** (49). La taille des échantillons a été relativement faible pour la majorité des études mais l'étude de **Tarkka et al** (54) s'est positionnée sur le fait que leur échantillon de douze sujets était conforme à la population cible. Ils n'ont cependant apporté aucune donnée en ce qui concerne la réalisation d'un calcul à priori. L'étude de **Könönen et al de 2012** (53), a expliqué le fait que, malgré le faible nombre de sujet, la sélection de ces sujets a été hétérogène et à l'image de la population cible. La répartition des sujets dans les groupes d'études, lorsqu'il y en avait, a été randomisée seulement dans les trois essais cliniques randomisés. L'étude de **Cunningham et al** (55) a même tenu une assignation secrète et a indiqué le diagramme de flux utilisé pour la répartition des sujets dans les deux groupes. L'intention de traiter a été indiquée dans toutes les études et lorsque le traitement de données statistiques n'était pas possible, elles étaient justifiées par les critères d'exclusions des sujets de ces études.
- Des biais de réalisations sont également présents dans les études. Ces biais évaluent le déroulement de l'intervention, ainsi que de l'évaluation. Le sujet de la mise en place de la notion d'aveuglement des études, n'a été possible que dans l'étude faite par **Cunningham et al** (55) qui a mis en aveugle les sujets ainsi que les thérapeutes sur le fait que les sujets recevaient ou non une stimulation par tDCS. Pour la totalité des études, aucun aveuglement n'a été possible en ce qui concerne l'intervention puisqu'il n'existe pas de possibilité d'élaborer une technique dite placebo ni de *golden standard* référencé pour comparer la technique de contrainte induite. Enfin, pour l'ensemble des études, les critères de jugements ont été utilisés avec parcimonie. Ils ont été classés en deux catégories, les critères d'évaluation des scores moteurs, et les critères des outils de neuroimagerie. De plus, l'estimation de la taille de l'effet ainsi que l'effet de leurs variabilités a été indiqué pour la majorité des études mais pas de façon précise.

### 5.2.2 Des auteurs similaires :

Le résultat obtenu à la fin de la méthodologie a donné une sélection d'études avec des auteurs similaires. Les deux études datant de 2005 (51) et de 2012 (53) ont eu comme auteur principal Mervi Könönen, chercheur finlandais. Ce chercheur a également travaillé en collaboration avec Ina Tarkka, chercheuse finlandaise, et son nom apparaît dans les articles de 2005 (51) et de 2012 (53). I. Tarkka est aussi la chercheuse principale de l'étude (54), dans laquelle le chercheur Mervi Könönen a également

collaboré. Ces auteurs similaires peuvent être considérés comme une limite dans cette étude puisque trois études sur les sept ont été réalisées par les mêmes auteurs ce qui peut amener à penser à de possibles conflits d'intérêt.

Néanmoins, ce sujet étant très spécifique, il est commun dans la recherche de trouver des articles sur le même sujet avec des auteurs similaires puisque ces chercheurs, en vue des évolutions des données, développent de nouvelles études. Par ailleurs, sur les sept études sélectionnées même si trois ont été réalisées en Finlande par les mêmes auteurs, les autres études ont été réalisées dans des pays différents comme l'Allemagne (50) et le Brésil (52). Deux l'ont été aux Etats-Unis, une en Alabama (49) et l'autre à Cleveland (55).

### 5.2.3 Des protocoles d'interventions variés :

L'un des critères d'éligibilité de cette revue était que l'intervention principale soit la technique de contrainte induite tout protocoles confondus. De ce fait, les études sélectionnées non pas utilisées les mêmes protocoles d'interventions que ce soit au niveau de la durée de l'intervention, de la durée du port de la contention, ou encore du type de contention utilisé. Les études de **Tarkka** (54), celles de **Könönen de 2012** (53) et de **Rijntjes** (50) ont même spécifié l'utilisation du protocole principale de Taub. L'étude de **Cunningham et al** (55) a utilisé un protocole modifié spécifique à l'heure d'intervention et a été raccourcie à une heure par jour pendant quinze jours, heures réparties en cinq semaines contrairement aux six heures par jour de contrainte induite pour le protocole Taub (39). Ils ont, de plus, également relevé la présence ou non dans leurs groupes d'une aide à domicile chez les sujets durant les études, ce qui a pu influencer certains résultats en particulier ceux de la MAL (55). L'étude de **Sterr et al** (52) a également raccourci le temps d'intervention mais a surtout retiré la contention pour les membres de l'un de leur groupe testé ce qui n'a pas révélé d'effet sur la zone cérébrale controlatérale à la lésion.

Les protocoles ne sont donc pas homogènes ce qui peut représenter un biais important à cette revue, puisque les résultats ont été obtenus dans des conditions d'interventions différentes, ce qui ne permet pas de faire une analyse optimale des résultats car ces données ne peuvent pas être comparées entre elles.

La contrainte induite n'étant pas la seule intervention possible autorisée mais seulement la principale, des études qui ont utilisés la contrainte induite mais également des interventions secondaires ont été incluses. **Gauthier et al** (49) a ajouté à l'intervention principale une technique appelée *transfer package* pour l'un des deux groupes. Le *transfer package* a révélé une amélioration fonctionnelle de l'utilisation de la main parétique et une modification fonctionnelle du cerveau plus importante ce qui permet de montrer que l'impact qu'une modification du protocole d'intervention peut avoir une conséquence sur l'effet questionné de la technique de contrainte induite. Cependant, un manque de transparence est à souligner puisque le protocole de cette technique n'a pas été développé et parce qu'un seul document à consulter n'est mentionné en référence ce qui est à considérer comme un biais de réalisation spécifique à cette étude.

L'étude de **Tarkka et al** (54), celle de **Könönen et al de 2012** (53) et celle de **Cunningham et al** (55), ont également utilisé une technique secondaire à l'intervention de contrainte induite. Cette technique est la stimulation magnétique transcrânienne.

La stimulation magnétique transcrânienne (SMT) est une technique de stimulation cérébrale décrite par Barker en 1985, et régie par des recommandations d'utilisations très strictes (58,59). Cette stimulation consiste à envoyer un courant électrique d'intensité élevée véhiculé par une bobine de fil conducteur qui va créer un champ magnétique bref permettant d'obtenir ainsi un courant électrique dans le tissu excitable tel que le cortex cérébral. Ce courant induit va provoquer des effets physiologiques et comportementaux sur les zones stimulées (60).

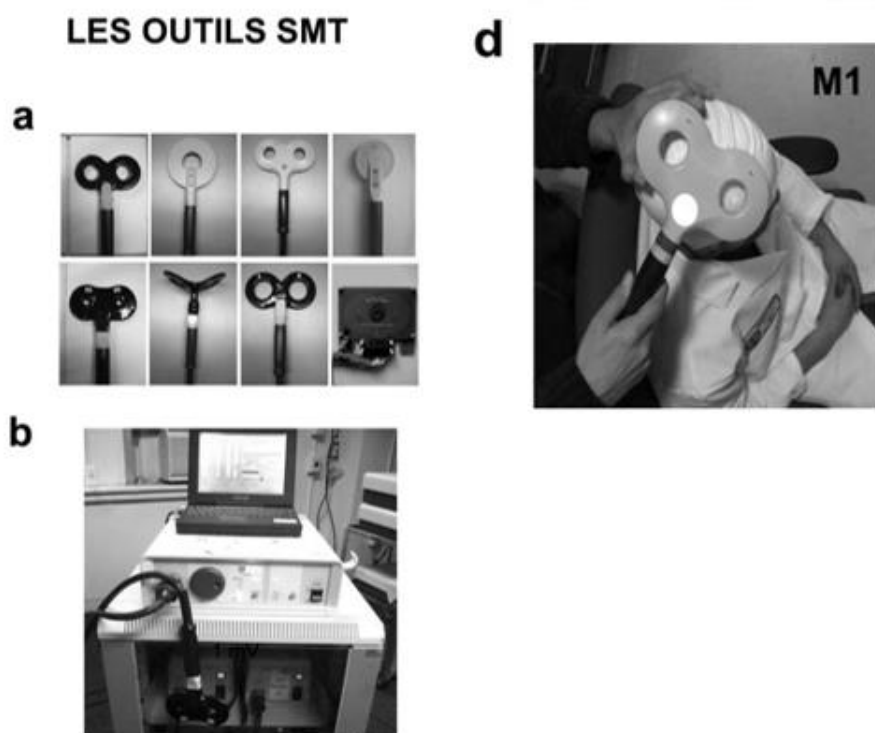


Figure 14– (a) exemples de bobines ; (b) appareil de stimulation magnétique transcrânienne (SMT) ; (d) SMT sur la région motrice primaire (M1) de l'hémisphère droit avec déclenchement d'un mouvement involontaire au niveau de la main controlatérale à la stimulation objectivable par l'enregistrement d'un potentiel évoqué moteur (PEM). (60)

Lorsque le courant est appliqué au niveau du cortex primaire tel qu'il est mentionné dans les études sélectionnées, la stimulation va activer les voies cortico-spinales ce qui va induire une réponse musculaire. Lorsque la stimulation a lieu dans les aires corticales associatives en lien avec les fonctions cognitives tels que l'apprentissage ou la mémoire, aucune réponse musculaire n'est obtenue mais des effets sont engendrés sur les activités comportementales.

Ainsi la SMT, génère des effets locaux qui sont en lien avec la zone stimulée mais également des effets à distances qui se produisent grâce aux différentes connexions cérébrales qui ont lieu entre les régions (60).

Par ailleurs, l'étude de **Cunningham et al** (55) est une étude expérimentale qui a évalué l'effet de contrainte induite sur l'excitabilité corticale mais également l'effet de la stimulation magnétique transcrânienne par courant direct (tDCS) sur cette excitabilité corticale. Les chercheurs ont utilisé une stimulation placebo pour démontrer son effet

en utilisant une bobine qui permet de diffuser cette stimulation électrique hors du crâne ne provoquant aucune stimulation des zones corticales testées (60). Cet essai clinique randomisé est arrivé à la conclusion qu'aucune augmentation de l'excitabilité corticale de l'hémisphère lésé n'était montrée mais qu'une augmentation de celle de l'hémisphère controlésionnel était présente.

Ceci a révélé que la stimulation magnétique transcrânienne a bien un effet sur le changement fonctionnel de la plasticité cérébrale, ce qui est confirmé par une méta-analyse datant de 2017 (61).

Ainsi, la présence ou non de stimulation magnétique transcrânienne (SMT) dans les études peut être considérée comme un biais à cette revue, puisque nous savons que la SMT a un impact sur la modulation cérébrale mais nous ne pouvons pas prédire si cet impact a pu influencer les résultats obtenus dans ces études concernant l'effet de la contrainte induite sur la plasticité cérébrale.

#### **5.2.4 Des critères de jugements très spécifiques et nombreux :**

Les critères de jugements n'ont pas été directement spécifiés dans les critères d'éligibilités. De nombreux critères de jugements ont été recueillis et ont été classés en deux types de catégories : les critères évaluant l'effet de la contrainte induite sur les scores moteurs, et les critères évaluant l'effet de la contrainte induite sur les modulations fonctionnelles et structurelles cérébrales.

Les scores moteurs ont été évalués dans les études par trois échelles : l'échelle de la *Wolf Motor Function Test* (WMFT) (45,62) qui apparaît dans six études, l'échelle du *Fugl-Meyer Assessment* (FMA) (25,63) qui apparaît dans l'étude de **Cunningham et al** (55), l'échelle du Journal d'activité motrice : *Motor Activity Log* (MAL) (64) qui est utilisée dans quatre études. Toutes les trois sont des échelles qui sont principalement utilisées dans les études (65). L'échelle du *Fugl-Meyer* est considérée comme un *golden standard* dans la recherche sur l'AVC (66) tandis que l'échelle de la WMFT est considérée comme une échelle plus spécifique à l'évaluation de la contrainte induite sur l'effet du membre hémiparétique. Enfin, le MAL est une échelle questionnant le patient sur son utilisation de son membre supérieur hémiparétique. Cette échelle est souvent combinée avec l'évaluation par l'échelle du *Fugl-Meyer* et de nombreuses études utilisent ces trois échelles ensemble d'après la revue de littérature de 2016 et la méta-analyse de 2020 (65,67). De plus, ces trois échelles ont toutes de bonnes propriétés psychométriques (65).

Les critères de jugement évaluant les changements cérébraux fonctionnels et structurelles sont également nombreux et différents. Ils sont en lien avec les outils de neuroimagerie utilisés dans les études : trois études se sont servies de l'IRMf (49,50,53), une étude (54) a utilisé l'électroencéphalogramme (EEG), une étude (51) s'est servie de la tomographie par émission monophotonique (TEMP) et enfin une a utilisé le scanner (52). Cette diversité d'outils empêche la comparaison des données des différentes études entre elles. Néanmoins, des indicateurs d'évaluation communs sont présents dans différentes études ce qui permet de nous donner des repères, tels que l'évaluation de l'ampleur d'activité retrouvée dans les études de **Könönen et al de 2012** (53) et de **Rijntjes et al** (50). L'évaluation de la matière grise est également présente dans deux études, l'étude de **Gauthier et al** (49) a évalué la quantité de matière grise par morphométrie dans les deux hémisphères tandis que l'étude de **Sterr et al** (52) a analysé l'épaisseur corticale à partir de l'analyse des régions d'intérêts

mais dont l'analyse ne s'est concentrée que sur l'hémisphère controlatéral à la lésion ce qui représente également une limite pour l'analyse des résultats.

En ce qui concerne la pertinence de ces critères, chacun de ces indicateurs permet de mettre en avant le changement expliqué par le phénomène de plasticité à travers la réorganisation corticale qui se produit (68). La perfusion cérébrale permet de mettre en évidence les changements neurovasculaires cérébraux et d'établir des cartographies fonctionnelles de façon peu invasive (69). Les potentiels corticaux lents sont des indicateurs fiables montrant l'existence d'une réorganisation corticale dans le processus d'apprentissage moteur, détecté par EEG, ce sont même ces signaux qui sont utilisés lors des techniques innovantes utilisant les interfaces cerveau-machine (70). L'indice de latéralité (18) est également considéré comme un indicateur fiable de cette réorganisation inter-hémisphérique. L'augmentation des amplitudes d'activations de certains permet de montrer un phénomène de redynamisation de certaines zones cérébrales atteintes (19). Enfin, le changement de matière grise induit l'existence d'un remaniement structurel cérébral.

Par ailleurs, l'utilisation de la stimulation magnétique transcrânienne nécessite l'utilisation en parallèle d'outils de neuroimagerie tels que l'IRMf. Les effets à distance en réseau produits par la stimulation peuvent engendrer des interprétations erronées de certains résultats à cause de la complexité de ces connexions en réseau. C'est pourquoi cette stimulation est accompagnée, dans les études, par l'utilisation d'outils de neuroimagerie tels que la TEP, la TEMP ou encore l'IRMf qui ont pour but d'analyser ces effets réseaux (60) tels que les études qui s'en servent le mentionne. La stimulation magnétique transcrânienne permet également d'étudier la conduction nerveuse des voies pyramidales motrices des muscles effecteurs de la main par exemple et de montrer si cette conduction nerveuse, au travers de l'indicateur des potentiels évoqués moteurs (PEM) qui lorsqu'ils sont en augmentation révèlent une amélioration de l'état de conduction et une récupération vis-à-vis de l'atteinte causée par la lésion. De plus, la SMT combinée aux outils de neuroimagerie permet également de mettre en avant, les phénomènes d'excitabilités corticales et d'établir des cartographies plus spécifiques (60,71). Ainsi, l'association entre les outils de neuroimagerie et la stimulation magnétique transcrânienne permet d'évaluer les phénomènes de plasticités cérébrales.

### **5.2.5 Des limites personnelles présentent :**

Des limites personnelles peuvent être considérées comme limites à cette étude.

En effet, tous les articles sélectionnés étaient en langue anglaise et, ne maîtrisant pas cette langue de façon parfaite, cela peut être considéré comme tel. Par ailleurs, l'analyse statique n'est maîtrisée que de façon basique ce qui peut également apparaître comme une limite pour l'interprétation des données statiques.

Enfin, la principale limite rencontrée lors la réalisation de cette revue a été la complexité des sujets traités tels que les outils de neuroimagerie ainsi que leurs analyses en raison de leur éloignement vis-à-vis des champs de compétences de mon enseignement en tant qu'élève de dernière année du cursus de masso-kinésithérapie. Fort heureusement, de nombreuses recherches documentaires sont venues pallier ce manque de connaissances.

### 5.3 Les points forts de cette revue :

Une analyse de la qualité méthodologique de cette revue a été réalisée d'après l'utilisation de la grille PRISMA (47) située dans la partie (Annexe III). Cette analyse est présente dans le tableau situé ci-dessous :

Section	N° du critère	Critères	Validé
<b>TITRE</b>	1	Le terme revue de littérature est mentionné	Oui
<b>RESUME</b>	2	Le résumé est structuré sous la forme IMRAD	Oui
<b>INTRODUCTION</b>			
Contexte	3	La pertinence de la revue par rapport à l'état actuel des connaissances est rapportée	Oui
Objectifs	4	La problématique est présente sous la forme PICO	Oui
<b>METHODE</b>			
Protocole et enregistrement	5	Le protocole de la réalisation de la méthodologie de la revue n'est pas renseigné	Non
Critères d'éligibilités	6	Les critères d'éligibilités sont présents	Oui
Sources d'information	7	Les bases de données sont indiquées	Oui
Recherche	8	La stratégie de recherche est indiquée pour l'utilisation de la base de données PubMed	Oui
Sélection des études	9	Le processus de sélection des études est renseigné	Oui
Extraction des données	10	La méthode d'extraction n'est pas précisée	Oui
Données	11	Les mots clefs basés sur la forme PICO sont indiqués	Oui
Risques de biais inhérent à chacune des études	12	L'évaluation du risque de biais des études s'est faite par la grille PEDro qui est indiquée dans la partie Discussion.	Oui
<i>Quantification des résultats</i>	13	<i>Il ne s'agit pas d'une méta-analyse</i>	
<i>Synthèse des résultats</i>	14	<i>Il ne s'agit pas d'une méta-analyse</i>	

<i>Risques de biais transversal aux études</i>	15	<i>Il ne s'agit pas d'une méta-analyse</i>	
<i>Analyses complémentaires</i>	16	<i>Il ne s'agit pas d'une méta-analyse</i>	
<b>RESULTAT</b>			
Sélection des études	17	Le diagramme de flux est présent	Oui
Caractéristiques des études sélectionnées	18	Ces caractéristiques sont précisées dans le tableau récapitulatif des études situées en (Annexe I).	Oui
Risque de biais relatif aux études	19	Les biais sont présents dans la partie <i>Discussion</i>	Oui
Résultats de chaque étude	20	Les résultats ont été présentés pour chaque étude avec une synthèse des données	Oui
<i>Synthèses des résultats</i>	21	<i>Il ne s'agit pas d'une méta-analyse</i>	
<i>Risque de biais transversal aux études</i>	22	<i>Il ne s'agit pas d'une méta-analyse</i>	
<i>Analyse complémentaire</i>	23	<i>Il ne s'agit pas d'une méta-analyse</i>	
<b>DISCUSSION</b>			
Synthèse des niveaux de preuves	24	Une synthèse des données est présente dans cette partie	Oui
Limites	25	Les biais des études sont indiqués	Oui
Conclusions	26	L'interprétation des résultats ainsi que leurs liens avec une applicabilité clinique est présente	Oui
<b>FINANCEMENT</b>	27	Aucun financement n'a été nécessaire pour la réalisation de cette revue	Non

Tableau 7 – Tableau récapitulant les critères de la revue basés sur le tableau de l'échelle PRISMA (47).

Cette revue présente donc de nombreux points forts en ce qui concerne sa qualité méthodologie puisqu'elle respecte la majorité des critères de la Grille PRISMA (47).

De plus, la thématique abordée peut être considérée comme un sujet innovant puisqu'elle met en lien les domaines de la masso-kinésithérapie et des neurosciences, nous permettant ainsi de nous intéresser à la technique de thérapie par contrainte induite avec une autre approche. Par ailleurs, le développement de nos connaissances en ce qui concerne le fonctionnement de la plasticité cérébrale nous permet de développer des techniques plus spécifiques aux patients et ainsi, d'améliorer leur impact sur l'amélioration fonctionnelle (72).

## 5.4 L'applicabilité clinique :

D'après la HAS, la technique de contrainte induite concernant la phase chronique de l'AVC a une recommandation d'efficacité de traitement de grade B (2). Par cette revue, il est possible d'avancer que cette amélioration fonctionnelle est en lien avec la modulation cérébrale et donc avec la plasticité cérébrale. La HAS ne s'est pas positionnée concernant les recommandations sur l'efficacité de ce traitement lors des phases aiguë et subaiguë. Il serait intéressant de réaliser une même étude en se servant des mêmes critères de jugement pour montrer s'il existe une corrélation entre les améliorations fonctionnelles présentes ou non et la présence d'une réorganisation corticale durant ces deux phases.

Les effets de la contrainte induite ont été montrés avec des protocoles basés sur le protocole classique de Taub, mais également sur des protocoles modifiés avec des temps d'interventions réduits. Pour ces différents temps d'intervention, des améliorations fonctionnelles ainsi que des effets sur la plasticité cérébrale ont été montrés, ce qui peut suggérer l'adaptabilité de la mise en place d'un protocole en libéral avec des temps réduits adaptés à cette situation.

L'évaluation de l'effet de la contrainte induite sur la réorganisation corticale a été démontré dans cette revue par les outils de neuroimagerie dont l'IRMf. Les outils de neuroimagerie permettent donc d'évaluer les phénomènes de plasticités mais ils peuvent également être utilisés pour identifier des caractéristiques spécifiques à chaque individu en ce qui concerne la modification structurelle cérébrale en mettant en avant le phénomène de neuro-adaptation (72). Ce phénomène de neuro-adaptation peut également nous guider sur la modification du protocole de la technique de contrainte induite, en adaptant les paramètres tels que le temps du port de la contention ou le type de contention utilisée en fonction du patient, de ses déficits ainsi que de la présence d'un accompagnement à son domicile.

Dans certaines études de cette revue, la thérapie du mouvement par contrainte induite ainsi que les critères de jugements de neuroimagerie étaient accompagnées de la stimulation magnétique transcrânienne (SMT). Cette utilisation de la SMT est en lien avec l'évaluation des phénomènes de plasticité cérébrale, puisqu'elle permet d'avoir une action sur l'inhibition inter-hémisphérique présente après une lésion cérébrale et elle a une action sur l'amélioration des performances fonctionnelles. Son utilisation nécessite l'utilisation d'outils de neuroimagerie (60,72). Ainsi, il pourrait être intéressant de normaliser l'utilisation de la contrainte-induite et de la SMT pour améliorer les performances fonctionnelles de la technique de la contrainte induite. De plus, l'utilisation de la SMT combinée aux outils de neuroimagerie pourrait également servir à approfondir les critères d'évaluation clinique des techniques de rééducation, ainsi qu'aider les recherches en neurosciences à identifier les phénomènes de réorganisation corticale en déterminant des cartographies de la variabilité d'excitation corticale par exemple (60).

Enfin, l'évaluation de l'effet de la technique de contrainte induite a également été faite par l'utilisation d'échelles cliniques : la Wolf Motor Function Test (WMFT), le Fugl-Meyer Assessment (FMA) et le Motor Activity Log (MAL). D'après les dernières recommandations consensuelles internationales pour l'utilisation des critères de jugement dans les ECR lors d'une rééducation du membre supérieur après un accident vasculaire cérébral (73) datées de novembre 2020, les échelles WMFT, FMA et MAL ont été sélectionnées comme étant des échelles à utiliser et à mettre dans la « boîte à outil » du thérapeute lors de l'évaluation des critères de la Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) puisqu'elles ont obtenu un consensus supérieur à soixante pour cent. Ainsi, ces échelles doivent automatiquement être privilégiées en tant que critère de jugement dans les prochaines études. Dans une démarche EBP (*evidence based practice*), l'utilisation de ces trois échelles en tant que marqueur de suivis, lors de la mise en place d'un traitement par thérapie par mouvement par contrainte induite serait intéressant puisque les données récoltées par le thérapeute pourraient être comparées aux données des études, ce qui permettrait au thérapeute d'avoir une indication sur l'évolution potentielle de l'amélioration fonctionnelle du patient.

## 6 Conclusion :

La thérapie du mouvement par contrainte induite est une technique de rééducation spécifique à la récupération des fonctionnalités du membre supérieur hémiparétique pour les patients victimes d'un accident vasculaire cérébrale. Le niveau de preuve de son efficacité n'a été démontrée que pour son utilisation en phase chronique par la HAS (2) avec une recommandation de grade B tandis qu'aucune preuve d'efficacité n'a été démontrée pour les autres phases de l'AVC.

Cependant, rien n'est apporté pour justifier le fait que cette technique n'est efficace que pour la phase chronique. Il était intéressant, puisque la technique de contrainte induite se base sur la récupération due au phénomène de plasticité cérébrale, de comprendre quels phénomènes cérébraux ont lieu lors de la mise en place de cette technique lors de la phase chronique. Ainsi, la problématique de cette revue de la littérature reposait sur la question suivante : quels effets la thérapie par mouvement par contrainte induite a sur la plasticité cérébrale chez les patients atteints d'hémiparésies en phase chronique ?

Pour répondre à cette problématique, une recherche méthodique basée sur cinq bases de données (PubMed, PEDro, Science direct, Cochrane Library et Google Scholar) a eu lieu. Au total, sept études ont été retenues, dont trois essais cliniques randomisés, un essai clinique non randomisé, et trois séries de cas. Ces études ont globalement un niveau de preuve faible de grade C, à l'exception d'un ECR qui obtient, quant à lui, et d'après la HAS, un niveau de preuve de recommandation de grade B (57). Cette revue de littérature, au regard du faible nombre d'études qu'elle contient, et parce que la majorité de celles-ci a un faible niveau de recommandation, obtient un faible niveau de preuve, de grade C.

Les résultats obtenus restent discutables mais ils ont pu démontrer, avec des résultats significatifs pour la majorité d'entre eux, les effets que la thérapie du mouvement par la contrainte induite exerce sur la plasticité cérébrale. En effet, deux catégories de critères de jugement ont permis de montrer cet effet. Tout d'abord, les échelles cliniques ont démontré de façon significative une amélioration fonctionnelle globale par la thérapie par contrainte induite. Ensuite, l'utilisation des différents types d'outils de neuroimagerie présents dans les études tels que l'IRMf, le scanner, ou encore la stimulation magnétique transcrânienne, a montré les effets de la contrainte induite sur la réorganisation corticale fonctionnelle et parfois même structurelle. Les effets ont été les suivants : des changements de perfusions ont été montrés, une augmentation des potentiels corticaux lents et une augmentation de l'ampleur d'activation cérébrale globale ont eu lieu, ainsi qu'une augmentation de la matière grise dans les deux hémisphères, que ce soit dans l'hémisphère où l'AVC a eu lieu ou dans l'hémisphère controlatéral à cette lésion.

Enfin, une mise en évidence de l'accentuation de la différence inter-hémisphères a également été montrée. Tous ces effets sont le signe d'une réorganisation corticale et permettent d'affirmer la présence de phénomènes de plasticité cérébrale. De plus, une corrélation entre les résultats obtenus par les échelles montrant une amélioration fonctionnelle et les résultats obtenus grâce aux outils de neuroimagerie révélant plusieurs effets différents de la réorganisation corticale, a été montrée.

Pour les études à venir, il semble intéressant d'effectuer le même processus de recherche pour savoir si cette corrélation entre ces deux types de critères de jugement existe pour les deux autres phases de l'accident vasculaire cérébral : phase aiguë et phase non aiguë. Cela supposerait que davantage d'explications seraient recueillies en ce qui concerne l'utilité de la mise en pratique de la contrainte induite pendant ces deux phases.

D'un point de vue clinique, cette revue montre que l'adaptation du protocole de la thérapie par la contrainte induite pourrait être intéressante. Les différents paramètres concernant le type de contention ou la durée du port de cette contention doivent être adaptés aux capacités du patient pour faciliter le phénomène de neuro-adaptation. La mise en place d'une thérapie par contrainte induite est également envisageable mais l'importance de la prise en compte de la présence d'un accompagnant dans l'environnement du patient doit être un critère essentiel.

Enfin, la mise en place de marqueurs de suivis tels que les outils de neuroimagerie identiques à ceux utilisés lors des études ne peuvent pas être mis en place, en particulier à cause de leur coût ainsi qu'en raison de leur faible disponibilité. Néanmoins, l'utilisation des échelles tels que le *Wolf Motor Function test* (WMFT), le *Fugl-Meyer Assessment* (FMA), et le journal d'activité motrice (MAL) sont des marqueurs de suivis qui devraient être utilisés de façon automatique. L'utilisation de ces marqueurs fait partie d'une démarche EBP puisque ces échelles font parties des échelles recommandées pour les études du membre supérieur chez les patients atteints d'AVC (73), ce qui permettra au thérapeute de comparer les données cliniques avec les résultats de ces futures études.

## Bibliographie :

1. Fondation pour la recherche sur les AVC. Fréquence | Fondation pour la Recherche sur les AVC [Internet]. [cité 8 déc 2019]. Disponible sur : <http://www.fondation-recherche-avc.org>.
2. HAS. Accident Vasculaire Cérébral (AVC) [Internet]. Haute Autorité de Santé. [cité 20 nov 2019]. Disponible sur : [https://www.hassante.fr/jcms/p\\_3058302/fr/accident-vasculaire-cerebral-avc](https://www.hassante.fr/jcms/p_3058302/fr/accident-vasculaire-cerebral-avc).
3. Opsommer E, Ferchichi S. Traitement de la fonction du membre supérieur du patient hémiparétique. Synthèse de recommandations dans le cadre de l'accident vasculaire cérébral. *Kinésithérapie Rev.* 1 janv 2013.
4. Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel G. Stroke rehabilitation. *Lancet Lond Engl.* 14 mai 2011
5. Deroide N, Nih LR, Tran Dinh RY, Lévy B, Kubis N., Plasticité cérébrale : de la théorie à la pratique dans le traitement de l'accident vasculaire cérébral. *Rev Médecine Interne*, 1 juillet 2010.
6. P.Gressens. Protéger le cerveau en comprenant et mobilisant ses capacités de plasticité - *Science Direct* [Internet]. 2015 [cité 5 mars 2020]. Disponible sur : <https://www-sciencedirect-com.scd1.univ-fcomte.fr/science/article/pii/S0245591915000278>.
7. OMS. OMS | Accident vasculaire cérébral (AVC) [Internet]. WHO. [cité 3 déc 2019]. Disponible sur : [http://origin.who.int/topics/cerebrovascular\\_accident/fr/](http://origin.who.int/topics/cerebrovascular_accident/fr/).
8. A. de Morand. *Pratique de la rééducation neurologique*. Ann Phys Rehabil Med. 1 mai 2011, p. 54.
9. Collège des Enseignants de Neurologie. Accidents vasculaires cérébraux [Internet]. Collège des Enseignants de Neurologie. 2016 [cité 4 mars 2020]. Disponible sur: <https://www.cen-neurologie.fr/deuxieme-cycle/accidents-vasculaires-cerebraux>.
10. INSERM. Accident vasculaire cérébral (AVC) [Internet]. Inserm - La science pour la santé. [cité 20 nov 2019]. Disponible sur : <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/accident-vasculaire-cerebral-avc>.
11. Collège des Enseignants de Neurologie. Syndrome pyramidal [Internet]. Collège des Enseignants de Neurologie. 2016 [cité 4 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.cen-neurologie.fr/premier-cycle/semiologie-analytique/syndrome-myogene-myopathique/syndrome-myogene-myopathique-13>.
12. Carota A, Annoni J-M, Piccardi L, Bogousslavsky J. Syndromes majeurs de l'hémisphère mineur. *EMC - Neurol.* 1 nov 2005.

13. Rabadi MH. Review of the randomized clinical stroke rehabilitation trials in 2009. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* févr 2011.
14. Dupeyron A, Collège français des enseignants universitaires de médecine physique et de réadaptation. *Médecine physique et de réadaptation.* 2018.
15. Corinne Bernardeau, et al. *Comprendre la paralysie cérébrale et les troubles associés* [Internet]. 2017 [cité 24 mars 2020]. Elsevier Masson. 2<sup>ème</sup> édition. sept 2017 ; p37.
16. Serge N. Schiffmann. *Le cerveau en constante reconstruction : le concept de plasticité cérébrale* | Cairn.info [Internet]. 2013 [cité 24 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-cahiers-de-psychologie-clinique-2001> ; p11.
17. Philippe Toulet. *Plasticité cérébrale du système sensorimoteur après lésion cérébrale précoce : le cas particulier des membres supérieurs* [Internet]. [cité 24 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.sciencedirect-com.scd1.univ-fcomte.fr/science/article/pii/S0245591912000635>.
18. Brihmat N. *Récupération motrice du membre supérieur post-AVC : recherche de mesures adaptées pour l'évaluation et étude de l'efficacité de stratégies thérapeutiques* [Internet] [phd]. Université de Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier; 2018 [cité 10 juin 2020]. Disponible sur : <http://thesesups.ups-tlse.fr/4121/>.
19. de Marco G, Menuel C, Guillevin R, Vallée J-N, Lehmann P, Fall S, et al. *Intérêt clinique de l'IRMf et des méthodes d'exploration fonctionnelle de l'activité et de l'interactivité cérébrales : considérations physiques et neurophysiologiques.* *J Neuroradiol.* 1 juill 2008.
20. Filippi M, Rocca MA. Disturbed function and plasticity in multiple sclerosis as gleaned from functional magnetic resonance imaging. *Curr Opin Neurol.* juin 2003.
21. HAS. *Évaluation fonctionnelle de l'AVC et kinésithérapie* [Internet]. Haute Autorité de Santé. [cité 22 mars 2020]. Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/jcms/c\\_272517/fr/evaluation-fonctionnelle-de-l-avc-et-kinesitherapie](https://www.has-sante.fr/jcms/c_272517/fr/evaluation-fonctionnelle-de-l-avc-et-kinesitherapie).
22. Chen H, Lin K, Wu C, Chen C. Rasch validation and predictive validity of the action research arm test in patients receiving stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* juin 2012.
23. Sødning KM, Bautz-Holter E, Ljunggren AE, Wyller TB. Description and validation of a test of motor function and activities in stroke patients. The Sødning Motor Evaluation of Stroke Patients. *Scand J Rehabil Med.* déc 1995.
24. Heller A, Wade DT, Wood VA, Sunderland A, Hewer RL, Ward E. Arm function after stroke: measurement and recovery over the first three months. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* juin 1987.

25. Platz T, Pinkowski C, van Wijck F, Kim I-H, di Bella P, Johnson G. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer Test, Action Research Arm Test and Box and Block Test : a multicentre study. *Clin Rehabil.* juin 2005.
26. Yelnik A. Évolution des concepts en rééducation du patient hémiparétique. *Ann Réadapt Médecine Phys.* 1 juin 2005.
27. Oujamaa L, Relave I, Froger J, Mottet D, Pelissier J-Y. Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. *Ann Phys Rehabil Med.* 1 avr 2009.
28. Tisne G, Font F, Theillet V, Tranchevent R, Veber M. La place de la tâche orientée motorisée dans la rééducation de la marche chez l'hémiparétique. *Kinésithérapie Rev.* 1 mai 2012.
29. Duret C, Gracies J-M. La rééducation du membre supérieur assistée par robot contribue-t-elle à améliorer le pronostic de l'hémiparésie vasculaire ? *Rev Neurol (Paris).* 1 nov 2014.
30. Colné P. La vision de l'image du mouvement, une solution efficace dans la rééducation précoce du membre supérieur après un AVC, en particulier pour la récupération de la motricité distale et celle de la sensibilité et pour diminuer le déficit des processus attentionnels. *Kinésithérapie Rev.* 1 nov 2009.
31. Libois P-Y, De Beer A, Ghislain M, Grimée M, Libois A, Assaban F. La Réalité Virtuelle, outil de réactivation de la neuroplasticité dans l'hémiparésie chronique. *Rev Neurol (Paris).* 1 avr 2019.
32. La thérapie miroir pour l'amélioration de la fonction motrice après un accident vasculaire cérébral [Internet]. [cité 21 juill 2020]. Disponible sur : [/fr/CD008449/STROKE\\_la-therapie-miroir-pour-lamelioration-de-la-fonction-motrice-apres-un-accident-vasculaire-cerebral](https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD008449).
33. Thieme H, Morkisch N, Mehrholz J, Pohl M, Behrens J, Borgetto B, et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2018 [cité 21 juill 2020];(7). Disponible sur : <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD008449>.
34. Cochrane Library. Constraint-induced movement therapy for upper extremities in people with stroke - Corbetta, D - 2015 | Cochrane Library [Internet]. [cité 8 déc 2019]. Disponible sur : <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD004433>.
35. Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, Taub E, Uswatte G, Morris D, et al. Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke : the EXCITE randomized clinical trial. *JAMA.* 1 nov 2006.
36. Kwakkel G, Veerbeek JM, van Wegen EEH, Wolf SL. Constraint-induced movement therapy after stroke. *Lancet Neurol.* févr 2015.

37. Muriel PELTIER, Pr Bernard BUSSEL, Emmanuelle DANZART, Viviane CANNIZZO, Alexis JOFFROY, Sylvie OLIVIER, Carine ROUY. Ks - Rééducation du membre supérieur hémiplégique par contrainte induite [Internet]. 2007 [cité 26 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.ks-mag.com/article/7222-reeducation-du-membre-superieur-hemiplegique-par-contrainte-induite>.
38. Wolf SL, Lecraw DE, Barton LA, Jann BB. Forced use of hemiplegic upper extremities to reverse the effect of learned nonuse among chronic stroke and head-injured patients. *Exp Neurol*. mai 1989.
39. Taub E, Miller NE, Novack TA, Cook EW, Fleming WC, Nepomuceno CS, et al. Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. avr 1993.
40. Taub E, Uswatte G, Mark VW, Morris DMM. The learned nonuse phenomenon: implications for rehabilitation. *Eur Medicophysica*. sept 2006.
41. Nijland R, Kwakkel G, Bakers J, van Wegen E. Constraint-Induced Movement Therapy for the Upper Paretic Limb in Acute or Sub-Acute Stroke : A Systematic Review. *Int J Stroke*. oct 2011.
42. Page S, Levine Peter null. Forced use after TBI: promoting plasticity and function through practice. *Brain Inj*. août 2003.
43. Shi YX, Tian JH, Yang KH, Zhao Y. Modified constraint-induced movement therapy versus traditional rehabilitation in patients with upper-extremity dysfunction after stroke : a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. juin 2011.
44. Wolf SL, Thompson PA, Winstein CJ, Miller JP, Blanton SR, Nichols-Larsen DS, et al. The EXCITE stroke trial: comparing early and delayed constraint-induced movement therapy. *Stroke*. oct 2010.
45. Bürge E, Kupper D, Badan Bâ M, Leemann B, Berchtold A. Qualities of a French version of the Wolf Motor Function Test: a multicenter study. *Ann Phys Rehabil Med*. mai 2013.
46. Stein J. Motor recovery strategies after stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2004.
47. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Rev Francoph Int Rech Infirm*. 1 mars 2017.
48. PEDro\_scale\_french(france).pdf [Internet]. [cité 14 sept 2020]. Disponible sur : [https://www.pedro.org.au/wp-content/uploads/PEDro\\_scale\\_french\(france\).pdf](https://www.pedro.org.au/wp-content/uploads/PEDro_scale_french(france).pdf).
49. Gauthier LV, Taub E, Perkins C, Ortmann M, Mark VW, Uswatte G. Remodeling the brain : plastic structural brain changes produced by different motor therapies after stroke. *Stroke*. mai 2008.

50. Rijntjes M, Hamzei F, Glauche V, Saur D, Weiller C. Activation changes in sensorimotor cortex during improvement due to CIMT in chronic stroke. *Restor Neurol Neurosci*. 2011.
51. Könönen M, Kuikka JT, Husso-Saastamoinen M, Vanninen E, Vanninen R, Soimakallio S, et al. Increased perfusion in motor areas after constraint-induced movement therapy in chronic stroke: a single-photon emission computerized tomography study. *J Cereb Blood Flow Metab Off J Int Soc Cereb Blood Flow Metab*. déc 2005.
52. Sterr A, Dean PJA, Vieira G, Conforto AB, Shen S, Sato JR. Cortical thickness changes in the non-lesioned hemisphere associated with non-paretic arm immobilization in modified CI therapy. *NeuroImage Clin*. 1 janv 2013.
53. Könönen M, Tarkka IM, Niskanen E, Pihlajamäki M, Mervaala E, Pitkänen K, et al. Functional MRI and motor behavioral changes obtained with constraint-induced movement therapy in chronic stroke. *Eur J Neurol*. avr 2012.
54. Tarkka IM, Könönen M, Pitkänen K, Sivenius J, Mervaala E. Alterations in cortical excitability in chronic stroke after constraint-induced movement therapy. *Neurol Res*. juin 2008.
55. Cunningham DA, Varnerin N, Machado A, Bonnett C, Janini D, Roelle S, et al. Stimulation targeting higher motor areas in stroke rehabilitation: A proof-of-concept, randomized, double-blinded placebo-controlled study of effectiveness and underlying mechanisms. *Restor Neurol Neurosci*. 2015.
56. Vidal C. La plasticité cérébrale : une révolution en neurobiologie. *Spirale*. 2012; n° 63.
57. [etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf) [Internet]. [cité 16 nov 2020]. Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf).
58. Lefaucheur J-P, André-Obadia N, Poulet E, Devanne H, Haffen E, Londero A, et al. Recommandations françaises sur l'utilisation de la stimulation magnétique transcrânienne répétitive (rTMS) : règles de sécurité et indications thérapeutiques. *Neurophysiol Clin Neurophysiol*. 1 déc 2011.
59. Lefaucheur J-P, André-Obadia N, Poulet E, Devanne H, Garcia-Larrea L. Règles de sécurité concernant la pratique de la stimulation magnétique transcrânienne en clinique et en recherche. Texte de consensus. *Neurophysiol Clin Neurophysiol* [Internet]. 29 août 2011 [cité 19 nov 2020] ; Disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0987705311000633>.
60. Valero-Cabré A, Pascual-Leone A, Coubard OA. La stimulation magnétique transcrânienne (SMT) dans la recherche fondamentale et clinique en neuroscience. *Rev Neurol (Paris)*. 1 avr 2011.
61. McDonnell MN, Stinear CM. TMS measures of motor cortex function after stroke: A meta-analysis. *Brain Stimulat*. août 2017.

62. <https://strokengine.ca/fr/assessments/wmft/>. Wolf Motor Function Test (WMFT) [Internet]. Strokengine. [cité 19 nov 2020]. Disponible sur : <https://strokengine.ca/fr/assessments/wmft/>.
63. <https://strokengine.ca/fr/assessments/wmft/>. Fugl-Meyer Assessment of Sensorimotor Recovery After Stroke (FMA) [Internet]. Strokengine. [cité 19 nov 2020]. Disponible sur : <https://strokengine.ca/fr/assessments/fugl-meyer-assessment-of-sensorimotor-recovery-after-stroke-fma/>.
64. <https://strokengine.ca/fr/assessments/wmft/>. Motor Activity Log (MAL) [Internet]. Strokengine. [cité 19 nov 2020]. Disponible sur : <https://strokengine.ca/fr/assessments/motor-activity-log-mal/>.
65. Santisteban L, Térémetz M, Bleton J-P, Baron J-C, Maier MA, Lindberg PG. Upper Limb Outcome Measures Used in Stroke Rehabilitation Studies : A Systematic Literature Review. *PloS One*. 2016.
66. Amano S, Umeji A, Takebayashi T, Takahashi K, Uchiyama Y, Domen K. Clinimetric properties of the shortened Fugl-Meyer Assessment for the assessment of arm motor function in hemiparetic patients after stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2020.
67. Villepinte C, Verma A, Dimeglio C, De Boissezon X, Gasq D. Responsiveness of kinematic and clinical measures of upper-limb motor function after stroke : A systematic review and meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med*. 7 mars 2020.
68. de Marco G, Menuel C, Guillevin R, Vallée J-N, Lehmann P, Fall S, et al. Intérêt clinique de l'IRMf et des méthodes d'exploration fonctionnelle de l'activité et de l'interactivité cérébrales : considérations physiques et neurophysiologiques. *J Neuroradiol*. 1 juill 2008.
69. Krainik A, Villien M, Troprès I, Attyé A, Lamalle L, Bouvier J, et al. Imagerie fonctionnelle de la perfusion cérébrale. *J Radiol Diagn Interv*. 1 déc 2013.
70. Yilmaz O, Birbaumer N, Ramos-Murguialday A. Movement related slow cortical potentials in severely paralyzed chronic stroke patients. *Front Hum Neurosci*. 2014.
71. La stimulation magnétique transcrânienne : applications en Neurologie. *Rev Neurol (Paris)*. 1 nov 2005.
72. Kleim JA. Neural plasticity and neurorehabilitation : Teaching the new brain old tricks. *J Commun Disord*. 1 sept 2011.
73. Duncan Millar J, van Wijck F, Pollock A, Ali M. International consensus recommendations for outcome measurement in poststroke arm rehabilitation trials. *Eur J Phys Rehabil Med*. 20 nov 2020.

## Table des figures :

Figure 1 – Physio-pathologie de l'AVC .....	3
Figure 2 – Tableau récapitulatif du tableau clinique en fonction de la localisation de l'atteinte .....	3
Figure 3 – Troubles associés .....	4
Figure 4 – Classification de Rabadi .....	5
Figure 5 - Modèle hypothétique de récupération après un accident vasculaire cérébral avec calendrier des stratégies d'intervention issu de l'article de Langhorne.....	5
Figure 6 – La comparaison entre des patients atteints de sclérose en plaque (SEP) et d'AVC, et les sujets sains dits « contrôles » .....	8
Figure 7 – Illustration d'une séance de contrainte induite par des exercices de tâches orientées.....	10
Figure 8 – Représentation des aires cérébrales avec une augmentation de la perfusion (à gauche) ou une diminution (à droite).....	27
Figure 9 – Images du rendu de surface corticale de la substance grise.....	29
Figure 10 – Indice de latéralité (LI) des différentes zones des aires motrices avant et après CI.....	31
Figure 11 – Mise en évidence des potentiels évoqués moteurs (PEM) chez un sujet hémiparétique droit de l'étude .....	33
Figure 12 – Résultats de la période silencieuse iPS ipsilatérale avant et après thérapie pour les groupes placebo+CI et tDCS+CI .....	34
Figure 13 – Grille PEDro : analyses de la qualité méthodologiques des études.....	39
Figure 14 – Stimulation magnétique transcrânienne .....	42

## Table des tableaux :

Tableau 1 – Récapitulatif des mots clefs.....	13
Tableau 2 – Récapitulatif des critères d'éligibilités.....	15
Tableau 3 – <i>Serach strategy table</i> .....	16
Tableau 4 – Tableau récapitulatif de la structure des études.....	21
Tableau 5 – Résultats des scores moteurs.....	25
Tableau 6 – Résultats pour outils de neuroimagerie.....	36
Tableau 7 – Tableau récapitulatif des critères de la revue basés sur le tableau de l'échelle PRISMA.....	46

## **Annexes :**

**Annexe I - Tableaux d'analyses des articles**

**Annexe II - Grille d'évaluation de la qualité méthodologique PEDro**

**Annexe III - Grille d'évaluation de la qualité méthodologique PRISMA**

## Annexe I – Tableau d'analyse des articles :

Articles (titre, auteur, date) Type d'étude	Objectifs de l'étude	Population	Méthodologie-protocole utilisé	Résultats	Grille de lecture utilisée / score	Intérêts pour le mémoire
<p><b><i>Increased perfusion in motor areas after constraint-induced movement therapy in chronic stroke: a single-photon emission computerized tomography study</i></b></p> <p>(51)</p> <p><u>Les auteurs :</u> <b>M. Könönen et al</b></p> <p>Publié en <b>2005</b></p> <p><u>Type d'étude :</u> <b>Série de cas</b></p>	<p>1. Examiner si les patients atteints d'un AVC chronique peuvent bénéficier d'un programme par CI.</p> <p>2. Evaluer l'effet de la CI sur la modification de la perfusion cérébrale au repos mesuré par le SPECT.</p>	<p>12 sujets atteints d'un AVC chronique.</p> <p>8 hommes et 4 femmes, de 48 ans d'âge moyen.</p> <p>Le temps moyen depuis l'AVC était de 36 mois.</p> <p>5 patients avaient une lésion dans l'hémisphère gauche et 6 dans l'hémisphère droit.</p>	<p><b><u>Critères d'inclusion :</u></b> AVC ischémique datant de plus de 6mois ; avoir une extension active du poignet et des doigts de 10° ; ne pas avoir de problème de communication grave, ni d'être atteint de maladies cardiovasculaires.</p> <p><b><u>Intervention :</u></b> La CI a été appliqué pendant 6h/jour durant 10jours, basée sur le protocole décrit par Taub. Les exercices étaient adaptés individuellement, leurs difficultés augmentaient progressivement. Le bras non lésé a été « fixé » par un poids léger par un harnais, qu'il devait porter environ 10h/jour.</p> <p><b><u>Evaluation :</u></b> elle s'est déroulée avant l'intervention et après l'intervention.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Le score moteur : WMFT</u></li> <li>- <u>L'imagerie par : IRMf :</u> L'obtention de l'imagerie SPECT a été réalisé avec un produit de contraste. Les images ont été comparés avant et après thérapie et ont été transposés par une analyse statistique.</li> </ul>	<p><b><u>Score moteur :</u></b> Le temps moyen obtenu dans le test de Wolf a diminué de manière significative après thérapie et les scores de la fonctionnalité moyenne et les scores de qualités se sont considérablement améliorés. Il existe une variabilité individuelle en ce qui concerne les différentes améliorations des paramètres du test de Wolf. Les améliorations du test sont corrélées de manière significative avec la fonctionnalité et la qualité par rapport aux résultats avant la thérapie.</p> <p><b><u>Imagerie :</u></b> Une augmentation de la <b>perfusion</b> a lieu bilatéralement au niveau du cervelet. Mais aussi dans l'hémisphère atteint au niveau du gyrus précentral et du gyrus frontal supérieur et dans l'hémisphère non atteint au niveau du gyrus frontal supérieur et dans le gyrus cingulé. Une diminution a été trouvé dans les 4 zones de l'hémisphère non atteint et seulement au niveau du gyrus lingual dans l'hémisphère atteint.</p>	<p><b>Score par grille PEDro :</b>  <b>3/10</b></p>	<p>1. Mise en avant d'une autre façon de se servir de l'IRMf pour démontrer si la CI induit un effet sur la plasticité cérébrale. Dans cet article il s'agit de l'utilisation de la perfusion : SPECT.</p>

<p><b>Alterations in cortical excitability in chronic stroke after constraint-induced movement therapy</b></p> <p>(54)</p> <p><u>Les auteurs :</u> <b>M. Tarkka et al</b></p> <p>Publié en <b>2008</b></p> <p><u>Type d'étude :</u> <b>Série de cas</b></p>	<p><b>1.</b> Démontrer la présence de changements dans l'excitabilité corticale chez des sujets ayant subi un AVC après un traitement par CI.</p>	<p><b>13</b> sujets atteints d'AVC</p> <p>Âge moyen (47ans + ou - 8 ans)</p> <p>4 femmes et 9 hommes.</p>	<p><b>Critères d'inclusions :</b> avoir une extension volontaire minimal d'un ou plusieurs doigts ainsi que du poignet, être motivé, et ne pas présenter de troubles cognitifs, ainsi que l'absence de troubles cardiaques et inflammatoires.</p> <p><b>Intervention :</b> la contrainte induite a été appliqué selon le protocole décrit par Taub, pendant 7h par jour pendant 2 semaines soit 10 jours. La main non affectée a été plâtrée.</p> <p><b>Evaluation :</b> elle s'est déroulée avant et après l'intervention.</p> <p><b>Score moteur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>WMFT</b></li> </ul> <p><b>Excitabilité corticale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>TMS :</b> a permis d'évaluer les <b>PME</b> de manière bilatérale. Une cartographie du cortex moteur spécifique à la main a été réaliser chez 12 sujets.</li> <li>- <b>EEG :</b> a permis d'évaluer les <b>potentiels corticaux lié aux mouvements (PCM)</b> chez 10 sujets.</li> </ul>	<p><b>Score moteur :</b> les scores de la WMFT ont augmenté de manière significative en ce qui concerne la fonctionnalité et la qualité des mouvements après l'intervention avec un score atteignant 60 à 70 / 80.</p> <p><b>Excitabilité corticale :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>TMS :</b> avec une intensité de 90%, les amplitudes des PME était significativement plus élevés du côté des muscles de la main non affectée qu'affectée. Mais une augmentation significative des PME a été observé après l'intervention.</li> <li>- <b>EEG :</b> les PCMs enregistrés n'ont montré aucune différence après l'intervention par rapport à l'amplitude des crêtes ou encore de leurs fréquences au niveau de l'hémisphère atteint.</li> </ul>	<p><b>Score par grille PEDro :</b></p> <p><b>4/10</b></p>	<p><b>1.</b> Mis en évidence de l'effet de la CI sur la plasticité cérébrale d'autres indicateurs : EEG.</p> <p><b>2.</b> Le nouvel indicateur (EEG) peut permettre la comparaison avec d'autres indicateurs utilisés dans les autres études tels que l'IRMf et d'en évaluer la pertinence de son utilisation.</p>
---	---	---	---	--	---	--

<p><b>Functional MRI and motorbehavioral changes obtainedwith constraint-induced movement therapy in chronic stroke</b></p> <p>(53)</p> <p>Les auteurs : <b>M. Könönen, et al</b></p> <p>Publié en <b>2012</b></p> <p>Type d'étude : <b>Série de cas</b></p>	<p>1. Evaluer la relation entre le gain clinique et les changements à l'imagerie après traitement par la thérapie de contrainte induite (CI).</p> <p>2. Analyser si la CI induit des modifications de la latéralité ou au niveau de l'ampleur de l'activation de l'IRMf pendant un mouvement.</p> <p>3. Analyser les associations possibles entre l'imagerie fonctionnelle et l'observation clinique sur le gain de contrôle moteur chez chaque patient.</p>	<p>11 patients (37,6 ± 36,8 mois) post AVC en phase chronique</p>	<p><b>Critères d'inclusions :</b> Patient en phase chronique (AVC datant d'au moins +/-6mois), avec l'obligation d'avoir un contrôle volontaire minimum de 10° d'extension du poignet et des doigts. Ils ne doivent pas avoir de troubles de la communication sévère ni aucune autre maladie aigue.</p> <p><b>Intervention :</b> celle-ci a duré 2 semaines, soit 5jours par semaine et 6h/jour. La difficulté des exercices étaient croissantes dans le temps. La main non affectée a été immobilisé dans un plâtre.</p> <p><b>Evaluation :</b> celle-ci s'est déroulée avant et immédiatement après le traitement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Les scores moteurs : WMFT</b></li> <li>- <b>L'évaluation de l'IRMf l'approche par région d'intérêt (ROI)</b> a été privilégié. <b>L'indice de latéralité</b> ainsi que l'ampleur d'activation a été calculé à partir des contrastes de l'IRMf. <b>L'ampleur de l'activité</b> de l'IRMf est définie en pourcentage (%).</li> <li>- <b>La stimulation magnétique transcrânienne (TMS) :</b> son intensité a été fixé à 90% par rapport à la puissance maximale. Les électrodes ont été placé au niveau de la zone du cortex moteur primaire. Le potentiel moteur évoqué (PEM) a été enregistré sur les muscles intrinsèques de la main.</li> <li>- <b>Corrélation :</b> les sites de latences et les amplitudes de points ont été comparé aux données de l'IRMf et aux changements comportementaux.</li> </ul>	<p><b>WMFT :</b> une amélioration clinique a été démontré. Le temps total moyen obtenu dans la WMFT a diminué et le score de fonctionnalité a augmenté. Les patients qui avaient un moins bon score de fonctionnalité ont obtenu une amélioration plus importante que ceux qui débutaient avec un bon score.</p> <p><b>IRMf :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Performance fonctionnelle :</b> en post traitement, la latéralité d'activation diffère sensiblement entre la main parétique et la main non parétique. Mais il n'y a pas eu de changement au niveau de l'équilibre inter-hémisphérique.</li> <li>- <b>Changement d'activation :</b> L'activation a été plus élevé lors de la réalisation d'une tâche par la main parétique que par la main non parétique. Les patients qui débutaient l'intervention avec une fonctionnalité moins importante obtenaient une étendue d'activation de l'IRMf plus importante lors de l'exécution d'une tâche par la main parétique.</li> <li>- L'augmentation significative de l'activation est corrélée avec l'amélioration de la fonctionnalité motrice</li> </ul> <p><b>IRMf et TMS :</b></p> <p>Il n'existe pas de corrélation entre le PEM et les paramètres de l'IRMf dans les aires prémotrice ou sensori-motrices.</p>	<p><b>Score par grille PEDro :</b></p> <p><b>5/10</b></p>	<p>1. Mise en évidence de la plasticité cérébrale d'un point de vue clinique (tests moteurs) et à partir de la neuroimagerie (IRMf)</p> <p>2. Lien avec l'évaluation par IRMf de l'effet de la contrainte induite sur la plasticité cérébrale et de l'utilisation la TMS.</p>
--	--	---	--	--	---	---

<p><b>Activation changes in sensorimotor cortex during improvement due to CIMT in chronic stroke</b></p> <p>(50)</p> <p>Les auteurs : <b>M. Rijntjes, et al</b></p> <p>Publié en <b>2011</b></p> <p><u>Type d'étude :</u> <b>EC non randomisé</b></p>	<p>1. Observation de l'effet à long terme de la contrainte induite (CI), en fonction de l'intégrité du tractus pyramidal,</p> <p>2. Corréler l'amélioration de l'effet à long terme de la CI avec les changements dans l'activation de l'IRMf.</p>	<p>12 patients ayant subi un AVC datant d'au moins 1an</p> <p>Age moyen : 57,1ans.</p> <p>Tous les patients sauf le n°10 étaient droitier.</p> <p>5 patients dans le groupe 1 et 3 patients dans le groupe 2 ont eu un infarctus à l'hémisphère gauche ;</p> <p>*</p>	<p>12 patients sont regroupés dans 2 groupes selon leurs résultats du TMS qui a pour rôle d'évaluer la conduction motrice centrale.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Groupe 1</b> : patients n°1 à 7 = conduction motrice centrale normale : tractus pyramidal intact</li> <li>- <b>Groupe 2</b> : patient n°8 à 12 = temps de Quick a été affecté : tractus pyramidal atteint</li> </ul> <p><b>Critère d'inclusions :</b> avoir au moins 20° d'extension du poignet en actif ainsi que 10° d'extension des doigts ; un faible score au MAL pour éviter l'effet de plafond</p> <p><b>Intervention :</b> la CI a été appliqué selon le protocole classique de Taub, sous la supervision d'un MK axé sur des activités fonctionnelles adapté individuellement, durant 6h/J pendant 2 semaines. La main non affectée a été placée dans une attelle pendant les 90% des heures de veilles du patient.</p> <p><b>Evaluation :</b> les mesures ont été prises en 3 temps, la première avant traitement, la deuxième en post traitement (à l'issue des 2 semaines), et la dernière à 6mois après l'intervention.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Les scores moteurs :</u> <b>MAL-AOU/MAL-QOM ; WMFT-FA / WMFT-sec</b></li> <li>- <u>Analyse de l'IRMf :</u> <b>Phase 1</b> : avant VS après l'intervention <b>Phase 2</b> : après l'intervention VS après 6mois</li> </ul>	<p><b>Scores moteurs :</b></p> <p><b>Phase 1 :</b> dans les deux groupes : amélioration significative des scores</p> <p><b>Phase 2 :</b> après 6mois, une différence significative entre les deux groupes existe : l'amélioration est restée stable dans le groupe 1 tandis que pour le groupe 2 elle s'est détériorée.</p> <p><b>L'IRMf :</b></p> <p><b>Phase 1 :</b> <u>Groupe 1</u> : la diminution de l'activation dans le SMC était à son maximum (%) <b>VS</b> <u>Groupe 2</u> : 2pics d'activations accrues ont été détectés dans le SMC (%)</p> <p><b>Phase 2 :</b> dans les deux groupes, une diminution de l'activité du SMC contrôlé a été enregistré</p> <p><b>Corrélations scores moteurs et signal de l'IRMf :</b></p> <p><b>Groupe 1 et 2 :</b> les améliorations des scores moteurs sont corrélés avec les changements des signaux différentiels dans le SMC</p>	<p><b>Score par grille PEDro :</b></p> <p><b>5/10</b></p>	<p>1. Mise en évidence de la plasticité cérébrale d'un point de vue clinique (tests moteurs) et à partir de la neuroimagerie (IRMf)</p> <p>2. Cet article montre que ces outils mettent en évidence les effets de la contrainte induite et que ces outils entre eux sont corrélés.</p>
---	--	---	--	--	---	--

<p><b>Cortical thickness changes in the non-lesioned hemisphere associated with non-paretic arm immobilization in modified CI therapy</b></p> <p>(52)</p> <p>Les auteurs : <b>A. Sterr et al</b></p> <p>Publié en <b>2013</b></p> <p>Type d'étude : <b>ECR</b></p>	<p>1. Déterminer si l'utilisation de la CI induit des changements structurels dans l'hémisphère non lié et comment ces changements sont liés au traitement</p>	<p>31 patients atteints d'hémiplégie chronique modérée à sévère du bras gauche (N=15) et du bras droit (N=16).</p> <p>Ils ont été recrutés par l'intermédiaire de médecins et des communautés de soutien en ligne.</p>	<p><b>Critères d'exclusion :</b> patient en état dépressif, la présence de crise d'épilepsie 6mois avant l'étude, une aphasia aggravée ou un MMMSE positif.</p> <p><b>Critère d'inclusion :</b> avoir au minimum 10° d'extension des doigts et du poignet</p> <p>La <b>répartition</b> des patients a été <b>randomisé</b>. Ils ont été séparés en deux groupes avec ou sans contrainte.</p> <p><b>Intervention :</b> tous les patients ont reçu le traitement par CIMT modifié avec ou sans la contrainte du bras non parétique pendant 2semaine soit 10jours de traitements. La répartition des sujets dans les groupes s'est faite de façon <b>randomisée</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe : 3h avec contrainte (n=7)</li> <li>- Groupe : 3h sans contrainte (n=10)</li> <li>- Groupe : 1.5h avec contrainte (n=7)</li> <li>- Groupe : 1.5h sans contrainte (n=7)</li> </ul> <p><b>Evaluation :</b> elle s'est déroulée avant et après traitement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Les scores moteurs : WMFT et MAL</b></li> <li>- <b>L'IRMf :</b> les images ont été acquises à J1(avant thérapie) et à j15(après thérapie). Seuls 20 patients sur les 31 ont été enregistrés. Une <b>analyse de l'épaisseur corticale</b> a été faite, <u>seulement pour l'hémisphère non lésé</u>. <b>L'analyse du ROI</b> a pour but de déterminer l'effet de la contrainte induite sur les différences de volume du gyrus en post-traitement en corrélant les données du volumes et les résultats des tests WMFT et MAL.</li> </ul>	<p><b>Effet de la thérapie :</b></p> <p>Des améliorations significatives ont été constaté sur toutes les mesures évaluant la capacité motrice.</p> <p>Lors de la distinction groupe avec contrainte et groupe sans contrainte, les améliorations significatives ont été démontré à l'exception du WMFT TT qui lui n'a montré aucun effet de traitement dans le groupe sans contrainte.</p> <p><b>Analyse de l'épaisseur corticale :</b></p> <p>Chez tous les participants, une augmentation de l'épaisseur corticale en post thérapie a été constaté avec un pic d'amas centré sur le gyrus pré-central, ainsi qu'au niveau du gyrus post-central et au milieu du gyrus frontal.</p> <p>Seule l'augmentation du volume cortical dans la zone post-central du gyrus a été significative mais il n'existe pas de différence significative entre le groupe avec et sans contrainte.</p> <p>Les changements du volume cortical n'étaient pas associés de manière significative aux résultats des échelles évaluant l'effet de la thérapie.</p>	<p><b>Score par grille PEDro :</b></p> <p><b>6/10</b></p>	<p>1. Mise en évidence de l'effet de la contrainte induite par l'utilisation de score moteurs</p> <p>2. Lien entre les résultats des scores moteurs et l'analyse des différents outils à partir de l'IRMf.</p>
--	--	--	---	--	---	--

<p><b>Remodeling the Brain Plastic Structural Brain Changes Produced by Different Motor Therapies After Stroke</b></p> <p>(49)</p> <p><u>Les auteurs :</u> <b>L. V. Gauthier et al</b></p> <p>Publié <b>2008</b></p> <p><u>Type d'étude :</u> <b>ECR</b></p>	<p>1. Evaluer la possibilité d'apparition de changements au niveau de la structure du cerveau pendant un programme de réadaptation efficace qui est la contrainte induite (CI).</p>	<p><b>49</b> patients atteints d'AVC chronique avec des hémiparésies légères à modérées du membre supérieur.</p> <p>Dont 26 hommes et 23 femmes.</p> <p>Agé : (64.5+-11.9 ans)</p> <p>41 étaient droitiers et 8 étaient gauchers.</p> <p>20 avaient une hémiparésie à droite et 29 une hémiparésie à gauche.</p>	<p>La répartition des patients dans les différents groupes a été <b>randomisé</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe 1 : intervention par CI dont PT (n=16)</li> <li>- Groupe 2 : intervention par CI sauf PT (n=20)</li> </ul> <p><b>Critères d'exclusions :</b> les critères empêchant la réalisation des IRM, les patients qui ont déjà été rééduqués par CI, la présence de lésion au niveau des cortex moteurs et sensoriels.</p> <p><b>Intervention :</b> les patients ont reçu une thérapie par CI intensive en laboratoire pendant 3h tous les jours pendant 10 jours consécutifs. Le bras non parétique a été maintenu pendant 90% des heures de veille. Certains patients, ont reçu en supplément une technique spécifique dit <i>transfer package (TP)</i> pendant 30 minutes par jour.</p> <p><b>Evaluation :</b> Elle s'est déroulée avant et après l'intervention.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Tests de la fonction motrice : MAL &amp; WMFT</u></li> <li>- <u>Analyse de l'IRM :</u> elle a pour but de comparer les changements de la matière grise pour les deux groupes. Ces changements ont été identifiés puis quantifiés. L'analyse a montré l'évolution moyenne de la matière grise par voxel.</li> </ul>	<p><b>Clinique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>MAL :</b> le groupe 1 a montré une amélioration significative supérieure à celle du groupe 2</li> <li>- <b>WMFT :</b> Les deux groupes ont montré une amélioration significative. Mais le groupe 1 a su mieux transposer son amélioration fonctionnelle dans les activités quotidiennes que le groupe 2 après l'intervention.</li> </ul> <p><b>Anatomie :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le groupe 1 a montré une augmentation importante de la matière grise dans les zones bilatérales et symétriques au niveau du cortex sensorimoteur ipsilatéral et de l'hippocampe.</li> <li>- Le groupe 2 n'a pas montré aucune augmentation de la matière grise.</li> <li>- L'utilisation du TP a montré une différence significative sur l'augmentation de la matière grise.</li> </ul> <p><b>Clinique et anatomie :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les changements structurels sont accompagnés par l'amélioration des scores fonctionnels</li> <li>- L'augmentation de la matière grise pour les deux groupes a été corrélée avec l'amélioration du score MAL.</li> </ul>	<p><b>Score par grille PEDro :</b></p> <p><b>6/10</b></p>	<p>1. Mis en avant de l'utilité de l'analyse par IRMf pour démontrer l'efficacité de la technique de contrainte induite voir même pour aider les cliniciens à perfectionner cette technique.</p> <p>2. Démonstration de l'amélioration clinique et les changements structuraux par l'utilisation de la CI.</p>
--	---	--	---	---	---	--

<p><b>Stimulation targeting high motor areas in stroke rehabilitation: A proof-of-concept, randomized, double-blinded placebo controlled study of effectiveness and underlying mechanisms</b></p> <p>(55)</p> <p>Les auteurs : <b>A. Cunningham et al</b></p> <p>Publié en <b>2015</b></p> <p>Type d'étude : <b>ECR</b></p>	<p>1. Démontrer si la potentialisation des zones motrices supérieures du cortex par de la TMS augmente et accélère la récupération lors d'une rééducation par contrainte induite (CI).</p>	<p>12 patients en phase chronique suite un AVC ischémique ou hémorragique</p> <p>Age moyen : 61±9 ans)</p>	<p>Etude clinique pilote <b>randomisée en double aveugle</b> (patients et enquêteurs)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Groupe 1</b> : 6 patients : TDCS+CI</li> <li>- <b>Groupe 2</b> : 6 patients : TDCS fictives+ CI</li> </ul> <p><b>Les critères d'exclusion</b> sont en lien avec les contrindications à la TMS et à l'IRMf</p> <p><b>Intervention</b> : les deux groupes ont reçu le traitement de CI pendant 30mins, 2fois/jour, 3jours/semaines pendant 5semaines. Les exercices étaient fonctionnels, gradués et spécifiques au patient. Le membre non parétique a été immobilisé dans un gant. Le protocole de délivrance des tDCs a été raccourci dans la durée. Les électrodes ont été placés au niveau du cortex prémoteur.</p> <p><b>Evaluation</b> : elle s'est déroulée avant et après les 5semaines de traitement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Les scores moteurs</b> : <b>Fugl-Meyer (FMA)</b> et le <b>MAL</b>.</li> <li>- <b>Indices neuronaux</b> : <b>Le potentiel moteur évoqué (PME)</b> a été enregistré par une impulsion unique de <b>TMS</b> lors de l'activation fonctionnelle enregistrée par l'<b>IRMf</b>. <b>Une carte cortico-spinale</b> a été identifiée. <b>L'inhibition inter-hémisphérique</b> a été étudié à travers <b>la période silencieuse ipsilatérale (iSP)</b> exercé par chaque hémisphère avec utilisation de l'<b>EMG</b>. Elle est définie en pourcentage de diminution de l'EMG moyen par rapport à la période de pré-stimulation de l'EMG</li> </ul>	<p><b>Scores moteurs :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Fugl-Meyer</b> : dans le groupe 1 il y a eu une amélioration significative contrairement au groupe 2 qui a montré un changement non significatif</li> <li>- <b>MAL</b> : il n'existe pas de différence significative entre les deux groupes sur le résultat du MAL. Le groupe 1 a cependant montré une augmentation du score contrairement au groupe 2.</li> </ul> <p><b>Indices neuronaux :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucun des deux groupes n'a montré de changements sur l'inhibition des hémisphères ni un changement au niveau des cartes cortico-spinale.</li> <li>- Pour les deux groupes, la récupération de la fonction motrice n'est pas liée aux changements structurels cérébraux.</li> <li>- L'étude inter-hémisphérique montre une augmentation de l'excitabilité contro-lésionnel est présente que pour le groupe1</li> <li>- Dans les deux groupes, les patients avec une amélioration fonctionnelle plus important ont une augmentation des cartes cortico-spinale dans l'hémisphère contro-lésionnel.</li> <li>- Aucune corrélation existe entre tous ses résultats.</li> </ul>	<p><b>Score par grille PEDro :</b></p> <p><b>810</b></p>	<p>1. Mettre en évidence les changements neurophysiques sur le cortex moteur lors d'un traitement par contrainte induite.</p> <p>2. Montrer s'il y a une utilité de coupler la technique par contrainte induite avec une stimulation transcrânienne.</p>
---	--	--	--	---	--	--

## Annexe II – Grille d'évaluation de la qualité méthodologique PEDro : (48)

### Échelle PEDro – Français

---

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:

---

## Annexe III - Grille d'évaluation de la qualité méthodologique PRISMA : (47)

**Tableau I. Traduction française originale de la liste de contrôle PRISMA 2009.**

Section/sujet	N°	Critères de contrôle	Page N°
<b>TITRE</b>			
Titre	1	Identifier le rapport comme une revue systématique, une méta-analyse, ou les deux.	
<b>RÉSUMÉ</b>			
Résumé structuré	2	Fournir un résumé structuré incluant, si applicable : contexte ; objectifs ; sources des données ; critères d'éligibilité des études, populations, et interventions ; évaluation des études et méthodes de synthèse ; résultats ; limites ; conclusions et impacts des principaux résultats ; numéro d'enregistrement de la revue systématique.	
<b>INTRODUCTION</b>			
Contexte	3	Justifier la pertinence de la revue par rapport à l'état actuel des connaissances.	
Objectifs	4	Déclarer explicitement les questions traitées en se référant aux participants, interventions, comparaisons, résultats, et à la conception de l'étude (PICOS <sup>a</sup> ).	
<b>MÉTHODE</b>			
Protocole et enregistrement	5	Indiquer si un protocole de revue de la littérature existe, s'il peut être consulté et où (par exemple, l'adresse web), et, le cas échéant, fournir des informations d'identification, y compris le numéro d'enregistrement.	
Critères d'éligibilité	6	Spécifier les caractéristiques de l'étude (par exemple, PICOS, durée de suivi) et les caractéristiques du rapport (par exemple, années considérées, langues, statuts de publication) utilisées comme critères d'éligibilité, et justifier ce choix.	
Sources d'information	7	Décrire toutes les sources d'information (par exemple : bases de données avec la période couverte, échange avec les auteurs pour identifier des études complémentaires) de recherche et la date de la dernière recherche.	
Recherche	8	Présenter la stratégie complète de recherche automatisée d'au moins une base de données, y compris les limites décidées, de sorte qu'elle puisse être reproduite.	
Sélection des études	9	Indiquer le processus de sélection des études (c.-à-d. : triage, éligibilité, inclusion dans la revue systématique, et, le cas échéant, inclusion dans la méta-analyse).	
Extraction des données	10	Décrire la méthode d'extraction de données contenues dans les rapports (par exemple : formulaires pré-établis, librement, en double lecture) et tous les processus d'obtention et de vérification des données auprès des investigateurs.	
Données	11	Lister et définir toutes les variables pour lesquelles des données ont été recherchées (par exemple : PICOS, sources de financement) et les suppositions et simplifications réalisées.	
Risque de biais inhérent à chacune des études	12	Décrire les méthodes utilisées pour évaluer le risque de biais de chaque étude (en spécifiant si celui-ci se situe au niveau de l'étude ou du résultat), et comment cette information est utilisée dans la synthèse des données.	
Quantification des résultats	13	Indiquer les principales métriques de quantification des résultats (par exemple : <i>risk ratio</i> , différence entre les moyennes).	
Synthèse des résultats	14	Décrire les méthodes de traitement des données et de combinaison des résultats des études, si effectué, y compris les tests d'hétérogénéité (par exemple : $I^2$ ) pour chaque méta-analyse.	
Risque de biais transversal aux études	15	Spécifier toute quantification du risque de biais pouvant altérer le niveau de preuve global (par exemple : biais de publication, rapport sélectif au sein des études).	
Analyses complémentaires	16	Décrire les méthodes des analyses complémentaires (par exemple : analyses de sensibilité ou en sous-groupes, méta-régression), si effectuées, en indiquant celles qui étaient prévues <i>a priori</i> .	

**Tableau I. Traduction française originale de la liste de contrôle PRISMA 2009 (suite).**

Section/sujet	N°	Critères de contrôle	Page N°
<b>RÉSULTATS</b>			
Sélection des études	17	Indiquer le nombre d'études triées, examinées en vue de l'éligibilité, et incluses dans la revue, avec les raisons d'exclusion à chaque étape, de préférence sous forme d'un diagramme de flux.	
Caractéristiques des études sélectionnées	18	Pour chaque étude, présenter les caractéristiques pour lesquelles des données ont été extraites (par exemple : taille de l'étude, PICOS, période de suivi) et fournir les références.	
Risque de biais relatif aux études	19	Présenter les éléments sur le risque de biais de chaque étude et, si possible, toute évaluation des conséquences sur les résultats (voir item 12).	
Résultats de chaque étude	20	Pour tous les résultats considérés (positifs ou négatifs), présenter, pour chaque étude : (a) une brève synthèse des données pour chaque groupe d'intervention ; (b) les amplitudes d'effets estimés et leurs intervalles de confiance, idéalement avec un graphique en forêt ( <i>forest plot</i> ).	
Synthèse des résultats	21	Présenter les principaux résultats de chaque méta-analyse réalisée, incluant les intervalles de confiance et les tests d'hétérogénéité.	
Risque de biais transversal aux études	22	Présenter les résultats de l'évaluation du risque de biais transversal aux études (voir item 15).	
Analyse complémentaire	23	Le cas échéant, donner les résultats des analyses complémentaires (par exemple : analyses de sensibilité ou en sous-groupes, méta-régression [voir item 16]).	
<b>DISCUSSION</b>			
Synthèse des niveaux de preuve	24	Résumer les principaux résultats, ainsi que leur niveau de preuve pour chacun des principaux critères de résultat ; examiner leur pertinence selon les publics concernés (par exemple : établissements ou professionnels de santé, usagers et décideurs).	
Limites	25	Discuter des limites au niveau des études et de leurs résultats (par exemple : risque de biais), ainsi qu'au niveau de la revue (par exemple : récupération incomplète de travaux identifiés, biais de notification).	
Conclusions	26	Fournir une interprétation générale des résultats dans le contexte des autres connaissances établies, et les impacts pour de futures études.	
<b>FINANCEMENT</b>			
Financement	27	Indiquer les sources de financement de la revue systématique et toute autre forme d'aide (par exemple : fourniture de données) ; rôle des financeurs pour la revue systématique.	

<sup>a</sup>Note du traducteur : *Patient, problem or population, Intervention, Comparison, control or comparator, Outcomes, Study design*



## La contrainte induite et ses effets sur la plasticité cérébrale des patients hémiplésiques en phase chronique

**Introduction** - La technique de contrainte induite a prouvé son efficacité concernant son utilisation chez le patient hémiplésique du membre supérieur, mais seulement pour la phase chronique. Actuellement, il n'existe pas de consensus concernant son utilisation lors des deux autres phases. Cette technique reposant sur des mécanismes de la plasticité cérébrale, cette revue a pour objectif d'identifier les effets de la contrainte induite sur la plasticité cérébrale chez les patients en phase chronique. **Méthode** - Cette revue se base sur sept études datant de 2005 à 2015 dont trois essais cliniques randomisés, un essai clinique non randomisé et trois séries de cas qui sont issues des bases de données de PEDro, de PubMed et de Science Direct. **Résultat** - Ces études montrent que la contrainte induite améliore de façon significative les performances fonctionnelles et permettent d'observer une amélioration de divers paramètres impliqués dans l'existence d'une réorganisation corticale. Une corrélation de ces deux critères a même été trouvée. **Discussion** - Cette revue a une preuve de recommandation de grade C puisque les études sélectionnées ont de nombreux biais. Cependant, cette revue a mis en avant des critères de jugement fiables qui pourront être appliqués en tant que marqueurs de suivis de référence lors de l'utilisation de la technique de contrainte induite.

**Mots clefs** : Contrainte induite ; Hémiplégie ; Chronique ; Accident Vasculaire Cérébrale ; Plasticité cérébrale ; Adulte

**Introduction** - The technique of constraint induced has proven its effectiveness regarding its use in hemiplegic of the upper limb patients, but only in the chronic phase. Currently, there is no consensus regarding its use in the other two phases. As this technique is based on mechanisms of brain plasticity, the objective of this review is to identify the effects of constraint-induced on neuroplasticity in chronic phase patients. **Method** - This review is based on seven studies dating from 2005 to 2015, including three randomized clinical trials, one non-randomized clinical trial and three case series from the PEDro, PubMed and Science Direct databases. **Result** - These studies show that constraint induced significantly improves functional performance and allows to observe an improvement of various parameters involved in the existence of cortical reorganization. A correlation of these two criteria was even found. **Discussion** - This review has a grade C evidence recommendation since the selected studies have lot of biases. However, this review has put forward dependable primary endpoint that can be applied as reference main endpoint when using the constraint-induced.

**Keywords** : Constraint induced ; Hemiplegia ; chronic ; stroke ; Neuroplasticity ; Adult