Syndrome d'exclusion segmentaire et technique contrainte

Alice Fraser

▶ **To cite this version:**

Alice Fraser. Syndrome d'exclusion segmentaire et technique contrainte. Sciences du Vivant [q-bio]. 2006. hal-01733115

HAL Id: hal-01733115
https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733115

Submitted on 14 Mar 2018

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

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

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY I - 2006 FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY
N°

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

SCD-UHP - NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement
dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée

par

Alice FRASER

le

17 mai 2006

SYNDROME D'EXCLUSION SEGMENTAIRE ET TECHNIQUE CONTRAINTE

M. le Professeur Jean-Marie ANDRÉ	Président
M. le Professeur François DAP	Juge
M. le Professeur Marc BRAUN	Juge
M. le Docteur Didier PÉTRY	Juge

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1

FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Président de l'Université : Professeur Jean-Pierre FINANCE

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Patrick NETTER

Vice-Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Henry COUDANE

Assesseurs :

du 1er Cycle :	**M. le Docteur François ALLA**
du 2ème Cycle :	**M. le Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI**
du 3ème Cycle :	**M. le Professeur Marc BRAUN**
de la Vie Facultaire :	**M. le Professeur Bruno LEHEUP**

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Jean-Bernard DUREUX
Professeur Jacques ROLAND

==========

PROFESSEURS HONORAIRES

Louis PIERQUIN – Jean LOCHARD – René HERBEUVAL – Gabriel FAIVRE – Jean-Marie FOLIGUET
Guy RAUBER – Paul SADOUL – Raoul SENAULT – Marcel RIBON
Jacques LACOSTE – Jean BEUREY – Jean SOMMELET – Pierre HARTEMANN – Emile de LAVERGNE
Augusta TREHEUX – Michel MANCIAUX – Paul GUILLEMIN – Pierre PAYSANT
Jean-Claude BURDIN – Claude CHARDOT – Jean-Bernard DUREUX – Jean DUHEILLE – Jean-Pierre GRILLIAT
Pierre LAMY – Jean-Marie GILGENKRANTZ – Simone GILGENKRANTZ
Pierre ALEXANDRE – Robert FRISCH – Michel PIERSON – Jacques ROBERT
Gérard DEBRY – Pierre TRIDON – Michel WAYOFF – François CHERRIER – Oliéro GUERCI
Gilbert PERCEBOIS – Claude PERRIN – Jean PREVOT – Jean FLOQUET
Alain GAUCHER – Michel LAXENAIRE – Michel BOULANGE – Michel DUC – Claude HURIET – Pierre LANDES
Alain LARCAN – Gérard VAILLANT – Daniel ANTHOINE – Pierre GAUCHER – René-Jean ROYER
Hubert UFFHOLTZ – Jacques LECLERE – Francine NABET – Jacques BORRELLY
Michel RENARD – Jean-Pierre DESCHAMPS – Pierre NABET – Marie-Claire LAXENAIRE – Adrien DUPREZ – Paul VERT
Philippe CANTON – Bernard LEGRAS – Pierre MATHIEU – Jean-Marie POLU - Antoine RASPILLER – Gilbert THIBAUT
Michel WEBER – Gérard FIEVE – Daniel SCHMITT – Colette VIDAILHET – Alain BERTRAND – Hubert GERARD
Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN – Michel STRICKER – Daniel BURNEL – Michel VIDAILHET – Claude BURLET

==========

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS
PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42ème Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1ère sous-section : *(Anatomie)*
Professeur Jacques ROLAND – Professeur Gilles GROSDIDIER
Professeur Pierre LASCOMBES – Professeur Marc BRAUN
2ème sous-section : *(Cytologie et histologie)*
Professeur Bernard FOLIGUET
3ème sous-section : *(Anatomie et cytologie pathologiques)*
Professeur François PLENAT – Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43ème Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1ère sous-section : *(Biophysique et médecine nucléaire)*
Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER
2ème sous-section : *(Radiologie et imagerie médicale)*
Professeur Luc PICARD – Professeur Denis REGENT – Professeur Michel CLAUDON
Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM – Professeur Jacques FELBLINGER
Professeur René ANXIONNAT

44ème Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1ère sous-section : ***(Biochimie et biologie moléculaire)***

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER

2ème sous-section : ***(Physiologie)***

Professeur Jean-Pierre CRANCE – Professeur Jean-Pierre MALLIE

Professeur François MARCHAL – Professeur Philippe HAOUZI

4ème sous-section : ***(Nutrition)***

Professeur Olivier ZIEGLER

45ème Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1ère sous-section : ***(Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière)***

Professeur Alain LOZNIEWSKI

2ème sous-section : ***(Parasitologie et mycologie)***

Professeur Bernard FORTIER

3ème sous-section : ***(Maladies infectieuses ; maladies tropicales)***

Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46ème Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1ère sous-section : ***(Épidémiologie, économie de la santé et prévention)***

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON

Professeur Francis GUILLEMIN – Professeur Denis ZMIROU-NAVIER

2ème sous-section : ***(Médecine et santé au travail)***

Professeur Guy PETIET – Professeur Christophe PARIS

3ème sous-section : ***(Médecine légale et droit de la santé)***

Professeur Henry COUDANE

4ème sous-section : ***(Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)***

Professeur François KOHLER – Professeur Éliane ALBUISSON

47ème Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1ère sous-section : ***(Hématologie ; transfusion)***

Professeur Christian JANOT – Professeur Thomas LECOMPTE – Professeur Pierre BORDIGONI

Professeur Pierre LEDERLIN – Professeur Jean-François STOLTZ

2ème sous-section : ***(Cancérologie ; radiothérapie)***

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY

Professeur Pierre BEY – Professeur Didier PEIFFERT

3ème sous-section : ***(Immunologie)***

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marie-Christine BENE

4ème sous-section : ***(Génétique)***

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

48ème Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1ère sous-section : ***(Anesthésiologie et réanimation chirurgicale)***

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Dan LONGROIS – Professeur Hervé BOUAZIZ

Professeur Paul-Michel MERTES

2ème sous-section : ***(Réanimation médicale)***

Professeur Henri LAMBERT – Professeur Alain GERARD

Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT – Professeur Bruno LÉVY

3ème sous-section : ***(Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique)***

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4ème sous-section : ***(Thérapeutique)***

Professeur François PAILLE – Professeur Gérard GAY – Professeur Faiez ZANNAD

49ème Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP et RÉÉDUCATION

1ère sous-section : ***(Neurologie)***

Professeur Gérard BARROCHE – Professeur Hervé VESPIGNANI

Professeur Xavier DUCROCQ

2ème sous-section : ***(Neurochirurgie)***

Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE

Professeur Thierry CIVIT

3ème sous-section : ***(Psychiatrie d'adultes)***

Professeur Jean-Pierre KAHN

4ème sous-section : ***(Pédopsychiatrie)***

Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC

5ème sous-section : ***(Médecine physique et de réadaptation)***

Professeur Jean-Marie ANDRE

50ème Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE PLASTIQUE

1ère sous-section : ***(Rhumatologie)***

Professeur Jacques POUREL – Professeur Isabelle VALCKENAERE – Professeur Damien LOEUILLE

2ème sous-section : ***(Chirurgie orthopédique et traumatologique)***

Professeur Jean-Pierre DELAGOUTTE – Professeur Daniel MOLE

Professeur Didier MAINARD – Professeur François SIRVEAUX

3ème sous-section : ***(Dermato-vénéréologie)***

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeur Annick BARBAUD

4ème sous-section : ***(Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique)***

Professeur François DAP

51ème Section : PATHOLOGIE CARDIORESPIRATOIRE et VASCULAIRE

1ère sous-section : ***(Pneumologie)***

Professeur Yves MARTINET – Professeur Jean-François CHABOT

2ème sous-section : ***(Cardiologie)***

Professeur Etienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIERE – Professeur Nicolas SADOUL

Professeur Christian de CHILLOU

3ème sous-section : ***(Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)***

Professeur Jean-Pierre VILLEMOT

Professeur Jean-Pierre CARTEAUX – Professeur Loïc MACE

4ème sous-section : ***(Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)***

52ème Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE

1ère sous-section : ***(Gastroentérologie ; hépatologie)***

Professeur Marc-André BIGARD

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI

2ème sous-section : ***(Chirurgie digestive)***

3ème sous-section : ***(Néphrologie)***

Professeur Michèle KESSLER – Professeur Dominique HESTIN (Mme) – Professeur Luc FRIMAT

4ème sous-section : ***(Urologie)***

Professeur Philippe MANGIN – Professeur Jacques HUBERT – Professeur Luc CORMIER

53ème Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

1ère sous-section : ***(Médecine interne)***

Professeur Denise MONERET-VAUTRIN – Professeur Denis WAHL

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN – Professeur Pierre KAMINSKY

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Gisèle KANNY – Professeur Abdelouahab BELLOU

2ème sous-section : ***(Chirurgie générale)***

Professeur Patrick BOISSEL – Professeur Laurent BRESLER

Professeur Laurent BRUNAUD

54ème Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1ère sous-section : ***(Pédiatrie)***

Professeur Danièle SOMMELET – Professeur Pierre MONIN

Professeur Jean-Michel HASCOET – Professeur Pascal CHASTAGNER – Professeur François FEILLET

2ème sous-section : ***(Chirurgie infantile)***

Professeur Michel SCHMITT – Professeur Gilles DAUTEL – Professeur Pierre JOURNEAU

3ème sous-section : ***(Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)***

Professeur Michel SCHWEITZER – Professeur Jean-Louis BOUTROY

Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Patricia BARBARINO – Professeur Bruno DEVAL

4ème sous-section : ***(Endocrinologie et maladies métaboliques)***

Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN – Professeur Bruno GUERCI

55ème Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1ère sous-section : ***(Oto-rhino-laryngologie)***

Professeur Claude SIMON – Professeur Roger JANKOWSKI

2ème sous-section : ***(Ophtalmologie)***

Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD – Professeur Karine ANGIOI-DUPREZ

3ème sous-section : ***(Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)***

Professeur Jean-François CHASSAGNE

==========

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

64ème Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeur Sandrine BOSCHI-MULLER

==========

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42ème Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1ère sous-section : ***(Anatomie)***

Docteur Bruno GRIGNON

2ème sous-section : ***(Cytologie et histologie)***

Docteur Edouard BARRAT

Docteur Françoise TOUATI – Docteur Chantal KOHLER

3ème sous-section : ***(Anatomie et cytologie pathologiques)***

Docteur Béatrice MARIE

Docteur Laurent ANTUNES

43ème Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1ère sous-section : ***(Biophysique et médecine nucléaire)***

Docteur Marie-Hélène LAURENS – Docteur Jean-Claude MAYER

Docteur Pierre THOUVENOT – Docteur Jean-Marie ESCANYE – Docteur Amar NAOUN

44ème Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1ère sous-section : ***(Biochimie et biologie moléculaire)***

Docteur Jean STRACZEK – Docteur Sophie FREMONT

Docteur Isabelle GASTIN – Docteur Bernard NAMOUR – Docteur Marc MERTEN

2ème sous-section : ***(Physiologie)***

Docteur Gérard ETHEVENOT – Docteur Nicole LEMAU de TALANCE – Docteur Christian BEYAERT

Docteur Bruno CHENUEL

4ème sous-section : ***(Nutrition)***

Docteur Didier QUILLIOT

45ème Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE
1ère sous-section : ***(Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)***
Docteur Francine MORY – Docteur Christine LION
Docteur Michèle DAILLOUX – Docteur Véronique VENARD
2ème sous-section : ***(Parasitologie et mycologie)***
Docteur Marie-France BIAVA – Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU

46ème Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ
1ère sous-section : ***(Epidémiologie, économie de la santé et prévention)***
Docteur François ALLA
4ère sous-section : ***(Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication***
Docteur Pierre GILLOIS

47ème Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE
1ère sous-section : ***(Hématologie ; transfusion)***
Docteur François SCHOONEMAN
3ème sous-section : ***(Immunologie)***
Docteur Anne KENNEL
4ème sous-section : ***(Génétique)***
Docteur Christophe PHILIPPE

48ème Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE
1ère sous-section : ***(Anesthésiologie et réanimation chirurgicale)***
Docteur Jacqueline HELMER – Docteur Gérard AUDIBERT
3ème sous-section : ***(Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique)***
Docteur Françoise LAPICQUE – Docteur Marie-José ROYER-MORROT

49ème Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION
5ème sous-section : ***(Médecine physique et de réadaptation)***
Docteur Jean PAYSANT

54ème Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION
5ème sous-section : ***(Biologie et médecine du développement et de la reproduction)***
Docteur Jean-Louis CORDONNIER

==========

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5ème section : SCIENCE ÉCONOMIE GÉNÉRALE
Monsieur Vincent LHUILLIER

40ème section : SCIENCES DU MÉDICAMENT
Monsieur Jean-François COLLIN

60ème section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE
Monsieur Alain DURAND

61ème section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL
Monsieur Jean REBSTOCK – Monsieur Walter BLONDEL

64ème section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE
Mademoiselle Marie-Claire LANHERS
Monsieur Franck DALIGAULT

65ème section : BIOLOGIE CELLULAIRE
Mademoiselle Françoise DREYFUSS – Monsieur Jean-Louis GELLY
Madame Ketsia HESS – Monsieur Pierre TANKOSIC – Monsieur Hervé MEMBRE

67ème section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE
Madame Nadine MUSSE

68ème section : BIOLOGIE DES ORGANISMES
Madame Tao XU-JIANG

========

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Médecine Générale
Docteur Alain AUBREGE
Docteur Francis RAPHAEL
Docteur Jean-Marc BOIVIN

========

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Michel BOULANGE – Professeur Alain LARCAN – Professeur Michel WAYOFF – Professeur Daniel ANTHOINE
Professeur Hubert UFFHOLTZ – Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Paul VERT
Professeur Jean PREVOT – Professeur Jean-Pierre GRILLIAT - Professeur Philippe CANTON – Professeur Pierre MATHIEU
Professeur Gilbert THIBAUT – Professeur Daniel SCHMITT – Mme le Professeur Colette VIDAILHET
Professeur Jean FLOQUET – Professeur Claude CHARDOT – Professeur Michel PIERSON – Professeur Alain BERTRAND
Professeur Daniel BURNEL – Professeur Jean-Pierre NICOLAS – Professeur Michel VIDAILHET

=========

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Norman SHUMWAY (1972)
Université de Stanford, Californie (U.S.A)
Professeur Paul MICHIELSEN (1979)
Université Catholique, Louvain (Belgique)
Professeur Charles A. BERRY (1982)
Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
Brown University, Providence (U.S.A)
Professeur Mamish Nisbet MUNRO (1982)
Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)
Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982)
Wanderbilt University, Nashville (U.S.A)
Harry J. BUNCKE (1989)
Université de Californie, San Francisco (U.S.A)
Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
Institut d'Anatomie de Würtzburg (R.F.A)
Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)
Université de Pennsylvanie (U.S.A)
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)
Professeur James STEICHEN (1997)
Université d'Indianapolis (U.S.A)
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)

Monsieur le Professeur Jean-Marie ANDRE, président du jury

Professeur de Médecine Physique et de Réadaptation.

Chevalier dans l'Ordre National de la Légion d'Honneur.

Merci d'avoir su transmettre vos connaissances et votre passion pour cette discipline de façon rigoureuse, riche et diversifiée. Soyez assuré de mon profond respect.

Monsieur le Professeur François DAP, juge

Professeur de Chirurgie Plastique Reconstructrice et Esthétique.

Merci d'avoir accepté de juger ce travail, et d'avoir partagé vos connaissances dans la Pathologie de la Main avec enthousiasme et humour. Soyez assuré de ma profonde sympathie.

Monsieur le Professeur Marc BRAUN, juge

Professeur d'Anatomie.

Merci d'avoir accepté de faire partie du jury, et de l'aide et des connaissances que vous m'avez apportées dans le domaine vaste et complexe de la neuroanatomie. Soyez assuré de ma gratitude.

Monsieur le Docteur Didier PETRY, juge

Médecin de Médecine Physique et de Réadaptation.

Merci d'avoir accepté de prendre part au jury de thèse. Votre sens clinique et votre humanité m'ont profondément marqué. Soyez assuré de mon amitié.

Pour leur aide précieuse

Madame le Docteur Anne FOISNEAU-LOTTIN, pour ses conseils utiles dans l'élaboration du protocole de rééducation, pour avoir assuré le suivi des patients qui y ont participé, pour sa sympathie et ses talents de pédagogue, qui ont rendu mon séjour au Service de Rééducation de la Main à la fois très instructif et agréable.

Monsieur le Docteur Loïc LE CHAPELAIN pour son inépuisable bibliographie, parfois même livrée à domicile, sa gentillesse et ses conseils avisés en matière de neuroanatomie, et Madame le Docteur Anne VIELH BENMERIDJA pour les données qu'elle m'a fournies concernant les patients qu'elle a suivi il y a douze ans dans le cadre de sa thèse. Monsieur Le Docteur Jean PAYSANT pour avoir dirigé nos séances de bibliographie, pour sa gentillesse et ses conseils avisés dans les domaines professionnel et extra-professionnel. Monsieur le Docteur Philippe MEYER, qui grâce à son humour, sa gentillesse et ses connaissances en matière de rééducation fonctionnelle, a su me détourner de mon orientation initiale.

Le Docteur Laurent KOESLER, docteur en neurosciences, pour avoir analysé toutes les données d'IRMf et pour ses explications patientes.

L'équipe des Ergothérapeutes de Madame Colette GABLE: Valérie SANAMANE, Valérie THOUVENOT, Isabelle GUS, Marie-Pierre GAUZELIN, Brigitte HEQUET, Véronique JEANPIERRE et Christian SOUCHON. Merci d'avoir su faire partager votre enthousiasme et vos connaissances en matière de rééducation et d'appareillage de la main, et pour avoir suivi avec autant d'attention les patients de cette étude. Merci pour le thé et le chocolat.

L'équipe des Kinésithérapeutes de Monsieur Christophe TORTUYAUX: Sabine BISTORIN, Audrey LOUIS, Cécile LECHAUDEL, Hélène WILLEM, Marie-Claire BOURDON. Je vous remercie pour le temps que vous avez passé auprès des patients « exclus », en particulier dans l'installation sur arthromoteur parfois laborieuse au départ, et pour la gentillesse avec laquelle vous m'avez accueillie dans le service.

Les secrétaires du service de Rééducation de l'Hôpital Jeanne d'Arc, Mesdames Danièle GODOT, Paulette BRUNET, Martine LEONARD, Dominique PONTASSE, Karine OESCHLAGER et leurs stagiaires qui ont passé du temps à retrouver des dossiers, à tenter de m'expliquer comment réaliser un tableau sur excel (sans succès) et en général à m'écouter parler.

Messieurs Dominique LAURENT et Guillaume PELE qui ont passé du temps à fabriquer un miroir inversé.

Monsieur Xavier SIMON pour son apport à l'iconographie.

Hélène ANTOINE pour sa gentillesse, son aide pour la mise en page et la rédaction de la bibliographie et son soutien téléphonique, de même que Karine PERNET pour cette dernière raison.

Pour la formation théorique et pratique

Merci d'avoir partagé votre enthousiasme et vos connaissances dans cette discipline passionnante qu'est la Médecine Physique et de Réadaptation.

A Mesdames les Docteurs Francine RUMEAU et Claude GAVILLOT, médecins de Médecine Physique et de Réadaptation à l'Hôpital d'Enfants.

A Monsieur le Docteur Bertrand BRUGEROLLE, Mesdames les Docteur Cécile FRENAY-LE CHAPELAIN et Sylvie HENRY-CATALLA, médecins de Médecine Physique et de Réadaptation au Centre de Réadaptation Professionnelle de Gondreville, et au Docteur Noël Martinet, médecin de Médecine Physique et de Réadaptation au Centre d'Appareillage de Gondreville.

A Monsieur le Docteur MAUREIRA, médecin de Cardiologie dans le Service de Réadaptation Cardiaque de l'Hôpital Jeanne d'Arc.

A Madame le Docteur Myriam SAINT-EVE, Messieurs les Docteurs Richard CHOMIKI et Ange DATIE, médecins au Centre de Médecine Physique et de Réadaptation de Nancy.

A Monsieur le Docteur Jean-Marie BEIS et Madame le Docteur THISSE, médecins de Médecine Physique et de Réadaptation au Centre de Lay-Saint-Christophe.

A Mesdames les Docteurs Marie-Christine REGENT, Andrée TESSIER, Patricia JEAN-CLAUDE, Catherine BERTOSSI, Séverine MAIAUX à Messieurs les Docteurs Olivier AUBERT, François VIENNOT, Jean-Noël DAUTREPE, Guy VANCON, médecins au Centre de Rééducation de Bainville sur Madon.

Pour la formation théorique et pratique reçue dans les autres disciplines

A Monsieur le Professeur DUCROCQ, Messieurs les Docteurs Jean-Christophe LACOUR, Sébastien RICHARD, Marc DEBOUVERIE, Philippe LONCHAMP, médecins au Service de Neurologie de l'Hôpital Central à Nancy.

A Monsieur le Professeur Pierre LEDERLIN, Messieurs les Docteurs Cyrille HULIN, Serge BOLOGNA, Madame le Docteur Isabelle GUIBAUX, Les Docteurs WITZ, médecins au Service d'Hématologie de l'Hôpital Brabois à Nancy.

Pour la participation à ma formation

Les équipes de kinésithérapeutes et d'ergothérapeutes, les orthophonistes et neuropsychologues, les professeurs de gymnastique, les moniteurs d'atelier, les appareilleurs, les infirmières et les aides-soignants que j'ai pu rencontrer lors de mes stages d'interne, qui ont volontiers partagé leurs connaissances spécifiques dans un climat de bonne humeur, et les secrétaires qui ont su organiser mon emploi du temps tout en étant toujours à mon écoute

.

A mes parents, pour m'avoir soutenue tout au long de mes études et de mon internat, et pour tout ce qu'ils m'ont apporté.

A ma sœur Elsa et mes frères Malcolm et Thomas, ma tante Charlette et mes cousines Livia et Rafaëlle, avec toute mon affection, ainsi qu'au reste de ma famille.

A mes beaux-parents.

A la mémoire de mes grand-mères Remedios et Elisabeth.

A mon grand-père Charles et son « Cousin Georges ».

A mes anciens co-internes et néanmoins amis : Isabelle, Gabrielle, Sandrine, Magali, Nicolas, Alexandre, Valérie, Mathilde.

A Thomas et Hannah, avec tout mon amour.

SERMENT

"Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque".

SCD-UHP - NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

TABLE DES MATIERES

I – INTRODUCTION 22
II – GENERALITES 25
1 - Le syndrome d'exclusion segmentaire 26
1.1. Définition 26
1.2. Circonstances d'apparition 26
1.3. Caractéristiques épidémiologiques 27
1.4. Caractéristiques cliniques 27
1.4.1. Topographie 27
1.4.2. Description clinique 27
1.5. Caractéristiques électrophysiologiques [7, 16, 129] 29
1.6. Syndrome d'exclusion segmentaire et manipulations sensorielles 30
1.7. Diagnostic différentiel 30
1.8. Evolution et séquelles 31
2 - Plasticité de la fonction motrice 32
2.1. Définitions 32
2.2. Rappels historiques [68] 32
2.3. Plasticité structurale/plasticité fonctionnelle [1] 34
2.3.1. Modèle structural 34
2.3.2. Modèle fonctionnel 35
2.4. Facteurs influençant la neuroplasticité 36
3 - Apprentissage de l'inactivité et thérapeutiques contraintes 37
3.1. Apprentissage de l'inactivité : de l'amnésie motrice fonctionnelle au « learned non-use » 37
3.2. Les thérapeutiques contraintes 39
3.3. Apprentissage de l'inactivité, thérapeutiques contraintes et plasticité motrice 42
4 – Exploration cérébrale anatomique et fonctionnelle 44
4.1. Techniques d'étude 44
4.1.1. Electroencéphalographie (EEG) et magnéto-encéphalographie(MEG)[43] 44

4.1.2. La stimulation magnétique transcrânienne (TMS pour les anglo-saxons)[84] 44
4.1.3. L'imagerie optique [18, 115] 45
4.1.4. La tomographie par émission de positons (TEP)[83] 45
4.2. L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) 46
4.2.1. Notions de base en IRM [81] 46
4.2.2. Bases neurophysiologiques de l'IRMf [70, 82, 101] 47
4.2.3. Principes de l'IRMf en contraste BOLD 48
4.2.4. Caractéristiques de l'imagerie fonctionnelle en séquence EPI-BOLD 49
4.2.5. Protocoles d'activation en IRMf 49
4.3. Anatomie cérébrale fonctionnelle 51
4.3.1. Architecture macroscopique corticale 51
4.3.2. Architecture microscopique corticale [97] 53
4.3.3. Localisation de l'aire de la main 54
4.4. Le mouvement : préparation et exécution ; imagerie motrice 54
4.4.1. Définitions [34] 54
4.4.2. Aires corticales impliquées dans l'imagerie motrice, la préparation et l'exécution du mouvement 55
II - MATERIELS ET METHODES 59
1 - Objectifs de l'étude 60
2 - Description de l'étude clinique 60
2.1. Critères d'inclusion 60
2.2. Protocole d'observation 61
2.2.1. L'interrogatoire précise 61
2.2.2. L'examen clinique précise et étudie 61
2.2.3. Le bilan Fonctionnel 64
2.3. Protocole de Rééducation 66
2.3.1. Kinésithérapie 67
2.3.2. Ergothérapie 69
3 – Description de l'étude IRMf 73
3.1 – Paradigme moteur 73
3.2. Caractéristiques des séquences IRM 74
3.3. Traitement des données 75

III - CAS CLINIQUES 76
IV – RESULTATS 119
1 – Caractéristiques générales 120
2 - Douleurs et troubles sensitifs 121
2.1. Douleurs 121
2.2. Troubles sensitifs 122
3 – Résultats analytiques et fonctionnels du protocole de rééducation 122
3.1. Résultats des performances analytiques avant et après rééducation 122
3.1.1. Amplitudes articulaires 122
3.1.2. Mesure de la force musculaire 124
3.2. Résultats des performances fonctionnelles avant et après rééducation 125
3.2.1. Bilan 400 points 125
3.2.2. Tests de dextérité 126
3.2.3. Questionnaire DASH 127
3.2.4. Retentissement émotionnel de la pathologie 127
4 – Conséquences socioprofessionnelles 128
V - DISCUSSION 134
1 – Analyse des résultats 135
1.1. Caractéristiques générales 135
1.2. Analyse des performances analytiques 135
1.2.1. Amplitudes articulaires 135
1.2.2. Force musculaire 136
1.2.3. Bilan trophique et musculaire 136
1.3. Analyse des facteurs favorisant la survenue ou la pérennisation de l'exclusion 137
1.3.1. Douleurs et troubles sensitifs 137
1.3.2. Immobilisation initiale 138
1.3.3. Kinésithérapie à la phase initiale 138
1.3.4. Délai du diagnostic et de la prise en charge rééducative 139
1.4. Analyse des performances fonctionnelles 139
1.5. Analyse des conséquences socio-économiques 141
1.7. Analyse des résultats obtenus en IRMf 143
2 – Hypothèses physiopathologiques 143

2.1. Dysafférentation 143
2.2. Remodelage des cartes somatotopiques sensorimotrices 144
2.3. Perturbation de la réalisation du mouvement 145
3 – Principes thérapeutiques 146
3.1. Lutte contre les phénomènes inflammatoires 146
3.2. Traitement des troubles sensitifs 147
3.3. Thérapeutiques contraintes 147
3.3.1. Qu'appelle-t-on thérapeutique contrainte ? 148
3.3.2. Modalités de traitement 148
3.3.3. Méthodes employées 149
3.4. Effets indésirables de la thérapeutique contrainte 154
4 – Limites de l'étude et propositions 156
4.1. Limites du protocole de rééducation 156
4.2. Limites de l'étude en IRMf 157
CONCLUSION 160
BIBLIOGRAPHIE 163
ANNEXES 175

SCD-UHP - NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

I – INTRODUCTION

SCD-UHP - NANCY 1 BIBLIOTHÈQUE MÉDECINE

Bien que survenant fréquemment après lésion traumatique ou infectieuse de la main, le syndrome d'exclusion segmentaire du membre supérieur a donné lieu à très peu d'études. Ses caractéristiques cliniques, les circonstances de survenue ainsi que son évolution sont bien documentées. En revanche sa physiopathologie n'est pas encore tout à fait élucidée : on parle de trouble de l'attention, de trouble du schéma corporel, de négligence spatiale segmentaire d'origine périphérique…

Ce travail aborde le phénomène d'exclusion segmentaire sous un angle nouveau. L'hypothèse de départ est que ce syndrome correspond à un apprentissage de l'inactivité dû à une dysafférentation causée par l'incident initial, donnant lieu à des modifications plastiques à tous les niveaux de la fonction motrice, tant à l'étage cérébral qu'au niveau des effecteurs musculosquelettiques.

L'apprentissage de l'inactivité est une théorie maintenant bien connue des neurologues, neuroradiologues et médecins de rééducation, et qui ouvre des perspectives thérapeutiques intéressantes. En effet, la possibilité d'orienter la plasticité, liée dans ce cas à un apprentissage « négatif », fonde les principes de la médecine physique et de réadaptation : l'inactivité est accessible aux thérapeutiques contraintes (ou activité forcée), concept développé au départ dans le cadre des pathologies du système nerveux central.

Nous proposons ainsi, sur la base d'une étude menée chez 10 sujets, de démontrer l'intérêt de l'emploi des thérapeutiques contraintes dans le cadre du syndrome d'exclusion segmentaire, à la fois pour obtenir une amélioration des performances analytiques et fonctionnelles des patients, mais également pour raccourcir la durée du séjour en rééducation et permettre un retour plus rapide à la vie professionnelle.

Un autre aspect de ce travail est d'aborder sur un plan théorique la plasticité de la fonction motrice et les bases fondamentales du mouvement, de l'intention à l'action proprement dite, deux sujets qui nous concernent particulièrement dans le phénomène d'exclusion : quels sont les mécanismes plastiques mis en jeu ? Peut-on les mettre en évidence en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ? A quelle étape de la réalisation du mouvement survient-il une perturbation engendrant posture anormale et défaut d'utilisation segmentaire ?

Telles sont les questions auxquelles nous tenterons de répondre, après avoir exposé (i) des rappels généraux sur le syndrome d'exclusion segmentaire, la plasticité de la fonction motrice et ses moyens d'exploration ainsi que sur les thérapeutiques contraintes ; (ii) les principes du protocole de rééducation basé sur l'activité forcée ;

(iii) les cas cliniques, les résultats du protocole et leur discussion ; (iv) les données obtenues après une étude en IRMf menée chez 2 patients.

II – GENERALITES

1 - Le syndrome d'exclusion segmentaire

1.1. Définition

L'exclusion segmentaire se définit comme la non-utilisation ou la sous-utilisation d'un segment de membre, le plus souvent un doigt, potentiellement réversible sur incitation verbale d'un tiers, et survenant en l'absence de lésion initiale du système nerveux central (SNC).
Ce phénomène, dont les mécanismes physiopathologiques seront discutés dans cette étude, a été comparé à un syndrome de négligence d'origine périphérique.

1.2. Circonstances d'apparition

Le syndrome d'exclusion segmentaire peut survenir dans de multiples circonstances non spécifiques : après un traumatisme opéré ou non (lésion tendineuse, nerveuse, fracture, luxation ...), une infection (panaris, phlegmon), voire même après une chirurgie programmée (par exemple une cure de syndrome canalaire, un transfert d'orteil).
Ces situations ont en commun des phénomènes inflammatoires au début de leur évolution, ainsi que le plus souvent une phase initiale d'immobilisation, à l'origine d'une modification des afférences sensitives ou *dysafférentation.*
L'exclusion segmentaire peut également être contemporaine ou succéder à un épisode de douleur : névrome d'amputation digitale, syndrome douloureux régional complexe de type 1, douleur de désafférentation ... Là encore, les phénomènes inflammatoires et l'immobilisation imposée par la douleur semblent jouer un rôle.

Le délai de découverte de l'exclusion est d'environ 3 mois (0 à 14 mois) par rapport au facteur déclenchant. Le diagnostic est le plus souvent porté en milieu chirurgical ou de réadaptation où le personnel est sensibilisé à ce type de pathologie. Dans 25% des cas [129], le phénomène peut être méconnu ou rattaché à tort à un autre diagnostic.

1.3. Caractéristiques épidémiologiques

Très peu de données existent dans la littérature quant à la fréquence d'apparition du syndrome d'exclusion segmentaire. Beis et al [16] rapportent que ce phénomène peut toucher jusqu'à 75% des patients ayant subi une lésion traumatique ou infectieuse du membre supérieur.
L'âge moyen de survenue est de 43 ans [129], mais on a pu observer ce trouble chez le très jeune enfant (5 ans). Les 2 sexes sont touchés avec une légère prépondérance masculine (60%)[7] et les travailleurs manuels semblent plus exposés (75%), même s'il faut pondérer cette dernière donnée en prenant en considération que les études portant sur l'exclusion ont été menées en milieu chirurgical spécialisé dans les traumatismes de la main.
Enfin 40% des patients signalent des antécédents traumatiques.

1.4. Caractéristiques cliniques

1.4.1. Topographie

L'exclusion segmentaire peut toucher le membre supérieur dans sa totalité, la main ou le plus souvent un ou plusieurs doigts. Les côtés droit et gauche sont concernés à parts égales. L'index est le doigt le plus souvent exclu (34%) [129]. Le déficit peut être extensif avec l'apparition d'une exclusion sur le doigt contigu au segment concerné initialement.
De rares cas d'exclusion ont été décrits au membre inférieur.

1.4.2. Description clinique

Les plaintes fonctionnelles sont peu nombreuses le plus souvent, en raison d'un certain degré d'anosognosie (le patient ignore son doigt exclu) au départ de l'évolution de l'exclusion. Il arrive cependant que le patient signale des douleurs surtout au contact (hyperesthésie au contact).

Le trouble est souvent labile avec une dissociation automatico-volontaire (l'exclusion

apparaît préférentiellement lors des gestes automatiques). On peut aussi le mettre facilement en évidence lors de l'occlusion des yeux, lors d'épreuves chronométrées ou bimanuelles.

Le doigt exclu est le plus souvent spontanément maintenu en extension permanente, même lorsque le membre supérieur est en position de repos. Quand l'exclusion concerne le 4ème ou le 5ème doigt, on les observe volontiers en flexion dans la paume de la main ou en abductum. Enfin si l'exclusion touche la main ou tout le membre supérieur, l'attitude adoptée rappelle celle d'un patient présentant une paralysie ou une parésie : perte du ballant à la marche, membre supérieur laissé le long du corps, main utilisée comme main-presse.

Les amplitudes articulaires passives sont le plus souvent normales ou peu limitées (en fonction de la pathologie initiale). Les amplitudes actives sont en revanche habituellement diminuées en raison d'un trouble de la commande motrice (cf infra).

Sur le plan trophique, le doigt exclu est souvent froid, cyanosé avec une augmentation du temps de recoloration cutanée. Il peut être le siège d'une hypersudation. On peut constater une disparition des plis de flexion sur la face palmaire du segment exclu, une atrophie de la pulpe ou encore une dystrophie unguéale.

L'examen moteur ne retrouve pas de déficit systématisé mais il y a de toute évidence des troubles de la commande : le patient doit se concentrer pour fléchir le doigt exclu, les gestes sont lentement exécutés et parfois de manière incongrue. La main a tendance à se maintenir en position intrinsèque par contracture des muscles interosseux. Ces troubles sont le plus souvent réversibles sous contrôle de la vue.

La force musculaire est souvent diminuée surtout si le patient tente d'utiliser son doigt exclu.

Le bilan sensitif retrouve souvent l'hyperesthésie au contact déjà mentionnée, des paresthésies ainsi que des dysesthésies lors de l'exploration tactile, voire même des distorsions sensitives correspondant à des perceptions anormales parfois à l'origine

d'un sentiment d'étrangeté (sensation de doigt glacé, de verre sous la peau ...). On peut mettre en évidence une diminution de la sensibilité tactile, algique ou thermique. Le seuil de discrimination de Weber est normal le plus souvent, sauf en cas d'atteinte d'un nerf collatéral.
L'examen de la sensibilité proprioceptive (sens de position des doigts et sensibilité vibratoire) est normal.

Enfin, sur le plan des fonctions cognitives, comme nous l'avons déjà mentionné, il existe le plus souvent, au moins au départ, un certain degré d'anosognosie. On peut considérer qu'il y a également un trouble du schéma corporel avec une négligence du segment exclu : le patient "oublie" son doigt exclu, le "laisse de côté", conduisant à un risque accrû d'accident, au point que certains patients réclament carrément une amputation du segment concerné. A ces troubles peuvent se rajouter une agnosie digitale (difficulté à reconnaître et à nommer un doigt). Le reste de l'examen neurologique est normal (pas de trouble praxique notamment).

1.5. Caractéristiques électrophysiologiques [7, 16, 129]

Les potentiels évoqués somesthésiques (PES) sont normaux (latence N20) confirmant l'absence d'atteinte sensitive.
Les potentiels évoqués moteurs (PEM) sont normaux, reflétant l'intégrité des voies motrices.
L'étude des potentiels évoqués cognitifs (PEC) sur entrée sensitive digitale (tâche de comptage) montre des perturbations morphologiques des courbes ainsi qu'un allongement des latences (retard de l'onde P300). Les perturbations ont tendance à régresser avec l'amélioration clinique.
Ces observations sont en faveur d'un trouble du traitement de l'information sensitive de type attentionnel. On retrouve le même type d'anomalies électrophysiologiques dans les syndromes d'héminégligence d'origine centrale, d'où la comparaison du syndrome d'exclusion segmentaire à un comportement de négligence d'origine périphérique.
Cependant la normalité des PEC ne permet pas d'exclure le diagnostic d'exclusion segmentaire.

1.6. Syndrome d'exclusion segmentaire et manipulations sensorielles

Melzack et al [86], dans leurs travaux sur les membres fantômes des amputés, ont avancé la notion de *neuromatrice* : il s'agit d'un réseau neuronal organisé en boucles intégrant le cortex somatomoteur, le thalamus, le système limbique, le cortex pariétal postérieur et le cortex associatif. Ces boucles neuronales permettent à partir de procédures génétiquement déterminées de recueillir et d'assembler des informations multimodales (provenant d'afférences proprioceptives, somesthésiques, kinesthésiques, et d'engrammes – ou référentiels – correspondant aux représentations innées ou acquises de formes, postures ou mouvements de segments corporels) pour faire émerger le *schéma corporel* [6, 11].

La stimulation calorique vestibulaire permet d'activer des zones corticales impliquées dans la construction du schéma corporel et de rétablir une perception normale de l'image du corps, notamment chez les amputés et les blessés médullaires.

En partant de l'hypothèse que le syndrome d'exclusion segmentaire est lié à une dysafférentation proprioceptive aboutissant à une construction erronée de l'image corporelle, Vidal et al [128], et Jourdan-Redon [63] ont proposé d'étudier les effets de la stimulation calorique vestibulaire sur les manifestations de ce trouble. Ces auteurs ont mis en évidence une amélioration significative, bien que transitoire, des troubles posturaux et moteurs ainsi que des bilans fonctionnels chez les patients testés.

1.7. Diagnostic différentiel

Le syndrome d'exclusion segmentaire doit être distingué :

- d'une conversion hystérique. L'expérience des thérapeutes permet souvent d'écarter ce diagnostic. Dans ce cas, l'attitude du segment "exclu" est le plus souvent en flexion irréductible. Si nécessaire, l'équipe soignante peut demander un avis psychiatrique,

- d'une simulation avec recherche de bénéfices secondaires, en particulier dans le cadre d'un accident du travail. L'observation du patient en situation écologique permet souvent de dépister les patients simulateurs. De plus, la dissociation

automatico-volontaire volontiers observée dans les cas d'exclusion vraie n'apparaît pas en général dans les simulations,

- d'une négligence motrice d'origine neurologique centrale dans les formes extensives touchant tout le membre supérieur. La distinction est en général aisée, grâce à l'examen clinique qui retrouve le plus souvent d'autres signes neurologiques centraux,

- d'une dystonie segmentaire. Le contexte (musicien, secrétaire, absence de traumatisme initial ...) et l'observation précise par l'examinateur permettent d'éliminer ce diagnostic.

1.8. Evolution et séquelles

Dans l'étude de Viehl [129], sur 37 cas, seuls 16 patients ont vu leur syndrome d'exclusion régresser totalement ou presque. Chez les 21 autres patients, le phénomène d'exclusion était toujours observé 1 an après le diagnostic, et ce malgré une rééducation bien conduite.

La reprise de travail est en général effective au bout de 9 mois d'évolution, parfois au prix d'une adaptation ou d'un changement de poste pour éviter tout risque d'accident (en particulier pour les travailleurs sur machine ou à la chaîne).

Parmi les complications observées, on peut citer la survenue d'un syndrome douloureux régional complexe de type 1, l'amputation du doigt exclu réalisée à la demande du patient ou encore l'échec de transfert d'orteil ou de doigt (absence d'intégration dans le schéma corporel du segment de membre transféré). Les patients peuvent également présenter un syndrome dépressif surtout lorsque l'arrêt de travail se prolonge.

Enfin, les séquelles signalées par les patients sont de l'ordre de la lenteur ou de la maladresse gestuelle, ou la persistance d'une hypoesthésie.

2 - Plasticité de la fonction motrice

2.1. Définitions

La fonction motrice correspond à l'ensemble des structures et mécanismes centraux de programmation, de commande et de régulation de la posture et du mouvement ainsi que les structures et mécanismes périphériques d'exécution des gestes conformes à l'idéation [1].

La neuroplasticité est la propriété que possèdent les cellules nerveuses et les ensembles neuronaux de pouvoir modifier leur forme (aspect structural), leur réseau de connectivité et/ou leur mode de fonctionnement (aspect fonctionnel) ainsi que leur métabolisme en réponse à des changements intrinsèques ou extrinsèque [68].

La plasticité de la fonction motrice concerne donc à la fois les cellules nerveuses au niveau central et périphérique, et les structures osseuses, cartilagineuses, tendineuses et musculaires qui subissent aussi des modifications en réponse aux facteurs environnementaux et aux facteurs intrinsèques.

2.2. Rappels historiques [68]

Les capacités adaptatives du cerveau humain suite aux agressions pathologiques ou traumatiques sont connues des scientifiques de manière empirique depuis plusieurs siècles. C'est au début du XIXème siècle, avec l'émergence de la phrénologie (ou craniologie), théorie développée par F.J. Gall, et sous l'influence de philosophes tels Auguste Comte, que des chercheurs se sont véritablement penchés sur la question des processus d'adaptation et de restauration fonctionnelle du cerveau. Gall postulait que le cerveau était constitué de 37 organes responsables des fonctions morales, sexuelles ou intellectuelles, et l'importance attribuée à chacun de ces organes pouvait être déterminée par la palpation du crâne. Ainsi le cervelet était la zone cérébrale dévolue à la passion, du fait que Gall avait noté chez une patiente hystérique une augmentation de la chaleur locale en regard de cette région. Le chercheur fut chassé de Vienne pour ses théories allant à l'encontre de la morale chrétienne (l'Ame ne pouvait se réduire à un simple organe) et cessa ses activités « scientifiques » pour

diriger une secte à Paris, ce qui s'avéra nettement plus lucratif.

La théorie locationniste avancée entre autres par Broca (1861) et Wernicke (1874) à partir de leurs travaux sur le langage, attribue à chaque partie du cerveau un rôle spécifique. En effet, une lésion cérébrale circonscrite à la troisième circonvolution frontale de l'hémisphère majeur est responsable d'une aphasie, sans autre déficit neurologique évident. A chaque fonction du corps doit donc correspondre une partie du cerveau.

A la même époque, différentes théories anti-locationnistes voient le jour :
- pour Flourens et Goltz, avec le *Modèle d'Equipotentialité Cérébrale*, le facteur limitatif déterminant la réorganisation fonctionnelle est la masse de tissu cérébral détruit au départ,
- dans le *Modèle de Multi-Représentation Hiérarchisée des Fonctions Nerveuses*, l'Anglais Jackson (1875) suppose que les fonctions cérébrales sont représentées à la fois au niveau cortical et sous-cortical,
- Munk (1881) élabore le *Modèle Substitutionniste* avec la notion de réorganisation fonctionnelle des cartes corticales : les zones corticales adjacentes à un territoire lésé prennent en charge la fonction initialement assurée par le territoire détruit.

Dans la première partie du XXème siècle, d'autres théories sont élaborées, dont certaines sont toujours d'actualité :
- le concept de *Diaschisis* inspiré de la *Gestalttheorie* (théorie philosophique allemande qui présuppose qu'une forme ne peut pas se réduire à la somme de ses composants mais qu'elle s'élabore sur la base des relations liant les différentes parties): le déficit fonctionnel observé est supérieur à celui attendu en fonction de la lésion causale en raison de l'inactivation de zones corticales non lésées plus ou moins lointaines normalement reliées au site lésé,
- avec le concept de l'*Asynapsie Fonctionnelle* (1936), le rôle des neurotransmetteurs est mis en lumière (inhibition de zones corticales saines voisines de zones lésées, rôle de l'acétylcholine et du GABA),
- les modèles d'*Equipotentialité Localisée* (1920) et de *Pluralité Fonctionnelle* (1940) avancent qu'aucune aire corticale n'est responsable seule de l'expression d'une fonction,

- le *Modèle de Vicariance* de Franz (1923) révèle les capacités latentes du SNC avec des stratégies de remplacement préexistantes,
- enfin dans le modèle de *Substitution Comportementale* (1947), le cerveau a recours à des stratégies différentes mimant la fonction perdue en cas de lésion.

Les bases anatomo-fonctionnelles modernes se sont essentiellement développées au cours de la deuxième moitié du XXéme siècle et ces 15 dernières années.

2.3. Plasticité structurale/plasticité fonctionnelle [1]

2.3.1. Modèle structural

Il est fondé sur plusieurs principes :
- repousse nerveuse (ou bourgeonnement) : phénomène intervenant dans le remodelage à long terme des cartes corticales. On distingue le *bourgeonnement homotypique*, c'est-à-dire la repousse d'axones lésés capables de réinnerver leurs cibles, processus difficilement mis en place chez l'adulte en raison de la cicatrice gliale et du milieu non permissif après lésion du SNC ou d'un nerf, et le *bourgeonnement hétérotypique* à partir des collatérales d'axones sains pour réoccuper des sites synaptiques vacants. La sécrétion de neurotrophine (NGF) par les cellules déafférentées entraînerait la repousse axonale par chimiotropisme. Les néosynapses sont fonctionnelles.
Le processus âge joue un rôle important : chez le jeune individu, il y a de façon prépondérante un bourgeonnement collatéral, rapide et étendu. Chez l'adulte, au contraire, le bourgeonnement est plutôt paraterminal, limité en taille et plus tardif. Il existe une période sensible, en général le premier mois post-lésionnel, où la synaptogénèse est importante avant de ralentir considérablement. Enfin il convient de signaler que synaptogénèse n'est pas systématiquement synonyme de récupération fonctionnelle.

- dérépression synaptique (Wall et Eger, 1971) : c'est le réveil de synapses dormantes (latentes). Il existe physiologiquement des synapses non fonctionnelles (absence de vésicules présynaptiques, d'épaississement de la membrane basale...) qui pourraient expliquer la restauration fonctionnelle précoce, le temps de mettre en

place les synthèses protéiques nécessaires pour le fonctionnement synaptique. Plusieurs neurotransmetteurs semblent jouer un rôle important dans le phénomène de dérépression synaptique : il y aurait une diminution de l'inhibition d'origine GABA-ergique permettant l'expression d'une connectivité latente [3, 27, 64]; des mécanismes activité-dépendants impliquant les récepteurs du glutamate (NMDA et AMPA) et agissant au niveau pré et/ou post-synaptique transformeraient les synapses silencieuses en synapses fonctionnelles [79]; enfin l'acétylcholine exerce une action excitatrice et facilitatrice pour le démasquage de synapses dormantes [39].

- hypersensibilité de déafférentation : il existe une augmentation de l'excitabilité des fibres musculaires et des neurones déafférentés en réponse à la stimulation de fibres motrices ou d'afférences intactes. Il y aurait une réactivité accrue aux neurotransmetteurs spécifiques de ces structures déafférentées, vraisemblablement par prolifération des récepteurs membranaires.
Ce mécanisme pourrait expliquer le démasquage des voies (dérépression synaptique) et le bourgeonnement collatéral d'axones sains.

- neurogénèse secondaire : il existerait chez l'adulte des cellules embryonnaires dans le bulbe olfactif et dans le gyrus dentelé ayant des capacités de maturation, expliquant une possible neurogénèse [93].

2.3.2. Modèle fonctionnel

Ce sont les processus utilisés par le SNC pour substituer à la fonction perdue un nouveau mode opératoire préservant l'invariance comportementale.

- substitution comportementale : il s'agit du choix d'une stratégie existant déjà dans le répertoire usuel mais ayant habituellement une autre finalité, permettant de suppléer une fonction perdue. Par exemple dans le réflexe oculomoteur, le SNC emploie une stratégie physiologique de poursuite-saccade (grâce au réflexe vestibulo-oculaire) pour maintenir une image rétinienne stable pendant les mouvements de la tête. En cas de lésion du nerf vestibulaire, le comportement habituel peut être compensé par fixité volontaire de la tête par rapport au tronc, ou en employant une stratégie de micro-saccades.

- substitution fonctionnelle : l'exemple type en est la redistribution des cartes somesthésiques en cas d'amputation ou de syndactylie, avec un "envahissement" de l'espace cortical laissé vacant par les structures voisines. En 1971, Wall et Egger pratiquent chez un rat adulte une destruction du noyau gracilis qui reçoit normalement les afférences sensorielles de la patte postérieure qui se projettent dans la zone thalamique correspondant à ce segment corporel. Dès le 3ème jour, la zone thalamique déafférentée répond à des stimulations de la patte antérieure.

- substitution sensorielle : ce mode de substitution est illustré par le système tactile de substitution visuelle développé par Bach y Rita (1974) pour permettre aux aveugles de "voir".

Le modèle fonctionnel ne s'oppose pas au modèle structural, les deux conceptions étant interdépendantes.

2.4. Facteurs influençant la neuroplasticité

- rôle de l'espèce

- âge : l'embryogénèse et l'ontogénèse sont des périodes critiques du développement du SNC avec une augmentation du nombre et de la taille des neurones, ainsi qu'une prolifération des connexions nerveuses et des cellules gliales. Des facteurs extrinsèques (infection en cours de grossesse, tabac, alcool, drogues) et intrinsèques (anomalies génétiques) peuvent conduire à des perturbations difficilement réversibles.
Chez l'adulte, les fonctions cérébrales continuent de se modifier et de s'affiner en réponse aux sollicitations du milieu et aux apprentissages permanents qui résultent des activités propres du sujet. Le mécanisme principalement mis en jeu est, comme nous l'avons déjà vu, la synaptogénèse à partir de neurones intacts (bourgeonnement hétérotypique).
Cependant, le processus physiologique de vieillissement cellulaire (sénescence) qui induit mort cellulaire et modification de la morphologie des neurones, est indéniablement un facteur limitatif des processus de plasticité du SNC.

Le rôle du facteur âge peut être mis en évidence en IRMf : la représentation du mouvement, c'est-à-dire le recrutement des aires sensorimotrices, varie en fonction de l'âge, même chez les individus sains [59].

- type de lésion : la réorganisation cérébrale est déterminée en partie par les propriétés structurales, la localisation et l'étendue de la lésion [117]. Il est évident qu'une lésion très étendue du cerveau ou une section complète de moelle limiteront les phénomènes plastiques, bien que la récupération fonctionnelle ne soit pas toujours corrélée à l'extension lésionnelle. Il existe dans ce domaine de grandes variations interindividuelles.

- médicaments : les barbituriques ont un rôle inhibiteur, alors que les amphétamines [51] et la bromocriptine (Parlodel®) ont un rôle facilitateur sur les phénomènes plastiques.

- entraînement : l'activité (le mouvement) ou l'inactivité provoquent des modifications des effecteurs musculo-squelettiques en rapport avec l'adaptation des systèmes de commande mais aussi des comportements [8, 10].

- hygiène de vie, richesse de l'environnement, motivation et attention : Noppeney et al [92] ont démontré que l'attention modifiait l'organisation somatotopique du cortex somatosensoriel primaire.

3 - Apprentissage de l'inactivité et thérapeutiques contraintes

3.1. Apprentissage de l'inactivité : de l'amnésie motrice fonctionnelle au « learned non-use »

La première description clinique précise du phénomène d'apprentissage de l'inactivité est attribuée à Henri Meige (1866 – 1940), qui en 1904, emploie le terme « d'amnésie motrice fonctionnelle » pour qualifier le déficit moteur présenté par des patients hémiplégiques, chez qui « toute mémoire de la fonction semble avoir disparu avec l'arrêt transitoire de la motilité ». Meige définit ce type de désordre moteur selon les critères suivants : il est à distinguer des paralysies lésionnelles ; il est

secondaire à l'absence d'activité ; il est lié à un processus d'apprentissage ; il est en rapport avec un phénomène d'amnésie fonctionnelle ; il est accessible à une rééducation motrice basée sur la répétition [9, 14, 85].

Mott et Sherrington en 1895 constatent qu'une désafférentation d'un membre chez le singe induit une absence de mouvement à ce niveau. Munk, en 1909 pousse plus loin l'expérience en immobilisant le côté sain : il en résulte une possibilité de mouvement du côté désafférenté [121].

Taub et al [121], se basant sur les conclusions de ces travaux, réalisent en 1957 une série d'expériences de déafférentation du membre supérieur chez des singes rhésus à différents stades de l'ontogénèse. Le membre sain est immobilisé et le membre déafférenté est entraîné selon une procédure de réponse conditionnée (gestes simples stéréotypés en réponse à un stimulus auditif, à réaliser rapidement pour éviter un choc électrique) : au bout de quelques jours d'entraînement, les primates parviennent à se servir du membre atteint. En revanche, dès que le membre sain est libéré de l'immobilisation, ils « oublient » qu'ils peuvent se servir du bras déafférenté, bien que la récupération neurologique soit suffisante pour en permettre un usage normal. Lorsqu'une rhizotomie dorsale bilatérale est pratiquée, les singes testés montrent d'étonnantes facultés d'adaptation dans l'environnement du laboratoire et se servent de leurs deux membres supérieurs pour la préhension, la déambulation ou pour grimper, après un entraînement adéquat.

Les auteurs émettent l'hypothèse de *l'apprentissage de l'inactivité* ou *« learned non use phenomenon »* : la non-utilisation d'un membre masque les possibilités de récupération motrice et les réduit même secondairement en engageant un processus désadaptatif spontanément auto-entretenu et auto-aggravé. Plusieurs phénomènes concourent à renforcer éventuellement l'apprentissage de l'inactivité, notamment la sévérité initiale de déficit neurologique faisant échouer toute tentative d'utilisation du membre atteint et la motivation du sujet à employer son membre paralysé.

Les circonstances à l'origine du phénomène d'inactivité sont nombreuses : la douleur [12], l'immobilisation [137], une désafférentation temporaire ou définitive (anesthésie, neurotomie, amputation), une lésion du cerveau [29] ou de la moelle

etc... Le déficit observé dans ces cas n'est pas lié uniquement à une paralysie, ou un trouble sensitif, mais également à un apprentissage de non-utilisation, réversible par un ré-apprentissage de l'activité. Un exemple particulier de non-utilisation sans déficit sensorimoteur sous-jacent est apporté par l'étude goniométrique des paramètres du mouvement après arthrolyse de coude [80, 95] : bien que les amplitudes articulaires passives soient subnormales grâce au geste chirurgical, les patients opérés ne se servent de leur coude que dans le secteur articulaire balayé avant libération chirurgicale, témoignant d'un apprentissage de l'inactivité.

3.2. Les thérapeutiques contraintes

L'activité musculaire semble être l'agent médiateur principal de la plasticité nerveuse et de sa propre plasticité. Il est donc possible d'agir sur la plasticité du système nerveux central et sur l'activité motrice elle-même en dirigeant l'activité musculaire [8, 44].

La prise en charge des déficits moteurs a évolué parallèlement à l'acquisition des connaissances sur leurs mécanismes physiopathologiques. Jusqu'aux années 1950, L'activité motrice était considérée comme une simple réponse à une commande corticale, d'où le recours à des *techniques de rééducation dites gymniques*, consistant à obtenir du patient un mouvement analytique et à le lui faire reproduire jusqu'à une exécution aussi performante que possible, sans tenir compte de paramètres tels que la douleur, la raideur articulaire, les troubles de la coordination ou la spasticité, tendant par là même à les renforcer. Plus récemment, des *techniques de facilitation et de reprogrammation neuromotrice* ont été proposées (techniques de Bobath, Kabat, Perfetti, Temple Fay, pour ne citer que les plus connues) : la récupération est guidée pour obtenir une progression proximo-distale bilatérale d'une fonction motrice tout d'abord grossière puis la plus sélective possible, à l'instar des acquisitions motrices observées au cours du développement de l'enfant. Ces méthodes s'inscrivent dans le cadre d'une approche globale du système neuromoteur, avec des entrées multiples centrales et périphériques. Cependant, la plupart des stimuli de facilitation ou d'inhibition ont d'abord été découverts à partir d'observations cliniques des réactions des patients au cours de la rééducation et leur validité n'a été démontrée que secondairement. Bien que toujours couramment employées en rééducation

neurologique centrale, ces techniques de facilitation neuromotrice ne permettent pas une récupération optimale en comparaison aux résultats obtenus par l'activité forcée [21, 126].

La théorie de l'apprentissage de l'inactivité induit la nécessité d'aborder la prise en charge rééducative sous un angle nouveau, à savoir la thérapeutique contrainte, ou activité forcée, qui implique un réapprentissage du mouvement.

Comme nous le verrons, le terme « activité forcée » regroupe de nombreuses approches thérapeutiques différentes et peut s'appliquer à diverses pathologies, bien que la plupart des travaux effectués à ce sujet se soient portés essentiellement sur la pathologie neurologique centrale.

Une première approche a consisté en une **restriction du membre sain**, non parétique, pour détourner l'attention et les efforts du patient sur son membre atteint afin d'en augmenter les performances [134] : après 2 semaines d'immobilisation du membre supérieur sain par une écharpe chez des patients hémiplégiques (AVC ou traumatisme crânien supérieur à 1 an), tous les sujets développent un contrôle musculaire volontaire suffisant pour obtenir les mouvements d'extension du membre supérieur ? Les effets de cet entraînement perdurent à long terme. Le même auteur présente dans une revue [133] des résultats d'études similaires corroborant les faits : des patients rééduqués selon les principes de l'activité contrainte obtiennent de meilleures performances analytiques et fonctionnelles que des patients présentant les mêmes caractéristiques cliniques et rééduqués conventionnellement ; des PEM réalisés lors d'une étude en TMS (Stimulation Magnétique Transcrânienne) chez des individus après activité forcée ont une amplitude supérieure et les muscles réentraînés ont une représentation corticale élargie [74, 75].

Une seconde approche de l'activité contrainte consiste en l'utilisation de robots pour compléter le travail du thérapeute (« **robot-aided therapy** ») :

- au membre supérieur : au début des années 1990, Hogan et al [57] mettent au point un bras robotisé, le *MIT-Manus*, permettant des mouvements passifs et actifs de l'épaule et du coude dans un plan horizontal. Après entraînement

intensif sur cette machine pendant 5 semaines, 3 semaines après la survenue d'un AVC, les patients ont des scores d'évaluation fonctionnelle et des paramètres analytiques comme la force musculaire nettement supérieurs à ceux obtenus par les techniques classiques de rééducation, et les résultats se maintiennent 6 mois après traitement. Un autre système intéressant, le *MIME (Mirror Image Motion Enabler)* crée par Burgar et al [57] permet au membre paralysé de reproduire en miroir les mouvements du membre sain controlatéral grâce à un système de capteurs (mouvements bimanuels d'épaule et de coude dans le plan horizontal). L'équipe allemande de Hesse [58] a quant à elle mis au point un robot portable permettant une activité bimanuelle active ou passive de pronosupination ou flexion/extension au niveau du poignet (*Arm Trainer*).

- Au membre inférieur, la robot-thérapie vient assister la marche, par des systèmes d'allègement du poids du corps et de tapis roulant électrique [13, 45, 67, 131]. Nous ne nous pencherons pas davantage sur la question, le but de ce travail étant la rééducation du membre supérieur.

Ces robots offrent l'avantage de pouvoir régler tous les paramètres du mouvement : force, amplitudes articulaires, fréquence du mouvement. Ils permettent globalement une amélioration significative de la récupération fonctionnelle, mais ne peuvent pas se substituer complètement à une rééducation conventionnelle, venant plutôt pallier les insuffisances de cette dernière.

Les autres techniques proposées dans le cadre des thérapeutiques contraintes sont les suivantes : le biofeedback ; la stimulation électrique fonctionnelle (SEF), surtout employée au membre inférieur parétique dans le cadre d'un AVC ou d'une paraplégie ASIA C ou D ; la stimulation électrique transcutanée (TENS) venant en complément de mobilisations passives et actives des segments de membre concernés ; les traitements médicamenteux adjuvants (D-amphétamine, bromocriptine, toxine botulinique [94]).

3.3. Apprentissage de l'inactivité, thérapeutiques contraintes et plasticité motrice

L'apprentissage de l'inactivité constitue un exemple de plasticité négative du système locomoteur, faisant intervenir des modifications à toutes les étapes du mouvement, tant au niveau du système nerveux central qu'au niveau de l'effecteur musculo-squelettique [8, 19].

Les processus de plasticité du système locomoteur ont été étudiés dans diverses situations cliniques (provoquées expérimentalement ou d'origine pathologique) où l'inactivité est le primum movens :

- la dénervation par neurotomie entraîne une inactivité partielle de la zone primaire de projection des afférences correspondantes dans le cortex sensoriel primaire (SI), phénomène survenant dans une moindre mesure dans les cas de neurotomie partielle, de ligature ou d'amputation digitale ou de la main [42] Il survient un *remodelage rapide des cartes de représentations cutanées*, en rapport avec l'expression de nouvelles entrées sensorielles dans le cortex déafférenté : certains neurones de SI constituant des champs cutanés de réception initialement confinés au territoire de peau dénervé deviennent sensibles à la stimulation de zones cutanées le plus souvent adjacentes, et les champs récepteurs ont tendance à s'élargir [22, 23, 113].

- la désafférentation par anesthésie localisée à un ou plusieurs doigts [22, 111] engendre un élargissement des champs récepteurs proches du doigt anesthésié et l'émergence de nouveaux champs récepteurs responsables de l'invasion des zones corticales de représentation adjacentes dans la zone de représentation affectée par l'anesthésie. Ces réorganisations s'inversent quelques heures après la levée de l'anesthésie chez l'être humain.

L'expansion des zones de représentation adjacentes à celle affectée par la dénervation ou l'anesthésie révèle une organisation topographique grossière. Le mécanisme physiopathologique des phénomènes observés relève probablement du *démasquage d'un réseau de connectivité latente* auparavant non exprimé [135]. A plus long terme, le processus d'expansion des représentations corticales diminue et

une redistribution somatotopique des champs récepteurs se met en place [110].

- Une étude menée par Reddy et al [106] en IRMf retrouve une augmentation de l'activation du cortex moteur primaire ipsi et controlatéral chez des patients présentant une motoneuropathie (dont l'expression clinique est la diminution voire l'arrêt de la motilité), et un déplacement postérieur de la zone d'activation sensorimotrice primaire lors de mouvements de la main en comparaison avec des individus sains.

- Bien évidemment, la réorganisation des cartes corticales en réponse à l'inactivité a largement été étudiée en pathologie neurologique centrale, notamment après lésion vasculaire cérébrale ou blessure médullaire [28, 30, 54, 99] : Turner et al [123] ont démontré en IRMf les modifications à long terme de la représentation somatotopique du cortex moteur primaire provoquées par des lésions médullaires.

- C'est surtout le rôle de l'activité forcée sur les modifications des cartes corticales somatomotrices qui a le plus fait l'objet d'études [17, 20, 24, 89, 91] : Liepert et al [74, 75] démontrent en TMS une expansion et un déplacement de la zone corticale dévolue à la main lésée (dans les suites d'AVC) après un entraînement forcé, parallèlement à une amélioration des performances motrices. 6 mois après la rééducation, les activations des 2 hémisphères cérébraux sont superposables, c'est-à-dire que la zone correspondant à la main lésée a repris sa configuration normale, et cependant les performances motrices restent toujours supérieures à ce qu'elles étaient avant la rééducation. Levy et al [73] retrouvent plusieurs mois après l'ictus une modification de l'activation corticale péri-lésionnelle en réponse à la thérapeutique contrainte chez 2 patients cérébrolésés (lésion focale du lobe pariétal droit) présentant une paralysie du membre supérieur gauche considérée comme définitive et non accessible à une rééducation conventionnelle.

4 – Exploration cérébrale anatomique et fonctionnelle

4.1. Techniques d'étude

4.1.1. Electroencéphalographie (EEG) et magnéto-encéphalographie(MEG)[43]

L'EEG enregistre l'activité électrique cérébrale au moyen d'électrodes de surface posées sur le scalp de façon standardisée. Les électrodes sont reliées entre elles selon des montages de complexité variable.
La MEG consiste à mesurer l'activité magnétique générée par l'activité électrique cérébrale. La puissance de cette activité n'est pas influencée par la traversée des milieux extra-cérébraux (méninges, liquide céphalo-rachidien, os, scalp). Elle dépend de la distance du capteur magnétique par rapport à la source et de l'orientation du champ électrique générant un champ magnétique mesuré, qui lui est perpendiculaire.
Ces deux techniques possèdent une excellente résolution temporelle et les signaux enregistrés sont en relation directe avec les activités synaptiques. En revanche, il est difficile de localiser précisément l'origine des signaux, en profondeur surtout, ce qui se traduit par une mauvaise résolution spatiale.

4.1.2. La stimulation magnétique transcrânienne (TMS pour les anglo-saxons)[84]

Cette technique consiste à perturber la conduction des fibres blanches, en une zone donnée du cerveau, en les soumettant pendant une très courte durée à un champ magnétique engendré par une boucle placée à la surface du scalp, en regard de la zone considérée, dans laquelle on fait circuler un courant. En stimulant à des temps différents, il est possible d'obtenir une indication sur la chronométrie de la circulation de l'information dans la zone étudiée. Le principe pour une fonction cognitive donnée est de repérer l'instant (en rapport avec la localisation) où elle est perturbée.
La limite de cette méthode est la difficulté de préciser exactement l'étendue de la zone ainsi stimulée. La TMS a cependant fourni des renseignements fondamentaux sur la cartographie cérébrale à la fois anatomique et cérébrale [18, 132].

4.1.3. L'imagerie optique [18, 115]

L'activité neuronale s'accompagne d'une augmentation locale de la consommation d'oxygène, se traduisant par des modifications transitoires de la concentration en hémoglobine oxygénée et désoxygénée.
L'imagerie optique consiste en l'observation directe à la surface corticale des modifications de la coloration locale liées à l'activité cérébrale chez des sujets soumis à des stimulations diverses. En effet, l'hémoglobine oxygénée et l'hémoglobine désoxygénée renvoient la lumière à deux longueurs d'ondes différentes. D'autres marqueurs de l'activité neuronale, comme les mouvements d'ions, donnent également une signature optique particulière.
Cette méthode permet d'étudier localement le couplage entre les phénomènes de débit sanguin cérébral et la consommation d'oxygène, mais nécessite une exposition du cortex à la lumière, ce qui a limité son utilisation jusqu'à présent à l'expérimentation animale et aux études peropératoires. De nouvelles avancées technologiques devraient permettre de pallier ce problème.

4.1.4. La tomographie par émission de positons (TEP)[83]

Les modifications hémodynamiques locales liées à une activité neuronale peuvent être enregistrées grâce à un traceur de débit (ou de volume) sanguin cérébral et à une méthode d'enregistrement externe de sa concentration locale. Ce traceur est radioactif, comme l'eau marquée à l'oxygène 15 (émetteur de positons). Une caméra à positons permet d'obtenir une image tridimensionnelle de la concentration du traceur proportionnelle au débit sanguin cérébral.
Si la résolution temporelle de cette technique est excellente, la résolution spatiale l'est en revanche beaucoup moins, et la nécessité d'employer un traceur radioactif peut constituer un frein à son utilisation.

Ces techniques d'imagerie cérébrale ont chacune permis des avancées considérables dans l'étude de la cartographie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Cependant, elles présentent toutes des limitations : faible résolution spatiale (EEG, MEG, TMS ou PET), technique invasive (imagerie optique), utilisation de marqueurs radioactifs.
Depuis une quinzaine d'années, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

(IRMf) s'impose comme une technique de choix pour l'étude de la neuroanatomie fonctionnelle.

4.2. L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

4.2.1. Notions de base en IRM [81]

- Spin : l'hydrogène est le constituant majeur de quasiment toutes les molécules biologiques, en particulier de l'eau (H2O), représentant plus de 80% du poids du cerveau. Le noyau de l'atome d'hydrogène a une composition simple : il est formé d'un neutron et d'un proton (qui sont des particules élémentaires). Ce dernier est animé d'un mouvement de rotation propre, à l'origine d'une aimantation de la particule caractérisée par un vecteur : le « moment magnétique de spin » ou « spin ».

- Aimantation : quand on place un sujet dans un champ magnétique (appelé B_0) orienté des pieds vers la tête, les spins des noyaux d'hydrogène s'orientent selon la direction de ce champ, soit dans le même sens, soit en sens inverse. La somme algébrique de ces spins est non nulle, et fait apparaître un moment magnétique, appelé M_0, orienté dans le sens de B_0. L'intensité du champ magnétique est mesurée en Tesla (T).

- Résonance magnétique : ce phénomène se produit lorsque l'on applique sur les spins, placés dans un champ stable B_0, un autre champ magnétique, noté B_1, perpendiculaire au précédent et tournant à la fréquence propre de rotation des spins de protons (fréquence de Larmor). Ce champ B_1 est généré par une antenne de radiofréquence placée autour de la tête du sujet pendant un temps très court.

- Relaxation : le champ magnétique B_1 appliqué sur les spins orientés initialement selon B_0, fait apparaître une composante de M_0, appelée M_{xy}, perpendiculaire à celle-ci. Quand on lève le champ magnétique B_1, le moment magnétique M retourne progressivement à sa position initiale : ce temps correspond au temps de relaxation. T1 est le temps de relaxation longitudinal

(spin – réseau) : c'est le temps de retour de la composante de M, orientée selon B_0 (M_z), à sa position initiale. T2 ou T2* est le temps de relaxation transversal (spin – spin) : il correspond au temps de retour de la composante transverse de M, M_{xy}, à la position initiale. Ce temps est beaucoup plus court que T1.

- Image numérique : une image numérique peut être assimilée à un tableau, constitué de cellules dont chacune contient une valeur numérique représentant la distribution dans l'espace d'une quantité physique. On appelle un tel tableau une *matrice*. Cette matrice peut être à 2 dimensions (image 2D) ou à 3 dimensions (image 3D ou volumique). Une cellule d'une image 2D est appelée *pixel* (picture element), une cellule d'une image 3D *voxel* (volume element). La taille physique d'un voxel est égale au volume total de l'image divisé par le nombre total de voxels, soit le plus souvent 1 mm3. La taille de la matrice image est celle du produit de son nombre de lignes et de colonnes. Le plus souvent, une image anatomique 3D du cerveau acquise en séquence pondérée en T1 est de taille 256×256×128, formant un parallélépipède rectangle ayant 256 lignes dans les directions x et y et 128 lignes dans la direction z. Ces images 3D sont le plus souvent assimilées à une pile d'images 2D (256×256) orientées dans la direction z (soit 128 images 2D orientées dans la direction z), chacune de ces images correspondant à une coupe.

- Effet de volume partiel : lorsque la taille d'un voxel atteint plusieurs millimètres cube, plusieurs types de tissus peuvent éventuellement contribuer à sa valeur. Cet effet de volume partiel crée un flou aux interfaces entre les différents tissus rendant difficile l'identification précise de leurs limites.

4.2.2. Bases neurophysiologiques de l'IRMf [70, 82, 101]

L'augmentation de l'activité synaptique liée à la réalisation d'une tâche cognitive ou motrice s'accompagne d'une augmentation locale de la consommation d'oxygène. L'oxygène lié à l'hémoglobine est dissocié de celle-ci pour être délivré aux tissus, générant une élévation transitoire de la concentration locale en désoxyhémoglobine

(désoxy-Hb) dans les veinules et sur le versant veineux des capillaires. Ce phénomène est appelé *« initial dip »*. Pour compenser cette augmentation modérée de la consommation d'oxygène, il s'ensuit une augmentation du débit et du volume sanguin provoquant un enrichissement du réseau capillaire en sang artériel riche en hémoglobine oxygénée (oxyhémoglobine, oxy-Hb). Mais cet afflux d'oxygène dépasse largement les besoins locaux, et il apparaît alors une inadéquation entre l'offre et la demande en oxygène engendrant une diminution relative de la concentration veineuse en désoxy-Hb. Ce signal constitue l'*effet BOLD* (Blood Oxygen Level Dependent Effect). Enfin, quand l'activation cesse, le signal diminue, passant en deçà de sa valeur de base, probablement du fait de la persistance temporaire d'une vasodilatation et d'une consommation accrue d'oxygène sans augmentation de la perfusion : ce phénomène est appelé *« undershoot »*.

4.2.3. Principes de l'IRMf en contraste BOLD

La technique du contraste BOLD est basée sur les propriétés magnétiques de l'hémoglobine. L'oxy-Hb influe peu sur le champ magnétique. Au contraire, la désoxy-Hb a des propriétés paramagnétiques, c'est-à-dire que placée dans un champ magnétique de valeur B_0, elle modifie en son sein et dans le proche voisinage l'intensité et la direction du champ. Elle se comporte donc comme un agent de contraste endogène. Son influence sur la valeur du champ est caractérisée par une grandeur appelée susceptibilité magnétique.

Quand on place un individu dans un aimant, il se produit au voisinage de chaque molécule de désoxy-Hb du sang veineux une inhomogénéité du champ magnétique entraînant un déphasage du spin des protons, se traduisant par une diminution du temps de relaxation transversal T2 et donc une chute du signal enregistré.

L'activité mentale entraîne des variations locales et temporelles de la concentration en désoxy-Hb du sang veineux et donc des variations du temps de relaxation T2 que l'on peut mesurer.

Un champ magnétique d'au moins 1,5T est nécessaire pour la détection de l'effet BOLD. Le suivi du décours temporel du signal au cours de l'activation neuronale nécessite une acquisition rapide des images : on utilise alors une séquence particulière d'acquisition, appelée echo-plannar imaging (séquence EPI-BOLD). On peut ainsi acquérir en 5 à 6 secondes 40 coupes de 3,5mm d'épaisseur couvrant la

totalité du volume cérébral.

4.2.4. Caractéristiques de l'imagerie fonctionnelle en séquence EPI-BOLD

L'IRMf présente l'avantage par rapport aux autres techniques d'exploration fonctionnelle cérébrale de présenter une excellente résolution temporelle (on peut suivre les variations de concentration en désoxy-Hb toutes les 150ms sur un seul plan de coupe et en 5 à 6 secondes pour la totalité du volume cérébral) et spatiale.
En revanche l'amplitude des signaux détectés est moindre par rapport à ceux mesurés en TEP. On compense ce défaut en réalisant de multiples fois la même mesure chez un individu, d'où une puissance statistique élevée.
Un inconvénient important de ce type d'imagerie est le fait que le signal mesuré provient du réseau sanguin veineux. Or pour un territoire cortical donné, la vascularisation veineuse ne se calque pas exactement sur la vascularisation artérielle, ce qui fait qu'un signal peur être enregistré à distance du lieu d'activation réelle.
Une autre source de perturbation du signal réside dans les artéfacts provoqués par les mouvements physiologiques des sujets étudiés (respiration, battements cardiaques, mouvements de tête). Une correction secondaire des artéfacts par recalage de toutes les images sur une seule image sélectionnée dans la série est le plus souvent nécessaire.
Enfin, il survient des distorsions du champ magnétique aux interfaces entre les tissus pouvant entraîner des diminutions de la valeur du signal et des erreurs de localisation (c'est l'effet de volume partiel dont on a déjà parlé).

4.2.5. Protocoles d'activation en IRMf

a - paradigme expérimental
Le paradigme d'activation permet de comparer des images acquises au cours de 2 états fonctionnels différents : un état de référence (le plus souvent le repos) et un état d'activation.
On a recours le plus souvent à un *paradigme en bloc* : le sujet réalise en alternance une tâche d'activation (A) et de repos (R), chaque bloc durant une dizaine de secondes, et chaque cycle A-R étant répété plusieurs fois pour permettre d'augmenter l'amplitude du signal.

L'autre possibilité est d'employer un *paradigme événementiel* : les tâches sont effectuées pendant un bref intervalle de temps (quelques secondes au maximum) et suivies par une période contrôle d'une durée suffisamment longue (de 12 à 20 secondes) pour que l'on puisse enregistrer la réponse hémodynamique correspondant à la tâche d'intérêt. On obtient ainsi des données concernant la latence, l'amplitude et la largeur de la réponse hémodynamique provoquée par l'activation. L'objectif est de mettre en évidence la chronométrie des activations cérébrales.

b - acquisition des données

On collecte au préalable des images anatomiques 2D pour améliorer la localisation anatomique des aires activées. Les images fonctionnelles sont acquises secondairement.

c - analyse des données

La première étape consiste en un pré-traitement des images fonctionnelles en corrigeant les artéfacts de mouvement et de susceptibilité magnétique et en effectuant un lissage temporel et spatial.

Ensuite, les images sont normalisées, c'est-à-dire que l'on attribue à chaque voxel activé un triplet de coordonnées x, y, z référencées dans un espace universellement codifié, l'espace stéréotaxique de Talairach et Tournoux [120], afin de rendre comparables et reproductibles les données issues de l'étude de cerveaux anatomiquement différents. La normalisation des images consiste à supprimer sélectivement la variabilité interindividuelle en modifiant l'anatomie du sujet pour la conformer au modèle stéréotaxique.

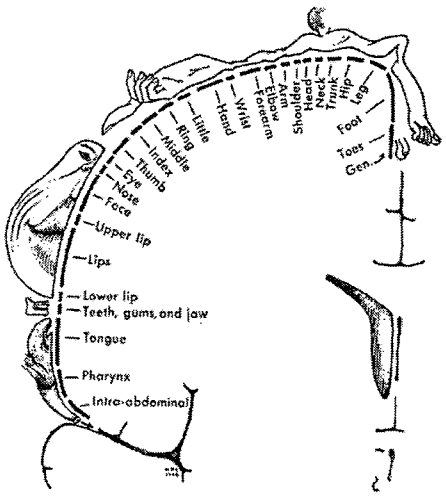
L'analyse statistique des données fait appel le plus souvent au logiciel SPM 99 (Statistical Parametric Mapping) ou au logiciel SPM2 et les résultats sont présentés sous forme d'une carte d'activation cérébrale, dans laquelle les variations du signal statistiquement significatives sont codées selon une échelle colorielle rendant compte de l'intensité de l'activation.

4.3. Anatomie cérébrale fonctionnelle

4.3.1. Architecture macroscopique corticale

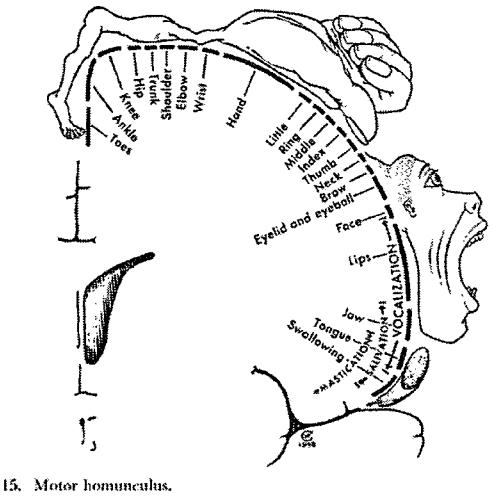
La surface corticale est parcourue d'une succession de plis ou crêtes appelés gyrus et de sillons ou sulcus [98]. Chacun des hémisphères cérébraux est divisé en 6 lobes : le lobe frontal, le lobe pariétal, le lobe temporal, le lobe occipital, le lobe limbique et le lobe de l'insula [124]. Chaque lobe joue un rôle fonctionnel particulier qui ne sera pas détaillé ici.

Le neurochirurgien canadien Wilder Penfield [96] a développé entre 1930 et 1950 une méthode de stimulation électrique corticale sous anesthésie locale chez des patients atteints d'épilepsie focale. Cette stimulation électrique, quand elle est appliquée sur la portion antérieure du gyrus postcentral conduit à des sensations somatiques dont la répartition le long du gyrus correspond aux différentes parties du corps. Penfield a ainsi mis en évidence des cartes dites somatotopiques du cortex sensoriel primaire. La même répartition se retrouve en miroir sur le gyrus précentral au niveau du cortex moteur primaire. On parle encore d'homonculus (petit homme en latin) : l'homonculus sensoriel occupe la berge pariétale du sillon de Rolando et s'étend dans la partie antérieure du gyrus postcentral (figure 1), et symétriquement, l'homoncule moteur occupe la berge frontale du sillon de Rolando et s'étend en avant dans la partie postérieure du gyrus précentral (figure 2).



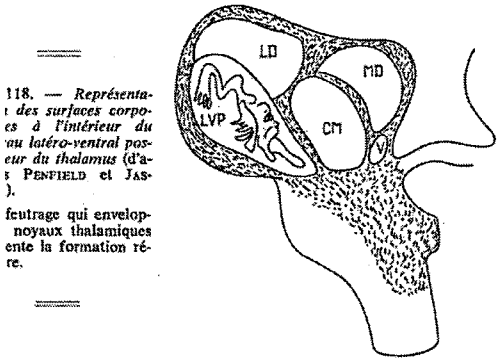
114. Sensory homunculus.

Figure 1 : homonculus sensoriel de Penfield [96]



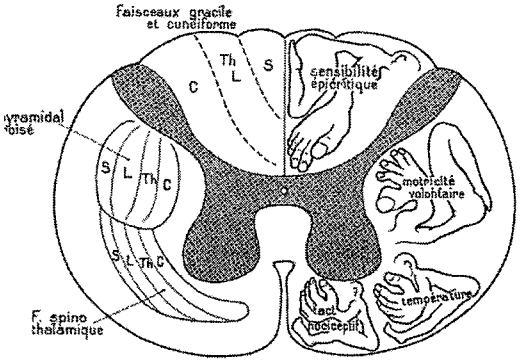
15. Motor homunculus.

Figure 2 : homonculus moteur de Penfield [96]



118. — *Représenta-
des surfaces corpo-
es à l'intérieur du
au latéro-ventral pos-
eur du thalamus* (d'a-
PENFIELD et JAS-
).
feutrage qui envelop-
noyaux thalamiques
ente la formation ré-
re.

Figure 3 : représentation somatotopique au sein du thalamus [37]



16. 45. — *Somatotopie des grands faisceaux ascendants et descendants dans la moelle* (à rapprocher des figures 118, 169 et 174) (d'après CURT ELZE modifié).

Figure 4 : représentation somatotopique au sein de la moelle [37]

Cette représentation somatotopique se retrouve à tous les étages du SNC : au niveau du cortex, comme Penfield l'a démontré, mais également au niveau des noyaux gris centraux, du thalamus (figure 3) et de la moelle (figure 4). Dans une étude récente, Gérardin et al [47, 48] ont mis en évidence en IRMf au niveau du putamen postérieur (appartenant au striatum) une somatotopie selon un gradient dorsoventral et latéromédial : la représentation du pied a une localisation dorsolatérale, celle de la main est en position intermédiaire et celle des lèvres est localisée en ventromédian.
Les informations venant du cortex sont transmises aux différents constituants des ganglions de la base de façon organisée, sans perte de la ségrégation fonctionnelle.

4.3.2. Architecture microscopique corticale [97]

L'étude microscopique du cerveau a permis l'établissement de *cartes cytoarchitechtoniques*, qui décrivent une parcellisation du cortex humain sur la base des différences microscopiques de l'architecture neuronale (taille absolue et densité de neurones, épaisseur totale de cortex).

La carte cytoarchitectonique la plus utilisée chez l'homme est celle proposée par Brodmann (1909) : elle est constituée d'aires numérotées de 1 à 47 (figure 5). Le plus souvent, on décrit l'anatomie d'une fonction cognitive en termes d'activations observées dans telle ou telle aire de Brodmann (*Brodmann area* ou BA). Ainsi les aires 1, 2 et 3 correspondent au cortex somatosensoriel primaire, l'aire 4 au cortex moteur primaire, l'aire 6 au cortex prémoteur (dont la partie la plus médiane est l'aire motrice supplémentaire), les aires 17 et 41/42 respectivement aux aires visuelles et auditives primaires.

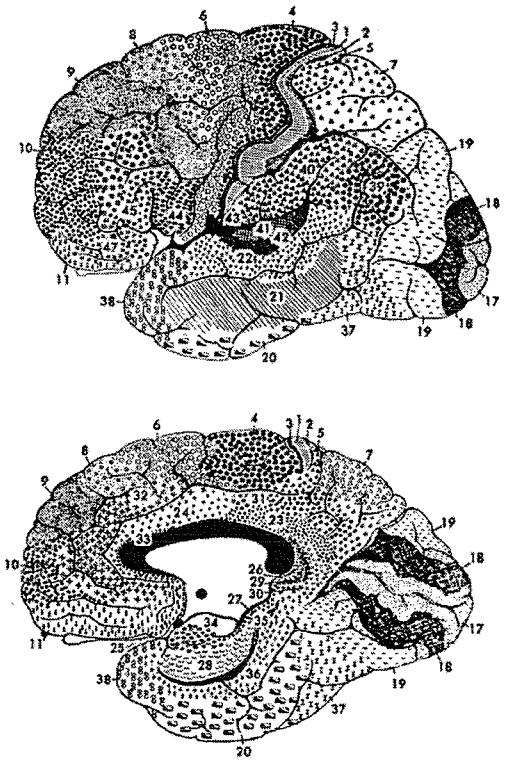


Fig. 25. Cytoarchitectonic fields of the human cerebral cortex from Brodmann (1909).

Figure 5 : aires de Brodmann [96]

4.3.3. Localisation de l'aire de la main

L'aire motrice de la main est située sur le gyrus précentral et s'étend en partie sur le gyrus post-central [136]. Elle présente dans le plan axial une forme de oméga (Ω) dans 90% des cas ou d'epsilon (ε) dans 10% des cas, et une forme de crochet inversé dans le plan sagittal [18, 36, 125]. Elle correspond à l'aire 4 selon Brodmann. L'aire 4a serait surtout impliquée dans l'exécution du mouvement et l'aire 4p dans l'analyse somatosensorielle des paramètres du mouvement [118].

Il existe une somatotopie au sein de l'aire motrice de la main : Wilson et al [132] ont démontré grâce à la TMS que le muscle court abducteur du pouce a une localisation plus latérale et le muscle abducteur du 5ème doigt une localisation plus médiale. Kleinschmidt et al [65] ont confirmé cette disposition médiolatérale au sein de MI. Dans une étude en IRMf Sanes et al [114] modèrent ces données en rappelant que les aires dévolues aux mouvements de chaque doigt et aux mouvements du poignet se superposent en partie : il existerait un réseau neuronal dans MI qui servirait à contrôler de façon simultanée et optimale les muscles du membre supérieur dans le but d'atteindre, de manipuler, d'apprendre de nouveaux mouvements.

L'aire sensitive de la main est située au niveau du gyrus postcentral, au niveau des aires 1 et 2 de Brodmann, sur une bande transverse étroite présentant une organisation séquentielle : D1 et D2 sont bien individualisés, en position latérale, D3, D4, D5 se superposent en partie et se situent plus médialement. De plus, l'utilisation de n'importe quel doigt de la main active une zone commune médiale appelée « common patch » en anglais [115].

4.4. Le mouvement : préparation et exécution ; imagerie motrice

4.4.1. Définitions [34]

Le concept de *préparation motrice* correspond à la série d'opérations qui s'interposent entre l'identification du stimulus et la réalisation d'une réponse : sélection en mémoire d'une réponse associée au stimulus, planification et programmation de la sortie motrice par laquelle la réponse s'exprime.

Le terme de *représentation mentale* est utilisé d'une part pour décrire le contenu

mental lié aux buts et aux conséquences d'une action, et d'autre part pour désigner les opérations neuronales qui sont supposées être réalisées par le cerveau avant que l'action ne commence. La représentation mentale est normalement un processus inconscient.

L'*imagerie motrice* permet d'accéder de façon consciente aux représentations mentales [61]. C'est un état cognitif transitoire qui peut être vécu par tout un chacun avec un apprentissage minimal : il s'agit de simuler mentalement une action, grâce à la capacité de représentation interne du monde extérieur et de soi-même. Cela pourrait correspondre à la contrepartie consciente de nombreuses situations de vie courante comme le fait d'observer le comportement d'autrui dans le but de l'imiter, anticiper les effets d'une action donnée, se préparer à agir... C'est peut-être un moyen d'accéder au niveau de l'intentionnalité. L'imagerie motrice comporte deux aspects : la simulation mentale d'une action et l'inhibition de son exécution.

4.4.2. Aires corticales impliquées dans l'imagerie motrice, la préparation et l'exécution du mouvement

Au cours de la préparation et de l'exécution du mouvement, il survient un traitement parallèle de l'information dans différentes structures, chaque région jouant un rôle spécifique dans l'initiation, le contrôle et la réalisation de l'action.

Pour Decety et al [32, 33, 34] :
- L'aire motrice supplémentaire (AMS) intervient dans l'organisation de séquences reposant sur des programmes internes. L'AMS antérieure joue un rôle dans la sélection et la préparation des actions et envoie des informations à l'AMS postérieure qui contient des projections pyramidales.
- Le cortex prémoteur agit au niveau de la préparation du mouvement. Il reçoit des projections du cortex pariétal, tout comme l'AMS.
- Le cortex préfrontal joue un rôle dans l'initiation du mouvement et l'organisation temporelle de l'action. Il possède des connexions avec l'AMS.
- Le cervelet assure le contrôle temporel des séquences du mouvement.
- L'AMS et le cortex prémoteur envoient des projections vers le cortex moteur primaire qui est impliqué de façon prépondérante dans l'exécution du mouvement.

- La préparation motrice a un effet inhibiteur au niveau spinal (les réflexes spinaux diminuent en période préparatoire puis augmentent juste avant que le mouvement ne débute).
- L'imagerie motrice implique un ensemble de régions largement distribuées dans le cerveau, identiques à celles engagées pendant l'exécution du mouvement.

Le rôle propre de chaque région cérébrale impliquée dans la préparation et l'exécution du mouvement, et dans l'imagerie motrice est sujet à débat. Les données de la littérature sont résumées dans le tableau I (pour les données nonréférencées dans le tableau, voir [60, 72, 102].

Tableau I : implication des différentes aires corticales dans les étapes du mouvement

Auteurs (date de publication)	PREPARATION DU MOUVEMENT	EXECUTION DU MOUVEMENT (EM)	IMAGERIE MOTRICE (IM)
Sirigu (2004) EEG [116]	- Conscience du mouvement, contrôle de l'intention du mouvement, contrôle de l'adéquation entre le but de l'action et l'action elle-même : sous la dépendance du **lobule pariétal inférieur**. - Rôle du **cervelet** dans l'analyse des conséquences sensitives du mouvement.		
Gemignani (2004) IRMf [46]		MI bilatéral (MI controlatéral > MI ipsilatéral), cortex PM et SMA bilatéral. Quand le mouvement a été simulé avant d'être exécuté, il y a une augmentation globale de l'activation, en particulier pour MI.	
Hanakawa (2003) IRMf [53]		MI, SI, partie caudale cortex PM, operculum pariétal, lobule pariétal supérieur, cervelet antérieur.	Sulcus précentral au niveau du gyrus frontal médian, cortex pariétal supérieur postérieur.
	Plusieurs aires frontopariétales sont activées de façon identique, de même que le cervelet postérieur en IM et EM. EM et IM partagent les mêmes activations, certaines régions étant plus activées pendant EM et d'autres pendant IM.		
Ehrsson (2003) IRMf [40]			Le mouvement imaginé de la main active des zones spécifiques selon une somatotopie connue : MI controlatéral (BA4a), PM dorsal controlatéral (BA6), cortex cingulaire postérieur, partie ventrale SMA.
Dechent (2003) IRMf [36]		MI, SMA controlatéraux, PM bilatéral et SI.	SMA, PM bilatéraux, cortex intrapariétal antérieur bilatéral. MI est activé faiblement et de façon transitoire. Sa désactivation pourrait correspondre à un contrôle inhibiteur sur le programme moteur.
Nair (2002) IRMf Etude portant sur la préparation à l'IM et non à l'EM. [90]		MI, SI bilatéraux, SMA, lobule pariétal supérieur, cervelet	MI (moins activé que dans EM), SMA, lobule pariétal supérieur.
	Le cortex pariétal supérieur est surtout impliqué dans les activités bimanuelles complexes nécessitant la mise en jeu de la mémoire et de l'attention. La boucle corticocérébelleuse intervient dans les mouvements exécutés ou dans l'intention de les réaliser.		
Johnson (2002) IRMf [62]	Hémisphère cérébral G : BA7, BA2 (SI), BA4 (MI), BA10 (gyrus frontal médian), BA6 (PM dorsal), SMA, cortex moteur cingulaire (CMA). Hémisphère cérébral D : BA4, BA10, CMA. Cervelet D, ganglions de la base, thalamus		BA6 bilatéral, sulcus intrapariétal controlatéral, lobule pariétal supérieur D.
Toni (2001) IRMf [122]	Cortex pariétal postérieur, PM, sulcus temporal supérieur postérieur.		

Auteurs (date de publication)	PREPARATION DU MOUVEMENT	EXECUTION DU MOUVEMENT (EM)	IMAGERIE MOTRICE (IM)
Gérardin (2000) IRMf [48, 49]		Régions situées autour du sulcus central : S1, M1, aires prémotrices latérale (BA6) et médiale (SMA), ganglions de la base (partie postérieure putamen), thalamus, hémisphères cérébelleux D et G.	Partie rostrale des aires préfrontale et prémotrice, partie caudale cortex pariétal G, tête du noyau caudé.
Porro (1996, 2000) IRMf [100, 101]		MI bilatéral (MI controlatéral > MI ipsilatéral), SMA, PM bilatéral.	MI bilatéral (activation moins forte que dans EM), SMA, PM bilatéral.
Allison (2000) IRMf [2]			SI et MI controlatéraux, régions sous-corticales controlatérales, cervelet ipsilatéral (et inhibition des zones correspondantes dans l'hémisphère opposé, par inhibition transcallosale).
Lotze (1999) IRMf [77]		MI, SI, SMA, PM, partie antérieure du cervelet ipsilatéral.	MI, SMA, PM, partie postérieure cervelet ipsilatéral (rôle dans l'inhibition du mouvement).
Roth (1996) IRMf [112]		MI controlatéral, PM, partie rostrale SMA postérieure bilatérale.	Mêmes activations que dans EM.
Lang (1995) EEG, MEG [69]			Implication de MI.

II - MATERIELS ET METHODES

1 - Objectifs de l'étude

- En se basant sur la théorie de l'apprentissage de l'inactivité et sur les connaissances acquises en pathologie neurologique centrale, appliquer les méthodes de thérapeutique contrainte au syndrome d'exclusion segmentaire.

- Employer les nouvelles techniques d'imagerie cérébrale (IRMf) pour tenter de mettre en évidence le phénomène de plasticité cérébrale, hypothèse physiopathologique de l'exclusion segmentaire du membre supérieur.

2 - Description de l'étude clinique

2.1. Critères d'inclusion

L'étude porte sur des patients pris en charge à l'Institut Régional de Médecine Physique et de Réadaptation (Service de Médecine Physique et de Réadaptation de l'Hôpital Jeanne d'Arc de Dommartin-les-Toul et Centre de Gondreville), présentant une exclusion segmentaire du membre supérieur faisant suite à une pathologie de la main traumatique ou non.

Cette exclusion doit être non ou peu douloureuse (EVA inférieure à 5/10 avant la mise en route du protocole de rééducation, en raison de l'inhibition potentielle du mouvement par la douleur, voir partie V discussion). L'examen neurologique, en dehors de troubles sensitifs, doit être strictement normal. Le côté lésé, la dominance manuelle, l'étiologie de l'incident initial et le délai écoulé par rapport à celui-ci ne sont pas des critères de sélection.

En revanche, les patients participant à l'étude doivent se montrer particulièrement motivés et disponibles pour une durée minimale de 3 semaines.

La population étudiée comporte 10 patients (4 femmes et 6 hommes) âgés de 18 à 61 ans (âge moyen : 38,9 ans).

L'étude en IRMf porte sur 2 patients volontaires ne présentant aucune contre-indication à celle-ci (contre-indications absolues : corps étranger métallique intra-oculaire ou au contact des vaisseaux, pace-maker, stimulateur neurosensoriel, pompe à injection mécanique ou électronique, clip vasculaire ferromagnétique, valve cardiaque mécanique ; contre-indications relatives : corps étranger métallique proche

des régions à explorer, absence de coopération des sujets, claustrophobie, premier trimestre de grossesse). Ces deux patients sont droitiers et présentent une exclusion de l'index gauche.

2.2. Protocole d'observation

2.2.1. L'interrogatoire précise

- l'âge,
- la dominance manuelle,
- la profession,
- les antécédents médico-chirurgicaux,
- les traitements en cours,
- la lésion initiale et le traitement mis en place,
- le territoire touché par l'exclusion,
- la date où le diagnostic d'exclusion a pour la première fois été évoqué,
- l'existence de douleurs et /ou de troubles sensitifs subjectifs,
- le régime de prise en charge : maladie ou accident de travail.

2.2.2. L'examen clinique précise et étudie

<u>- les amplitudes articulaires :</u>

On mesure les amplitudes selon les critères de *l'Assessment Commitee of the American Society for Surgery of the Hand* :

TAM : Total Active Motion. Correspond pour un doigt à la somme des angles formés par les articulations métacarpo-phalangienne (MP), inter-phalangienne proximale (IPP) et inter-phalangienne distale (IPD) en flexion active maximale moins la somme des déficits d'extension dans ces mêmes articulations. Mesure exprimée en degrés.

TPM : Total Passive Motion. Correspond pour un doigt à la somme des angles formés par les articulations MP, IPP, IPD en flexion passive maximale moins la somme des déficits d'extension dans ces mêmes articulations. Mesure exprimée en degrés.

Cette cotation articulaire est celle en vigueur actuellement à l'IRR.

Au niveau des doigts longs, lorsqu'il existe un déficit d'enroulement, celui-ci est précisé et mesuré. Il s'agit de l'EPPMP (écart pulpo-palmaire au niveau du pli de flexion des articulations MP exprimé en cm). On évalue bien sûr les déficits actif et passif.

Au niveau du pouce sont mesurés le TAM, TPM ainsi que l'opposition selon la méthode de Kapandji : cotation en 10 points de la capacité du pouce à s'opposer aux autres doigts. La pulpe du pouce peut s'opposer à :

0 - la face latérale de la 1ère phalange du 2ème doigt,

1 - la face latérale de la 2ème phalange du 2ème doigt,

2 - la face latérale de la 3ème phalange du 2ème doigt,

3 - la pulpe du 2ème doigt,

4 - la pulpe du 3ème doigt,

5 - la pulpe du 4ème doigt,

6 - la pulpe du 5ème doigt,

7 - l'articulation IPD du 5ème doigt,

8 - l'articulation IPP du 5ème doigt,

9 - la base du 5ème doigt,

10 - le pli de flexion de l'articulation MP du 5ème doigt.

- l'examen trophique et musculaire :

Précise l'existence d'un oedème, la disparition des plis de flexion d'un doigt, un amincissement de la pulpe, des troubles de la sudation (hypersudation le plus souvent), une cyanose, une augmentation ou une diminution de la chaleur locale, une dystrophie unguéale ...

Un testing musculaire est effectué sur les muscles fléchisseur commun superficiel (FCS) et fléchisseur commun profond (FCP) pour les doigts longs et les muscles long fléchisseur et court fléchisseur pour le pouce (cotation selon Levame, de 0 – aucune contraction visible ou palpable du corps musculaire – à 4, contraction normale). Le but du testing musculaire est de s'assurer de l'absence de trouble moteur en rapport avec une pathologie neurologique centrale ou périphérique, ou un problème ostéotendineux ou musculaire. La cotation en elle-même n'a que peu d'importance.

- la mesure de la force musculaire [38]:

On évalue la force de préhension grâce au dynamomètre de Jamar (prise digito-thénarienne), qui réalise une mesure mécanique par l'intermédiaire d'un système hydraulique intégré. Le résultat, en millimètres de mercure, est converti en kilo-force (kgf). La mesure de la force dans les préhensions plus fines (pince latérale pouce-index) est effectuée par un « pinchmètre » ou pince-gauge qui emploie une lame de ressort. La lecture des résultats se fait en kilo-force également. Cette mesure est recommandée par l'Association of American Surgeons.

- le bilan de la sensibilité (voir annexes) :

Il est réalisé grâce au test des monofilaments de Semmes-Weinstein [5] Il détermine un seuil de pression. L'appui calibré est apporté par 20 monofilaments de différents diamètres posés pendant 1 à 2 secondes perpendiculairement à la peau avec une force suffisante pour que le fil plie. Normalement, le seuil de perception de la pulpe digitale est de 0,1g chez l'enfant et 0,3g chez l'adulte. Ce seuil augmente avec l'âge et souvent chez les travailleurs manuels. Les résultats sont exprimés selon une échelle colorimétrique. Ce test est simple, standardisé, quantifié, reproductible et validé.

La sensibilité profonde est explorée par le sens de position des doigts et par l'application d'un diapason sur le revêtement cutané en dehors des reliefs osseux (sens vibratoire).

- le bilan de la douleur :

L'intensité de la douleur est quantifiée par l'Echelle Visuelle Analogique (EVA) : le patient indique un point correspondant à l'intensité de la douleur sur une échelle linéaire de 10cm allant de l'absence de douleur (0/10) à la douleur maximale imaginée (10/10).

Le type de douleur (brûlure, picotement, tiraillement ....) est déterminé grâce au Questionnaire de Saint Antoine et un schéma du corps permet de localiser précisément les phénomènes douloureux.

En fonction des ces éléments, ainsi que de l'étiologie de l'incident initial et du délai écoulé par rapport à celui-ci, on parvient à déterminer s'il s'agit d'une douleur inflammatoire, mécanique, musculaire, neurogène ou encore d'un syndrome douloureux régional complexe.

- Enfin, au besoin, le retentissement émotionnel de la pathologie est mesuré par l'intermédiaire du questionnaire HADS (Hospital Anxiety and Depression Scale) (voir annexes). Il détermine un score d'anxiété et un score de dépression (note sur 21).

- le reste de l'examen clinique :

Il permet de s'assurer de l'absence de trouble neurologique autre que des troubles de la sensibilité. On s'attache en particulier à vérifier l'absence de trouble praxique ou gnosique (en dehors de l'anosognosie habituelle dans le syndrome d'exclusion segmentaire).

2.2.3. Le bilan Fonctionnel

a - Les tests de dextérité [38] :

- le test de Minnesota :

Il a pour but de tester la dextérité à la fois uni et bimanuelle grâce à des manipulations de pions de 2,5cm de diamètre à placer dans les trous d'un tableau.
Il comporte 5 sous-tests chronométrés qui incluent :
- épreuve 1 : test de placement unilatéral
- épreuve 2 : test de retournement unilatéral
- épreuve 3 : test de déplacement unilatéral
- épreuve 4 : test de retournement et de placement unilatéral
- épreuve 5 : test de retournement et de placement bilatéral.

Ce test requiert une bonne organisation motrice, une grande dextérité et une bonne mémoire.
Il permet essentiellement de tester l'endurance et la coordination grossière et d'observer l'attitude du patient. Une exclusion d'un des 3 premiers doigts de la main peut être mise en évidence en particulier.
Dans notre étude nous avons choisi de ne pas l'employer comme test mais comme un des exercices au cours des séances d'ergothérapie.

- le test de Purdue :

Il s'agit d'un test standardisé avec des normes pour adulte homme, pour adulte

femme, pour étudiant, pour vétéran et pour "personnel travaillant en usine". Il comporte 4 sous-tests pendant lesquels sont évaluées les préhensions uni puis bilatérales (test 1 : monomanuel, main dominante ; test 2 : monomanuel, main d'appoint ; test 3 : bimanuel en simultané et symétrique ; test 4 : bimanuel et asymétrique).
Il teste essentiellement la dextérité des extrémités et la coordination fine au niveau des pinces. Il requiert une bonne coordination oeil-main.

- Le Box and Blocks Test:

C'est un test qui mesure la dextérité manuelle grossière, qui est de passation rapide, qui est simple à réaliser et à apprendre.
Il utilise une boîte en bois divisée en 2 compartiments et consiste à placer le maximum de cubes de 2,5cm de côté situés dans le compartiment homolatéral à la main testée vers le compartiment opposé en 1 minute. Un seul cube doit être transporté à la fois.

b - Le bilan 400 points (voir annexes).

Il réalise une évaluation chiffrée de l'utilisation de la main lésée grâce à l'observation de 57 activités courantes. Ce bilan a fait l'objet d'une validation, il est fiable et reproductible (fidélité test/re-test et fidélité interjuges). Il se compose de 4 épreuves notées chacune sur 100 points. Le bilan 400 points a le double avantage de donner un score global de la performance tout en pointant de façon spécifique le secteur déficitaire.

- Epreuve 1 : mobilité de la main.

Elle teste simultanément les 2 mains du patient au moyen de 12 mouvements globaux dont on note la qualité d'exécution.

- Epreuve 2 : force de préhension.

Elle est réalisée au moyen de 5 instruments de mesure (vigorimètre, dynamomètre de Collins, dynamomètre de Jamar, pinch gauge et pince étau), successivement du côté sain puis du côté lésé. Une pondération des résultats de 10% est effectuée selon la dominance. En cas d'atteinte bilatérale, les résultats obtenus pour chaque côté sont

comparés aux moyennes établies avec le groupe témoin de sujets sains (30 hommes et 30 femmes).

- Epreuve 3 : prise monomanuelle et déplacement d'objets.

Elle vise à tester la capacité du patient à prendre 20 objets différents posés sur un plan de référence dans un ordre précis et à les transporter sur un plan plus haut. L'épreuve est chronométrée et réalisée avec la main saine puis la main lésée. Les gestes sont réalisés de façon spontanée compte tenu des contingences de temps. L'examinateur note les défauts de préhension, l'existence d'une exclusion, d'une compensation.

- Epreuve 4 : fonction bimanuelle.

Cette épreuve teste au moyen de 20 tâches de la vie quotidienne la fonction bimanuelle du patient en vérifiant le respect de la dominance. Elle est réalisée sans chronométrage ou consigne particulière.

c - Questionnaire DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Outcome questionnaire). voir annexes

Il évalue par le moyen de questions simples le retentissement, tel qu'il est perçu par le patient, d'une pathologie du membre supérieur sur les activités de la vie quotidienne, la pratique d'un sport et sur la possibilité de mener ses activités professionnelles habituelles. Il s'exprime en pourcentage de pénalité.
Il a l'avantage de pouvoir être rempli par le patient sans l'aide d'un thérapeute et aborde à la fois le retentissement fonctionnel et sur la santé en général.

2.3. Protocole de Rééducation

Ce protocole se déroule au Service de Rééducation fonctionnelle de la Main à l'Hôpital Jeanne d'Arc de Dommartin-les-Toul, sur une période de 3 à 4 semaines, 5 jours par semaine et 6h par jour au total.
Les activités se déroulent en kinésithérapie et en ergothérapie. Chaque activité est de courte durée et répétée plusieurs fois dans la journée. Il est demandé au patient d'être concentré à chaque moment ce qui requiert une motivation importante de sa part.

2.3.1. Kinésithérapie

- Mobilisation passive :

Elle est pratiquée par le thérapeute qui recherche les amplitudes maximales pour chaque articulation, tout en restant sous le seuil de la douleur.

- Mobilisation active :

Le patient cherche à obtenir une flexion/extension/opposition maximale du segment de membre supérieur concerné, sous contrôle du regard et sous stimulation verbale du thérapeute.

- Mobilisation passive sur arthromoteur (Kinetec®) (photo 11):

Il s'agit d'un appareil motorisé de mobilisation passive du poignet et des doigts permettant une flexion et une extension dans les 3 articulations des doigts longs (MP, IPP, IPD), une opposition du pouce et tous les mouvements possibles au niveau du poignet (flexion/extension, pronosupination, inclinaisons radiale et cubitale).

Ce qui nous intéresse en particulier, c'est la possibilité d'individualiser chaque doigt afin de ne rééduquer que le segment de membre concerné par l'exclusion. D'autre part, les amplitudes articulaires sont réglées par le thérapeute et peuvent être augmentées au fur et à mesure que le patient progresse. Enfin, une fois que celles-ci sont définies, le patient peut facilement s'installer seul sur l'appareil.

4 séances de 15 minutes chacune sont pratiquées quotidiennement. Il est demandé au patient de se concentrer sur la tâche à effectuer (il ne doit pas lire de magazine ou bavarder pendant le temps de l'exercice, en théorie).

La douleur est un critère d'arrêt de la séance et peut nécessiter de revoir les amplitudes articulaires définies au départ.

- Physiothérapie à visée antalgique [108]:

Le nombre de séances et les techniques employées sont adaptés aux besoins de chaque patient en fonction du type et de l'intensité de la douleur. Parmi les moyens mis en œuvre, on peut retenir :

- Vibralgic® (photo 10) : il s'agit d'un appareil appliqué directement sur la

peau en forme de poire inversée, qui apporte un effet antalgique en fonction de la fréquence des vibrations, généralement inférieure à 1000 Hz. Ces vibrations mécaniques recrutent les récepteurs de la sensibilité vibratoire principalement à 40 et 250 Hz.

- Massages : ils permettent à la fois de soulager la douleur et de décoller d'éventuelles adhérences cutanées et sous-cutanées en regard d'une cicatrice opératoire. Ils alternent pressions glissées, pressions locales et pétrissages. Ils permettent de lutter contre d'éventuels troubles trophiques comme l'œdème.

- TENS (transdermal electroneural stimulation) : un générateur de courant périodique basse fréquence (1 à 1000 Hz) fonctionnant sous basse tension provoque un effet sédatif lorsque la cathode est appliquée sur le trajet d'un nerf sensitif. En mode conventionnel, l'appareil délivre un courant de 50 à 100 Hz avec des impulsions brèves à une faible intensité de 10 à 40 mA. Le patient doit percevoir une sensation de paresthésies supportables recouvrant le territoire douloureux. L'effet antalgique est lié au « gate control » (blocage au niveau présynaptique de l'entrée des influx douloureux dans la moelle ; inhibition postsynaptique par la mise en jeu de la substance réticulée inhibitrice à médiation sérotononergique à partir des zones appropriées du mésencéphale – à médiation opioïde). La durée de la stimulation et le nombre de séances quotidiennes sont fixés par le patient. Ce mode s'adresse aux douleurs musculosquelettiques et neurologiques, plutôt en phase aigue. Pour les douleurs installées depuis plus longtemps, il peut s'avérer plus utile de régler l'appareil en mode « burst » (trains d'impulsion) ce qui permet de délivrer un courant de très basse fréquence (1 à 5 Hz) et d'intensité élevée (50 à 100 mA) visant à une stimulation endorphinique (peptides opioïdes contrôlant dans la moelle la libération de substance P, médiateur de la transmission des messages douloureux, et intervenant aussi au niveau de la substance grise péri-aqueducale et du noyau du raphé magnus, zones sensibles dans le contrôle de la douleur au niveau du tronc cérébral).

2.3.2. Ergothérapie

Le but des séances d'ergothérapie est de solliciter au maximum l'intégration du segment exclu par l'intermédiaire d'exercices variés induisant des afférences sensorielles multimodales. Le programme se révèle assez dense et nécessite une bonne coopération et motivation de la part du patient.

- Motor Upper Limb Exerciser (distribué par Biometrics®) (photos 1&2) : il s'agit d'un outil informatique d'évaluation et d'entraînement du membre supérieur couramment employé pour la rééducation en ergothérapie. Le patient réalise différents exercices ludiques (de type jeux video) dont on peut régler le niveau de difficulté. Au lieu du joy-stick habituel, le sujet manipule une poignée soit oblongue, soit de type Jamar dont la résistance est fixée par le thérapeute, en générale nulle la première semaine, puis croissante les semaines suivantes en fonction des capacités du patient (résistance cotée de 1 à 10 pour la poignée oblongue et exprimée en pourcentage de la force maximum pour la poignée de type Jamar). Le patient est concentré sur la tâche demandée, et lorsque l'exclusion se manifeste, un capteur électronique placé sur la poignée lui indique par un « bip » sonore que le doigt en question a perdu le contact avec la poignée. Ce capteur est une adjonction à l'appareil MULE, mise en place par l'équipe des ergothérapeutes de l'Hôpital Jeanne d'Arc. L'activité est proposée à raison de 2 séances quotidiennes de 10 minutes.

- Macramé (photo 4) : le patient pratique 2 séances de 15 minutes par jour. L'activité se fait sur un panneau où il faut faire et défaire des nœuds plats. Cette activité nécessite une bonne coordination œil-main, une concentration importante, du moins au départ, et si exclusion il y a, celle-ci est facilement repérée par le patient ou par le thérapeute qui exhorte alors le patient à corriger ce défaut.

- Minnesota – épreuve 4 (photo 6) : comme nous l'avons évoqué précédemment, nous avons employé ce test de dextérité à titre d'exercice durant lequel le sujet doit retourner et placer des pions de 2,5cm de diamètre dans des trous prévus à cet effet dans le but de travailler la dextérité, l'endurance du geste et l'organisation motrice.

- Boîte à boulons devant miroir inversé (10 minutes 2 fois par jour) : cette unité de travail est composée de panneaux en aluminium formant un boîte dont les parois sont percées de trous dans lesquels le patient vient visser et dévisser des boulons (photo 3). Ceci permet de travailler à la fois la force et la dextérité du patient. L'exercice est

rendu plus compliqué par l'adjonction d'un miroir inversé placé en face de la boîte : le patient a pour consigne de ne pas regarder ses mains directement mais de les visualiser dans le miroir inversé. Ce type de miroir est composé de 2 panneaux réfléchissants assemblés à 45°, et contenus dans une boîte. En regardant dans le miroir, l'image est inversée (dans un miroir normal, on observe sa main droite à droite et sa main gauche à gauche. Dans un miroir inversé, la main droite se retrouve à gauche et inversement) (photos 7&8). On crée ainsi un leurre sensoriel, le sujet ne sachant plus se repérer dans l'espace et voyant avec étonnement son doigt exclu changer de côté éventuellement. Les principes de cette méthode sont expliqués plus en détail dans la discussion.

- Menuiserie : tour à bois (photo 5) et sculpture/ajustage. Le tour à bois est en réalité un tour parallèle à métaux utilisé pour le bois, le patient réalisant 20 minutes de tournage par jour sur une poignée circulaire sous la surveillance du moniteur d'atelier qui veille à la bonne intégration du segment exclu. Les séances de sculpture ou d'ajustage se pratiquent 10 minutes 2 fois par jour. L'intégration du doigt exclu est là encore sous la surveillance du thérapeute.

- Désensibilisation [4] : cette technique est employée habituellement en cas d'hyperesthésie au contact ou de paresthésies, mais dans cette étude nous avons décidé de la mettre en oeuvre systématiquement pour tous les patients. On a recours à des stimuli répétés, fins et appuyés appliqués sur la zone hyperesthésique et dont la rugosité augmente progressivement. En pratique, le patient plonge et déplace sa main douloureuse dans des bacs (photo 9) contenant des billes de polystyrène, des graines, des boulons... Les bacs sont numérotés, permettant de suivre la progression du sujet. La désensibilisation vient en complément de la physiothérapie à visée antalgique. Le patient peut lui-même improviser des bacs de désensibilisation à son domicile. Quatre séances de 10 minutes par jour sont préconisées. L'efficacité apparaît en 2 à 3 semaines environ. La désensibilisation est basée sur la théorie du « gate control », réalisant un bombardement riche mais léger et infradouloureux des fibres de gros diamètre Aβ, vecteurs des stimuli tactiles, permettant de bloquer les influx nociceptifs véhiculés par les fibres Aδ et C.

Photo 1 : MULE poignée savonnette

Photo 2 : exclusion de l'index gauche

Photo 3 : boîte à boulons

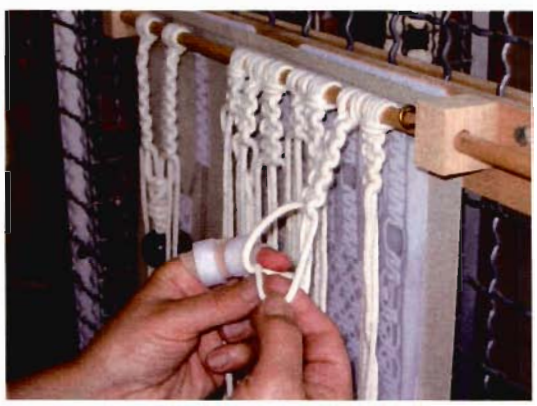


Photo 4 : macramé

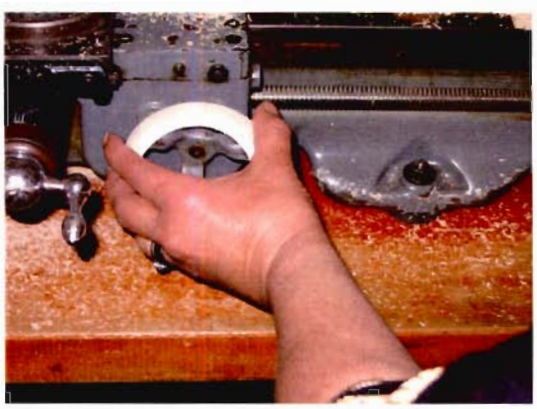


Photo 5 : tour à bois

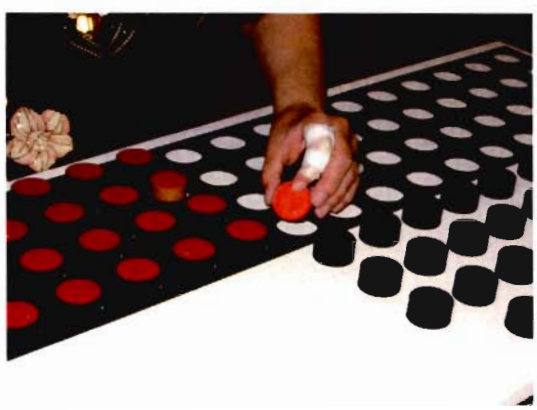


Photo 6 : Minnesota – épreuve 4

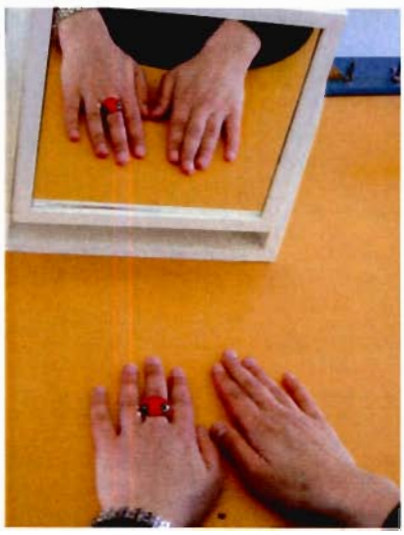


Photo 7 : miroir normal

Photo 8 : miroir inversé

Photo 9 : bac de désensibilisation

Photo 10 : vibralgic®

Photo 11 : arthromoteur

3 – Description de l'étude IRMf

Deux patients ont participé à l'étude IRMf (en réalité, 3 patients au départ, mais les images obtenues pour la première patiente se sont révélées ininterprétables) : les cas cliniques n°2 et 3. Le sujet n°3 est revenu 1 an après le premier examen pour une étude comparative. Ces 2 patients droitiers présentent une exclusion de l'index gauche.

3.1 – Paradigme moteur

Avant l'examen, les sujets reçoivent les instructions quant aux tâches à effectuer. Une courte session d'entraînement permet de s'assurer de la bonne compréhension des tâches demandées.

Les tâches motrices employées dans cette étude sont des mouvements de flexion/extension (F/E) des doigts longs, réalisés à un rythme imposé de 2 Hz, celui-ci étant indiqué par un métronome projeté sur un écran IRM compatible. Les stimuli sont synchronisés de manière autonome grâce à l'asservissement de la machine IRM avec le PC de stimulation. Le développement et la présentation des paradigmes sont réalisés grâce au logiciel Neuroactivator (GE Healthcare, Milwaukee, US).

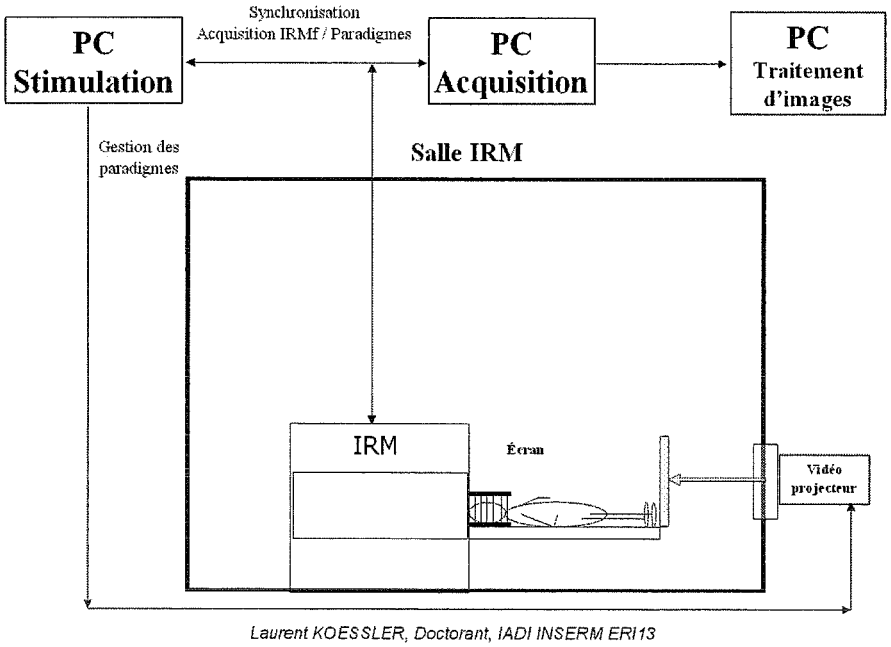


Figure 6 : schéma illustrant l'acquisition des images IRMf

Les tâches motrices demandées sont :

- F/E de l'index droit (côté sain) puis de l'index gauche (exclu),
- F/E alternées du majeur et de l'annulaire de la main droite (saine), puis de la main gauche,
- mouvement d'enroulement global (syndactylie) de l'index, du majeur et de l'annulaire à droite puis à gauche.

Chaque tâche est étudiée séparément avec une session d'enregistrement pour chacune d'entre elles, séparées par une brève période de quelques minutes. Toutes les sessions sont structurées à l'identique : 13 blocs (=130 volumes), soit 7 blocs de repos et 6 blocs d'action. Le dernier bloc d'action (le 7ème) est supprimé pour ne pas fausser l'analyse statistique. En effet, une partie de la réponse hémodynamique n'est pas enregistrée à la fin du dernier bloc d'action car celle-ci n'intervient que quelques secondes après le stimulus. On commence l'examen par un repos et on termine par un bloc de repos :
R_A_R_A_R_A_R_A_R_A_R_A_R (R=repos, A=action).

3.2. Caractéristiques des séquences IRM

L'examen est pratiqué sur une IRM GE Signa 1,5 Tesla, avec une antenne tête 8 canaux.

On réalise au départ une séquence anatomique T1 haute résolution dont les caractéristiques sont les suivantes : 3D T1 SPGR (Echo de gradient) ; épaisseur de coupe =1,6 mm ; matrice 512×512 ; temps de relaxation (TR)=5ms ; temps d'écho (TE)=10,8ms ; FOV (field of view, ou champ de vue, c'est-à-dire la taille de l'image proprement dite)=25cm ; voxel=1×1×1,6. Durée = 4min07.

Puis en enregistre les données fonctionnelles en séquence EPI, avec une épaisseur de coupe de 4,8mm, dans une matrice 96×96, avec un TR=2,5 ms, un TE=30ms, FOV=25cm, voxel=2,6×2,6×4,8. La durée de la séquence fonctionnelle est de 6min00.

Les coupes anatomiques et fonctionnelles sont réalisées selon l'axe CA-CP (commissure blanche antérieure, commissure blanche postérieure).

3.3. Traitement des données

Le traitement statistique des données utilise le logiciel SPM2 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, Queen's College, London, UK ; http://fil.ion.ucl.ac.uk/spm) et MATLAB (Mathworks, inc., Natick, MA) : SPM2 est une application logicielle de traitement d'images qui fonctionne sous le programme Matlab. Plusieurs étapes de traitement des données brutes sont nécessaires avant l'obtenir des cartes d'activation.
Les séquences d'IRMf subissent tout d'abord l'étape de « slice timing » qui permet de fixer le moment d'acquisition de toutes les images d'un même bloc du paradigme.
Les images sont ensuite réalignées grâce à une opération de correction du mouvement (en translation et en rotation) de la tête du patient dans l'IRM (étape de « realign » dans SPM2). On considère qu'un mouvement de tête supérieur à la taille du voxel engendre trop d'erreurs pour que l'examen soit exploitable. Vient ensuite une étape de normalisation (« normalize » dans SPM2) qui permet de transformer le volume anatomique et fonctionnel du patient en un modèle standardisé appelé « template mni ». Cette étape permet de comparer les cartes statistiques en un point anatomique donné chez plusieurs patients.
Les données anatomiques et fonctionnelles sont alors superposées (ou recalées) avec le processus de « coregister » dans SPM2, ce qui permet d'augmenter la résolution spatiale de l'examen pour une interprétation clinique précise.
Le traitement et l'analyse statistique sont effectuées avec un seuil p=0,001.

III - CAS CLINIQUES

NB : l'ensemble des cas cliniques est résumé dans un tableau récapitulatif en fin de chapitre

Cas clinique n°1

Mme G. 37 ans, gauchère, préparatrice de commandes.

Antécédents :

- fracture du coude gauche,
- fracture de jambe gauche,
- entorse de cheville,
- abcès du front.

Traitement :

Dextropropoxyphène 2-2-2 cp/j.

Anamnèse :

- Accident du travail du 11/10/04 : plaie par cutter de l'index droit. Prise en charge immédiate à l'Hôpital Jeanne d'Arc : suture cutanée directe.
- Consultation au service de Chirurgie le 08/12/04 (J+2 mois) : la cicatrice sur le bord radial de D2 droit est hyperesthésique, avec des douleurs cotées à 8 sur l'EVA. Il y a un déficit d'enroulement passif et actif de l'index, et l'on constate une exclusion en extension permanente de ce doigt pour la réalisation des gestes quotidiens.

La patiente est adressée au service de Rééducation fonctionnelle pour débuter le protocole de mobilisation forcée.

Bilan d'entrée le 03/01/05 (J+2 mois ½) :

Bilan articulaire :

TAM : 255°

TPM : 295°

Bilan musculaire et trophique :

Muscles FCS et FCP cotés à 4 sur 5.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 3,16 kgf (7,33 kgf côté sain).

Jamar : 23,3 kgf (25 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Dysesthésies et hyperesthésie au contact sur le bord radial de l'index droit. Diminution du toucher léger au niveau de la pulpe de D2. Il n'y a pas de trouble de la

sensibilité profonde.

Bilan de la douleur :

Douleurs cotées à 5 sur l'EVA, à type de brûlures, de décharges électriques, situées sur le bord radial de D2 survenant à l'effleurement, aux vibrations et aux chocs.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 0,25/10 ; Box and Blocks 0/10. L'index est exclu, maintenu en extension, pendant la réalisation de tous les tests de dextérité.

Bilan 400 points : 53,8 % (73,3 % / 72 % / 33,3 % / 36,6 %). L'index est exclu lors de la réalisation des épreuves 3 et 4.

Bilan DASH : 41,7 % de pénalité dans les AVJ ; 100 % de pénalité pour la pratique d'un sport (musculation) ; 62,5 % de pénalité pour le travail.

Echelle HADS : score d'anxiété à 14/21 ; score de dépression à 4/21.

Evolution :

La patiente intègre le protocole de mobilisation forcée pour une durée de 3 semaines. En raison des troubles sensitifs et de la douleur constatés lors du bilan initial, Mme G bénéficie d'une désensibilisation en ergothérapie, d'une physiothérapie à visée antalgique par Vibralgic® en kinésithérapie et elle porte un doigtier de compression sur l'index droit. Le traitement antalgique est maintenu.

En fin de protocole, elle pratique en plus un réentraînement au port de charges en raison de son activité professionnelle.

Bilan le 19/01/05 (à 3 semaines du début du protocole) :

Bilan articulaire :

TAM : 28O°

TPM : 295°

Bilan musculaire et trophique:

Muscles FCS et FCP cotés à 5 sur 5.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 3,7 kgf (8,8 kgf côté sain).

Jamar : 19,3 kgf (29,3 kgf côté sain).

Bilan sensitif : normal.

Bilan de la douleur :

EVA à 3,5. Les caractéristiques et la topographie de la douleur sont identiques.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 1,5/10 ; Box and Blocks 2,5/10.

Bilan 400 points : 58 % (82% / 64% / 35% / 52%).

Echelle DASH : 34,2% de pénalité dans les AVJ ; 0% de pénalité pour le sport ; 100% de pénalité pour le travail.

L'index droit est encore spontanément exclu mais il est plus facilement intégré à la demande.

Etant donné que l'intégration de D2 n'est pas encore systématique, en accord avec la patiente, le séjour est poursuivi 2 semaines supplémentaires avec les mêmes activités de rééducation.

Bilan de fin de séjour le 04/02/05 (J+4mois) :

Bilan articulaire :

TAM : 290°

TPM : 290°

EPPMP (A) et (P) = 0.

Bilan musculaire et trophique:

Muscles FCS et FCP cotés à 4 sur 5.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 5 kgf (8 kgf côté sain).

Jamar : 18 kgf (22 kgf côté sain).

Bilan de la sensibilité : normal.

Bilan de la douleur : EVA cotée à 2.

Bilan fonctionnel :

Bilan 400 points : 83% (89% / 83% / 67% / 93%).

Bilan cuisine : aucune exclusion n'est constatée.

Bilan de port de charges : il n'y a pas d'exclusion franche mais l'index droit n'est pas sollicité au maximum dans les préhensions.

La reprise de travail est effective le 28/02/05, soit à presque 5 mois de l'accident initial et à 2 mois de l'entrée en Rééducation Fonctionnelle.

Enquête téléphonique à 18 mois de l'incident initial :

La patiente se plaint de la persistance d'une exclusion de l'index droit responsable d'une maladresse gestuelle. Elle est obligée de fournir un effort attentionnel constant pour l'intégrer. Elle souffre de douleurs au froid, mais la cicatrice qui était sensible au toucher est devenue indolore. En revanche, elle a l'impression d'avoir recouvré une force normale, et se dit satisfaite de la rééducation entreprise.
Enfin, sur le plan professionnel, Mme G. est malheureusement au chômage, son CDD n'ayant pas été renouvelé.

Conclusion :

Mme G., 37 ans, gauchère, a été victime d'un accident du travail le 11/10/04 avec plaie par cutter sur le bord radial de l'index droit, traitée par suture directe. A 2 mois de l'accident initial, elle consulte en chirurgie pour persistance de douleurs et déficit d'enroulement et de force au niveau de la main droite. Une exclusion de l'index, en extension permanente, est constatée. La patiente est alors adressée au service de Rééducation de la Main pour intégrer le programme de mobilisation forcée. A 3 semaines du début du protocole on constate une amélioration de l'intégration qui reste encore à automatiser. Le protocole est alors poursuivi 15 jours supplémentaires. Un mois après le début de la prise en charge, l'index droit est intégré normalement dans la réalisation des AVJ, même s'il n'est pas sollicité au maximum dans les ports de charges. Mme G. a pu reprendre son activité antérieure de préparatrice de commandes à 4 mois 1/2 de l'accident de travail initial et à 2 mois du début de la prise en charge en Rééducation Fonctionnelle. Malheureusement, l'évolution à long terme s'avère péjorative : l'exclusion persiste en situation de vie courante, responsable d'une maladresse gestuelle. D'autre part la patiente est en recherche d'emploi, car son CDD n'a pas été renouvelé (sans rapport avec l'exclusion).

Cas clinique n°2 :

Mr B. 38 ans, droitier, peintre façadier intérimaire.

Antécédents : 0

Traitement : 0

Anamnèse :

Accident de travail du 23/11/04 : le patient est victime d'un écrasement de l'index gauche par un rouleau de 10 kg, responsable d'une fracture ouverte trans-P3 sans dévascularisation, avec section complète du lit unguéal. La prise en charge immédiate au Service de Chirurgie de l'Hôpital Jeanne d'Arc consiste en un nettoyage du foyer de fracture, une ostéosynthèse par broche, une fermeture du lit unguéal avec repositionnement de l'ongle. La main est immobilisée par une attelle plâtrée postérieure en post-opératoire immédiat.

Les fils et la broche d'ostéosynthèse sont retirés le 15/12/04 (J+3 semaines) et le patient débute une auto-rééducation.

- Le patient est adressé au service de Rééducation Fonctionnelle le 24/01/05 (J+2 mois) en raison de la constatation lors d'une consultation chirurgicale de contrôle de l'apparition d'une exclusion segmentaire de l'index gauche qui est maintenu en extension, associée à des dysesthésies de la pulpe et des douleurs en barre au niveau de l'articulation interphalangienne proximale.

Bilan d'entrée le 24/01/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 225°

TPM : 245°

EPPMP (A) : 3cm ; EPPMP (P) : 1,5cm.

Bilan musculaire et trophique:

Muscles FCS et FCP sont cotés à 5 sur 5. On note une dystrophie unguéale.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 10 kgf (10 kgf côté sain).

Jamar : 35 kgf (36 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Normal. Le patient signale tout de même des dysesthésies de contact au niveau de la pulpe de D2.

La sensibilité profonde est normale également.

Bilan de la douleur :

Il existe une douleur en barre au niveau de l'IPP de D2, en flexion forcée, cotées à 5 sur l'EVA.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 3,75/10 ; Box and Blocks 5/10.

Bilan 400 points : 80,5% (100% / 104% / 53% / 65%). L'exclusion de l'index est fréquente mais non permanente.

Bilan DASH : 13,3% de pénalité pour les AVJ, 18,7% de pénalité pour la pratique d'un sport, 62,5% de pénalité pour le travail.

Echelle HADS : score d'anxiété à 10/21 et score de dépression à 10/21.

Evolution :

Le patient intègre le protocole de mobilisation forcée pour une durée de 3 semaines et pratique d'autre part une désensibilisation et de la physiothérapie à visée antalgique. Il n'est pas nécessaire d'adjoindre un traitement médicamenteux par ailleurs.

Le bilan de fin de traitement le 11/02/05 met en évidence :

Bilan articulaire :

TAM : 260°

TPM : 270°

EPPMP (P) et (A) : 0,5 cm.

Bilan musculaire et trophique :

Muscles FCS et FCP cotés à 5 sur 5. La dystrophie unguéale persiste.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 9 kgf (11 kgf côté sain).

Jamar : 30 kgf (32 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Normal.

Bilan de la douleur :

Persistance de douleurs en barre au niveau de l'articulation interphalangienne proximale en flexion forcée de P2, cotée à 4 sur l'EVA.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 6/10 ; Box and Blocks 6/10.

Bilan 400 points : 97% (100% / 88% / 100% / 100%).

Bilan DASH : 11,7 % de pénalité pour les AVJ, 12,5% de pénalité pour le sport, 100% de pénalité pour le travail.

Echelle HADS : score d'anxiété à 1/21 et score de dépression nul.

Bilan cuisine : on constate une bonne intégration de l'index dans les manipulations mais il y a encore une tendance à l'exclusion spontanée.

Le patient a pu reprendre son activité professionnelle antérieure le 28/02/05 (J+3 mois).

Mr B. n'a pas répondu à l'enquête téléphonique à distance de la prise en charge rééducative.

Conclusion :

Il s'agit d'un patient âgé de 38 ans sans antécédent particulier, droitier, peintre façadier intérimaire, qui a été victime d'un accident du travail le 23/11/04 par écrasement de l'index gauche responsable d'une fracture ouverte de P3 et section du lit unguéal. La prise en charge immédiate consiste en une ostéosynthèse par broche et suture du lit unguéal. L'immobilisation est levée au bout de 3 semaines et le patient débute une auto-rééducation. A 2 mois de l'accident initial, une exclusion segmentaire est constatée, ce qui pose l'indication d'une prise en charge en Rééducation Fonctionnelle pour mobilisation forcée. Au bout de 3 semaines, les bilans mettent en évidence une meilleure intégration de l'index et une légère diminution des douleurs. La reprise de travail au poste antérieur est possible le 28/02/05, soit à 3 mois de l'accident initial.

Cas clinique n°3 :

Mme P., 61 ans, droitière, retraitée.

Antécédents :

Rhizarthrose bilatérale,

Diphtérie,

Insuffisance mitrale secondaire à un rhumatisme articulaire aigu.

Traitement médicamenteux :

Tramadol 50mg 1-0-1 cp/j.

Anamnèse :

- Le 01/10/04, Mme P. est victime d'un accident domestique avec une plaie par couteau sur la face dorsale de l'articulation interphalangienne proximale (IPP) de l'index gauche. Le bilan lésionnel initial met en évidence une section de la bandelette latérale radiale et une plaie articulaire au niveau de l'IPP. Le traitement, réalisé à l'Hôpital Jeanne d'Arc, consiste en un lavage puis suture. Le doigt est ensuite immobilisé en rectitude par l'intermédiaire d'une tuile pour une durée de 3 semaines.

- Un syndrome algoneurodystrophique est évoqué à la levée de l'immobilisation en raison de la présence d'un oedème associé à des douleurs et une raideur articulaire. Cependant aucun examen paraclinique n'est réalisé permettant de confirmer cette hypothèse diagnostique.

- La patiente est adressée pour la première fois au Service de Rééducation Fonctionnelle le 24/01/05 pour prise en charge des problèmes évoqués ci-dessus. Elle bénéficie de la confection d'un doigtier en lycra pour lutter contre l'oedème et d'une orthèse type MP-stop pour récupérer des amplitudes articulaires fonctionnelles. Parallèlement, une rééducation conventionnelle est mise en route. Très rapidement, les thérapeutes constatent l'existence d'une exclusion segmentaire de l'index lésé. Il est donc décidé d'intégrer la patiente au protocole de mobilisation forcée.

Bilan d'entrée le 31/01/05 :

Bilan articulaire:

TAM : 180°

TPM : 215°

EPPMP (A) : 3,5cm ; EPPMP(P) : 3cm.

Bilan musculaire et trophique :

Muscles FCS et FCP cotés à 4 sur 5. L'index est oedématié.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 7 kgf (8 kgf côté sain).

Jamar : 10 kgf (14 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Il existe des paresthésies de la face dorsale de la main.

Le test aux monofilaments objective une diminution du toucher léger à la face dorsale de P2 et P3.

L'examen de la sensibilité profonde est normal.

Bilan de la douleur :

La patiente signale des douleurs cotées à 2 sur l'EVA à type de piqûre d'orties sur le bord radial de D2.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 5/10 ; Box and Blocks 3/10. L'index est exclu pendant la réalisation des épreuves.

Bilan 400 points : 59,5% (85% / 58% / 33% / 62%). L'index est fréquemment exclu.

DASH : 22% de pénalité pour les AVJ, 100% pour le sport.

HADS : l'exclusion n'a pas de retentissement émotionnel chez cette patiente.

Au cours de son séjour en Rééducation Fonctionnelle, le travail sur Biométrics déclenche des douleurs d'épaule homolatérale irradiant jusque dans le dos. Par ailleurs la patiente présente des douleurs des articulations trapézo-métacarpiennes droite et gauche évoquant une rhizarthrose bilatérale imposant la confection d'orthèses spécifiques.

Bilan de sortie le 18/02/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 230°

TPM : 240°

Bilan musculaire et trophique :

Muscle FCS coté à 4 et muscle FCP à 5 sur 5.

L'oedème a diminué.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 6 kgf (8 kgf côté sain).

Jamar : 20 kgf (26 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Inchangé.

Bilan de la douleur :

EVA à 0, sous tramadol, mais la patiente signale une sensation "bizarre" à l'effleurement du bord radial de l'index.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 3,25/10 ; Box and Blocks 5/10. Il n'y a pas d'exclusion au cours des bilans mais les résultats sont pénalisés par un temps de passation long.

Bilan 400 points : 80% (90% / 90% / 65% / 85%). On note une exclusion intermittente de l'index lors de l'épreuve 3.

Bilan DASH : 15% de pénalité pour la réalisation des AVJ, 100% pour le sport. Le score n'est pas calculé pour le retentissement professionnel car la patiente est retraitée.

Bilan cuisine : aucune exclusion n'est constatée.

Bilans de contrôle le 21/03/05 et le 21/07/05 :

Les performances analytiques sont discrètement améliorées (TAM : 240°). Le traitement antalgique a pu être stoppé sans recrudescence des douleurs. Sur le plan fonctionnel, les résultats des tests de dextérité et du bilan 400 points se maintiennent au même niveau que lors du bilan de fin de traitement. En situation écologique (cuisine), l'index est bien intégré mais a tendance à être en léger retrait par rapport aux autres doigts dans les préhensions fines. Enfin, subjectivement, la patiente a la sensation de mieux intégrer son doigt.

Enquête téléphonique à 18 mois de l'accident initial :

La patiente trouve l'intégration de son index correcte, mais avoue qu'elle s'est aperçue d'une exclusion intermittente lors de l'épluchage des légumes notamment, c'est-à-dire dans des gestes nécessitant de la rapidité. Elle ressent encore une raideur

au niveau de l'IPP. La force est jugée comme normale. Mme P. est satisfaite de la rééducation dont elle a bénéficié.

Conclusion :

Mme P., 61 ans, droitière, a présenté une section partielle de l'appareil extenseur de l'index associée à une plaie articulaire de l'IPP, traitées par suture, puis immobilisation index en rectitude pour une durée de 3 semaines. A la levée de l'immobilisation, l'aspect trophique du doigt ainsi que des douleurs ont fait évoquer un syndrome algoneurodystrophique (sans confirmation paraclinique), justifiant une prise en charge rééducative. Au cours de cette prise en charge, soit à presque 4 mois de l'accident initial, un syndrome d'exclusion segmentaire est évoqué et le traitement spécifique est débuté, pour une durée de 3 semaines, permettant une amélioration des performances analytiques et fonctionnelles. Cette amélioration est confirmée dans le temps puisque lors du suivi de la patiente à 2 mois puis à 6 mois de la fin du protocole de rééducation, les performances fonctionnelles sont toujours satisfaisantes. En situation écologique, à 18 mois de l'incident initial, il apparaît de façon non systématique une exclusion de l'index qu'elle parvient à corriger.

Cas clinique n°4 :

Monsieur A., 29 ans, droitier, machiniste.

Antécédents :

Tabagisme à 9 cigarettes/jour.

Traitement médicamenteux : 0

Anamnèse :

- Le 19/08/03, le patient est victime d'un accident du travail responsable d'une amputation trans-IPD de l'index droit, pris en charge initialement dans un hôpital périphérique. Quand la cicatrisation est acquise, le patient tente de reprendre son ancien poste de travail pendant 1 mois ½ mais des douleurs intenses au niveau du moignon l'obligent à arrêter de travailler. Un poste adapté de rémouleur est mis en place pendant 6 mois mais toujours sans succès. Le patient est alors adressé en consultation chirurgicale de l'Hôpital Jeanne d'Arc.
- Une reprise chirurgicale est effectuée le 22/07/04 pour ablation de 2 résidus unguéaux et résection sur quelques millimètres des 2 nerfs collatéraux (cure de névromes douloureux). Des soins locaux sont effectués jusqu'à la cicatrisation complète.
- Lors d'un consultation chirurgicale de contrôle en septembre 2004, le moignon est toujours très sensible à la palpation et des séances de kinésithérapie libérale sont prescrites pour désensibilisation. Malheureusement les douleurs et les troubles sensitifs ne s'amendent pas et le 03/11/04, le chirurgien constate une exclusion de l'index droit en extension, raison pour laquelle il l'adresse au Service de Rééducation Fonctionnelle.

Bilan d'entrée le 22/11/04 :

Bilan articulaire :

TAM : 170°

TPM : 195°.

Bilan musculaire et trophique :

Index légèrement oedématié.

Testing musculaire non réalisé.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 4,16 kgf (9 kgf côté sain).

Jamar : 20 kgf (44 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Hypoesthésie en bout de moignon et hyperesthésie au contact.

Bilan de la douleur :

Les douleurs sont cotées de 2 à 7/10 sur l'EVA selon le niveau d'exigence des tâches effectuées. Elles sont décrites comme des décharges électriques, des picotements ou des pincements et sont parfois insupportables. Elles surviennent essentiellement au froid et à l'effleurement du moignon, et peuvent être insomniantes.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 3,5/10 ; Box and Blocks 0/10. Le thérapeute note une utilisation précautionneuse de l'index pour le test Box and Blocks.

Bilan 400 points : 37% (43% / 41% / 33% / 33%). Il y a une exclusion permanente de l'index voire du majeur lors de ce bilan.

Questionnaire DASH : on note 43% de pénalité dans les AVJ, 37,5% de pénalité pour la pratique d'un sport, et 31% pour le travail.

Questionnaire HADS : le patient obtient un score de 7/21 pour l'échelle de dépression et 12/21 pour l'évaluation de l'angoisse.

Evolution :

Le patient intègre le protocole de mobilisation forcée associé à une désensibilisation et à la mise en place d'un doigtier en silicone pour atténuer les chocs. D'autre part un traitement antalgique est entrepris associant un anti-inflammatoire (kétoprophène) et du dextropropoxyphène associé (Diantalvic®), ainsi qu'un vasodilatateur (buflomédil).

Malgré une participation active au protocole de rééducation, les douleurs et l'exclusion de l'index restent au premier plan. Ce doigt se maintient spontanément en extension et l'IPP ne fléchit pas lors des préhensions (la main est typiquement observée en position intrinsèque + et les prises se font latéralement le long de P1 et P2 de l'index).

Il est décidé en accord avec le patient de suspendre temporairement la prise en charge à partir du 9/12/04 (soit 2 semaines 1/2 après le début du protocole). Un

traitement par clonazépam (Rivotril®) est instauré à doses progressivement croissantes.

Le patient évoque un désir de changement de poste de travail.

Reprise de la rééducation le 10/01/05 :

Les performances au retour dans le service sont globalement superposables à celles observées lors du précédent séjour, si ce n'est une modification des pourcentages de pénalité du questionnaire DASH : le patient rapporte 39,2% de pénalité pour les AVJ, 6,2% pour le sport et 100% pour le travail.

Le traitement neurotrope instauré en décembre semble avoir été partiellement efficace.

Les mêmes modalités de traitement sont mises en place.

Bilan de fin de traitement (28/01/05) :

Bilan articulaire :

TAM : 180°

TPM : 195°

Bilan musculaire et trophique :

Diminution de l'œdème. Extrémité froide au toucher.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 6,8 kgf (11,3 kgf côté sain).

Jamar : 22,7 kgf (39 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Persistance d'une hyperesthésie au contact de l'extrémité du moignon.

Bilan de la douleur :

EVA à 5,5/10 lors des manipulations, mais la zone douloureuse est plus circonscrite. Les caractéristiques de la douleur sont identiques. Grâce au clonazépam, le patient dort mieux la nuit et le port du doigtier en silicone semble efficace sur les douleurs et l'intégration.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 2,25/10 ; Box and Blocks 6,5/10. L'index est bien intégré pour le Purdue sauf que la pulpe n'est pas sollicitée au maximum, il est exclu lors du test Box and Blocks.

Bilan 400 points : 44% (60% / 50% / 33% / 33%). L'index reste exclu lors des

épreuves 3 et 4.

Questionnaire DASH : il existe toujours une pénalité de 100% pour le travail.

Questionnaire HADS : on note le même retentissement émotionnel qu'en début de séjour (anxiété 12/21, dépression 7/21).

En situation écologique : le doigt est un peu mieux intégré quand le patient porte son doigtier en silicone avec rembourrage distal, mais dans les prises, la pulpe est simplement posée sur les objets et non sollicitée en flexion maximum.

En ce qui concerne sa vie professionnelle, Mr A. n'envisage pas un retour au poste antérieur (rémouleur) et un poste adapté de noyauteur-trempeur est mis en place par le médecin du travail à compter de avril 2005 (soit 20 mois après l'accident initial et 5 mois après le début de la rééducation. Un dossier COTOREP est institué pour une reconnaissance de qualité de travailleur handicapé (RQTH B).

Enquête téléphonique à 32 mois de l'accident initial :

L'exclusion persiste, le patient n'utilise que les 4 autres doigts de la main pour travailler et pour tous les gestes de la vie quotidienne. Il existe toujours des douleurs importantes au contact, à type de décharges électriques, liées surtout à la repousse d'un résidu unguéal. Pour les soulager, il prend de façon intermittente du clonazepam. Il porte encore le doigtier de protection. Mr A. appréhende les machines du fait de l'amputation, rendant l'utilisation de sa main encore plus précautionneuse.

Conclusion :

Monsieur A., 29 ans, droitier, présente une exclusion douloureuse de l'index droit secondaire à un accident du travail du 19/08/03, responsable d'une amputation de P3 de D2, ayant nécessité une reprise chirurgicale le 22/07/04 (résection de résidus unguéaux et cure de névrome douloureux). Malgré une participation active au protocole de rééducation, qui s'est déroulé en 2 temps (2 fois 3 semaines), les performances fonctionnelles ne se sont que discrètement améliorées et le retentissement émotionnel reste marqué. Les douleurs alléguées sont partiellement amendées par le traitement antalgique. Il est nécessaire de mettre en place un poste adapté dans l'entreprise et d'instituer un dossier COTOREP. A distance de la rééducation, les troubles ne se sont pas améliorés.

Cas clinique n°5 :

Monsieur S., 18 ans, droitier, apprenti boulanger.

Antécédents :

Allergie à la pénicilline.

Traitement médicamenteux : 0

Anamnèse :

- Monsieur S. est victime d'un accident du travail le 28/10/04 : son index droit est pris dans une vis sans fin d'une machine à gâteaux. Le bilan lésionnel initial réalisé en urgence à l'hôpital Jeanne d'Arc met en évidence une fracture de la base de la 3ème phalange, une destruction du cartilage de l'IPD, une destruction des plans ligamentaires dorsal (destruction des bandelettes latérales) et palmaire (arrachement du tendon fléchisseur commun profond), enfin une plaie du pédicule collatéral ulnaire avec perte de substance vasculaire et nerveuse. Le pédicule collatéral radial est intact.
- La prise en charge chirurgicale consiste en une arthrodèse définitive de l'IPD à 40° de flexion.
- La cicatrisation est rapidement acquise mais lors du suivi de contrôle, le chirurgien évoque assez rapidement (à 3 semaines de l'accident initial) le diagnostic d'exclusion segmentaire. La prise en charge de cette exclusion en kinésithérapie libérale s'avère insuffisante et le patient est adressé au Service de Rééducation Fonctionnelle de l'Hôpital Jeanne d'Arc.

Bilan d'entrée le 27/01/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 145°

TPM : 155°

EPPMP (A): 3cm ; EPPMP (P) : 2,5cm.

Bilan musculaire et trophique :

On note une hypersudation au niveau de la main droite mais qui est ancienne d'après le patient.

Le FCS est coté à 4.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 7,8 kgf (8,5 kgf côté sain).

Jamar : 17,3 kgf (26,3 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Le test aux monofilaments révèle une diminution du toucher léger sur le bord ulnaire de P3, compatible avec les lésions observées initialement.

La sensibilité proprioceptive est normale.

Bilan de la douleur :

Spontanément il n'y en a pas, mais la mobilisation de l'IPP déclenche des douleurs cotées à 8 sur l'EVA. L'effleurement de la cicatrice palmaire provoque également des douleurs à type de piqûres d'aiguilles.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 1,5/10 ; Box and Blocks 3/10.

Bilan 400 points : 66% (88,8% / 71,9% / 60% / 43,3%). Pendant l'épreuve 4, l'index est exclu lors de l'approche de l'objet, puis il est intégré lors de la prise.

Questionnaire DASH : le patient obtient un pourcentage de pénalité de 10,8% pour la réalisation des AVJ, 0% pour le sport et 100% pour le travail.

Questionnaire HADS : pas de retentissement émotionnel de l'exclusion chez ce patient.

Evolution :

Un traitement par dextropropoxyphène associé est introduit permettant une sédation partielle de la douleur.

Bilan après 3 semaines de traitement (le 09/02/05) :

Bilan articulaire :

TAM : 170°

TPM : 175°

EPPMP (A) : 2,5cm ; EPPMP (P) : 0,5cm.

Bilan musculaire et trophique :

Identique à celui du bilan d'entrée.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 6,3 kgf (9 kgf côté sain).

Jamar : 28,3 kgf (29,3 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Idem.

Bilan de la douleur :

L'EVA est nulle spontanément, et à 3/10 lors de la flexion maximum de l'IPP, sous dextropropoxyphène associé. Le patient appréhende l'appui au niveau de la pulpe. L'appui latéral sur l'IPD est légèrement douloureux.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : les scores sont inchangés.

Bilan 400 points : 72,5% (88,8% / 74,1% / 66,6% / 60%). L'index n'est pas encore spontanément intégré mais le patient s'applique beaucoup en particulier lors de l'épreuve 4.

Bilan cuisine : il y a une exclusion permanente de l'index au cours de ce bilan.

Evolution :

Compte tenu des résultats mitigés de ce séjour en Rééducation, il est décidé en accord avec le patient d'interrompre le protocole et de poursuivre temporairement des séances de kinésithérapie libérale avant d'envisager un nouveau séjour dans le Service à compter du 7/03/05.

Lors du nouveau séjour, d'une durée de 3 semaines, les mêmes méthodes sont appliquées que précédemment. Le bilan d'entrée du 7/03 retrouve les mêmes performances analytiques et fonctionnelles que celui du 09/02/05.

Bilan de fin de traitement le 25/03/05 :

Bilan articulaire :

TAM: 175°

TPM: 185°

EPPMP (A): 2,5cm ; EPPMP (P): 0,5cm.

Bilan musculaire et trophique :

Sans particularité.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 8,5 kgf (9,3 kgf côté sain).

Jamar : 22 kgf (31,3 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Non modifié.

Bilan de la douleur :

L'EVA est nulle au repos, au toucher et en activité. Le traitement antalgique est arrêté.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 4,5/10 ; Box and Blocks 4/10.

Bilan 400 points : 86,7% (88,8% / 85% / 90% / 83,3%).

Questionnaire DASH : aucune pénalité sur le plan des AVJ, des loisirs ou du travail.

Bilan cuisine : bien que le patient montre peu de motivation pour ce bilan, le thérapeute note une bonne utilisation de l'index, sans exclusion.

L'accident de travail est consolidé le 28/03/05 (soit 5 mois après l'accident initial et 2 mois après l'entrée en Rééducation) et la reprise de travail a lieu le 29/03/05 (apprentissage en boulangerie).

Enquête téléphonique à 18 mois de l'accident initial :

Aucune exclusion n'est à noter. Mr S. a l'impression d'avoir retrouvé des performances normales en termes de force et de dextérité. La sensibilité s'est également normalisée. Il dit être satisfait après coup de la rééducation, même s'il avait du mal à y adhérer. En revanche, il a changé d'orientation professionnelle, non pas à cause du traumatisme, mais plutôt par goût (et pour échapper aux horaires par trop contraignants du métier de boulanger) : il s'est dirigé vers les métiers de la vente.

Conclusion :

Monsieur S., 18 ans, droitier, apprenti boulanger, a présenté un traumatisme grave de l'index droit au cours d'un accident de travail du 28/10/04 nécessitant une arthrodèse définitive de l'IPD. Lors du suivi de contrôle, le diagnostic d'exclusion segmentaire est porté et le patient est adressé au Service de Rééducation Fonctionnelle pour prise en charge spécifique. Un premier séjour d'une durée de 3 semaines permet une amélioration discrète des douleurs et des performances analytiques et fonctionnelles. Malheureusement, force est de constater qu'en situation écologique, l'index reste exclu, ce qui gêne toute reprise professionnelle en raison du risque de sur-accident.

Un 2ème séjour a lieu au bout d'un mois pendant lequel Monsieur S. a effectué des séances de kinésithérapie libérale. Cette fois-ci, la rééducation s'avère bénéfique et la reprise professionnelle est envisagée dès la sortie, le 29/03/05. Les progrès se confirment à long terme.

Cas clinique n°6 :

Madame C., 42 ans, droitière, ouvrière dans une usine de fabrication de chaussures.

Antécédents :

- migraines
- suspicion de sclérose en plaques devant des troubles sensitifs de l'hémiface gauche et du membre supérieur gauche, non confirmée par un bilan extensif en 2003 (IRM cérébrale, bilans sanguins et analyse du LCR sans particularité).

Traitement médicamenteux :

Vidora® (antimigraineux).

Anamnèse :

- Le 23/11/04, la patiente présente sur son lieu de travail une plaie par corps étranger au niveau de la face dorsale de la 2ème phalange du pouce gauche. Le lendemain, elle constate l'apparition de signes inflammatoires à ce niveau (douleur lancinante, pulsatile, œdème, chaleur), motivant la mise en route d'un traitement antibiotique per os dans un premier temps puis par voie intraveineuse pour une durée d'une semaine. D'autre part, le pouce est immobilisé en rectitude par une tuile dorsale pendant une semaine également. Malgré ces soins, l'œdème persiste pendant plus d'un mois. La patiente tente cependant de reprendre son activité professionnelle du 21/01/05 au 15/04/05, mais elle est gênée par une exclusion de ce pouce. Dans ces conditions elle sollicite une consultation chirurgicale à l'Hôpital Jeanne d'Arc.
- Lors de la consultation chirurgicale le 06/04/05, à 4 mois ½ de l'accident initial, le chirurgien constate un pouce hypotrophique avec amincissement de la pulpe, des troubles sensitifs à type d'hypoesthésie et une exclusion franche de ce doigt responsable d'une maladresse gestuelle (la patiente lâche facilement les objets). Le bilan radiologique n'objective pas d'ostéite sous-jacente ni de lésion faisant suspecter une récidive de l'infection. Madame C. est alors adressée en Rééducation Fonctionnelle pour mobilisation forcée.

Bilan d'entrée le 18/04/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 90° (il existe une hyperextension de l'IP).

TPM : 125°

Opposition : Kapandji 8 en actif.

Bilan musculaire et trophique :

On note une hypotrophie du pouce gauche, la pulpe est amincie, rouge et marbrée.

Testing musculaire subnormal.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 5 kgf (9 kgf côté sain).

Jamar : 21 kgf (27 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Anesthésie complète du pouce (la patiente s'est brûlé la pulpe avant son entrée dans le Service sans s'en être aperçu). Diminution du toucher léger sur le reste de la main.

La proprioception est normale.

Bilan de la douleur :

Aucune douleur spontanée. EVA à 5 lors des mobilisations de la colonne du pouce, à type de brûlure sur le bord interne de P1 et P2.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 1,25/10 ; Box and Blocks 4/10.

Bilan 400 points : 51% (81% / 64% / 33% / 36%).

Questionnaire DASH : 15% de pénalité pour les AVJ, 0% pour les loisirs et 68% pour le travail.

Questionnaire HADS : score d'anxiété à 14/21 et score de dépression à 4/21.

Evolution :

Devant la constatation de l'anesthésie complète du pouce, un EMG est réalisé, retrouvant des vitesses de conduction sensitive normales (la conduction sur les nerfs collatéraux du pouce est conservée).

La patiente participe assidûment à la rééducation : en situation d'exercice, le pouce est bien intégré, ce qui n'est pas le cas en situation écologique.

D'autre part, Madame C. signale des douleurs de pouce très importantes en fin de journée.

Au bout de 3 semaines de rééducation, les performances sont peu améliorés, en dehors d'une légère augmentation des résultats du bilan 400 points (63%), mais qui ne traduit qu'une progression sur le plan analytique (mobilité de la main et force) et non sur le plan fonctionnel. La pince pouce-index n'est sollicitée que par fermeture de la première commissure, l'IP ne fléchit pas lors des prises et la pulpe est toujours exclue. Enfin, les douleurs et les troubles sensitifs persistent.

Un arrêt de la mobilisation forcée est décidé et la patiente poursuit des séances de kinésithérapie libérale. Un appareil de TENS (stimulation électrique trans-cutanée) est prescrit pour lutter contre les douleurs.

Un bilan électrophysiologique est réalisé le 24/05/05 : les PES et les PEC sont normaux. Il n'y a pas d'argument électrophysiologique pour affirmer un syndrome d'exclusion segmentaire.

La patiente est admise de nouveau au service de Rééducation le 14/06/05 pour reprise de la mobilisation forcée. Les performances à l'entrée sont superposables à celles de l'évaluation précédente.

Après 15 jours de rééducation intensive, le bilan sensitif s'est discrètement amélioré et le score du bilan 400 points est passé à 75% (100% / 88% / 60% / 53%). Il y a peu de progrès dans l'intégration, l'appui sur P2 est esquivé, on note une hyperextension de l'IP. La pulpe n'est utilisée que pour les préhensions fines.

Enfin, la rééducation intensive se complique de l'apparition d'une tendinite de de Quervain.

Madame C. arrête la rééducation et est revue à plusieurs reprises en consultation. Les bilans sensitifs et fonctionnels s'améliorent progressivement.

Bilan de fin de traitement le 29/09/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 115°

TPM : 125°

Opposition : Kapandji 9 en actif.

Bilan musculaire et trophique :

Le pouce est froid, avec des troubles vasomoteurs faisant suspecter un syndrome douloureux régional complexe de type 1 a minima.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 3,6 kgf (4,8 kgf côté sain).

Jamar : 16,6 kgf (26 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

On note une diminution de la sensibilité de protection au niveau du pouce.

Bilan de la douleur :

La patiente rapporte des douleurs lancinantes ou à type de brûlures au niveau du pouce, bien soulagées par la prise d'antalgiques (tramadol). D'autre part, en plus de la tendinite de de Quervain, sont apparues des douleurs en rapport avec une épicondylite et une épitrochléite. Le traitement, partiellement efficace consiste en la mise en place d'un avant-brassard en néoprène, d'une orthèse de repos, et de séances de physiothérapie à visée antalgique.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 3,25/10 ; Box and Blocks 4/10.

Bilan 400 points : 87% (97% / 84% / 78% / 91%).

Questionnaire DASH : pénalité de 11% pour les AVJ, 0% pour les loisirs.

Bilan cuisine : il persiste encore une exclusion intermittente de P2 lors des prises d'objets lourds. On note une meilleure utilisation dans les activités bimanuelles.

Madame C. est vue une dernière fois en consultation en novembre 2005 : l'intégration du pouce est excellente, les performances analytiques et fonctionnelles sont quasi normales et la sensibilité du pouce s'est également normalisée. Seules persistent les tendinites apparues en cours de rééducation.

Un certificat de consolidation de l'accident de travail avec séquelles est établi le 25/11/05 et la patiente reprend le travail à un poste adapté, non pas à cause de l'exclusion, mais en raison des tendinites provoquées par les gestes répétitifs.

Enquête téléphonique à 17 mois de l'accident initial :

Il n'y a plus d'exclusion du pouce. Les troubles sensitifs se sont complètement amendés. En revanche, les tendinites sont au premier plan, nécessitant la mise en place d'un poste adapté et la prise quasi quotidienne d'AINS et d'antalgiques. La patiente pense pendre rendez-vous avec le chirurgien pour discuter d'une éventuelle solution chirurgicale.

Conclusion :

Madame C., droitière, a présenté une plaie surinfectée du pouce gauche dans le cadre d'un accident de travail, à l'origine d'une exclusion associée à une anesthésie complète du segment concerné. L'évolution en rééducation s'est avérée longue et compliquée, en raison de l'apparition de tendinites liées aux gestes répétitifs demandés lors de l'application du protocole. L'exclusion a malgré tout complètement disparu, tout comme les troubles sensitifs. En revanche, un poste adapté a du être mis en place en raison des tendinites.

Cas clinique n°7 :

Madame R., 49 ans, droitière, vendeuse de prêt-à-porter.

Antécédents :

Allergie au Dialgirex® (antalgique).

Intolérance digestive aux anti-inflammatoires non stéroïdiens.

Traitement médicamenteux : 0

Anamnèse :

Le 05/10/04, la patiente fait une chute sur son lieu de travail. En tentant de se rattraper, elle perçoit une sensation de craquement associé à un déplacement irréductible de l'IP du pouce gauche en extension.

Le bilan initial réalisé dans un hôpital périphérique fait état d'une fracture de la houppe phalangienne non déplacée (?) traitée par la mise en place d'une attelle pendant 15 jours suivie d'une immobilisation par résine pour une durée de 3 semaines. A l'issue de ce traitement, des séances de kinésithérapie libérale sont entreprises à raison de 5 fois par semaine.

Madame R. reprend son travail en décembre 2004 en se faisant aider par une collègue, mais elle est gênée par une exclusion douloureuse de son pouce.

Elle est vue pour la première fois en consultation chirurgicale à l'Hôpital Jeanne d'Arc en avril 2005, et le chirurgien constate effectivement un pouce gauche exclu, en hyperextension. A noter que le bilan radiologique réalisé à cette occasion ne retrouve pas de signe d'arthrose ou de fracture ancienne. La patiente est alors adressée pour rééducation dans le service.

Bilan d'entrée le 09/05/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 80°

TPM : 90°

Opposition : Kapandji 7 en actif, 8 en passif.

Bilan musculaire et trophique :

Muscle long fléchisseur du pouce coté à 3 et muscle court fléchisseur du pouce coté à

4. Aspect trophique sans particularité.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 2,5 kgf (3,6 kgf côté sain).

Jamar : 15,6 kgf (19,3 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Diminution de la sensibilité de protection au niveau de la pulpe du pouce.

Sensibilité proprioceptive normale.

Bilan de la douleur :

Il existe des douleurs au repos sur le bord radial de l'IP, irradiant vers la face palmaire de P1, à type de lancements. Lors des pinces, la patiente signale alors une sensation de tiraillement douloureux sur la face dorsale de l'IP cotée à 5 sur l'EVA.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Box and Blocks 2/10 ; Purdue 3,25/10.

Bilan 400 points : 57% (73% / 93% / 28% / 35%)

Questionnaire DASH : 42,5% de pénalité pour les AVJ, 56,2% pour le travail et 0% pour le sport.

Evolution :

Un traitement par paracétamol est introduit pour soulager les douleurs (intolérance au tramadol associé prescrit au départ).

La patiente pratique assidûment le protocole de mobilisation forcée pendant 3 semaines.

Bilan de fin de traitement le 27/05/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 95°

TPM : 95°

Opposition : Kapandji 8 en actif et en passif.

Bilan musculaire et trophique :

Non modifié.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 1,8 kgf (2,3 kgf côté sain).

Jamar : 15,3 kgf (21 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Non modifié.

Bilan de la douleur :

EVA à 4 sur 10 sur la face dorsale de l'IP du pouce.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Box and Blocks 3/10 ; Purdue 4/10.

Bilan 400 points : 70% (91% / 76% / 65% / 51%).

Questionnaire DASH : la gêne fonctionnelle dans les AVJ est passée à 27,5%. Les autres scores sont identiques.

Bilan cuisine : on constate une relatéralisation et une exclusion intermittente du pouce et de l'index gauches pour les gestes en force.

La patiente est revue en consultation de contrôle en juillet 2005 : le bilan analytique est superposable au précédent. Les douleurs sont fluctuantes mais bien soulagées par le paracétamol. Sur le plan fonctionnel, Madame R. se plaint d'un manque de dextérité. Un nouveau bilan en cuisine retrouve une exclusion intermittente au départ, puis l'intégration s'améliore en cours de bilan.

La reprise du travail antérieur est décidée pour le 08/07/05, soit 10 mois après l'accident de travail et 2 mois après le début de la rééducation.

Madame R. est vue de nouveau en rééducation en septembre 2005 car elle se plaint d'un manque de force au niveau de la pince pouce - index, la gênant dans ses activités professionnelles. Des séances de kinésithérapie libérale sont prescrites pour pallier ce problème. A la consultation suivante, en novembre 2005, le médecin constate une exclusion intermittente discrète, dans les préhensions d'objets de gros diamètre et d'objets lourds. Singulièrement, cette exclusion concerne plutôt l'index que le pouce.

Le certificat de consolidation de l'accident de travail avec séquelles est établi le 30/11/2005.

Enquête téléphonique à 18 mois de l'accident initial :

L'exclusion a totalement régressé, mais en raison d'une sensation de raideur, de douleurs à l'effort et d'un manque de force, Mme R. signale une certaine maladresse gestuelle l'obligeant parfois à relatéraliser certains gestes. Les troubles sensitifs se sont améliorés.

Conclusion :

Madame R. présente une exclusion du pouce gauche dans les suites d'une fracture de la houppe phalangienne associée à une probable entorse de l'IP, dans le cadre d'un accident de travail le 5/10/04. Le traitement orthopédique consiste en une immobilisation d'une durée totale de 5 semaines. La patiente reprend le travail au bout de 2 mois mais nécessite l'aide d'une collègue en raison de douleurs et d'une maladresse gestuelle au niveau de la main gauche. La rééducation par mobilisation forcée est débutée en mai 2005 suite à une consultation chirurgicale spécialisée. Après 3 semaines de rééducation, les paramètres anatomiques et fonctionnels mesurés montrent une amélioration importante, bien que persiste un certain degré d'exclusion du pouce, voire de façon intermittente de l'index. La reprise de l'activité professionnelle antérieure est effective 2 mois après le début du traitement (soit 9 mois après l'accident de travail initial). A distance de la rééducation, l'intégration du pouce s'est normalisée, mais il persiste un défaut d'utilisation de la main par manque de force et en raison d'une raideur et de douleurs à l'effort au niveau de l'IP du 1er rayon.

Cas clinique n°8 :
Monsieur B., 46 ans, droitier, chauffeur routier.

Antécédents : 0

Traitement médicamenteux : 0

Anamnèse :
Monsieur B. est victime d'un accident domestique le 20/02/05 par scie circulaire, responsable d'une amputation de la dernière phalange de l'index gauche. Le traitement réalisé en urgence à l'Hôpital Jeanne d'Arc consiste en une régularisation de l'amputation en col de P2 (stripping des nerfs collatéraux et du tendon FCP, protection de la zone de recoupe osseuse par suture entre les plans extenseur et fléchisseur). Des soins locaux sont pratiqués pendant 6 semaines et le patient entreprend quelques séances de rééducation en kinésithérapie libérale.
Lors d'une consultation de contrôle en mai 2005, le chirurgien constate une raideur de l'IPP, des troubles trophiques du moignon, des dysesthésies de contact et une exclusion de l'index. Monsieur B. est alors adressé en rééducation fonctionnelle.

Bilan d'entrée le 30/05/05 :
Bilan articulaire :
TAM : 105°
TPM : 120°
EPPMP (A) : 3,5cm ; EPPMP (P) : 2,5cm.
Bilan musculaire et trophique :
La pulpe de l'index est légèrement érythémateuse.
Testing du muscle FCS à 4.
Bilan de la force musculaire :
Pinch : 7 kgf (10,8 kgf côté sain).
Jamar : 27,3 kgf (40 kgf côté sain).
Bilan sensitif :
Sur la face dorsale de l'index, on note une diminution de la sensibilité de protection

sur P2 et une diminution de la sensibilité tactile sur P1. La sensibilité est normale à la face palmaire.

Le patient se plaint de dysesthésies de contact au niveau de la pulpe de P2.

La sensibilité proprioceptive est normale.

Bilan de la douleur :

Il existe des douleurs sur la face dorsale de l'index, surtout en flexion maximale, cotée à 3/10 sur l'EVA, à type de fourmillements. La cicatrice est hyperesthésique.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 3/10 ; Box and Blocks 2,5/10.

Bilan 400 points : 61% (90% / 74% / 37% / 43%)

Questionnaire DASH : taux d'incapacité dans les AVJ de 19,5%, dans les loisirs de 25% et dans le travail de 100%.

Le retentissement émotionnel de cette exclusion est très modéré.

Evolution :

Le patient participe activement au protocole de mobilisation forcée. Parallèlement une orthèse de type MP-stop est confectionnée pour permettre de gagner en amplitude articulaire au niveau de l'IPP. En ergothérapie, une désensibilisation est mise en route en raison de la cicatrice hyperesthésique au contact.

Bilan de fin de traitement le 15/06/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 145°

TPM : 165°

EPPMP (A) : 2cm ; EPPMP (P) : 1,5cm.

Bilan musculaire et trophique :

Testing musculaire identique. Amélioration de l'aspect trophique mais un œdème apparaît à la chaleur.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 10,5 kgf (12,3 kgf côté sain).

Jamar : 43,3 kgf (47 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Disparition des dysesthésies de contact.

Bilan de la douleur :

Disparition des douleurs, il y a encore quelques fourmillements en fin de flexion.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 4/10 ; Box and Blocks 3/10.

Bilan 400 points : 90% (100% / 94% / 93% / 75%).

Bilan DASH : pénalité dans les AVJ de 6%, pour le travail de 30%.

Bilan cuisine : l'intégration de l'index est correcte. Cependant, pour les préhensions fines, le patient compense spontanément en saisissant les objets par une pince pouce-majeur.

Le patient reprend son travail de chauffeur routier le 20/06/05 avec un aménagement de poste pour 1 mois en raison des manutentions importantes qu'il est amené à faire quotidiennement.

Monsieur B. n'a pas répondu à notre enquête téléphonique à distance de la rééducation.

Conclusion :

Monsieur B. a présenté une amputation de l'index gauche suite à un accident par scie circulaire le 20/02/05 compliquée d'une exclusion de ce même doigt constatée en mai 2005. Après 3 semaines de rééducation, l'index est nettement mieux intégré et les performances fonctionnelles sont améliorées. La reprise du travail est possible 4 semaines après le début du traitement, à un poste aménagé dans un premier temps.

Cas clinique n°9 :

Monsieur C., 37 ans, droitier, monteur en pneumatiques (licenciement mars 2005).

Antécédents :

Intolérance à l'aspirine (épistaxis),

Antécédents familiaux de problèmes cardiovasculaires,

Tabagisme à 20 PA,

Hypercholestérolémie,

Bloc de branche droit,

Fracture de bassin en 1985, sans séquelles.

Traitement médicamenteux : 0

Anamnèse :

Le patient présente sur son lieu de travail le 29/08/03 un écrasement du pouce gauche responsable d'une fracture comminutive ouverte de P1 et d'une fracture intercondylienne, sans dévascularisation, avec écrasement des nerfs collatéraux. Le traitement en urgence, réalisé à l'Hôpital Jeanne d'arc, consiste en la mise en place d'un fixateur externe associé à un embrochage, suivi d'une immobilisation par une attelle plâtrée palmaire.

Le chirurgien retire une broche axiale le 22/10/03 et le fixateur externe est enlevé un mois plus tard. La colonne du pouce est ensuite immobilisée dans une orthèse pendant 7 semaines.

L'évolution est malheureusement compliquée de l'apparition d'un foyer de pseudarthrose qui est mobile avec une subluxation palmaire de la base de P1.

Une nouvelle intervention chirurgicale est donc nécessaire le 18/02/04 : le chirurgien met en place un greffon iliaque consolidé par ostéosynthèse par broches et plaque. Les broches sont retirées à 12 semaines et la consolidation est considérée comme acquise à 6 mois du geste. Le patient débute des séances de rééducation en kinésithérapie libérale en mai 2004.

Au cours des consultations chirurgicales de contrôle, on constate l'apparition d'une subluxation de l'articulation métacarpo-phalangienne du pouce ne permettant pas des prises satisfaisantes.

Un dossier COTOREP est instruit pour une reconnaissance de qualité de travailleur handicapé. L'entreprise rencontrant des difficultés financières et ne pouvant pourvoir à Monsieur C. un poste adapté à son handicap, il est adressé au Centre de Réadaptation Professionnelle de Gondreville en février 2005 afin de poursuivre la rééducation et de l'aider à établir un nouveau projet professionnel. Très vite cependant, une exclusion du pouce gauche est remarquée et il est jugé utile de rééduquer ce problème avant toute chose.

Bilan d'entrée à l'Hôpital Jeanne d'Arc le 28/02/2005 (J+2 ans) :

Bilan articulaire :

TAM : 35° (il existe un flexum de l'articulation métacarpophalangienne)

TPM : 45°

Opposition : Kapandji 9 en actif et en passif.

Bilan musculaire et trophique :

On note une dystrophie unguéale et une hypersudation localisée au pouce. Les muscles long et court fléchisseur sont cotés à 4.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 4,6 kgf (11 kgf côté sain).

Jamar : 29,3 kgf (39,6 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

On objective une diminution du toucher léger à la face dorsale de P1 et P2. Il y a des paresthésies et des dysesthésies au contact sur le bord ulnaire du pouce.

La proprioception est normale.

Bilan de la douleur :

Le patient ne signale aucune douleur.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 1,75 /10 ; Box and Blocks 3/10.

Bilan 400 points : 72% (77% / 69% / 73% / 70%).

Questionnaire DASH : 7,5% de pénalité pour la réalisation des AVJ, 0% pour les loisirs et 43,7% pour les activités professionnelles.

Questionnaire HADS : pas de retentissement émotionnel évident de cette exclusion.

Evolution :

Le patient bénéficie d'une prise en charge intensive d'une durée de 4 semaines, sans rencontrer de difficulté particulière.

Bilan de fin de traitement le 18/03/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 35°

TPM : 50°

Opposition : Kapandji 8 en actif et en passif.

Bilan musculaire et trophique :

Non modifié.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 8,3 kgf (13,8 kgf côté sain).

Jamar : 57,3 kgf (59,6 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Non modifié.

Bilan de la douleur :

Des cervicalgies sont apparues en cours de traitement en regard de C2 et C3, sans névralgie associée.

Le pouce reste indolore.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 4,25/10 ; Box and Blocks 4/10.

Bilan 400 points : 90% (94% / 86% / 91% / 91%).

Bilan cuisine : l'intégration du pouce est acquise, mais une discrète exclusion intermittente est constatée.

Le patient est réadressé au Centre de Gondreville pour reprise de la réadaptation professionnelle. Il effectue un stage en entreprise (dans une cimenterie) dans le contrôle de qualité du béton en août 2005 : le stage s'étant bien déroulé, Monsieur C. est d'abord embauché pour une mission intérimaire avant d'être employé en CDI en décembre 2005.

Enquête téléphonique à 32 mois de l'accident initial :

Le patient pense qu'il doit persister un certain degré d'exclusion, puisque son pouce « est moins sale que les autres doigts » lorsqu'il travaille. La force semble être

revenue au niveau antérieur, il n'y a pas de maladresse gestuelle. Enfin, des douleurs surviennent au froid.

Conclusion :

Monsieur C., 37 ans et droitier, a présenté un accident de travail en mars 2003 responsable d'un traumatisme grave du pouce gauche avec fracture comminutive de P1, lésion de l'articulation métacarpo-phalangienne et écrasement des nerfs collatéraux, nécessitant un traitement chirurgical. Compte tenu des lésions initiales, l'évolution se fait vers une pseudarthrose imposant une reprise chirurgicale. Malgré un traitement rééducatif bien conduit, une exclusion du pouce apparaît associé à une raideur articulaire. Après 4 semaines de prise en charge en rééducation spécialisée, le pouce est nettement mieux intégré. Ceci permet d'étudier les problèmes de reconversion professionnelle du patient, celui-ci s'étant fait licencier de son poste antérieur faute de poste adapté (et en raison de difficultés économiques dans l'entreprise). Un stage en cimenterie en août 2005, soit 2 ans ½ après l'accident initial et 6 mois après la rééducation, débouche sur une embauche. A distance de la rééducation, un certain degré d'exclusion du pouce semble persister, même si cela ne gêne guère le patient dans sa vie quotidienne ou professionnelle.

Cas clinique n°10 :
Monsieur Ci., 32 ans, droitier, agent d'entretien.

Antécédents : 0

Traitement médicamenteux : 0

Anamnèse :
Monsieur Ci. présente sur son lieu de travail le 03/08/04 une plaie à la face palmaire de la première phalange de l'index droit, associée à une subluxation de l'articulation métacarpo-phalangienne, réduite immédiatement par le patient (mécanisme de l'accident : écrasement par un chauffe-eau). La prise en charge initiale se déroule dans un hôpital périphérique et consiste en une suture de la plaie sans exploration au bloc opératoire, suivie d'une immobilisation par attelle.
Le 18/08/04, Monsieur Ci. consulte à l'Hôpital Jeanne d'Arc en raison de l'apparition d'un déficit de flexion au niveau de l'articulation IPD. L'exploration chirurgicale le 20/08/04 objective une rupture complète du tendon FCP en zone 2 et le chirurgien procède à sa réfection. Le patient débute très rapidement une rééducation par mobilisation activo-passive précoce protégée selon Duran et Strickland.
L'évolution se fait malgré tout vers un enraidissement en flexion avec des douleurs et des troubles trophiques, et une exclusion intermittente de l'index est constatée lors des bilans et en situation écologique.
Une ténolyse des tendons fléchisseurs est pratiquée le 03/02/05. Au cours de la rééducation, l'exclusion de l'index semble persister et il est décidé d'intégrer le patient au protocole de mobilisation forcée.

Bilan d'entrée le 21/03/05 :
Bilan articulaire :
TAM : 185°
TPM : 200°
EPPMP (A) : 2cm ; EPPMP (P) : 1cm

Bilan musculaire et trophique :

Muscles FCS et FCP cotés à 4.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 12,6 kgf (12,8 kgf côté sain).

Jamar : 48 kgf (50,3 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

On retrouve une hypoesthésie du bord ulnaire de l'index avec une diminution de la sensibilité de protection de l'hémipulpe ulnaire lors du test aux monofilaments.

La sensibilité profonde est normale.

Bilan de la douleur :

Le patient rapporte des douleurs inconstantes en flexion maximale de l'IPP, cotées à 5/10 sur l'EVA, à type de « craquement ».

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 4,75/10 ; Box and Blocks 5/10.

Bilan 400 points : 73% (84,4% / 82,8% / 53,3% / 73,3%)

Questionnaire DASH : 29,2% de pénalité pour la réalisation des AVJ, 50% de pénalité pour la pratique sportive, 48,5% de pénalité pour le travail.

Evolution :

Le patient poursuit les activités de rééducation pour une durée de 3 semaines.

Bilan de fin de traitement le 08/04/05 :

Bilan articulaire :

TAM : 205°

TPM : 240°

EPPMP : 1cm en actif et en passif.

Bilan musculaire et trophique :

Inchangé.

Bilan de la force musculaire :

Pinch : 15 kgf (14 kgf côté sain).

Jamar : 57 kgf (56 kgf côté sain).

Bilan sensitif :

Inchangé.

Bilan de la douleur :

Il persiste des douleurs intermittentes de l'IPP en flexion maximale, cotées à 5 sur l'EVA, à type de piqûre d'aiguilles.

Bilan fonctionnel :

Tests de dextérité : Purdue 7/10 ; Box and Blocks 6/10

Bilan 400 points : 87% (89% / 88% / 86,5% / 85%)

Bilan cuisine : l'index semble bien intégré lors des différentes tâches réalisées en situation écologique.

Consultation de contrôle le 19/05/05 :

Les performances analytiques sont globalement superposables à celles constatées à l'issue du séjour précédent en rééducation. En revanche les douleurs se sont exacerbées, cotées à 8 sur l'EVA et en situation de bilan on objective une exclusion permanente de l'index, responsable d'une diminution du score du bilan 400 points (65%, avec exclusion permanente de l'index au cous des épreuves 3 et 4). Etrangement, en atelier de métallerie (traçage, cisaillage, limage, cintrage, sciage), il n'y a aucune exclusion ou doléance, les différentes tâches étant réalisées à un très bon rythme. De même, en cuisine, l'index est très bien intégré.

Un traitement antalgique par dextropropoxyphène associé est introduit, avec la mise en place d'un appareil de stimulation électrique transcutanée.

La reprise du travail est décidée pour le 23/05/05, soit 9 mois après l'accident de travail initial et 2 mois après le début de la rééducation, avec poursuite des soins.

Enquête téléphonique à 18 mois de l'accident initial :

L'exclusion a disparu, mais un nouveau séjour en rééducation s'est avéré nécessaire pour faire le point sur des douleurs neurogènes de l'index droit, pour lesquelles le patient a dû reprendre un traitement antalgique et une stimulation électrique transcutanée.

Conclusion :

Il s'agit d'un patient présentant une exclusion douloureuse de l'index droit venant compliquer une section de tendon fléchisseur dans le cadre d'un accident de travail du 03/08/04, découverte et opérée tardivement, et compliquée de l'apparition d'une raideur imposant une ténolyse palmaire en février 2005. Après 3 semaines de rééducation, l'intégration de l'index s'est améliorée, mais à la faveur d'une

recrudescence des phénomènes douloureux, l'exclusion réapparaît lors des bilans un mois après l'arrêt de la rééducation. Etant donné qu'en situation écologique l'exclusion n'est pas mise en évidence, la reprise du travail est décidée, avec poursuite des soins, à compter de fin mai 2005, soit 9 mois après l'accident initial et 2 mois après le début de la rééducation. Bien que des épisodes douloureux viennent émailler l'évolution, l'intégration de l'index semble bien acquise.

Tableau II : Tableau récapitulatif des caractéristiques cliniques des patients

CC n°	Sexe	Age	Latéralité	Doigt atteint	Lésion initiale	PEC initiale (S/NS)	Immobilisation initiale	Kiné initiale	Délai Diagnostic	Délai PEC	Douleur (EVA)	Tbs sensitifs	Evolution	Prof	Régime PEC	Durée arrêt de travail	Retour au travail
1	F	37	G	D2 Dt	Plaie	S	Ø	Ø	2 mois	3mois	5	↓ TL Dysesthésies contact	SES : déf Dlr : ↓ Sens : N	Préparatrice de commandes	AT	5mois *2mois*	Poste antérieur
2	M	38	D	D2 G	Ecrasement : fracture P3, section lit unguéal	S	3 semaines	Auto-rééducation	2 mois	2mois	5	Dysesthésies contact	SES :±fav Dlr : ↓ Sens : N	Peintre en bâtiment	AT	3,5mois *1mois*	Poste antérieur
3	F	61	D	D2 G	Plaie, section tdon ext, plaie artic	S	3 semaines	Kiné libérale	4 mois	4mois	2	↓ TL Paresthésies	SES : fav Dlr : ↓ Sens : id	Retraitée	AM	Ø	Ø
4	M	29	D	D2 Dt	Amputation P3	NS	?	?	14 mois	14,5mois	7	Hypoesthésie	SES : déf Dlr : id Sens : id	Machiniste	AT	21mois *6mois*	Poste adapté COTOREP
5	M	18	D	D2 Dt	Délabrement D2	S	3 semaines	Kiné libérale	3 sem	3 mois	8	↓ TL	SES : fav Dlr : ↓ Sens : N	Apprenti boulanger	AT	5 mois *2 mois*	Poste antérieur
6	F	42	D	D1 G	Plaie surinfectée	S	1 semaine	Kiné libérale	5 mois	5 mois	0 à 5	Anesthésie complète	SES : fav Dlr : ↓ Sens : N	Ouvrière	AT	12 mois *7 mois*	Poste adapté*
7	F	49	D	D1 G	Fracture P1 + entorse	NS	5 semaines	Kiné libérale	2 mois	6 mois	5	↓ sens protection	SES : fav Dlr : ↓ Sens : N	Vendeuse	AT	9 mois *2 mois*	Poste antérieur
8	M	46	D	D2 G	Amputation P3	S	2 semaines	Kiné libérale	3 mois	3 mois	3	↓ sens protection Dysesthésies contact	SES :±fav Dlr : ↓ Sens : dispartion dysesthésies	Chauffeur routier	AM	4 mois *1 mois*	Poste adapté 1 mois
9	M	37	D	D1 G	Ecrasement, fracture comminutive, pseudarthrose	S	15 semaines + 12 semaines	Kiné libérale	19 mois	19 mois	0	↓ TL Dysesthésies contact	SES :±fav Dlr : 0 Sens : id	Monteur pneumatiques	AT	24 mois *6 mois*	Licenciement économique Poste contrôle qualité béton COTOREP
10	M	32	D	D2 Dt	Plaie, section tdon FCP	NS puis S	2 semaines	Rééducation spécialisée	1 mois	7 mois	5 à 8	↓ sens protection	SES : fav Dlr : id Sens : id	Agent d'entretien	AT	9 mois *2 mois*	Poste antérieur

LISTE DES ABREVIATIONS EMPLOYEES DANS LE TABLEAU II

CC : cas clinique
M : masculin
F : féminin
G : gauche
Dt : droit
D1 : pouce
D2 : index
Tdon : tendon
Ext : extenseur
FCP : tendon fléchisseur commun profond
PEC : prise en charge
S : spécialisée
NS : non spécialisée
Sem : semaine
EVA : échelle visuelle analogique
TL : toucher léger
↓ : diminution
SES : syndrome d'exclusion segmentaire
Dlr : douleur
Sens : sensibilité
N : normal
Id : identique
Fav : favorable
Déf : défavorable
AT : accident du travail
AM : arrêt maladie

Notes concernant le tableau récapitulatif :

En ce qui concerne la durée de l'arrêt de travail, le premier chiffre inscrit en noir correspond à la durée totale de l'arrêt de travail, à compter de la date de l'accident. Le deuxième chiffre, inscrit en italique, correspond à la durée de l'arrêt de travail à compter de la prise en charge rééducative.

Concernant le cas clinique n°6, l'astérisque est là pour rappeler que le poste adapté a été instauré pour des problèmes autres que celui de l'exclusion.

IV – RESULTATS

1 – Caractéristiques générales

Il s'agit d'une étude prospective menée d'octobre 2004 à avril 2006.

L'âge moyen des patients de notre série, constituée de 4 femmes et 6 hommes, est de 39,8 ans (18 à 61 ans). 9 sont droitiers et une est gauchère. Aucun antécédent particulier ne semble rattaché préférentiellement au syndrome d'exclusion segmentaire.

L'index est concerné par l'exclusion dans 7 cas et le pouce dans 3 cas. La main dominante est touchée chez 3 patients et la main d'appoint pour les 7 autres.

Sur le plan étiologique, on retient 2 amputations de phalange distale ; 2 écrasements responsables de fractures ouvertes avec section du lit unguéal pour l'un des sujets et destruction du lit unguéal et écrasement des nerfs collatéraux pour l'autre ; un traumatisme complexe (fracture de P3, destruction articulaire et tendineuse, plaie d'un pédicule collatéral) ; une fracture phalangienne fermée associée à une entorse ; 2 plaies avec section de tendons ; une plaie simple ; une plaie surinfectée.
7 patients ont bénéficié d'une prise en charge immédiate en milieu spécialisé (Hôpital Jeanne d'Arc), les 3 autres s'étant dirigés dans un premier temps vers des centres hospitaliers périphériques.

6 patients (cas cliniques n° 3, 5, 6, 7, 8, 9) ont pratiqué des séances de kinésithérapie libérale dans les suites de l'incident initial, 1 patient a réalisé une auto-rééducation (cas clinique n°2), 1 patient a été pris en charge au service de Rééducation Fonctionnelle de l'Hôpital Jeanne d'Arc (cas clinique n°10), 1 patiente n'a pas pratiqué de rééducation (cas clinique n°1) et nous n'avons pas de données concernant ce sujet pour le cas clinique n°4.

Une immobilisation initiale du segment de membre traumatisé a été préconisée par le chirurgien chez 8 sujets, avec une durée moyenne de 6,5 semaines (1 à 27 semaines au total).

Le diagnostic d'exclusion segmentaire a été porté par le chirurgien lors du suivi de

contrôle dans 7 cas et en milieu de rééducation dans les 3 autres cas. Le délai écoulé par rapport à l'accident initial est de 5,3 mois (3 semaines à 19 mois). Une fois le diagnostic évoqué, le délai de prise en charge en Rééducation Fonctionnelle est de 7,6 semaines (de 1 à 27 semaines, ce dernier cas s'expliquant par la nécessité d'une reprise chirurgicale avant la mise en route du protocole de rééducation).

La durée moyenne de prise en charge dans le service de Rééducation Fonctionnelle est de 4,1 semaines (de 3 à 7 semaines).

2 - Douleurs et troubles sensitifs

2.1. Douleurs

9 patients sur 10 signalent une douleur au début de la prise en charge rééducative. L'intensité est cotée en moyenne à 4,4/10 sur l'EVA (de 2 à 8). La douleur est décrite comme une sensation de brûlure pour 2 patients, de décharge électrique pour 2 patients également, de piqûre d'aiguille ou de fourmillements pour 5 patients.
Elles sont provoquées par l'effleurement ou la palpation de la cicatrice dans 4 cas et à la mobilisation articulaire forcée dans 3 cas.
La mise en route d'un traitement antalgique, en complément du traitement physiothérapique et de désensibilisation, est nécessaire pour 6 patients : 4 d'entre eux ont recours au dextropropoxyphène associé (Diantalvic®), 2 au tramadol (Topalgic®) et un patient au clonazepam (Rivotril®) en plus du traitement antalgique classique.
L'évolution des douleurs est favorable pour 7 patients : l'EVA passe en moyenne à 2,7/10 (0 à 8) après rééducation. Les patients n°4 et 10 rapportent une douleur cotée à plus de 5 sur l'EVA, celle-ci survient en flexion maximale du doigt concerné ou lors d'une activité manuelle intensive, ou au contact du résidu unguéal pour le patient n°4.
Enfin, il convient de noter que la douleur accompagne un syndrome douloureux régional complexe de type 1 pour le cas clinique n°3 (qui a vu ses douleurs régresser totalement à l'issue du traitement), et un névrome associé à un résidu unguéal pour le cas clinique n°4.

2.2. Troubles sensitifs

Tous les patients présentent au début de leur évolution des troubles sensitifs : 4 sujets ont une diminution de la sensibilité de protection, 4 ont une diminution du toucher léger et une patiente présente une anesthésie complète du doigt concerné. Le cas clinique n°2 ne présente pas de diminution de la sensibilité mais rapporte des dysesthésies de contact, comme 4 autres patients.

En fin de traitement :
- 5 sujets ont recouvré une sensibilité normale (cas cliniques n°1, 2, 5, 6, 7)
- 5 d'entre eux n'ont pas vu de changement (cas cliniques n°3, 4, 8, 9, 10).

3 – Résultats analytiques et fonctionnels du protocole de rééducation

3.1. Résultats des performances analytiques avant et après rééducation

3.1.1. Amplitudes articulaires

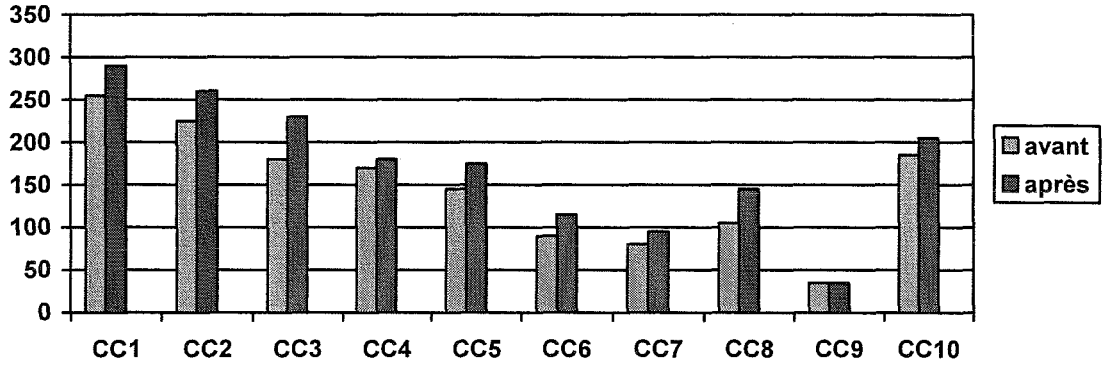


Figure 7 : TAM individuels (en degrés) avant et après rééducation

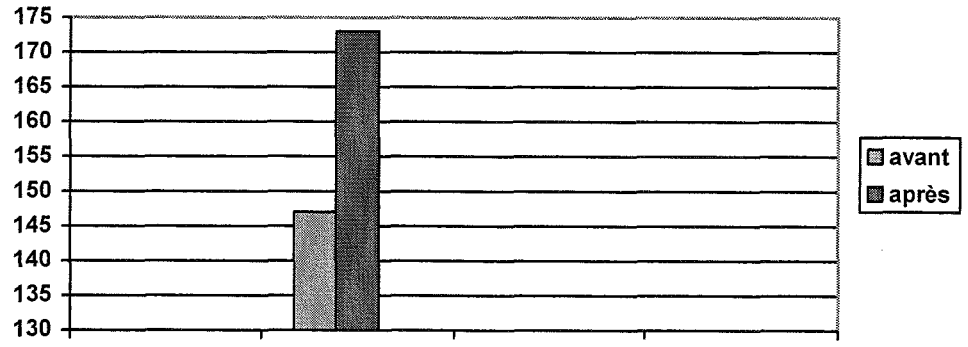


Figure 8 : TAM Global (en degrés) avant et après rééducation

On observe une augmentation de 17,6% sur le score total.

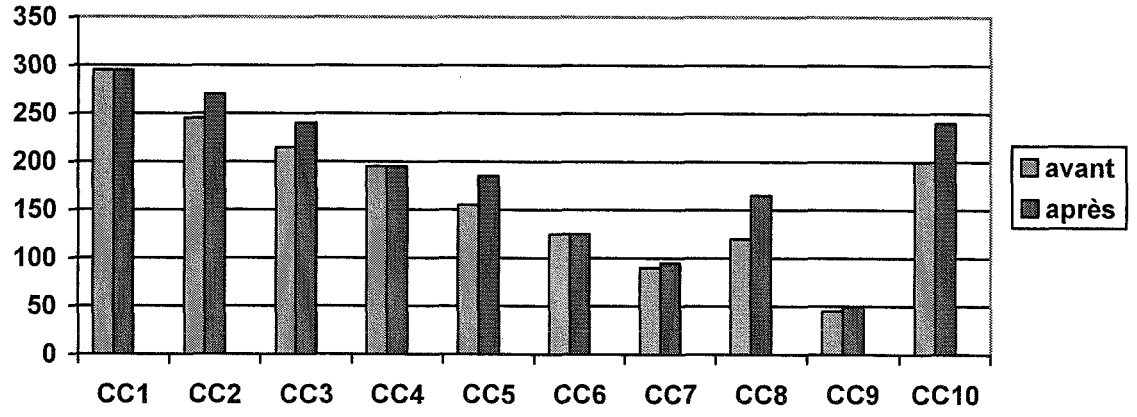


Figure 9 : TPM individuels (en degrés) avant et après rééducation

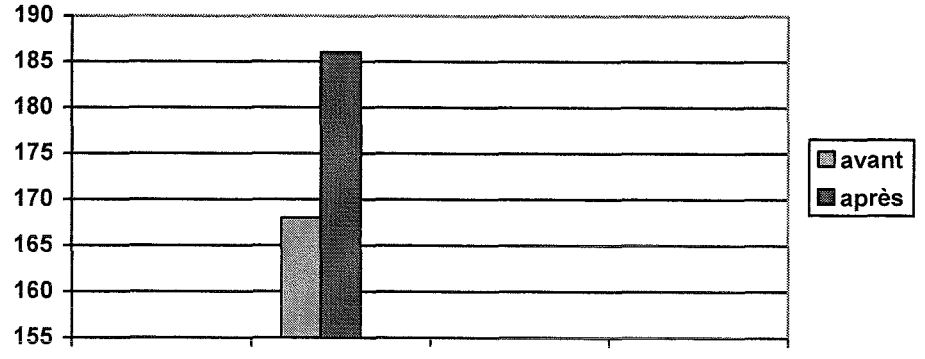


Figure 10 : TPM global (en degrés) avant et après rééducation

On observe une augmentation du score global de 10,7%

3.1.2. Mesure de la force musculaire

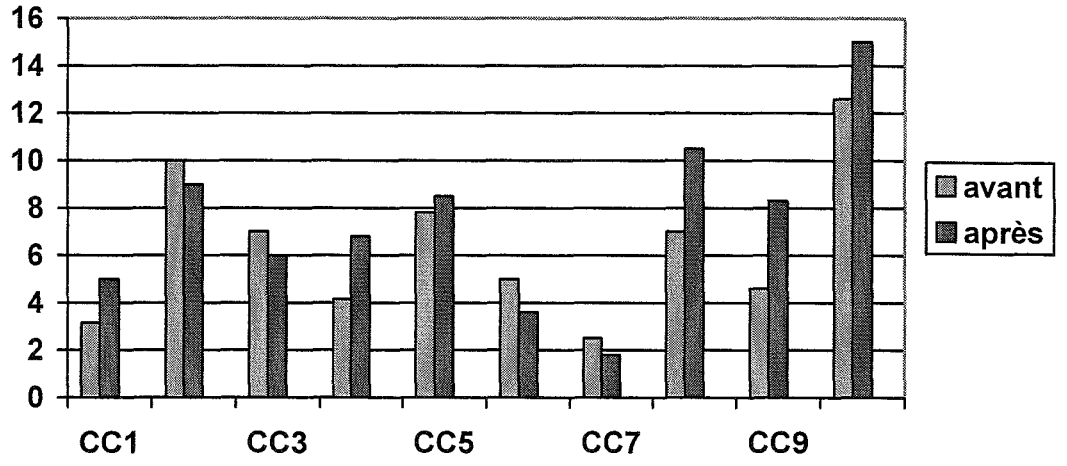


Figure 11 : Pinch (kgf) : résultats individuels avant et après rééducation

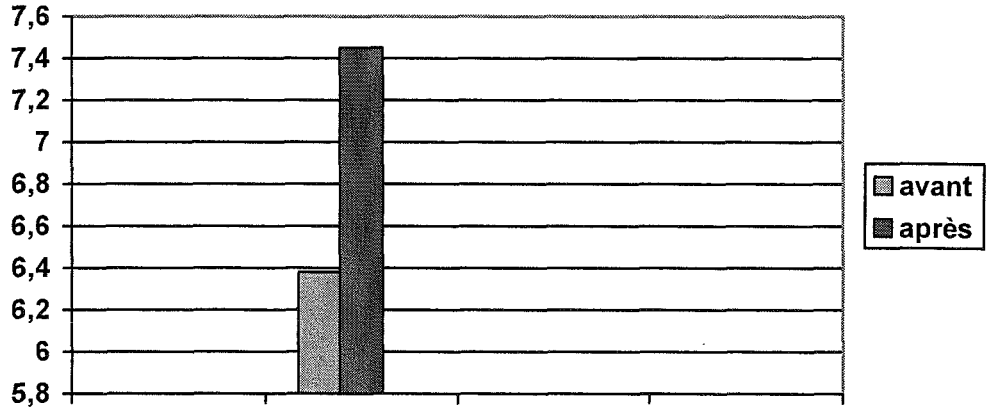


Figure 12 : Pinch (kgf) : résultats collectifs avant et après rééducation

On observe une augmentation du score global de 16,7%.

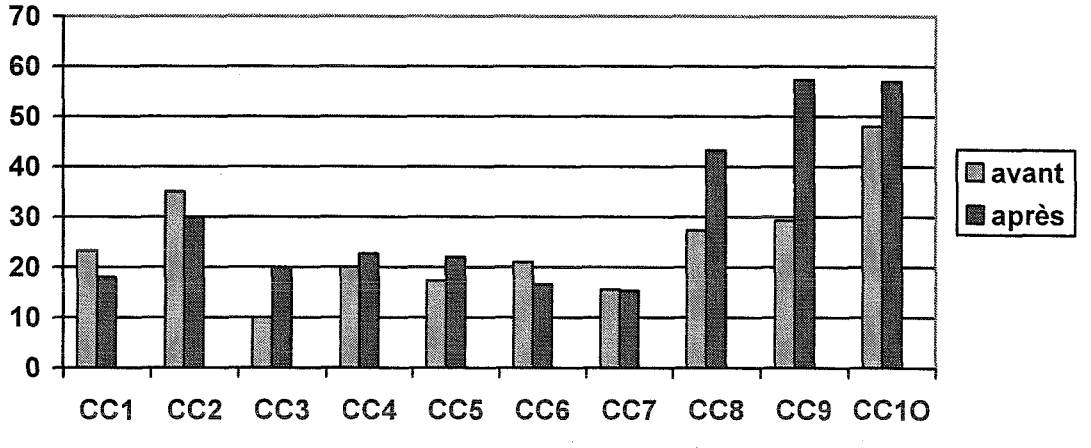


Figure 13 : Jamar (kgf) : résultats individuels avant et après rééducation

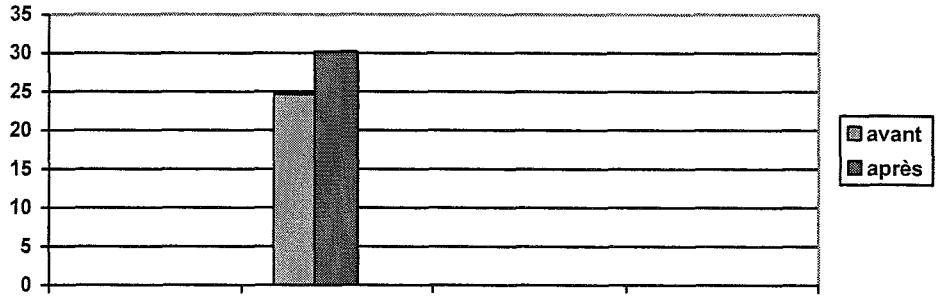


Figure 14 : Jamar (kgf) : résultats collectifs avant et après rééducation

On observe une augmentation du score global de 22,44%.

3.2. Résultats des performances fonctionnelles avant et après rééducation.

3.2.1. Bilan 400 points

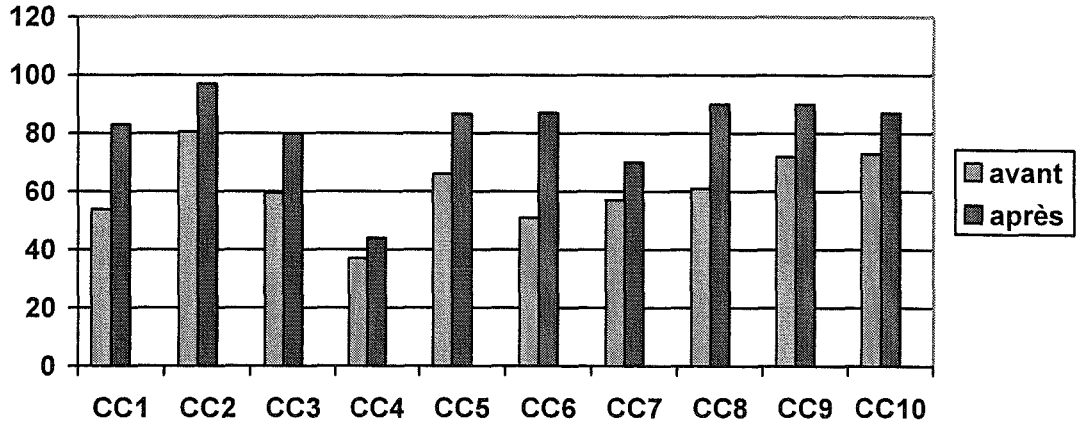


Figure 15 : Résultats individuels (résultats exprimés sur 100) avant et après rééducation

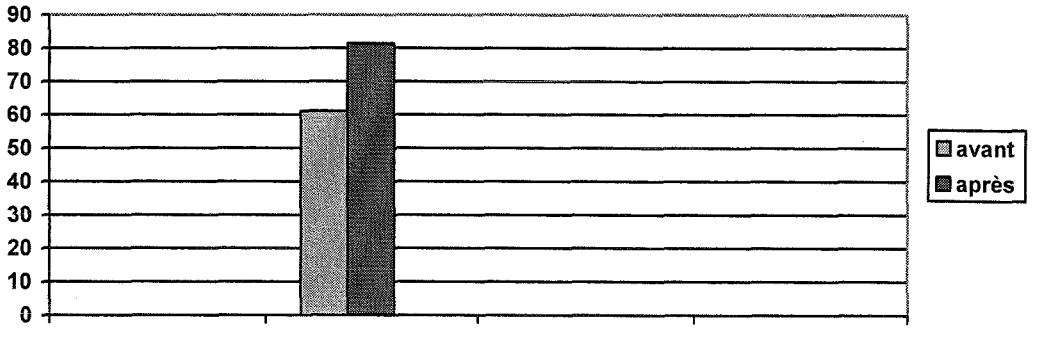


Figure 16 : Résultats collectifs avant et après rééducation

On observe une augmentation du score globale de 33,3%.

3.2.2. Tests de dextérité

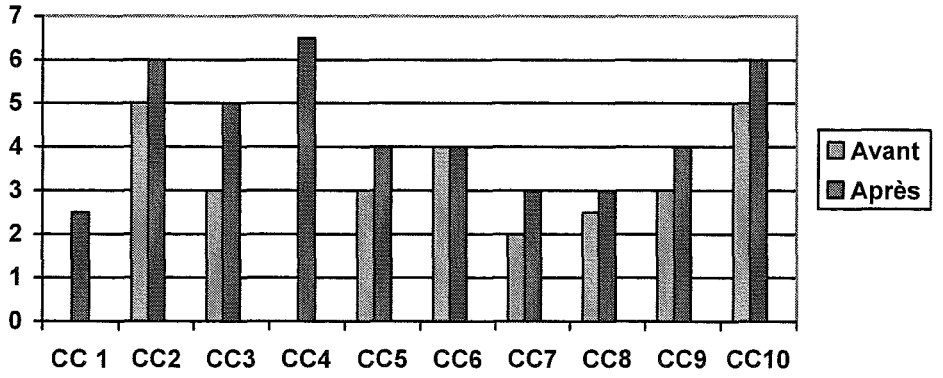


Figure 17 : Box and Blocks : résultats individuels avant et après rééducation

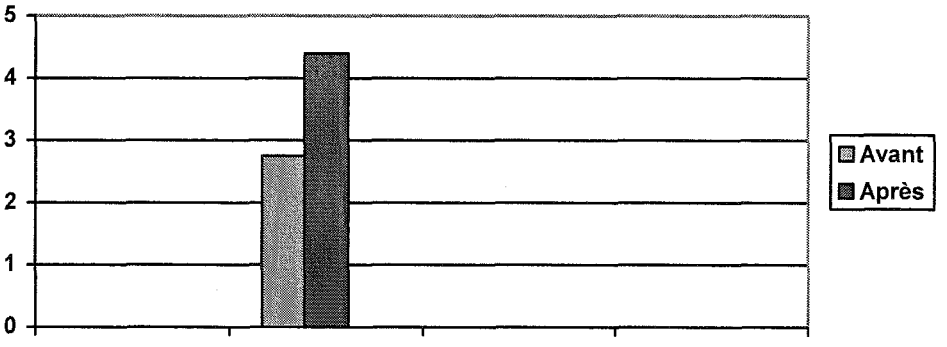


Figure 18 : Box and Blocks : résultats collectifs avant et après rééducation

Le score global est augmenté de 60%.

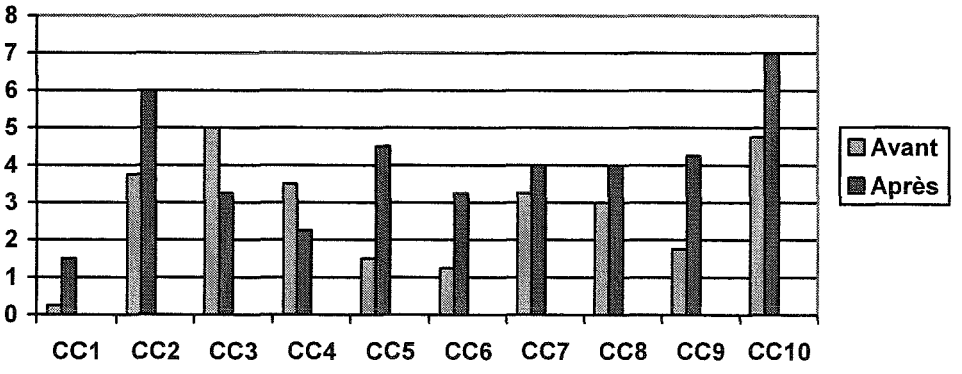


Figure 19 : Purdue : résultats individuels avant et après rééducation

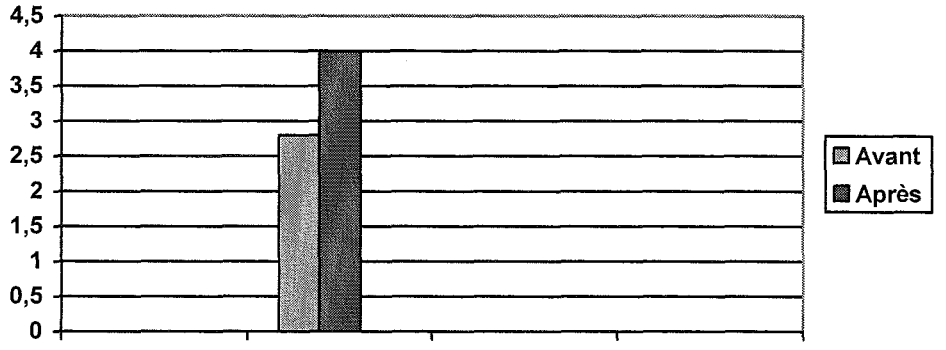


Figure 20 : Purdue : résultats collectifs avant et après rééducation

Le score global est augmenté de 40%.

3.2.3. Questionnaire DASH

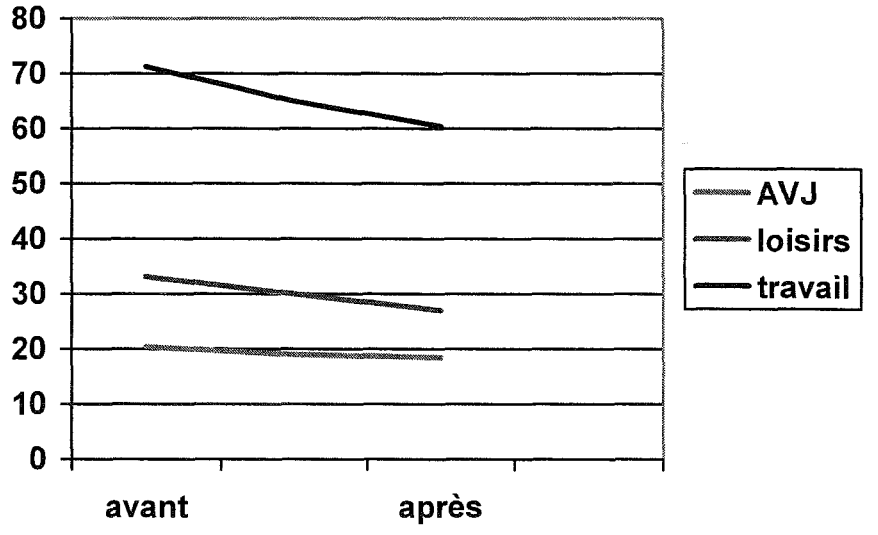


Figure 21 : évolution du questionnaire DASH avant et après rééducation.

3.2.4. Retentissement émotionnel de la pathologie

Pour 4 patients, on note un retentissement émotionnel important de l'exclusion et des signes qui l'accompagnent, avec un score d'anxiété en moyenne de 12,5/21 et un score de dépression de 6,25/21. 4 autres patients n'ont pas de retentissement émotionnel conséquent, et les données manquent pour 2 patients.

4 – Conséquences socioprofessionnelles

Sur le plan socioprofessionnel, 8 patients sont des travailleurs manuels, une patiente est retraitée, et une autre vendeuse. 8 sujets sont pris en charge sous le régime de l'accident de travail (7 des travailleurs manuels et la patiente vendeuse) et 2 patients sous le régime maladie de la Sécurité Sociale.

Sur les 9 patients en activité, tous ont repris une activité professionnelle, en moyenne 3,2 mois après le début de la prise en charge rééducative spécialisée (de 1 à 7 mois) et 10,2 mois après l'incident causal (3,5 à 21 mois). 2 patients ont dû changer de poste de travail : une patiente en raison de l'apparition de tendinites lors de la rééducation, l'autre patient pour des problèmes d'hyperesthésie au contact et d'appréhension à l'idée de se blesser à nouveau (accident initial : amputation digitale distale) ; 1 patient a eu un poste adapté pour une durée d'un mois avant de reprendre le poste antérieur ; 1 patient est retourné au Centre de Réadaptation Professionnelle de Gondreville (qui l'avait adressé en premier lieu) pour l'aider dans sa reconversion qui avait déjà été envisagée avant l'évocation du diagnostic – il en est résulté un stage en entreprise qui a débouché sur une embauche ; les autres patients ont retrouvé leur poste antérieur.

2 patients ont mis en place un dossier COTOREP pour une reconnaissance de qualité de travailleur handicapé (RQTH B) : le cas clinique n°4 en raison de l'exclusion douloureuse de son index, et le cas clinique n°9 pour la raideur qui est venue compliquer l'accident initial (pour ce cas-ci, le dossier COTOREP a été institué avant la mise en route du protocole de rééducation).

5. Résultats de l'étude IRMf

Les résultats de l'étude en IRMf sont à prendre avec beaucoup de précaution : les 2 patients ont présenté des mouvements trop importants de la tête, synchrones des blocs d'activation, à l'origine d'un « bruit » perturbant l'analyse du signal BOLD que l'on souhaite mettre en évidence par les tâches motrices.

On observe une énorme activation des aires occipitales pendant les blocs d'activation témoignant de l'attention visuelle portée au pendule projeté sur l'écran qui signale au patient qu'il doit effectuer la tâche motrice.

On parvient à mettre en évidence les activations habituelles lors d'un mouvement de doigt : activation des aires motrice (précentrale) et sensitive (postcentrale) primaires controlatérales (et pour le cas clinique n°2, activation ipsilatérale dans une moindre mesure), activation de l'aire motrice supplémentaire, activation du thalamus et du cervelet homolatéral. Pour le cas clinique n°3, il semble y avoir également une activation des aires sensitives secondaires (aires 5 et 7 de Brodmann) après rééducation.

Le bruit est trop important pour pouvoir mettre en évidence une différence d'activation entre les 2 patients et pour le cas clinique n°3 d'un examen à l'autre (on observe tout de même une légère augmentation de l'activité pré et postcentrale du doigt sain après rééducation).

Les coordonnées des activations observées sont résumées dans le tableau I.

Tableau III : Coordonnées IRMf

Cas cliniques	Doigt(s) concerné(s)	Région activée	x	y	z	k_E	t-score
CC n°3 Avant rééducation	D2 D	précentral	-37,34	-34,61	44,12	131	9,42
		postcentral	-38,25	-44,62	42,30	131	10,44
	D2 G	précentral	40,07	-39,16	43,21	14956	19,26
		postcentral	32,78	-50,09	39,57	5	7,90
	D3-D4 G	précentral	33,23	-39,16	52,31	153	15,91
		postcentral	32,78	-51	26,84	7	7,47
	D2-D3-D4 G	précentral	42,80	-37,34	42,30	229	12,24
		postcentral	31,87	-50,09	42,30	3	7,32
CC n°3 après rééducation	D2 D	précentral	-32,78	-23,68	40	2038	14,68
		postcentral	-35,52	-34,61	43,21	2038	14,09
	D2 G	précentral	23,68	-26,41	50,49	1935	13,80
		postcentral	42,80	-39,16	42,30	1935	14,67
		Aire 5 de Brodmann	37,24	-48,27	41,39	1935	13,50
Cas clinique n°2	D2 D	précentral	-48,27	-10,01	43,41	139	13,3
		postcentral	-49,18	-24,59	43,41	96	10,59
	D2 G	précentral	47,36	-2,73	36	10	7,58
		postcentral	53,73	-21,85	41,58	150	13,11
	D3-D4 G	précentral	38,25	11,84	41,58	6	7,48
		postcentral	51	10,01	43,41	27	9,37
	D2-D3-D4 G	précentral	51	12,75	43,41	10	9,54
		postcentral	50,09	-7,28	46,67	526	12,02

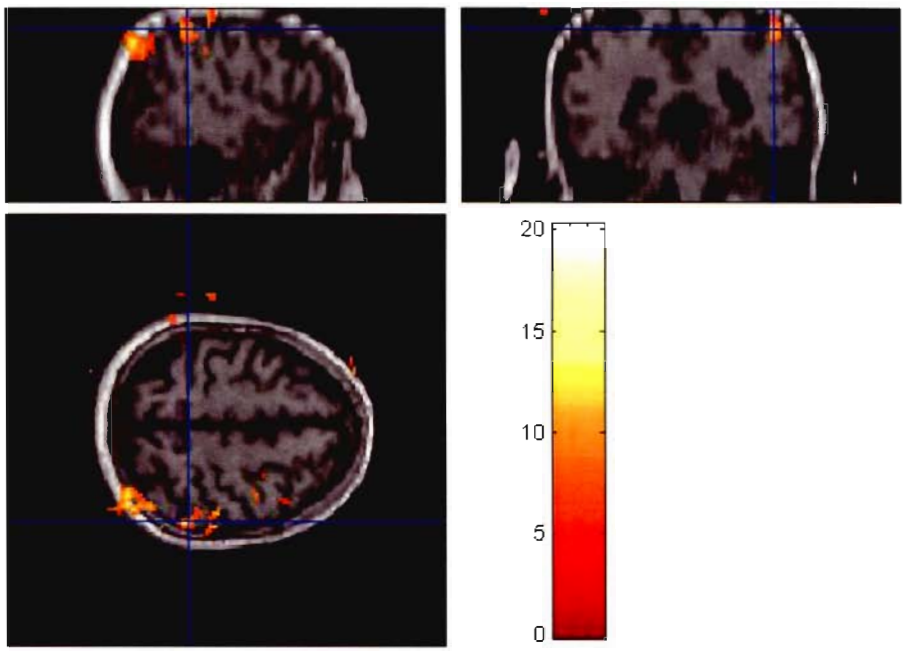


Figure 22 : cas clinique n°2 – activation IRMf de l'index gauche

La croix est centrée sur les activations pré et postcentrales droites (controlatérales).

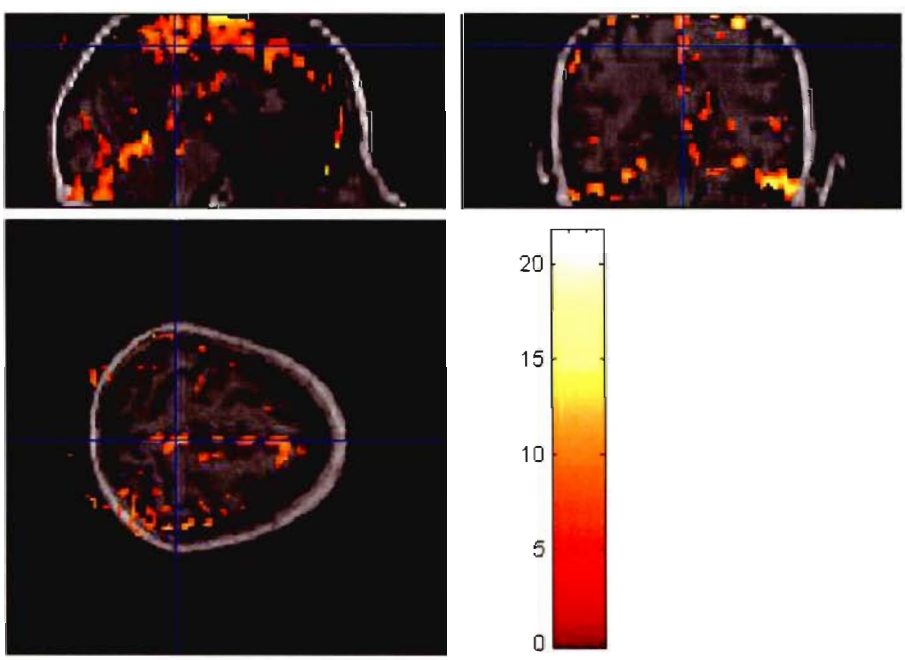


Figure 23 : cas clinique n°3 – signal bruité

Le bruit est tel que l'on ne peut distinguer les activations de l'index gauche.

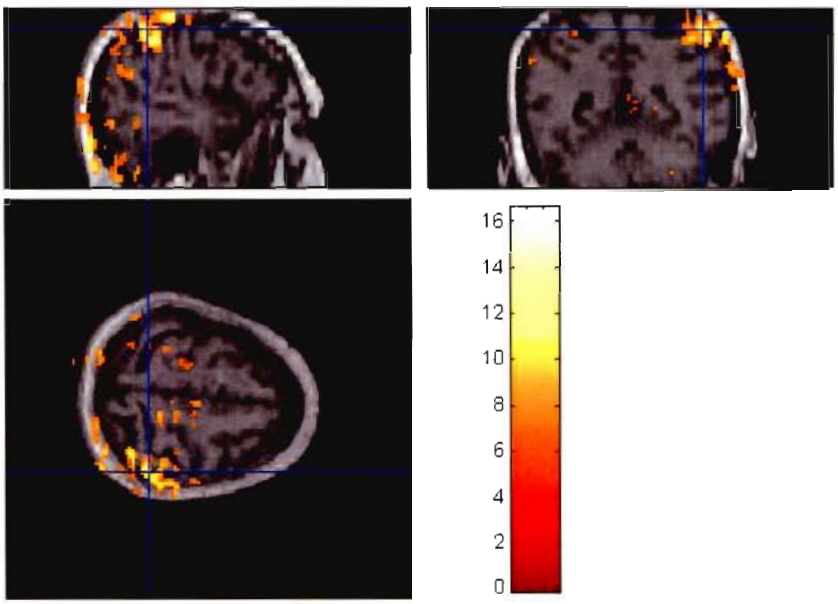


Figure 24 : activation IRMf mouvement index gauche - cas clinique n°3

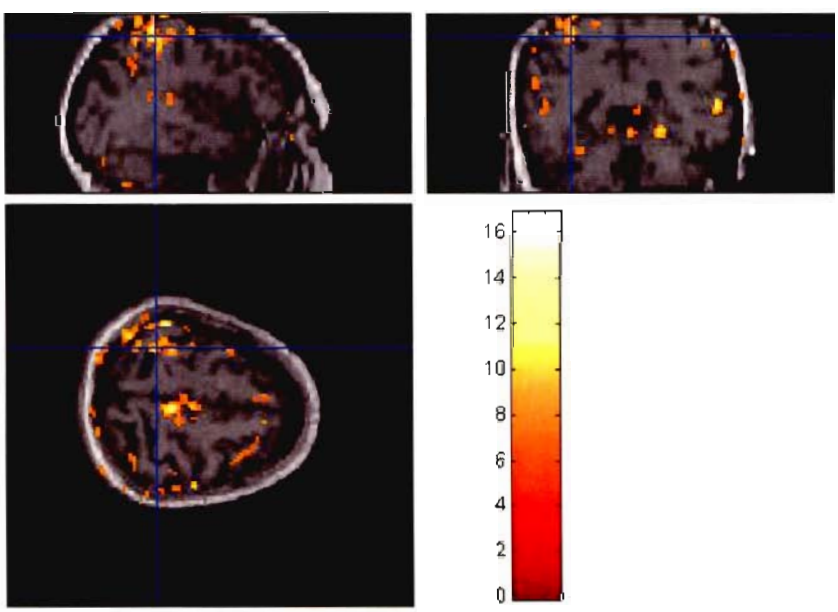


Figure 25 : activation IRMf mouvement index droit – cas clinique n°3

Tableau IV : Récapitulatif des résultats avant et après rééducation

NOM	BILAN ANALYTIQUE								BILAN FONCTIONNEL								Douleur (EVA)		Troubles sensitifs	
	TAM (en degrés)		TPM (en degrés)		Pinch (en kg/force)		Jamar (en kg/force)		400 points (en %)		Box and Blocks (note sur 10)		Purdue (note sur 10)		DASH (en % de pénalité)					
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
1	255	290	295	295	3,16 (7,33)	5 (8)	23,3 (25)	19,3 (22)	53,8	83	0	2,5	0,25	1,5	41,7 100 62,5	34,2 0 100	5	0 à 2 (au froid)	dysesthésies de contact ↓ TL	N
2	225	260	245	270	10 (10)	9 (11)	35 (36)	30 (32)	80,5	97	5	6	3,75	6	13,3 18,7 62,5	11,7 12,5 100	5	4	dysesthésies de contact	N
3	180	230	215	240	7 (8)	6 (8)	10 (14)	20 (26)	59,5	80	3	5	5	3,25	22 100 NC	15 100 NC	2	0	Paresthésies face dorsale de la main ↓ TL	Idem Sensation bizarre à l'effleurement
4	170	180	195	195	4,16 (9)	6,8 (11,3)	20 (44)	22,7 (39)	37	44	0	6,5	3,5	2,25	43 37,5 100	39 ? 100	2 à 7	5,5	Hypoesthésie en bout de moignon	Idem
5	145	175	155	185	7,8 (8,5)	8,5 (9,3)	17,3 (26,3)	22 (31,3)	66	86,7	3	4	1,5	4,5	10,8 0 100	0 0 0	8	0	↓ TL	N
6	90	115	125	125	5 (9)	3,6 (4,8)	21 (27)	16,6 (26)	51	87	4	4	1,25	3,25	15 0 68	11 0 ?	0 à 5	Id	Anesthésie complète	N
7	80	95	90	95	2,5 (3,6)	1,8 (2,3)	15,6 (19,3)	15,3 (21)	57	70	2	3	3,25	4	42,5 0 56,2	27,5 0 56,2	5	4	↓ sensibilité de protection	N
8	105	145	120	165	7 (10,8)	10,5 (12,3)	23,7 (40)	43,3 (47)	61	90	2,5	3	3	4	19,5 25 100	6 ? 30	3	0	↓sensibilité de protection dysesthésies	Disparition des dysesthésies
9	35	35	45	50	4,6 (11)	8,3 (13,8)	29,3 (39,6)	57,3 (59,6)	72	90	3	4	1,75	4,25	7,5 0 43,7		0	0	↓ TL Dysesthésies de contact	Idem
10	185	205	200	240	12,6 (12,8)	15 (14)	48 (50,3)	57 (56)	73	87	5	6	4,75	7	29,2 50 48,5	22,5 50 37,5	5	5 à 8	↓ sensibilité de protection	Idem
Score global	147	173	168	186	6,38	7,45	24,68	30,22	61	81,47	2,75	4,4	2,8	4	20,4 33,12 71,3	18,5 27 60,5	4,4	2,7		

Commentaires concernant le tableau IV

Avant : avant rééducation
Après : après rééducation

Mesure de la force musculaire : le nombre entre parenthèse indique la valeur de la force du côté sain controlatéral.

Questionnaire DASH : la première ligne indique le pourcentage de pénalité dans les AVJ ; la deuxième ligne indique le pourcentage de pénalité dans les loisirs ; la troisième ligne indique le pourcentage de pénalité dans le travail.

Evaluation de la douleur : pour le calcul de la douleur moyenne tous patients confondus, pour les patients 4 et 6 nous avons pris le chiffre moyen de la douleur.
Les résultats après rééducation correspondent à l'évaluation à distance de la rééducation, sauf pour les patients 2 et 8 qui n'ont pas répondu à l'enquête téléphonique.

Troubles sensitifs :
↓ : diminution
TL : toucher léger
N : normal
Id : idem

V - DISCUSSION

1 – Analyse des résultats

1.1. Caractéristiques générales

Les données épidémiologiques caractérisant les patients de notre étude (âge, sexe, profession) sont conformes à la littérature [16, 129]. L'index est le doigt le plus souvent atteint (7 cas sur 10), comme le rapporte Vielh [129].
Les circonstances déclenchantes sont multiples, essentiellement traumatiques (cf résultats pour le détail), et surviennent dans le cadre d'un accident du travail pour 8 patients. Il y a bien évidemment un biais de sélection, les patients étant recrutés en milieu chirurgical spécialisé où le pourcentage de travailleurs manuels présentant un risque potentiel d'accident du travail est élevé.

1.2. Analyse des performances analytiques

Le but du protocole de rééducation est d'obtenir une régression du syndrome d'exclusion segmentaire, c'est-à-dire surtout une amélioration des performances fonctionnelles (dextérité, rapidité et facilité d'exécution d'un geste). Cependant la rééducation fait appel, entre autres, à des méthodes utilisées classiquement pour permettre une récupération des amplitudes articulaires ou une force musculaire compatibles avec une utilisation normale de la main. La progression de ces paramètres mérite d'être soulignée.

1.2.1. Amplitudes articulaires

L'amélioration se ressent surtout sur les amplitudes actives plutôt que passives : le TAM augmente de 17,6% et le TPM de 10,7% après rééducation. Ce résultat semble logique, puisque comme nous l'avons rappelé dans la 1ère partie, les amplitudes articulaires passives sont en général peu altérées, l'exclusion digitale étant liée à un trouble de la commande motrice et non à un problème articulaire, musculo-tendineux ou nerveux.
L'augmentation du TAM traduit une amélioration des amplitudes en flexion essentiellement : le patient arrive à mieux enrouler activement le doigt initialement exclu en hyperextension.

1.2.2. Force musculaire

La force musculaire, mesurée grâce au dynamomètre de Jamar et au Pinch-mètre, est globalement améliorée (+22,4% et +16,7% respectivement). Cependant l'analyse individuelle révèle une diminution de force pour les cas cliniques n°1, 2, 6 et 7 lors de la mesure au dynamomètre de Jamar, et pour les cas cliniques n° 2, 3, 6 et 7 avec le pinch-mètre. On peut supposer que l'intégration du doigt initialement exclu se fait au détriment de la force musculaire, le patient préférant se concentrer sur la tâche d'intégration plutôt que sur celle de mesure de force. Cependant, lors de l'enquête téléphonique à distance de la rééducation, les patients 1, 3, 6 et 7 déclarent avoir l'impression d'avoir retrouvé une force musculaire normale, similaire à celle qu'ils avaient avant l'accident (le patient 2 n'a pas répondu).

Remarques :

- l'amélioration de la force musculaire se ressent aussi sur la main controlatérale, surtout pour la mesure au pinch-mètre (7 patients ont une force controlatérale plus importante après la rééducation pour la mesure au pinch-mètre et 6 patients pour la mesure au dynamomètre de Jamar) : étant donné que l'on demande aux sujets de nombreuses activités bilatérales, il semble logique d'observer un gain de force du côté sain. D'autre part, les progrès plus importants de la force dans les préhensions plus fines sont probablement en relation avec les activités réalisées en ergothérapie, dont le but est de retrouver une certaine dextérité.

- il est plus difficile d'expliquer pourquoi on observe chez certains patients une diminution de la force au niveau du membre sain controlatéral à l'issue de la rééducation. Cependant la force musculaire est une mesure dynamique, évolutive, qui varie d'un jour à l'autre, et l'on peut supposer que si l'examen avait été réalisé à un autre moment, les résultats obtenus auraient été différents.

1.2.3. Bilan trophique et musculaire

La valeur du testing musculaire n'a pas en elle-même beaucoup d'intérêt. Le testing est réalisé uniquement pour s'assurer de l'absence de pathologie musculotendineuse,

osseuse et/ou cartilagineuse ou de paralysie sous-jacente liée à une lésion nerveuse périphérique ou centrale qui ne permettrait pas une rééducation selon les modalités choisies.

Les troubles trophiques ont tendance à perdurer malgré les soins mis en place (physiothérapie, massages, gant de compression) : sur les 7 sujets présentant des troubles à type d'œdème, de modification de la chaleur locale ou de dystrophie unguéale, 1 seul les a vu disparaître et 2 ont remarqué une légère amélioration. L'intolérance au froid est le problème qui semble gêner le plus les patients. L'évolution des troubles trophiques semble indépendante de l'évolution de l'exclusion : leur absence au départ (cas clinique n°1) ou leur régression (cas cliniques n°4, 9) ne sont pas forcément synonymes de régression du syndrome d'exclusion, de même que leur persistance (cas cliniques n°3, 6, 7) n'empêche pas l'exclusion de disparaître.

1.3. Analyse des facteurs favorisant la survenue ou la pérennisation de l'exclusion

1.3.1. Douleurs et troubles sensitifs

La douleur semble être un cofacteur important du syndrome d'exclusion segmentaire : elle est présente au début de la prise en charge rééducative chez 9 patients (tous sauf le patient n°9) et régresse pour 7 d'entre eux (cas cliniques n°1, 2, 3, 4, 5, 7 et 8). Pour autant, l'exclusion persiste, à un degré moindre certes, pour les cas cliniques n°1 et 4. Le sujet n°10 allègue des épisodes douloureux identiques à ceux qu'il présentait avant la rééducation, et pourtant en situation de bilan, ses troubles d'intégration segmentaire ne sont plus décelables.

Bien sûr, il faut nuancer ces données : nous avons évalué la douleur dans Service de Rééducation, au départ du protocole, et non à la phase aiguë où les patients auraient probablement obtenu des scores beaucoup plus élevés à l'EVA, bien que nous ne disposions pas de ces données.

Il semble logique de penser que c'est la douleur à la phase initiale, accompagnant de façon quasi obligatoire les phénomènes inflammatoires, qui est sinon le facteur déclenchant, au moins un cofacteur primordial du syndrome d'exclusion

segmentaire.

En ce qui concerne les troubles sensitifs, là encore leur pérennisation n'est pas forcément péjorative pour le devenir de l'exclusion (cas cliniques n°3, 6, 10). Le cas clinique n°6 présentait même une anesthésie complète au départ, et pourtant maintenant l'intégration est complète. Au contraire, le cas clinique n°1 a vu ses troubles sensitifs disparaître, mais l'exclusion persiste.

Nous reviendrons plus tard sur les mécanismes physiopathologiques intervenant dans le cadre des troubles sensitifs et de la douleur.

1.3.2. Immobilisation initiale

8 patients sur 10 ont eu une immobilisation à la phase initiale, pour une durée moyenne de 6,5 semaines (de 1 à 27 semaines). Le patient qui a eu la durée d'immobilisation la plus longue (sujet n°9) présente toujours une exclusion intermittente à ce jour, mais d'un autre côté, le patient dont le doigt est arthrodésé se sert parfaitement normalement de celui-ci, et à l'inverse les 2 patients qui n'ont pas eu d'immobilisation à la phase initiale présentent toujours une exclusion.

L'immobilisation intervient au même titre que la douleur ou les troubles sensitifs dans la genèse de l'exclusion (cf infra).

1.3.3. Kinésithérapie à la phase initiale

Des séances de kinésithérapie libérale ont été prescrites par le chirurgien rapidement après la levée de l'immobilisation ou en post-opératoire immédiat selon les cas, pour 6 patients,1 patient a été pris en charge immédiatement en rééducation spécialisée un autre a pratiqué des séances d'auto-rééducation, le cas clinique n°1 n'a pas bénéficié de rééducation post-traumatique.

On est en droit de se demander si la prise en charge immédiate en rééducation conventionnelle par kinésithérapie (mobilisations actives et passives, massages) est utile dans la prévention de l'apparition de l'exclusion. En fait, la durée et la

fréquence des séances de kinésithérapie libérale sont nettement inférieures à celles pratiquées au cours de ce protocole, et aucune séance d'ergothérapie n'y est associée. Bien évidemment, on ne peut pas adresser tous les patients en centre spécialisé dans l'hypothèse où un syndrome d'exclusion segmentaire viendrait à apparaître.
L'intérêt de la rééducation libérale dans ce cas est de dépister suffisamment tôt les patients exclus pour leur permettre de bénéficier secondairement d'une prise en charge spécifique.

1.3.4. Délai du diagnostic et de la prise en charge rééducative

Notre étude ne nous permet pas d'affirmer avec certitude qu'une prise en charge plus précoce permet d'obtenir de meilleurs résultats fonctionnels : les cas cliniques 1 et 2 ont été pris en charge assez rapidement en rééducation (respectivement 3 et 2 mois après la lésion initiale). Pour autant l'évolution se révèle défavorable pour le sujet 1 et partiellement favorable pour le sujet 2. Au contraire, les patients 7 et 10 sont pris en charge plus tardivement, à 6 et 7 mois respectivement, et leur syndrome d'exclusion segmentaire régresse. Cependant, on peut noter que chez les 2 patients rééduqués le plus tardivement (cas cliniques 4 et 9) l'évolution est plutôt péjorative (surtout pour le patient 4).
Ce qu'il faut retenir, c'est qu'il faut à tout prix éviter l'installation de l'exclusion par la mise en route précoce d'une rééducation plus intensive que celle proposée par les techniques conventionnelles, et qu'une fois le diagnostic posé, il ne faut pas tarder à débuter la rééducation. Néanmoins, il reste toujours intéressant d'inclure un patient dans un protocole de mobilisation forcée, même si les troubles sont installés depuis plusieurs mois, car on peut toujours escompter un bénéfice.

1.4. Analyse des performances fonctionnelles

L'analyse des résultats individuels et collectifs des **tests fonctionnels** montre une amélioration significative de tous les paramètres : le score du bilan 400 points augmente globalement de 33,3% ; le gain pour le test de dextérité Box and Blocks est de 60% et celui du test Purdue de 40%.

Pour le **questionnaire DASH**, les scores concernant les AVJ et les activités de loisirs tendent à s'améliorer pour tous les patients, alors que le pourcentage de pénalité dans la vie professionnelle ne régresse que pour 2 patients. Pour les autres, il reste stable ou s'aggrave. On peut avancer l'hypothèse selon laquelle au début de l'évolution, les patients évaluent mal le retentissement de leur exclusion sur les activités professionnelles en raison de l'éventuelle anosognosie associée. La rééducation les aide à prendre conscience du doigt exclu et des limitations que cette exclusion engendre. D'aucuns pourraient se demander s'il ne s'agit pas plutôt d'un manque flagrant de motivation pour le retour à la vie professionnelle, d'autant plus que 8 patients de notre série sont pris en charge sous le régime de l'accident du travail. Cependant, on peut balayer cette critique en soulignant que tous les patients de cette série sont retournés au travail en moyenne 3 mois après le début de la prise en charge rééducative, et ce bien qu'ils aient fait une évaluation péjorative du retentissement de l'exclusion sur les activités professionnelles.

En **situation écologique (bilan cuisine)**, 4 patients ne présentent plus du tout d'exclusion, 5 patients présentent une exclusion spontanée intermittente et 1 patiente a tendance à relatéraliser les gestes du fait d'une extension de l'exclusion au doigt adjacent.

A distance de la rééducation (recul de 17 mois au minimum), sur les 8 patients recontactés :

- 5 patients ont eu une évolution très favorable avec disparition du syndrome d'exclusion segmentaire (cas cliniques n°3, 5, 6, 7, 10),
- 1 patient (cas clinique n°9) a eu une évolution qu'il juge favorable, bien que persiste de façon intermittente un certain degré d'exclusion,
- 2 patients (sujets n°1 et 4) ont eu une évolution défavorable, avec pérennisation des troubles d'intégration segmentaire.

Les patients 2 et 8 n'ont pas répondu à l'enquête téléphonique. On rappelle qu'à l'issue du séjour en rééducation ils présentaient encore une discrète exclusion intermittente.

Comparaison des résultats fonctionnels aux données de la littérature

En comparaison avec 10 patients appariés en termes de pathologie initiale et de

topographie de l'exclusion, sélectionnés dans l'étude menée par Vielh [129] en 1994, les bénéfices obtenus par l'activité forcée semblent supérieurs à ceux obtenus par la rééducation conventionnelle. En effet, 6 des 10 patients étudiés alors ont eu une évolution défavorable, 2 une évolution plus ou moins favorable (exclusion intermittente) et 2 seulement une évolution satisfaisante avec régression totale du syndrome d'exclusion segmentaire.

Retentissement émotionnel :

Quatre patients déclarent souffrir sur le plan émotionnel du fait de l'exclusion. C'est surtout de l'angoisse qui est ressentie. Pour les cas cliniques n°1, 2 et 4, le syndrome d'exclusion s'accompagne de douleurs cotées à 5 au départ. Pour le cas clinique n°6, il existe une anesthésie complète du doigt concerné. Ces deux types de situation paraissent logiquement anxiogènes. Le retentissement sur le versant dépressif est moins marqué et tend à s'améliorer avec la rééducation sauf pour le patient n°4 qui continue de souffrir de douleurs importantes. Les cas cliniques 1 et 4 ont eu une évolution péjorative de leur syndrome d'exclusion segmentaire, et le cas n°2 présentait toujours une exclusion intermittente à l'issue de la rééducation. Doit-on voir un lien entre le retentissement émotionnel d'une pathologie et son évolution négative ?

1.5. Analyse des conséquences socio-économiques

Dans le contexte actuel, il semble important de souligner l'impact des thérapeutiques contraintes sur les données socioéconomiques que le médecin rééducateur doit inévitablement prendre en compte lorsqu'il prend en charge un patient.

La durée moyenne de prise en charge au Service de Rééducation de la Main est de 4,1 semaines (de 3 à 7 semaines). Nous avions prévu au départ une durée de 3 semaines, mais ceci s'est avéré insuffisant pour 4 patients. Ce séjour de 4,1 semaines s'avère nettement plus court que celui qu'ont fait les patients de Vielh [129], dans le cadre d'une rééducation conventionnelle (3,35 mois en moyenne – de 1 à 6 mois).

La durée moyenne de l'arrêt de travail est de 10,8 mois à compter de la date de l'accident initial, et de 3,2 mois à partir du début de la prise en charge rééducative.

Dans la série de Vielh, la durée de l'arrêt de travail est un peu plus courte (9,6 mois), mais il faut prendre en considération que notre groupe de patients est faible en nombre, et de ce fait, la durée moyenne d'arrêt de travail se trouve considérablement allongée par les patients 4 et 9, qui n'ont pas travaillé pendant 26 et 24 mois respectivement à cause de leur accident de travail.

Dans notre série, sur les 9 patients en activité, 5 ont retrouvé leur poste antérieur, 1 patient a dû définitivement changer de poste de travail (cas clinique n° 4), 1 autre a eu un poste adapté pour une durée de 1 mois, 1 patiente a changé son poste de travail, non pas à cause de l'exclusion, mais en raison de l'apparition de tendinites (de de Quervain, épicondylite et épitrochléite) liées à une hyper-sollicitation de son membre supérieur lors du protocole de rééducation. Enfin le sujet n°9 ayant été licencié de son entreprise (licenciement économique), celui-ci, aidé dans ses démarches par l'équipe du centre de Réadaptation Professionnelle de Gondreville, a changé d'orientation professionnelle.
Une fois de plus, les résultats semblent intéressants comparés à ceux de la littérature : dans l'étude déjà maintes fois citée (et pour cause, c'est la seule portant sur le sujet), parmi les 10 patients appariés (soit 9 sujets en activité professionnelle), 4 ont retrouvé leur poste antérieur, 4 ont dû changer définitivement de poste en raison de l'exclusion, et le dernier a pris une retraite anticipée.

Enfin, 2 de nos patients ont sollicité une reconnaissance de qualité de travailleur handicapé (RQTH) auprès de la COTOREP, le premier (cas clinique n°4) en raison de la persistance d'une exclusion douloureuse de son index et le second (cas clinique n°9) à cause de la raideur engendrée par les lésions initiales (demande faite avant la prise en charge rééducative, et qui, incidemment, l'a aidé dans sa reconversion professionnelle).

Au total, l'analyse des résultats démontre une efficacité supérieure des thérapeutiques contraintes en termes de performances fonctionnelles, de durée de rééducation et d'arrêt de travail. Un bénéfice non moins important est obtenu au niveau des caractéristiques analytiques mesurées.

1.7. Analyse des résultats obtenus en IRMf

L'analyse des images IRMf retrouve un bruit trop important pour que l'on puisse considérer les résultats comme probants. Les clusters d'activation sont très volumineux, conférant une valeur statistique peu fiable au signal BOLD observé, d'où une difficulté d'interprétation : l'activité observée est-elle liée à une véritable activation ou à un mouvement ?
Nous avons simplement mis en évidence ce qui est déjà connu dans la réalisation du mouvement, à savoir une activation des régions normalement impliquées (MI, SI controlatéraux, SMA, thalamus et cervelet ipsilatéral). On a l'impression que pour le cas clinique n°3, après rééducation il y a une activation plus volumineuse des aires sensorimotrices primaires pour les mouvements du doigt sain et des aires sensorielles secondaires pour les mouvements du doigt anciennement exclu.

A notre connaissance, une seule étude par IRMf a été menée jusqu'à présent [50], dont les résultats sont les suivants : il existerait un déficit d'activité du vaste réseau impliqué dans la programmation et l'exécution du geste (cortex prémoteur, cortex pariétal supérieur controlatéral et partie supérieure du cortex pariétal inférieur controlatéral), déficit corrélé à l'intensité du syndrome d'exclusion segmentaire. L'activité des aires primaires serait proche de la normale. La conclusion de cette étude est que le syndrome d'exclusion segmentaire induit une réorganisation étendue intéressant les régions impliquées dans l'apprentissage moteur (cortex prémoteur et pariétal).

2 – Hypothèses physiopathologiques

2.1. Dysafférentation

Les syndromes d'exclusion segmentaire ont tous en commun une phase initiale inflammatoire, que l'incident causal soit traumatique ou infectieux, à l'origine d'un dérèglement proprioceptif (modification des gains des capteurs ligamentaires, capsulaires, cutanés et/ou musculo-tendineux) qui est renforcé par l'immobilisation imposée par la douleur ou à visée thérapeutique (traitements orthopédiques).
Les propriocepteurs envoient des informations erronées aux structures intégratives du

système nerveux central, agissant ainsi comme des leurres pour les centres de contrôle moteur, qui en réponse produisent un comportement mal adapté pouvant aboutir à une inactivité (apprentissage de l'inactivité ou « learned non-use phenomenon ») éventuellement associée à des postures anormales.
Les pathologies associées (syndrome algoneurodystrophique, névrome ...) font perdurer l'inactivité et donc l'exclusion segmentaire.
Ces comportements inadaptés traduisent une plasticité « négative » de la fonction motrice, pouvant se produire à tous les niveaux de réalisation du mouvement : cortex, noyaux gris centraux, cervelet, moelle épinière et effecteurs périphériques.

2.2. Remodelage des cartes somatotopiques sensorimotrices

La modification de la représentation somatotopique des cartes corticales est avérée après déafférentation secondaire à une amputation acquise [127, 103] une réimplantation de main [109], une lésion nerveuse périphérique [22, 23] (voir première partie).

On peut supposer que dans les suites d'une dysafférentation survenant dans le cadre d'un syndrome d'exclusion segmentaire, le même type de réorganisation corticale se met en place. Ainsi, la représentation du segment de membre exclu (le doigt) serait colonisée par la représentation des doigts adjacents, comme dans l'amputation, en raison des perturbations des afférences périphériques ciblant cette région. A la phase aiguë post-traumatique, le remodelage des cartes corticales se fait selon une organisation somatotopique grossière par démasquage d'un réseau de connectivité latente [135]. Dans un deuxième temps, la redistribution devient spatialement organisée selon une nouvelle somatotopie. Cette hypothèse pourrait expliquer notamment pourquoi chez certains patients il existe un certain degré d'anosognosie : comment s'apercevoir qu'un doigt ne fonctionne pas correctement si sa représentation corticale est altérée ?

Le fait de mettre en place une activité forcée du segment exclu oblige le patient à y prêter attention, et le mouvement, par le biais d'une réafférentation proprioceptive et tactile, permet d'élargir de nouveau les champs récepteurs du doigt concerné au niveau central.

Ce type de réorganisation cérébrale correspond au modèle de substitution fonctionnelle que nous avons décrit en première partie (voir paragraphe 2.3. du premier chapitre).

Sur le plan structural, on peut supposer que l'inflammation initiale, la douleur ou l'immobilisation (ce qui revient au même) induisent une prépondérance des circuits neuronaux inhibiteurs à médiation GABA-ergique, empêchant progressivement l'expression fonctionnelle des neurones dévolus au doigt concerné. Ce modèle de plasticité négative est contrecarré par l'activité forcée, qui met en jeu probablement des phénomènes tels que la dérépression synaptique.

2.3. Perturbation de la réalisation du mouvement

Avec l'avènement des techniques d'imagerie cérébrale fonctionnelle, notamment de l'IRMf, il est dorénavant impossible de cantonner le mouvement à une simple activation corticale à un endroit donné. La réalisation d'un mouvement met en jeu un large réseau cortico-sous-cortical : cortex sensorimoteur primaire, aire motrice supplémentaire, cortex prémoteur, thalamus, noyaux gris centraux et cervelet.
L'IRMf permet de mettre en évidence les activations cérébrales au cours des différentes étapes du mouvement : l'intention, la préparation et l'exécution.
On peut se poser la question de savoir si l'exclusion segmentaire est en rapport avec la perturbation d'une de ces étapes fondamentales du mouvement, se traduisant par une modification des activations corticales normalement observées.

L'intention de bouger correctement le doigt exclu peut éventuellement être perturbée dans les cas où le patient présente une anosognosie. Comme nous venons de l'évoquer, on ne peut pas avoir l'intention de bouger un doigt si sa représentation corticale n'existe plus.
De même, si les informations sensitives arrivent déformées au niveau cortical, concernant la position du doigt notamment, la préparation du mouvement doit être troublée.

Enfin, bien évidemment, l'étape d'exécution du mouvement est forcément perturbée, ce qui aboutit par exemple au schème en extension volontiers observé dans l'exclusion segmentaire.

L'étude IRMf ne permet pas d'étayer les hypothèses soulevées (voir paragraphe 4.2. de ce chapitre), aussi on ne peut qu'émettre des suppositions quant aux perturbations des activations corticales.

Tout d'abord, il faut envisager les problèmes survenant au niveau des aires sensorielles primaires et secondaires, où sont intégrées des informations visuelles et somatosensorielles. On sait que l'aire pariétale supérieure (aire 5) intervient dans le contrôle de la position spatiale du membre controlatéral. Le cortex pariétal intervient également dans les mouvements d'approche et de saisie de l'objet. La distribution somatotopique connue aux niveau des aires sensorielles primaires existe également au niveau des aires secondaires [35, 78]. Il est donc logique de penser que dans le cadre d'une exclusion digitale, la représentation normale du doigt exclu est colonisée par celle des doigts adjacents, ce qui pourrait se traduire par une modification de l'activation de ces aires lors du mouvement (par exemple pour un index, il devrait se produire une amplification de la zone d'activation qui engloberait D2, D3, D4, D5).

Les informations somesthésiques arrivent ensuite au niveau du cortex prémoteur (BA6) où se passe la planification et l'apprentissage du mouvement. Il devrait donc y avoir là également une modification des activations.

Dans notre étude IRMf, l'aire motrice supplémentaire semble être activée normalement lors des mouvements du doigt exclu.

Enfin, le cortex préfrontal et le gyrus cingulaire antérieur, qui codent pour l'attention spatiale, pourraient présenter des perturbations d'activation.

3 – Principes thérapeutiques

3.1. Lutte contre les phénomènes inflammatoires

On a vu que l'inflammation, par la mise en jeu de l'œdème et de la douleur, joue un rôle primordial dans l'apparition du syndrome d'exclusion. Il semble donc indispensable de mettre en œuvre tous les moyens possibles pour lutter contre ces phénomènes, et ce, dans l'idéal, dès la phase aigue post–traumatique. Les traitements

antalgiques doivent être d'emblée adaptés à l'intensité de la douleur (mesurée grâce à l'EVA), et il ne faut pas hésiter à avoir recours à des antalgiques de classe II ou même des opioïdes, voire des blocs sensitifs sélectifs mis en place par les anesthésistes quand on sait que la pathologie initiale en cause est source de douleurs intolérables. L'intérêt des blocs anesthésiques est de pouvoir pratiquer immédiatement des séances de rééducation, le patient et le thérapeute n'étant pas gênés par la douleur, empêchant ainsi l'apprentissage de l'inactivité.
La physiothérapie à visée antalgique et anti-oedémateuse vient compléter les traitements médicamenteux conventionnels : massages, ultrasons, pressothérapie…

Bien évidemment, même si ces traitements n'ont pas été mis en place à la phase initiale, il est toujours intéressant d'y avoir recours à l'entrée en Rééducation.

3.2. Traitement des troubles sensitifs

Les troubles sensitifs, à type de dysesthésies, d'hyperesthésie, de paresthésies ou de diminution de la sensibilité superficielle, sont une constante dans la description du tableau d'exclusion segmentaire. Les informations sensitives transmises au SNC sont erronées suite aux modifications des capteurs engendrées par l'inflammation initiale.
La désensibilisation pratiquée au moyen de bacs comportant des matériaux de textures différentes, agit selon un mode d'habituation des capteurs : les messages perçus au départ comme douloureux ou désagréables ne sont plus reconnus comme tels à la faveur d'un bombardement sensoriel d'agressivité croissante.
Le réétalonnage des sensations intervient au cours de toutes les activités de rééducation proposées, en particulier en ergothérapie : reconnaissance de traits sensitifs de plus en plus complexes, comparaison des sensations droite-gauche lors d'activités bimanuelles…

3.3. Thérapeutiques contraintes

Les données de la littérature concernant les thérapeutiques contraintes sont basées sur des travaux menés chez des patients présentant une pathologie neurologique centrale (AVC le plus souvent). Aussi, cette étude préliminaire s'inspire de ces méthodes pour les appliquer au syndrome d'exclusion segmentaire, mais il est évident que de

nombreuses adaptations sont nécessaires.
Le remodelage des cartes corticales est dépendant de l'expérience qui permet une restitution des habilités sensorimotrices.

3.3.1. Qu'appelle-t-on thérapeutique contrainte ?

Lors de notre exposé en première partie, nous avons pu voir que les termes « thérapeutiques contraintes » peuvent s'appliquer en fait à de nombreuses techniques de rééducation : restriction du côté sain pour forcer l'utilisation du segment de membre atteint, robot-thérapie, réafférentation sensorielle multimodale, miroir inversé.
Le but de notre étude étant de réintégrer le plus rapidement et le plus durablement possible un segment de membre exclu, nous avons choisi de ne pas se cantonner à une seule méthode. D'ailleurs, plusieurs travaux démontrent une efficacité supérieure de la rééducation combinant plusieurs techniques contraintes plutôt qu'une seule dans le cadre de pathologies neurologiques centrales [15, 25, 26, 56, 119].

3.3.2. Modalités de traitement

D'après les données de la littérature, plusieurs paramètres semblent importants dans la mise en place d'un protocole d'activité forcée :

- la durée de la rééducation : un minimum de 2 semaines semble requis pour obtenir des résultats durables et performants (Bonifer, Hesse 2003, Wolf 2002). Après avoir testé cette durée de rééducation sur 2 patients (qui ne figurent pas dans cette étude), il nous a semblé préférable de prévoir un séjour de 3 semaines, voire de le prolonger quand cela s'avère nécessaire.

- le temps consacré quotidiennement aux activités de rééducation : 5 à 6 h d'activités sont préconisées, réparties également entre la kinésithérapie et l'ergothérapie. En comparaison avec les techniques classiques de rééducation dans le cadre des syndromes d'exclusion segmentaire, une durée de 5 à 6h effectives est nettement supérieure au temps généralement imparti. Cependant, afin de ne pas engendrer de phénomènes douloureux et de ne pas

lasser le patient, ce temps de rééducation est réparti en plusieurs séances de courte durée (20 minutes au maximum).

- la mise en route la plus rapide possible : il n'est jamais trop tard pour mettre en route un traitement par mobilisation forcée, comme le démontrent les études menées chez le patient hémiplégique [66, 74, 75, 134]. Cependant il nous semble important de débuter la rééducation le plus tôt possible pour éviter l'installation de l'apprentissage de l'inactivité, dans l'idéal, soit en post-traumatique ou post-opératoire immédiat avec l'accord du chirurgien, et sous couvert d'une prise en charge de la douleur adéquate, soit dès la levée de l'immobilisation dans les cas de fractures traitées orthopédiquement.

- la répétition des activités : une des caractéristiques des thérapeutiques contraintes est la répétition du geste [71], et c'est d'ailleurs le principe même de la robot-thérapie.

- la motivation du patient : il apparaît évident que pour suivre un protocole d'activité forcée (4h d'activités répétitives quotidiennes pendant 3 semaines au minimum), il est nécessaire que le patient soit suffisamment motivé.

- la disponibilité des thérapeutes : la multiplicité des tâches demandées, la surveillance des patients, les sollicitations verbales *etc*... nécessitent une grande implication de la part des thérapeutes.

- la combinaison de plusieurs méthodes de rééducation (cf paragraphe précédent).

3.3.3. Méthodes employées

a – Le miroir inversé

Les miroirs sont utilisés dans la vie quotidienne pour explorer et contrôler l'espace personnel et extra-personnel qui n'est pas accessible directement par la vision. La reconnaissance des informations visuelles projetées par un miroir nécessite le

traitement de données spécifiques (rotation et inversion de l'image, appréciation de la profondeur) pour la construction de représentations mentales adaptées. Les procédures d'analyse et de traitement des images renvoyées par le miroir sont probablement assez simples en ce qui concerne la reconnaissance de son corps et de son visage, et se mettent en place dès l'enfance, puisqu'elles contribuent à la construction de l'image corporelle et de l'image de soi. En revanche, l'utilisation du miroir pour contrôler l'espace extra-personnel requiert des procédures plus complexes mettant en jeu des informations autres que celles fournies uniquement par le miroir [16'].

Les miroirs sont employés en rééducation fonctionnelle dans certaines situations bien spécifiques :

- Ramachandran et al [103] ont proposé l'utilisation d'un miroir chez les **amputés** de membre supérieur pour la prise en charge des fantômes douloureux. Les auteurs emploient une boîte rectangulaire, ouverte sur le haut et le devant, séparée en deux par un miroir placé verticalement. Le patient introduit sa main saine dans l'une des ouvertures ménagées à l'avant de la boîte, et en regardant dans le miroir, il voit « réapparaître » sa main amputée. Les mouvements réalisés par la main saine donnent l'illusion de mouvement au niveau du fantôme. Plus étonnant encore, la sensation de toucher imprimée à la main saine est reproduite également au niveau du fantôme. Enfin, il est aussi possible grâce à cette manipulation sensorielle de faire réapparaître un fantôme qui avait disparu, même depuis plusieurs années. Les auteurs ont employé cette technique dans le cadre du traitement des douleurs fantômes : les patients voyant virtuellement leur main fantôme, il leur est plus facile de la faire bouger, de la « décrisper » ou « désengourdir ». L'hypothèse est que le fantôme douloureux émane de l'interruption de l'interaction normale entre l'intention motrice et le feedback visuel ou proprioceptif approprié, ce que vient corriger le miroir.

- Une deuxième utilisation intéressante du miroir est avancée par McCabe et al [84'] dans le cadre du traitement du **syndrome douloureux régional complexe de type 1**. Les sujets de cette étude devaient si possible bouger

simultanément le membre sain et le membre douloureux, alors qu'un miroir était placé entre les deux, empêchant la vue du membre pathologique. Les mouvements réalisés par le membre sain donnent l'illusion de mouvement facile et indolore au niveau du membre atteint. Rapidement, les patients voient une régression des douleurs et des troubles trophiques présents à la phase initiale : l'entrée visuelle que constituent les mouvements du membre sain ré-établit une relation normale entre feedback sensitif/visuel et exécution motrice.

- Enfin, Beis et al [16'] proposent l'emploi d'un miroir inversé dans l'étude du syndrome d'**héminégligence** chez des sujets souffrant de lésions cérébrales pariétales : 4 malades sont placés devant un miroir normal ou un miroir inversé et il leur est demandé de venir saisir et déplacer des objets placés devant eux, mais cachés par une boîte, en se servant de image réfléchie comme guide. Devant le miroir normal, ils négligent le territoire contra-lésionnel et saisissent normalement les objets situés dans l'espace ipsilésionnel. Devant le miroir inversé, l'inverse se produit : le territoire ipsilésionnel est négligé alors que les objets sont correctement saisis dans le territoire contra-lésionnel. Quand la même expérience est menée chez des sujets sains, ceux-ci utilisent les différentes caractéristiques des objets comme guides pour corriger leurs mouvements avant de saisir. Les patients cérébrolésés, eux, ni parviennent pas. Les auteurs supposent qu'il existe donc un trouble de l'ajustement des représentations spatiales nécessaires pour manipuler les informations données par un miroir dans cette situation de leurre sensoriel.

Qu'en est-il dans la situation du syndrome d'exclusion segmentaire ?

Face au miroir inversé, tous les patients se déclarent perplexes : le doigt exclu dans une position anormale se retrouve de l'autre côté. Lorsqu'il leur est demandé de réaliser une activité bimanuelle (visser/dévisser des boulons le long d'une paroi) en regardant l'image réfléchie par le miroir inversé, le doigt normalement exclu apparaît fonctionner normalement. L'acte moteur produit est en adéquation avec le feedback sensitif et visuel, par le biais de ce leurre sensoriel.

A vrai dire cependant, contrairement aux patients cérébrolésés, certains sujets de cette étude s'adaptent rapidement à la nouvelle situation, alors que d'autres avouent être trop perturbés par le miroir inversé et préfèrent regarder directement leurs mains plutôt que la réflexion de celles-ci dans le miroir.

b – Arthromoteur

Nous nous sommes inspirés des techniques de robot-thérapie pour proposer l'utilisation de l'arthromoteur dans le cadre de ce protocole d'activité forcée.
Cette machine imprime au segment de membre désigné (en l'occurrence un doigt dans cette étude) un mouvement répétitif passif de flexion/extension, dont les paramètres sont définis avant l'installation du patient en fonction de l'examen clinique afin d'éviter l'apparition de douleurs.
Outre le fait que l'arthromoteur permet d'améliorer considérablement les amplitudes articulaires, cette activité répétitive permet de réafférenter les structures intégratives du SNC en ce qui concerne les données de position du doigt concerné et d'amplitude de mouvement, tant sur le plan proprioceptif que sur le plan visuel puisqu'il est demandé au patient de fixer le doigt qui travaille.
Cette activité met donc en jeu plusieurs facteurs de plasticité de la fonction motrice : l'activité répétitive, la réafférentation proprioceptive et l'attention, paramètres indispensables pour l'apprentissage moteur comme nous l'avons vu en première partie.

c – Mobilisation active/passive

Les séances sur arthromoteur sont complétées par une mobilisation passive par le thérapeute et une mobilisation active globale et sélective en présence du kinésithérapeute qui encourage le patient pour obtenir des mouvements les plus amples possibles.
On sait que les mouvements actifs et passifs interviennent différemment sur les processus d'activation du SNC. Reddy et al [107]démontrent en IRMf un discret déplacement postérieur des activations des cérébrales au niveau des aires sensorimotrices primaires bilatérales lors de mouvements passifs par rapport aux mouvements actifs, suggérant une implication plus importante du cortex sensoriel

lors de mouvements passifs. Mima et al [88] trouvent des résultats légèrement différents dans une étude en PET : les mouvements actifs de flexion/extension du majeur provoquent une activation du cortex sensorimoteur primaire controlatéral, du cortex prémoteur, de l'aire motrice supplémentaire, des aires somatosensorielles secondaires bilatérales, des ganglions de la base et du cervelet ipsilatéral. Les mouvements passifs du même doigt activent seulement les aires somatosensorielles primaires et secondaires controlatérales (le mouvement passif est réalisé de telle sorte que seule la proprioception est mise en jeu, avec une contribution minimale des autres modes sensitifs).

Ces travaux démontrent l'intérêt de combiner des mouvements actifs et passifs dans le cadre d'un protocole de rééducation, puisque les deux types de mobilisation mettent en jeu des voies d'activation différentes du système sensorimoteur, induisant une plasticité de la fonction motrice à différents niveaux. On a vu précédemment que le *primum movens* de l'apprentissage de l'inactivité qu'est l'exclusion est une dysafférentation par « désétalonnage » des capteurs sensitifs multimodaux. L'activité passive, imposée par une machine ou un thérapeute, met en jeu une réafférentation essentiellement sur le mode proprioceptif (activation surtout des régions situées autour du gyrus postcentral, déplacement postérieur des activations cérébrales). Le mouvement actif, volontaire, permettrait plutôt une activation plus importante au niveau des aires motrices primaires [76]

d – Activités bimanuelles

Plusieurs activités bimanuelles sont proposées en ergothérapie : macramé, boîte à boulons, ajustage, menuiserie, tour à bois.
Dans les protocoles d'activité forcée pratiqués dans le cadre de pathologies neurologiques centrales, on insiste surtout soit sur une restriction du membre sain avec sollicitation importante du membre paralysé, soit on entraîne de façon prépondérante le membre atteint.
On a déjà dit que le protocole appliqué au cours de cette étude a nécessairement impliqué des adaptations du fait de la nature différente des pathologies à traiter. Il est important de ne pas négliger les activités bimanuelles pour plusieurs raisons : tout d'abord, fonctionnellement, dans les gestes de la vie quotidienne on a recours le plus

souvent à des activités bimanuelles plutôt que monomanuelles. Il serait illogique et artificiel de ne proposer que des activités concernant la main lésée, alors que le but de la rééducation est d'obtenir une utilisation normale de la main en situation écologique. D'autre part, les activités bimanuelles proposées servent à guider les processus attentionnels de saisie d'informations (comparaison des sensations droite-gauche, feedback visuel direct ou indirect par miroir inversé), permettant une réafférentation multimodale, avec réétalonnage des capteurs sensitifs.

3.4. Effets indésirables de la thérapeutique contrainte

Une première observation intéressante est apportée par l'étude du cas clinique n°7 : lors d'une consultation de contrôle 5 mois ½ après la fin du protocole de rééducation, le médecin constate une **extension de l'exclusion au doigt adjacent** – l'index – alors que le pouce initialement exclu est paradoxalement un peu mieux intégré. Merzenich et al [87] observent chez le singe le même type de phénomène : si l'on impose à un primate une activité répétitive d'un doigt (90 minutes par jour pendant 3 mois), l'aire de représentation de ce doigt s'élargit au détriment des autres doigts. Même s'il est un peu hasardeux de transposer les observations faites chez l'animal à ce qui se passe dans le cerveau humain, on peut tout de même se demander si le même phénomène ne survient pas dans ce cas-ci, à savoir une expansion de la représentation du pouce due aux mouvements répétitifs imposés par la thérapeutique contrainte, au détriment des doigts adjacents, engendrant une inactivité relative de ceux-ci, un peu comme se qui se produit dans les dystonies focales par sur-utilisation d'un segment de membre. D'ailleurs, plus à distance de la rééducation, alors que la patiente a repris une activité professionnelle normale et ses loisirs habituels (broderie, tricot), l'intégration du pouce *et* de l'index se fait normalement.

Cette observation va dans le sens d'une modification permanente des cartes de représentation somatotopique en fonction de l'activité, confortant l'hypothèse que le mouvement (ou activité) est l'agent médiateur principal de la plasticité de la fonction motrice.

La **diminution de force** constitue un deuxième effet indésirable de la thérapeutique contrainte, comme nous l'avons déjà évoqué dans la première partie de cette

discussion. Tout se passe comme si les patients – conscients que le but de leur séjour en rééducation est d'obtenir une réintégration de leur doigt exclu – préféraient privilégier la tâche d'intégration que celle de mesure de force. A distance de la rééducation, que l'exclusion ait disparu ou non, tous les patients déclarent avoir recouvré une force normale. On peut supposer que lors de l'évaluation en fin de protocole, si l'on avait demandé aux sujets de se concentrer sur la mesure de force et non sur l'intégration correcte des doigts, les résultats obtenus en termes de force auraient été plus importants.

Pour les patients n°6 et 9, les activités répétitives ont provoqué l'apparition des **pathologies caractéristiques d'une sur-utilisation**, à savoir des tendinites (de de Quervain, épicondylite et épitrochléite) et des cervicalgies respectivement. Dans le cas du sujet n°6, il est même nécessaire de mettre en place un poste aménagé, et lors de l'enquête téléphonique à distance, la patiente souligne que ses gestes professionnels (elle est ouvrière dans une usine de chaussures) sont ralentis considérablement par les douleurs, raison pour laquelle elle compte solliciter un avis chirurgical. Pour le sujet n°9, l'arrêt de la rééducation s'accompagne d'une sédation des douleurs. Il paraît évident que l'intégration du segment exclu ne doit pas se faire au prix de l'apparition de douleurs, de tendinopathies, voire de dystonies focales (problème que nous n'avons heureusement pas rencontré).

Enfin, l'effet indésirable qui est le plus à craindre est **l'échec de la rééducation** avec pérennisation des troubles de l'intégration segmentaire. Nous avons 2 cas où manifestement, la rééducation par technique contrainte s'est révélée insuffisante pour venir à bout de l'exclusion. Dans le cas clinique n°4, il semble que la persistance d'un résidu unguéal douloureux au niveau du moignon d'amputation puisse expliquer cet échec. En effet, à chaque fois que le patient tente d'utiliser le doigt initialement traumatisé, il s'en suit une douleur.

Le stimulus nociceptif agit selon les procédures bien connues de réponse conditionnée : utilisation du doigt = douleur =▶ non-utilisation. La thérapeutique contrainte ne peut pas s'appliquer tant que la douleur domine le tableau.

Il est plus difficile d'expliquer l'échec du traitement dans le cas clinique n°1 : il s'agit d'une simple plaie, la prise en charge rééducative débute au bout de trois mois, la douleur et les troubles sensitifs ont disparu, la patiente a participé assidûment au

protocole, et en fin de séjour, l'intégration de son index semble acquise. Et pourtant, à distance de la rééducation, l'exclusion est réapparue (de façon moins marquée tout de même d'après la patiente). Il existe probablement comme pour toute pathologie une susceptibilité individuelle au traitement. Il ne faut pas exclure la possibilité de réussite de la thérapeutique contrainte chez cette patiente si un nouveau séjour en rééducation lui était proposé.

4 – Limites de l'étude et propositions

4.1. Limites du protocole de rééducation

Tout d'abord, en raison de critères de sélection très stricts, nous n'avons pu recruter qu'un **faible nombre de patients**. En effet, l'exclusion segmentaire s'accompagne le plus souvent de douleurs très importantes, or devant les difficultés impliquées par le protocole de thérapeutique contrainte, nous avons jugé préférable dans un premier temps de limiter l'étude à des patients peu ou pas douloureux (EVA inférieure ou égale à 5 au début de la rééducation, au repos). Comme nous l'avons déjà mentionné, la prise en charge précoce de la douleur est un pré-requis indispensable avant la mise en route du protocole de mobilisation forcée. On pourrait même envisager de mettre en place un bloc anesthésique sensitif au début de la rééducation par thérapeutique contrainte pour les cas les plus douloureux, comme c'est le déjà le cas dans les arthrolyses de coude par exemple.
Cependant, les résultats prometteurs de ce type de rééducation ne doivent pas être imputés uniquement au biais de sélection, puisqu'en comparaison avec des patients appariés en termes de pathologie initiale, avec globalement le même profil douloureux au départ, et rééduqués selon des techniques conventionnelles, on obtient de meilleures performances.

La **multiplicité des méthodes d'activité forcée** proposées dans cette étude fait qu'il est difficile de se rendre compte si l'une des méthodes est plus efficace qu'une autre. De manière empirique, les médecins rééducateurs ont le plus souvent fait appel à une combinaison de plusieurs méthodes de rééducation. Des études cliniques évaluant diverses performances fonctionnelles [15, 55, 119] et une étude en EMG [26] ont montré la supériorité des protocoles de rééducation combinant plusieurs méthodes

plutôt qu'une seule.
Il serait intéressant, si un nombre suffisant de patients était recruté, de comparer 2 groupes, par exemple arthromoteur versus ergothérapie, afin de cibler au mieux les activités proposées. En effet, le protocole d'activité forcée, tel qu'il est présenté dans ce travail, nécessite une **implication très importante des thérapeutes**, en termes de temps consacré aux patients et d'attention portée à leurs gestes pour les exhorter éventuellement à utiliser le doigt exclu.

Enfin, nous aurions souhaité au départ inclure dans les activités du protocole une **stimulation électrique fonctionnelle** au niveau des muscles fléchisseurs des doigts longs ou du pouce. On sait effectivement que la stimulation électrique neuromusculaire agit directement sur l'activité du cortex cérébral [52]. Malheureusement les essais se sont révélés infructueux : les électrodes disponibles étaient de diamètre tel qu'il était impossible de recruter sélectivement tel ou tel muscle fléchisseur, avec pour conséquence l'apparition d'une flexion globale, en syndactylie de tous les doigts longs. De plus, les appareils de stimulation électrique tels qu'ils existent actuellement engendrent des douleurs trop importantes, ou du moins des sensations de picotements très désagréables rendant leur utilisation difficilement acceptable par des patients déjà douloureux au départ. Cependant, l'idée reste intéressante et les modalités d'application méritent d'être étudiées.

4.2. Limites de l'étude en IRMf

Comme pour le protocole de rééducation, la première limite de l'étude par IRMf est le faible nombre de patients y ayant participé. D'autre part, nous n'avons pas de population témoin nous permettant d'établir avec certitude que les activations observées sont liées à l'exclusion.
Toujours sur le plan méthodologique, l'absence d'iconographie concernant l'imagination motrice est problématique. Nous n'avons pas pu obtenir ce type d'image pour des raisons tout bêtement de contingences matérielles. Il serait tout de même très intéressant dans la poursuite de ces travaux d'inclure des tâches d'imagination motrice. Cela nous permettrait de nous affranchir de la composante d'activation des aires sensitives (pariétales, post-centrales) observée lors d'un mouvement réel et absente lors du mouvement imaginé.

Un deuxième problème à soulever est celui des activations droite/gauche : lors du paradigme expérimental, on compare les activations provoquées par des mouvements de l'index droit (sain) par rapport à l'index gauche (exclu). Les différences que l'on pourrait observer seraientt-elles dues à l'exclusion ou simplement au fait que les mouvements réalisés par la main dominante ou la main d'appoint provoquent des activations différentes ? A notre connaissance, la littérature n'apporte pas d'argument concluant concernant ce problème : les résultats obtenus lors de mouvements droite/gauche peuvent tout à fait correspondre aux variabilités inter-individuelles [31].

Une troisième critique peut être apportée concernant le paradigme expérimental : le majeur et l'annulaire sont difficilement mobilisables indépendamment, entraînant des mouvements parasites des autres doigts le plus souvent. Il est possible que l'activation observée soit liée à la co-activation des muscles adjacents ou des muscles stabilisateurs de la main. Un moyen de s'affranchir de ce problème serait de mettre au point une orthèse compatible avec l'IRMf qui servirait à immobiliser les doigts que l'on ne souhaite pas voir bouger. Les activations ainsi observées proviendraient uniquement des doigts concernés. On pourrait aussi simplifier les tâches motrices exécutées par le patient, par exemple il pourrait lui être demandé de maintenir sa main en pronation le long du corps et de réaliser des mouvements de pianotage (« finger tapping ») des doigts concernés.

Enfin, la puissance de la machine (1,5 T) est-elle suffisante pour démarquer les activations propres à chaque doigt ? Une étude avec une machine de puissance 3T permettrait sans doute de définir plus précisément les activations relatives aux mouvements de chaque doigt.

Au total, nous nous étions posé la question de savoir si l'IRMf était un moyen de mettre en évidence nos hypothèses physiopathologiques, à savoir une réorganisation des cartes sensorimotrices et une perturbation des étapes fondamentales de la réalisation du mouvement. Bien qu'on ne puisse tirer aucune conclusion des résultats de cette étude, l'analyse des problèmes rencontrés peut nous permettre d'avancer : il faudrait réunir un groupe de patients suffisamment important pour obtenir des

résultats statistiquement significatifs, si possible présentant les mêmes caractéristiques cliniques (le même doigt exclu chez des droitiers) ; les résultats devraient alors être comparés à ceux de sujets sains appariés ; le paradigme moteur doit être simplifié, afin de générer le moins de mouvements parasites possible ; une machine plus puissante permettrait une meilleure résolution spatiale, et donc une analyse plus fine de la somatotopie ; enfin, pourquoi ne pas combiner l'étude IRMf avec une étude en TMS par exemple, méthode largement employée pour mettre en évidence les cartes de distribution corticale ?

CONCLUSION

L'exclusion segmentaire est un syndrome protéiforme, présentant des causes et des caractéristiques cliniques variables. Le trait commun des syndromes d'exclusion segmentaire est l'apprentissage de l'inactivité lié à l'immobilisation qu'entraîne la douleur, principe fondant nos hypothèses physiopathologiques et notre démarche thérapeutique.

La cartographie du cerveau humain est actuellement envisagée comme une entité dynamique dont l'état d'équilibre est susceptible de changements permanents induits par l'expérience. L'apprentissage de l'inactivité est un processus réversible par un réapprentissage du mouvement, rendu possible par les thérapeutiques contraintes. En appliquant les préceptes de ce mode de rééducation dans le cadre de cette étude, nous avons pu obtenir un gain considérable des performances analytiques et fonctionnelles des patients concernés. Il reste à appliquer ce protocole à un plus large groupe de sujets, en sélectionnant peut-être plus précisément les activités rééducatives proposées, pour nous permettre de certifier les résultats obtenus dans ce travail préliminaire.

L'étude en IRMf se révèle moins probante pour l'instant, mais là encore, en modifiant certains paramètres techniques et en recrutant un nombre suffisant de sujets, cette méthode d'imagerie cérébrale fonctionnelle devrait nous permettre d'aborder directement le nœud du problème, à savoir les modifications de la représentation sensorimotrice du segment de membre concerné et les perturbations des différentes étapes du mouvement, de l'intention à l'action.

LISTE DES ABREVIATIONS

SCD-UHP - NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

SES : syndrome d'exclusion segmentaire
D1 : pouce
D2 : index
D3 : majeur
D4 : annulaire
D5 : auriculaire
D ou Dt : droit
G : gauche
MP : articulation métacarpophalangienne
IPP : articulation interphalangienne proximale
IPD : articulation interphalangienne distale
FCS : muscle fléchisseur commun superficiel
FCP : muscle fléchisseur commun profond
TAM : total active motion
TPM : total passive motion
EPPMP : écart pulpopalmaire mesuré au niveau du pli de flexion des MP
F : flexion
E : extension
AVJ : activités de la vie journalière
EVA : échelle visuelle analogique
TENS : transdermal electroneural stimulation
COTOREP : Commission Technique d'Orientation et de Reclassement Professionnel
RQTH : Reconnaissance de Qualité de Travailleur Handicapé
SNC : système nerveux central
AVC : accident vasculaire cérébral
EEG : électroencéphalographie
MEG : magnétoencéphalographie
TMS : stimulation magnétique transcrânienne
PET ou TEP : tomographie par émission de positons
IRMf : imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
R : repos
A : action
MI : cortex moteur primaire
SI : cortex sensoriel primaire
SII : cortex sensoriel secondaire
PM : cortex prémoteur
SMA ou AMS : aire motrice supplémentaire.

BIBLIOGRAPHIE

SCD-UHP - NANCY
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

1. Alameddine H. La plasticité de la fonction motrice: un concept structurant en médecine physique et de réadaptation. In: Didier J-P, editor. La plasticité de la fonction neuromotrice. Paris: Springer; 2004 p. 55-106.

2. Allison JD, Meador KJ, Loring DW, Figueroa RE, Wright JC. Functional MRI cerebral activation and deactivation during finger movement. Neurology 2000;54(1):135-42.

3. Alloway KD, Rosenthal P, Burton H. Quantitative measurements of receptive field changes during antagonism of GABAergic transmission in primary somatosensory cortex of cats. Exp Brain Res 1989;78(3):514-32.

4. André J. Rééducation des troubles de la sensibilité. In: Held J-P, Dizien O, editors. Traité de Médecine de Médecine Physique et de Réadaptation. Paris: Flammarion; 1998. 1, p. 212-216.

5. André J, Paysant J. Bilan de la sensibilité. In: Held J-P, Dizien O, editors. Traité de Médecine de Médecine Physique et de Réadaptation. Paris: Flammarion; 1998. 1, p. 43-49.

6. André J, Paysant J, Beis J, Le Chapelain L, Martinet N. L'illusion de normalité corporelle après section médullaire complète ou amputation d'un membre. Rev Neurol 2001;157(10):1237-1243.

7. André J, VielhBenmeridja A, Beis J, Gable C, Martinet N. Le syndrome d'exclusion segmentaire de la main et des doigts. Comportements de négligence d'origine périphérique? Ann Réadapt Méd Phys 1996;39(7):433-442.

8. André J-M, Didier J-P. La plasticité de la fonction motrice: un concept structurant en médecine physique et de réadaptation. In: Didier J-P, editor. La plasticité de la fonction neuromotrice. Paris: Springer; 2004 p. 15-24.

9. André J-M, Didier J-P, Paysant J. "Functional motor amensia" in stroke (1904) and "learned nonuse phenomenon' (1966). J Rehabil Med 2004;36:138-140.

10. André J-M, Didier J-P, Paysant J. Plasticité et activité: l'activité musculaire médiatrice réciproque de la plasticité post-lésionnelle du système nerveux et de ses effecteurs. In: Didier J-P, editor. La plasticité de la fonction neuromotrice. Paris: Springer; 2004 p. 341-346.

11. André J-M, Paysant J, Martinet N, Beis J-M. Classification et mécanismes des perceptions et illusions corporelles des amputés. Ann Réadapt Méd Phys 2001;44:13-18.

12. Arnstein PM. The neuroplastic phenomenon: a physiologic link between chronic pain and learning. J Neurosci Nurs 1997;29(3):179-86.

13. Aruin AS, Hanke TA, Sharma A. Base of support feedback in gait rehabilitation. Int J Rehabil Res 2003;26(4):309-12.

14. Babinski M. Contribution à l'étude des troubles mentaux dans l'hémiplégie organique cérébrale (anosognosie). Rev Neurol 1914;27:845-848.

15. Barbeau H, Norman K, Fung J, Visintin M, Ladouceur M. Does Neurorehabilitation play a role in the recovery of walking in neurological populations? Ann Ny Acad Sci 1998;860:377-392.

16. Beis JM, Andre JM, Vielh A, Ducrocq X. Event-related potentials in the segmental exclusion syndrome of the upper limb. Electromyogr Clin Neurophysiol 1998;38(4):247-52.

16'. Beis JM, André, JM, Barre H, Paysant J. Mirror images and unilateral spatiale neglect. Neuropyschologial 2001;39(13) :14440-1450.

17. Bonifer N, Anderson KM. Application of constraint-induced movement therapy for an individual with severe chronic upper-extremity hemiplegia. Phys Ther 2003;83(4):384-98.

18. Boroojerdi B, Foltys H, Krings T, Spetzger U, Thron A, Topper R. Localization of the motor hand area using transcranial magnetic stimulation and functional magnetic resonance imaging. Clin Neurophysiol 1999;110(4):699-704.

19. Brandt KD. Response of joint structures to inactivity and to reloading after immobilization. Arthritis Rheum 2003;49(2):267-71.

20. Braun C, Heinz U, Schweizer R, Wiech K, Birbaumer N, Topka H. Dynamic organization of the somatosensory cortex induced by motor activity. Brain 2001;124(Pt 11):2259-67.

21. Butefisch C, Hummelsheim H, Denzler P, Mauritz KH. Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. J Neurol Sci 1995;130(1):59-68.

22. Byrne JA, Calford MB. Short-term expansion of receptive fields in rat primary somatosensory cortex after hindpaw digit denervation. Brain Res 1991;565(2):218-24.

23. Calford MB, Tweedale R. Acute changes in cutaneous receptive fields in primary somatosensory cortex after digit denervation in adult flying fox. J Neurophysiol 1991;65(2):178-87.

24. Candia V, Elbert T, Altenmuller E, Rau H, Schafer T, Taub E. Constraint-induced movement therapy for focal hand dystonia in musicians. Lancet 1999;353(9146):42.

25. Cauraugh JH, Kim S. Progress toward motor recovery with active neuromuscular stimulation: muscle activation pattern evidence after a stroke. J Neurol Sci 2003;207(1-2):25-9.

26. Cauraugh JH, Kim SB. Stroke motor recovery: active neuromuscular stimulation and repetitive practice schedules. J Neurol Neurosurg Psychiatry 2003;74(11):1562-6.

27. Chagnac-Amitai Y, Connors BW. Horizontal spread of synchronized activity in neocortex and its control by GABA-mediated inhibition. J Neurophysiol 1989;61(4):747-58.

28. Chen R, Cohen LG, Hallett M. Nervous system reorganization following injury. Neuroscience 2002;111(4):761-73.

29. Cicinelli P, Traversa R, Rossini PM. Post-stroke reorganization of brain motor output to the hand: a 2-4 month follow-up with focal magnetic transcranial stimulation. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1997;105(6):438-50.

30. Cramer SC, Bastings EP. Mapping clinically relevant plasticity after stroke. Neuropharmacology 2000;39(5):842-51.

31. Cramer SC, Finklestein SP, Schaechter JD, Bush G, Rosen BR. Activation of distinct motor cortex regions during ipsilateral and contralateral finger movements. J Neurophysiol 1999;81(1):383-7.

32. Decety J. The neurophysiological basis of motor imagery. Behav Brain Res 1996;77(1-2):45-52.

33. Decety J. De l'intention à l'action. Neurologies 1999;2:95-100.

34. Decety J, Grèzes J. Représentations mentales/neurales et actions. In: Decety J, editor. Cerveau, perception et action. Paris: PUG; 2000 p. 85-112.

35. Dechent P, Frahm J. Fine-scale finger somatotopy in the human primary motor cortex as revealed by high-resolution functional MRI. In. Göttingen, Germany.

36. Dechent P, Merboldt KD, Frahm J. Is the human primary motor cortex involved in motor imagery? Brain Res Cogn Brain Res 2004;19(2):138-44.

37. Delmas A. Voies et centres nerveux. Paris: Masson; 1970, 278p.

38. Delprat J, Ehrler S, Romain M, Xenard J. Bilan de la préhension. Encycl Méd Chir (Kinésithérapie, Médecine physique-Réadaptation) 2002;26-008-D-20:16 p.

39. Dykes R, Lamour Y. Neurons without demonstrable receptive fields outnumber neurons having receptive fields in samples from the somatosensory cortex of anesthetized or paralyzed cats and rats. Brain Res 1988;440(1):133-43.

40. Ehrsson HH, Geyer S, Naito E. Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations. J Neurophysiol 2003;90(5):3304-16.

41. Ersland L, Rosen G, Lundervold A, Smievoll AI, Tillung T, Sundberg H, et al. Phantom limb imaginary fingertapping causes primary motor cortex activation: an fMRI study. Neuroreport 1996;8(1):207-10.

42. Florence SL, Kaas JH. Large-scale reorganization at multiple levels of the somatosensory pathway follows therapeutic amputation of the hand in monkeys. J Neurosci 1995;15(12):8083-95.

43. Foliot M. L'électro- et la magnéto-encéphalographie. In: Houdé O, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N, al. e, editors. Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Paris: PUF; 2002 p. 283-316.

44. Fraser C, Power M, Hamdy S, Rothwell J, Hobday D, Hollander I, et al. Driving plasticity in human adult motor cortex is associated with improved motor function after brain injury. Neuron 2002;34(5):831-40.

45. Fujiwara T, Liu M, Chino N. Effect of pedaling exercise on the hemiplegic lower limb. Am J Phys Med Rehabil 2003;82(5):357-63.

46. Gemignani A, Di Stefano M, Sebastiani L, Ghelarducci B, Jeannerod M, Guazzelli M, et al. Influence of mental motor imagery on the execution of a finger-to-thumb opposition task. Arch Ital Biol 2004;142(1):1-9.

47. Gérardin E. Organisation anatomo-fonctionnelle du striatum dans la motricité. Etude en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle chez l'homme. Paris VI: Université Pierre et Marie Curie; 2005; p. 174.

48. Gerardin E, Lehericy S, Pochon JB, Tezenas du Montcel S, Mangin JF, Poupon F, et al. Foot, hand, face and eye representation in the human striatum. Cereb Cortex 2003;13(2):162-9.

49. Gerardin E, Sirigu A, Lehericy S, Poline JB, Gaymard B, Marsault C, et al. Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. Cereb Cortex 2000;10(11):1093-104.

50. Giraux P. Etude longitudinale en IRM fonctionnelle de la plasticité cérébrale après allogreffe des deux mains. Saint-Etienne: Université Jean Monnet; 2000; p. 22.

51. Hallett M. Plasticity of the human motor cortex and recovery from stroke. Brain Res Brain Res Rev 2001;36(2-3):169-74.

52. Han BS, Jang SH, Chang Y, Byun WM, Lim SK, Kang DS. Functional magnetic resonance image finding of cortical activation by neuromuscular electrical stimulation on wrist extensor muscles. Am J Phys Med Rehabil 2003;82(1):17-20.

53. Hanakawa T, Immisch I, Toma K, Dimyan MA, Van Gelderen P, Hallett M. Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. J Neurophysiol 2003;89(2):989-1002.

54. Herholz K, Heiss WD. Functional imaging correlates of recovery after stroke in humans. J Cereb Blood Flow Metab 2000;20(12):1619-31.

55. Hesse S. Locomotor therapy in neurorehabilitation. NeuroRehabilitation 2001;16(3):133-9.

56. Hesse S, Malezic M, Schaffrin A, Mauritz KH. Restoration of gait by combined treadmill training and multichannel electrical stimulation in non-ambulatory hemiparetic patients. Scand J Rehabil Med 1995;27(4):199-204.

57. Hesse S, Schmidt H, Werner C, Bardeleben A. Upper and lower extremity robotic devices for rehabilitation and for studying motor control. Curr Opin Neurol 2003;16(6):705-10.

58. Hesse S, Schulte-Tigges G, Konrad M, Bardeleben A, Werner C. Robot-assisted arm trainer for the passive and active practice of bilateral forearm and wrist movements in hemiparetic subjects. Arch Phys Med Rehabil 2003;84(6):915-20.

59. Hutchinson S, Kobayashi M, Horkan CM, Pascual-Leone A, Alexander MP, Schlaug G. Age-related differences in movement representation. Neuroimage 2002;17(4):1720-8.

60. Ingvar DH, Philipson L. Distribution of cerebral blood flow in the dominant hemisphere during motor ideation and motor performance. Ann Neurol 1977;2(3):230-7.

61. Jeannerod M. Mental imagery in the motor context. Neuropsychologia 1995;33(11):1419-32.

62. Johnson SH, Rotte M, Grafton ST, Hinrichs H, Gazzaniga MS, Heinze HJ. Selective activation of a parietofrontal circuit during implicitly imagined prehension. Neuroimage 2002;17(4):1693-704.

63. Jourdan-Redon A. Effets de la stimulation vestibulaire calorique sur les manifestations du syndrome d'exclusion segmentaire de la main. Nancy I: Université Henri Poincaré; 2000; p.

64. Kaneko T, Hicks T. Baclofen and gama-aminobutyric acid differentially suppress the cutaneous responsiveness antagonism of GABAergic transmission in primary somatosensory cortex. Exp Brain Res 1988;78:514-532.

65. Kleinschmidt A, Nitschke MF, Frahm J. Somatotopy in the human motor cortex hand area. A high-resolution functional MRI study. Eur J Neurosci 1997;9(10):2178-86.

66. Kopp B, Kunkel A, Muhlnickel W, Villringer K, Taub E, Flor H. Plasticity in the motor system related to therapy-induced improvement of movement after stroke. Neuroreport 1999;10(4):807-10.

67. Kwakkel G, Kollen B, Wagenaar RC. Long term effects of intensity of upper dans lower limb training after stroke: a randomised trial. J Neurol Neurosurg Psychiatry 2002;72:473-479.

68. Lacour M. La neuroplasticité cérébrale: des théories aux applications cliniques. In: Didier J-P, editor. La plasticité de la fonction neuromotrice. Paris: Springer; 2004 p. 25-54.

69. Lang W, Cheyne D, Hollinger P, Gerschlager W, Lindinger G. Electric and magnetic fields of the brain accompanying internal simulation of movement. Brain Res Cogn Brain Res 1996;3(2):125-9.

70. LeChapelain L. Contribution à l'étude de la reconstruction de l'image corporelle après lésion médullaire. Dijon: Université de Bourgogne; 2005; p. 147.

71. Lee TD, Swanson LR, Hall AL. What is repeated in a repetition? Effects of practice conditions on motor skill acquisition. Phys Ther 1991;71(2):150-6.

72. Leonardo M, Fieldman J, Sadato N, Campbell G, Ibanez V, al. e. A functional magnetic resonance imaging study of cortical regions associated with motor task execution and motor ideation in humans. Human Brain Mapping 1995;3:83-92.

73. Levy CE, Nichols DS, Schmalbrock PM, Keller P, Chakeres DW. Functional MRI evidence of cortical reorganization in upper-limb stroke hemiplegia treated with constraint-induced movement therapy. Am J Phys Med Rehabil 2001;80(1):4-12.

74. Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR, Miltner WH, Taub E, Weiller C. Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans. Stroke 2000;31(6):1210-6.

75. Liepert J, Miltner WH, Bauder H, Sommer M, Dettmers C, Taub E, et al. Motor cortex plasticity during constraint-induced movement therapy in stroke patients. Neurosci Lett 1998;250(1):5-8.

76. Lotze M, Braun C, Birbaumer N, Anders S, Cohen LG. Motor learning elicited by voluntary drive. Brain 2003;126(Pt 4):866-72.

77. Lotze M, Montoya P, Erb M, Hulsmann E, Flor H, Klose U, et al. Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. J Cogn Neurosci 1999;11(5):491-501.

78. Maeda K, Kakigy R, Hoshiyama M, Koyama S. Topography of the secondary somatosensory cortex in humans: a magnetoencephalographic study. Neuroreport 1999;10:301-306.

79. Malenka RC, Nicoll RA. Silent synapses speak up. Neuron 1997;19(3):473-6.

80. Martinet N, Paysant J, André J-M. Proprioception et arthrolyse du membre supérieur. 2004.

81. Mazoyer B. L'imagerie par résonance magnétique. In: Houdé O, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N, al. e, editors. Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Paris: PUF; 2002 p. 207-230.

82. Mazoyer B. L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. In: Houdé O, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N, al. e, editors. Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Paris: PUF; 2002 p. 231-256.

83. Mazoyer B. La tomographie d'émissions de positons (TEP). In: Houdé O, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N, al. e, editors. Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Paris: PUF; 2002 p. 257-282.

84. Mazoyer B, Foliot M. La neuroimagerie cognitive: bases neurophysiologiques. In: Houdé O, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N, al. e, editors. Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Paris: PUF; 2002 p. 187-206.

84'. McCabe CS, Haigh RC, Ring EF, Halligan PW, Wall PD, Blake DR. A controlled pilot studey of the utility of mirror visual feedback in the treatment of complex regional pain syndrome (type 1). Rheumatology (Oxford) 2003;42(1):97-101.

85. Meige H. Les amnésies motrices fonctionnelles et le traitement des hémiplégiques. Rev Neurol 1905;13:183-184.

86. Melzack R, Israel R, Lacroix R, Schultz G. Phantom limbs in people with congenital limb deficiency or amputation in early childhood. Brain 1997;120 (Pt 9):1603-20.

87. Merzenich MM, Nelson RJ, Stryker MP, Cynader MS, Schoppmann A, Zook JM. Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys. J Comp Neurol 1984;224(4):591-605.

88. Mima T, Sadato N, Yazawa S, Hanakawa T, Fukuyama H, Yonekura Y, et al. Brain structures related to active and passive finger movements in man. Brain 1999;122 (Pt 10):1989-97.

89. Muellbacher W, Richards C, Ziemann U, Wittenberg G, Weltz D, Boroojerdi B, et al. Improving hand function in chronic stroke. Arch Neurol 2002;59(8):1278-82.

90. Nair DG, Purcott KL, Fuchs A, Steinberg F, Kelso JA. Cortical and cerebellar activity of the human brain during imagined and executed unimanual and bimanual action sequences: a functional MRI study. Brain Res Cogn Brain Res 2003;15(3):250-60.

91. Nelles G, Jentzen W, Jueptner M, Muller S, Diener HC. Arm training induced brain plasticity in stroke studied with serial positron emission tomography. Neuroimage 2001;13(6 Pt 1):1146-54.

92. Noppeney U, Waberski TD, Gobbele R, Buchner H. Spatial attention modulates the cortical somatosensory representation of the digits in humans. Neuroreport 1999;10(15):3137-41.

93. Onteniente B. Stimuler la neurogenèse après un AVC? Le Concours Médical 2002;124-35:2278-.

94. Page S, Elovic E, Levine P, Sisto S. Modified constraint-induced therapy and botilium toxin A. A promising combination. Am J Phys Med Rehabil 2002;82(1):76-80.

95. Paysant J, Haoulani C, Menouillard O, Foisneau A, André J. Intérêts du monitorage goniométrique de coudes en situation ordinaire (poster). Ann Réadapt Méd Phys (SOFMER Angers) 1999;42(7):419.

96. Penfied W, Rasmussen T. The cerebral cortex of man. A clinical study of localization of function. New York: McMillan Compagny; 1950, 245p.

97. Petit L, Crivello F. L'architecture microscopique du cerveau. In: Houdé O, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N, al. e, editors. Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Paris: PUF; 2002 p. 37-56.

98. Petit L, Tzourio-Mazoyer N. De l'intérêt d'un précis d'anatomie du cerveau humain. In: Houdé O, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N, al. e, editors. Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Paris: PUF; 2002 p. 31-36.

99. Ploughman M. A review of brain neuroplasticity and implications for the physiotherapeutic management of stroke. Phys Can 2002:163-176.

100. Porro CA, Cettolo V, Francescato MP, Baraldi P. Ipsilateral involvement of primary motor cortex during motor imagery. Eur J Neurosci 2000;12(8):3059-63.

101. Porro CA, Corazza R. Functional magnetic resonance imaging as a tool for investigating human cortical motor function. Arch Ital Biol 1999;137(2-3):101-14.

102. Porro CA, Francescato MP, Cettolo V, Diamond ME, Baraldi P, Zuiani C, et al. Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. J Neurosci 1996;16(23):7688-98.

103. Ramachandran VS, Hirstein W. The perception of phantom limbs. The D. O. Hebb lecture. Brain 1998;121 (Pt 9):1603-30.

104. Rao SM, Binder JR, Bandettini PA, Hammeke TA, Yetkin FZ, Jesmanowicz A, et al. Functional magnetic resonance imaging of complex human movements. Neurology 1993;43(11):2311-8.

105. Rao SM, Binder JR, Hammeke TA, Bandettini PA, Bobholz JA, Frost JA, et al. Somatotopic mapping of the human primary motor cortex with functional magnetic resonance imaging. Neurology 1995;45(5):919-24.

106. Reddy H, Bendahan D, Lee MA, Johansen-Berg H, Donaghy M, Hilton-Jones D, et al. An expanded cortical representation for hand movement after peripheral motor denervation. J Neurol Neurosurg Psychiatry 2002;72(2):203-10.

107. Reddy H, Floyer A, Donaghy M, Matthews PM. Altered cortical activation with finger movement after peripheral denervation: comparison of active and passive tasks. Exp Brain Res 2001;138(4):484-91.

108. Roques C, Marque P. Physiothérapie et électrothérapie. In: Held J-P, Dizien O, editors. Traité de Médecine de Médecine Physique et de Réadaptation. Paris: Flammarion; 1998. 1, p. 243-254.

109. Roricht S, Machetanz J, Irlbacher K, Niehaus L, Biemer E, Meyer BU. Reorganization of human motor cortex after hand replantation. Ann Neurol 2001;50(2):240-9.

110. Roricht S, Meyer BU, Niehaus L, Brandt SA. Long-term reorganization of motor cortex outputs after arm amputation. Neurology 1999;53(1):106-11.

111. Rossini PM, Martino G, Narici L, Pasquarelli A, Peresson M, Pizzella V, et al. Short-term brain 'plasticity' in humans: transient finger representation changes in sensory cortex somatotopy following ischemic anesthesia. Brain Res 1994;642(1-2):169-77.

112. Roth M, Decety J, Raybaudi M, Massarelli R, Delon-Martin C, Segebarth C, et al. Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: a functional magnetic resonance imaging study. Neuroreport 1996;7(7):1280-4.

113. Salimi I, Webster HH, Dykes RW. Neuronal activity in normal and deafferented forelimb somatosensory cortex of the awake cat. Brain Res 1994;656(2):263-73.

114. Sanes JN, Donoghue JP, Thangaraj V, Edelman RR, Warach S. Shared neural substrates controlling hand movements in human motor cortex. Science 1995;268(5218):1775-7.

115. Shoham D, Grinvald A. The cortical representation of the hand in macaque and human area S-I: high resolution optical imaging. J Neurosci 2001;21(17):6820-35.

116. Sirigu A, Daprati E, Ciancia S, Giraux P, Nighoghossian N, Posada A, et al. Altered awareness of voluntary action after damage to the parietal cortex. Nat Neurosci 2004;7(1):80-4.

117. Staudt M, Grodd W, Gerloff C, Erb M, Stitz J, Krageloh-Mann I. Two types of ipsilateral reorganization in congenital hemiparesis: a TMS and fMRI study. Brain 2002;125(Pt 10):2222-37.

118. Stippich C, Ochmann H, Sartor K. Somatotopic mapping of the human primary sensorimotor cortex during motor imagery and motor execution by functional magnetic resonance imaging. Neurosci Lett 2002;331(1):50-4.

119. Sunderland A, Tinson DJ, Bradley EL, Fletcher D, Langton Hewer R, Wade DT. Enhanced physical therapy improves recovery of arm function after stroke. A randomised controlled trial. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1992;55(7):530-5.

120. Talairach J, Tournoux P. Co-planar stereotaxic atlas of the humain brain. 3-Dimensional proportional system: an approach to cerebral imaging. Stuttgart: Springer; 1988, 122p.

121. Taub E. Somatosensory deafferentatioin research with monkeys implications for rehabilitation medicine. In: Ince L, editor. Behavioral psychology in rehabilitation medicine: clinical applications. New York: Williams & Wilkins; 1980 p. 371-401.

122. Toni I, Thoenissen D, Zilles K. Movement preparation and motor intention. Neuroimage 2001;14(1 Pt 2):S110-7.

123. Turner JA, Lee JS, Martinez O, Medlin AL, Schandler SL, Cohen MJ. Somatotopy of the motor cortex after long-term spinal cord injury or amputation. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng 2001;9(2):154-60.

124. Tzourio-Mazoyer N. L'architecture macroscopique corticale: la parcellisation. In: Houdé O, Mazoyer B, Tzourio-Mazoyer N, al. e, editors. Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle. Paris: PUF; 2002 p. 57-80.

125. Uozumi T, Tamagawa A, Hashimoto T, Tsuji S. Motor hand representation in cortical area 44. Neurology 2004;62(5):757-61.

126. van der Lee JH, Wagenaar RC, Lankhorst GJ, Vogelaar TW, Deville WL, Bouter LM. Forced use of the upper extremity in chronic stroke patients: results from a single-blind randomized clinical trial. Stroke 1999;30(11):2369-75.

127. Vega-Bermudez F, Johnson KO. Spatial acuity after digit amputation. Brain 2002;125(Pt 6):1256-64.

128. Vidal N, Charlopain M, MoDumas P, Seraphin O, Bertrand C. Syndrome d'exclusion segmentaire et manipulations sensorielles. J Réadapt Méd 1999;19(1):15-18.

129. Vielh A. Le phénomène d'exclusion segmenaire du membre supérieur: diagnostic et traitement. Hypothèses pathogéniques. Nancy I: Université Henri Poincaré; 1994; p. 261.

130. Walsh V, Ashbridge E, Cowey A. Cortical plasticity in perceptual learning demonstrated by transcranial magnetic stimulation. Neuropsychologia 1998;36(4):363-7.

131. Wieler M, Stein RB, Ladouceur M, Whittaker M, Smith AW, Naaman S, et al. Multicenter evaluation of electrical stimulation systems for walking. Arch Phys Med Rehabil 1999;80(5):495-500.

132. Wilson SA, Thickbroom GW, Mastaglia FL. Transcranial magnetic stimulation mapping of the motor cortex in normal subjects. The representation of two intrinsic hand muscles. J Neurol Sci 1993;118(2):134-44.

133. Wolf SL, Blanton S, Baer H, Breshears J, Butler AJ. Repetitive task practice: a critical review of constraint-induced movement therapy in stroke. Neurologist 2002;8(6):325-38.

134. 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 1989;104(2):125-32.

135. Xerri J. Plasticité post-lésionnelle des cartes corticales somatosensorielles: une revue. C.R. Acad. Sci. Paris Sciences de la vie 1998;321:135-151.

136. Yousry TA, Schmid UD, Alkadhi H, Schmidt D, Peraud A, Buettner A, et al. Localization of the motor hand area to a knob on the precentral gyrus. A new landmark. Brain 1997;120 (Pt 1):141-57.

137. Zanette G, Tinazzi M, Bonato C, di Summa A, Manganotti P, Polo A, et al. Reversible changes of motor cortical outputs following immobilization of the upper limb. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1997;105(4):269-79.

ANNEXES

QUESTIONNAIRE DASH

SCD-UHP - NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

NOM : **PRENOM :** **DATE :**

Merci de compléter ce questionnaire !
Ce questionnaire va nous aider à apprécier votre état de santé général et vos problèmes musculo-articulaires en particulier.
C'est à vous de remplir ce questionnaire. Ce n'est pas obligatoire, et les réponses resteront strictement confidentielles dans votre dossier médical.
Veuillez répondre à toutes les questions. Certaines se ressemblent, mais toutes sont différentes. Vous pouvez faire des commentaires dans la marge. Nous lirons tous vos commentaires, aussi n'hésitez pas à en faire autant que vous souhaitez.
Il n'y a pas de réponses justes ou fausses. Si vous hésitez, donnez la réponse qui vous semble la plus adaptée.

Instructions

Ce questionnaire s'interresse à ce que vous ressentez et à vos possibilités d'accomplir certaines activités.
Veuillez répondre à ***toutes les questions*** *en considérant vos possibilités* ***au cours des 7 derniers jours****.*
Si vous n'avez pas eu l'occasion de pratiquer certaines de ces activités au cours des 7 derniers jours, veuillez entourer la réponse qui vous semble la plus exacte si vous aviez dû faire cette tâche. Le côté n'a pas d'importance. Veuillez répondre en fonction du résultat final, sans tenir compte de la façon dont vous y arrivez.
Veuillez évaluer votre capacité à réaliser les activités suivantes ***au cours des 7 derniers jours****.*

(Entourez une seule réponse par ligne)	**Aucune difficulté**	**Difficulté légère**	**Difficulté moyenne**	**Difficulté importante**	**Impossible**
1. Dévisser un couvercle serré ou neuf	1	2	3	4	5
2. Ecrire	1	2	3	4	5
3. Tourner une clé dans une serrure	1	2	3	4	5
4. Préparer un repas	1	2	3	4	5
5. Ouvrir un portail ou une lourde porte en la poussant	1	2	3	4	5
6. Placer un objet sur une étagère au dessus de votre tête	1	2	3	4	5
7. Effectuer des tâches ménagères lourdes (nettoyage des sols et des murs)	1	2	3	4	5
8. Jardiner, s'occuper des plantes (fleurs et arbustes)	1	2	3	4	5
9. Faire un lit	1	2	3	4	5
10. Porter des sacs de provisions ou une mallette	1	2	3	4	5
11. Porter un objet lourd (supérieur à 5 KG)	1	2	3	4	5
12. Changer une ampoule en hauteur	1	2	3	4	5
13. Se laver ou se sécher les cheveux	1	2	3	4	5
14. Se laver le dos	1	2	3	4	5
15. Enfiler un pull-over	1	2	3	4	5

(Entourer une seule réponse par ligne)	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible
16. Couper la nourriture avec un couteau	1	2	3	4	5
17. Activités de loisir sans gros effort (jouer aux cartes, tricoter, etc...)	1	2	3	4	5
18. Activités de loisir nécessitant une certaine force ou avec des chocs au niveau de l'épaule, du bras ou de la main (bricolage, tennis, golf,etc...)	1	2	3	4	5
19. Activités de loisir nécessitant toute la liberté de mouvement (badminton, lancer de balle, pêche, frisbee, etc...)	1	2	3	4	5
20. Déplacements (transports)	1	2	3	4	5
21. Vie sexuelle	1	2	3	4	5

(Entourez une seule réponse)

22. ***Pendant les 7 derniers jours***, à quel point votre épaule, votre bras ou votre main vous a-t'elle gêné dans vos relations avec votre famille, vos amis ou vos voisins?

1 Pas du tout	2 Légérement	3 Moyennement	4 Beaucoup	5 Extrêmement

23. Avez vous été limité dans votre travail ou une de vos activités quotidiennes habituelles à cause de vos problèmes d'épaule, de bras ou de main?

1 Pas du tout	2 Légèrement	3 Moyennement	4 Très limité	5 Incapable

Veuillez évaluer la sévérité des symptômes suivants ***durant les 7 derniers jours.***

(Entourez une réponse sur chaque ligne)	Aucune	Légère	Moyenne	Importante	Extrême
24. Douleur de l'épaule, du bras ou de la main	1	2	3	4	5
25. Douleur de l'épaule, du bras ou de la main en pratiquant une activité particulière. Précisez cette activité	1	2	3	4	5
26. Picotements ou fourmillements douloureux de l'épaule, du bras ou de la main	1	2	3	4	5
27. Faiblesse du bras, de l'épaule ou de la main	1	2	3	4	5
28. Raideur du bras, de l'épaule ou de la main	1	2	3	4	5

(Entourez une seule réponse)

29. ***Pendant les 7 derniers jours***, votre sommeil a-t-il été perturbé par une douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main?

1 Pas du tout	2 Un peu	3 Moyennement	4 Très perturbé	5 Insomnie complète

30. "Je me sens moins capable, moins confiant ou moins utile à cause du problème de mon épaule, de mon bras ou de ma main"

1 Pas d'accord du tout	2 Pas d'accord	3 Ni d'accord, ni pas d'accord
4 D'accord	5 Tout à fait d'accord	

DASH LOISIRS ET TRAVAIL

NOM : **PRENOM :** **DATE :**

Les questions suivantes concernent la gêne occasionnée par votre épaule, votre bras ou votre main **lorsque vous jouez d'un instrument ou que vous pratiquez un sport ou les deux.**
Si vous pratiquez plusieurs sports ou plusieurs instruments (ou les deux) vous êtes priés de répondre en fonction de l'activité qui est la plus importante pour vous.
Indiquez le sport ou l'instrument qui est le plus important pour vous.

Entourez une seule réponse par ligne, considérant vos possibilités ***durant les 7 derniers jours.***

Avez vous des difficultés :	**Aucune difficulté**	**Difficulté légère**	**Difficulté moyenne**	**Difficulté importante**	**Impossible**
Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument avec votre technique habituelle	1	2	3	4	5
Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument à cause des douleurs de votre épaule, de votre bras ou de votre main	1	2	3	4	5
Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument aussi bien que vous le souhaitez	1	2	3	4	5
Pour passer le temps habituel à pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument	1	2	3	4	5

Les questions suivantes concernent la gêne occasionnée par votre épaule, votre bras ou votre main **au cours de votre travail.**
Entourez la réponse qui, sur chacune des lignes, décrit le plus précisément vos possibilités ***durant les 7 derniers jours.***
Si vous n'avez pas pu travailler pendant cette période, considérez comme "impossible" les 4 propositions suivantes.

Avez vous eu des difficultés :	**Aucune difficulté**	**Difficulté légère**	**Difficulté moyenne**	**Difficulté importante**	**Impossible**
Pour travailler en utilisant votre technique habituelle	1	2	3	4	5
Pour travailler comme d'habitude à cause de la douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main	1	2	3	4	5
Pour travailler aussi bien que vous le souhaitez	1	2	3	4	5
Pour passer le temps habituellement consacré à votre travail	1	2	3	4	5

BILAN 400 POINTS

DATE :

NOM :

PRENOM :

AGE :

PROFESSION :

DOMINANCE :
D G

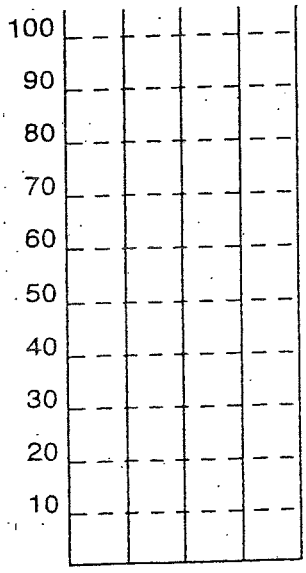
COTE LESE :
D G

ERGO :

TOTAL : /400

/ / /

%



1) MOBILITE DE LA MAIN

C.Sain		Côté lésé		
Cote	Mouvements	Cote	Coeff	Note
	FLEXION DOIGTS		3	
	EXTENSION DOIGTS		2	
	ECARTEMENT DOIGTS LONGS		3	
	RAPPROCHEMENT DOIGTS LONGS		2	
	ADDUCTION DU POUCE		2	
	ECARTEMENT DU POUCE		3	
	OPPOSITION		3	
	OPPOSITION CONTRE RESIST.		2	
	PINCES LAT. CONTRE RESIST.		2	
	PLEINE MAIN CONTRE RESIST.		3	
	PRONATION		3	
	SUPINATION		2	
		TOTAL :		/ 90

NOTE : / 100

2) FORCE DE PREHENSION

C. Sain		Côté lésé		
Valeur		Valeur	Note/10	Note /20
	VIGORIMETRE (Bar)			
	COLLINS (Kgf)			
	JAMAR (Kgf)			
	PINCH (Kgf)			
	PINCE ETAU (mm Hg)			
-10%	+10%		TOTAL :	

NOTE : /100

3) DEPLACEMENT MONOMANUEL

Côté sain		Côté lésé
	Temps	
Cote		Cote
	Cube 10 cm	
	Cube 7.5 cm	
	Cube 5 cm	
	Cube 2.5 cm	
	Cylindre 10 cm	
	Cylindre 4 cm	
	Tourillon 8 mm	
	Balle de tennis	
	Briquet électronique	
	Bille de 25 mm de diamètre	
	Bille de 15 mm de diamètre	
	Clef	
	Pièce de 29 mm de diamètre	
	Pièce de 24 mm de diamètre	
	Pièce de 16 mm de diamètre	
	Pointe	
	Fer à repasser de 2 Kg	
	Verser eau en pronation	
	Verser eau en supination	
	Verre	
Note : /60		Note : /60
NOTE : /100		

4) FONCTION BIMANUELLE

les 2 mains sont utilisées de façon spontanée

Cote		D	Commentaires
	Couper viande		
	Ouvrir une bouteille, la fermer		
	Ouvrir un bocal		
	Dévisser, visser écrou de 20 mm		
	Dévisser, visser écrou de 4 mm		
	Oter 3 boutons		
	Mettre 3 boutons		
	Défaire 3 lacets		
	Faire 3 lacets		
	Enfiler fil dans aiguille		
	Sortir une allumette		
	L'allumer, l'éteindre		
	Porte-monnaie (pièces et billet)		
	Ecrire 15 mots		
	Tracer un trait (règle)		
	Plier feuille sur le trait		
	Déchirer sur la pliure		
	Couper du carton		
	Couper du métal		
	Déchirer un journal (32 épaisseurs)		
Total : / 60			
NOTE : /100			

COTATION

3 = Mouvement, action ou gestes normaux.
2 = Mouvement, action ou geste lents, imprécis, disharmonieux.
1 = Mouvement, action ou geste incomplets, avec exclusion, avec compensation.
0 = Mouvement, action ou geste non réalisés.
Epreuve 4 : D = DOMINANCE
+ = Respect de la dominance.
- = Transfert de dominance.

QUESTIONNAIRE DE SAINT ANTOINE

NOM : **Prénom :** **Date :**

Battements
Pulsations
Elancements
En éclairs
Décharges électriques
Coups de marteau

Rayonnante
Irradiante

Piqûre
Coupure
Pénétrante
Transperçante
Coups de poignard

Pincement
Serrement
Compression
Ecrasement
En étau
Broiement

Tiraillement
Etirement
Distension
Déchirure
Torsion
Arrachement

Claleur
Brûlure

Froid
Glacé

Picotements
Fourmillements
Démangeaisons

Engourdissement
Lourdeur
Sourde

Fatigante
Epuisante
Ereintante

Nauséeuse
Suffocante
Syncopale

Inquiétante
Oppressante
Angoissante

Harcelante
Obsédante
Cruelle
Torturante
Suppliciante

Gênante
Désagréable
Pénible
Insupportable

Enervante
Exaspérante
Horripilante

Déprimante
Suicidaire

Mode d'emploi

*Décrivez la douleur telle que vous la ressentez en général. Sélectionnez les qualificatifs qui correspondent à ce que vous ressentez, **dans chaque groupe de mots, choisir le mot le plus exact.** Précisez la réponse en donnant au qualificatif que vous avez choisi une note de 0 à 4 selon le code suivant :*

0 absent, pas du tout
1 faible, un peu
2 modéré, moyennement
3 fort, beaucoup
4 extrèmement fort

ECHELLE H.A.D.S.H.
(ECHELLE DU RETENTISSEMENT EMOTIONNEL)

NOM : **Prénom :** **Date :**

Les médecins savent que les émotions jouent un rôle important dans la plupart des maladies. Si votre médecin est au courant des émotions que vous éprouvez, il pourra mieux vous aider. Ce questionnaire a été conçu de façon à permettre à votre médecin de se familiariser avec ce que vous éprouvez vous-même sur le plan émotif.
Ne faites pas attention aux chiffres et aux lettres imprimés à gauche du questionnaire.
Lisez chaque série de questions et soulignez la réponse qui exprime le mieux ce que vous avez éprouvé au cours de la semaine qui vient de s'écouler.
Ne vous attardez pas sur la réponse à faire, votre réaction immédiate à chaque question fournira probablement une meilleure indication de ce que vous éprouvez, qu'une réponse longuement méditée.

D	A	
		Je me sens tendu ou énervé :
	3	la plupart du temps
	2	souvent
	1	de temps en temps
	0	jamais
		Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois :
0		oui, tout autant
1		pas autant
2		un peu seulement
3		presque plus
		J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver :
	3	oui, très nettement
	2	oui, mais ce n'est pas grave
	1	un peu, mais cela ne m'inquiète pas
	0	pas du tout
		Je ris facilement et vois le bon côté des choses :
0		autant que par le passé
1		plus autant qu'avant
2		vraiment moins qu'avant
3		plus du tout
		Je me fais du souci :
	3	très souvent
	2	assez souvent
	1	occasionnellement
	0	très occasionnellement
		Je suis de bonne humeur :
3		jamais
2		rarement
1		assez souvent
0		la plupart du temps
D	A	

D	A	
		Je peux rester tranquillement assis à ne rien faire et me sentir décontracté :
	0	oui, quoi qu'il arrive
	1	oui, en général
	2	rarement
	3	Jamais
		J'ai l'impression de fonctionner au ralenti :
3		presque toujours
2		très souvent
1		parfois
0		jamais
		J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué :
	0	jamais
	1	parfois
	2	assez souvent
	3	très souvent
		Je ne m'intéresse plus à mon apparence :
3		plus du tout
2		je n'y accorde pas autant d'attention que je le devrais
1		il se peut que je n'y fasse plus autant attention
0		j'y prête autant d'attention que par le passé
		J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place :
	3	oui, c'est tout à fait le cas
	2	un peu
	1	pas tellement
	0	pas du tout
		Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses :
0		autant qu'auparavant
1		un peu moins qu'avant
2		bien moins qu'avant
3		presque jamais
		J'éprouve des sensations soudaines de panique :
	3	vraiment très souvent
	2	assez souvent
	1	pas très souvent
	0	jamais
		Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision :
0		souvent
1		parfois
2		rarement
3		très rarement
D	**A**	

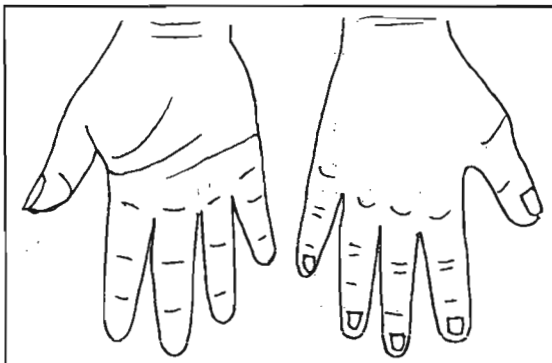
SCD-UHP - NANCY 1
BIBLIOTHÈQUE
MÉDECINE

BILAN DE SENSIBILITE

- Main Droite -

NOM : Prénom : Age :
DIAGNOSTIC : Date de l'affection :
Dominance : D G Ergothérapeute : Date :

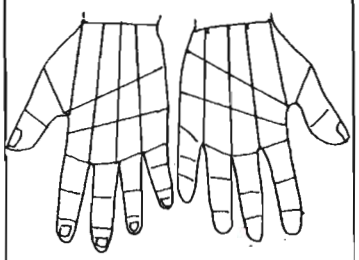
DOULEURS



Paresthésies
Dysesthésies
Hyperesthésie
* Névrôme

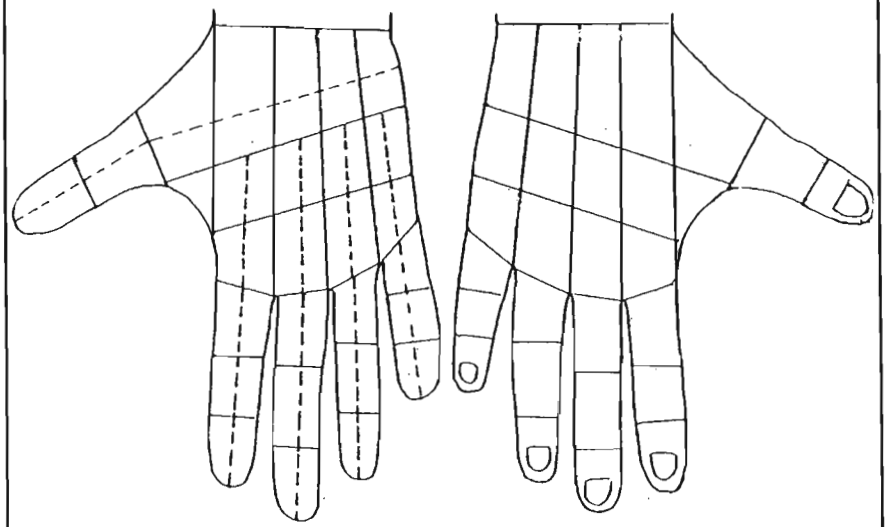
E.V.A.(notée de 0 à 10)
- Habituelle :
- Pendant le bilan :
- La plus intense (derniers 8 jours) :

MONOFILAMENTS



Référence main saine

Sensibilité normale
Diminution du toucher léger
Diminution de la sensibilité de protection
Absence de sensibilité de protection
Perception de piqûre, de pression profonde
Anesthésie complète



WEBER (TPD)

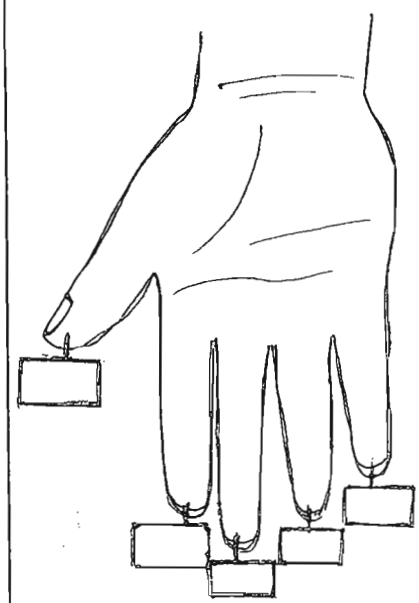
< 6 mm : Résultat normal

De 6 à 10 mm : Résultat médiocre

De 11 à 15 mm : Résultat pauvre

1 point perçu : Sensibilité protection

0 point perçu : Anesthésie



VU

NANCY, le **12 avril 2006**
Le Président de Thèse

Professeur J.M.ANDRÉ

NANCY, le **20 avril 2006**
Le Doyen de la Faculté de Médecine

Professeur P. NETTER

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE

NANCY, le **28 avril 2006**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY 1

Professeur **J.P. FINANCE**

RÉSUMÉ DE LA THÈSE

Objectifs : démontrer que le syndrome d'exclusion segmentaire est lié à un apprentissage de l'inactivité, mécanisme physiopathologique dont découle une nouvelle prise en charge rééducative par thérapeutique contrainte.
Matériel et méthode : chez 10 patients présentant un syndrome d'exclusion segmentaire du membre supérieur non ou peu douloureux, on met en place un protocole de rééducation comprenant des activités en kinésithérapie et ergothérapie relevant des thérapeutiques contraintes, à raison de 5h/j, 5j par semaine pour une durée minimale de 3 semaines. Une évaluation de nombreux paramètres analytiques et fonctionnels a lieu en début et en fin de séjour, et une enquête téléphonique à distance de la rééducation étudie l'impact à long terme du traitement choisi. En outre, 2 patients volontaires ont participé à une étude par IRMf dans le but de mettre en évidence l'étiopathogénie de ce syndrome.
Résultats : la thérapeutique contrainte permet d'améliorer nettement les performances analytiques et fonctionnelles dans la population étudiée, puisque 6 patients voient leur exclusion segmentaire régresser totalement et 2 patients partiellement. Tous les patients ont pu reprendre une activité professionnelle dans les semaines qui ont suivi le séjour en rééducation. Les résultats de l'IRMf ne nous permettent pas actuellement de tirer de conclusion formelle.
Discussion : le syndrome d'exclusion segmentaire est caractéristique d'un apprentissage de l'inactivité dont le primum movens est une dysafférentation d'origine périphérique. Il s'en suit une modification de la représentation des cartes somatotopiques au niveau cortical et une perturbation de la réalisation des différentes étapes du mouvement par plasticité de la fonction motrice. La thérapeutique contrainte met à profit cette plasticité pour réapprendre les fonctions perdues.
Conclusion : des travaux ultérieurs portant sur un plus grand nombre de patients sont nécessaires pour confirmer les résultats obtenus. Une nouvelle étude par IRMf menée selon de nouvelles modalités devrait nous permettre d'objectiver directement la plasticité cérébrale mise en jeu

TITRE EN ANGLAIS
Constraint-induced movement therapy in the segmental exclusion syndrome of the upper limb

THÈSE : MÉDECINE SPÉCIALISÉE – ANNÉE 2006

MOTS-CLÉS : exclusion segmentaire, apprentissage de l'inactivité, thérapeutique contrainte, plasticité de la fonction motrice, préparation et exécution du mouvement, imagerie par résonance magnétique fonctionnelle.

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR :
Faculté de Médecine de Nancy
9, Avenue de la Forêt de Haye
54505 VANDOEUVRE LES NANCY CEDEX