

MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE
DE NANCY

L'AUTOMOVE 800[®]

ou

**l'apprentissage d'une commande motrice volontaire
par EMGfeedback**

**CENTRE DE RÉADAPTATION
KINÉSITHÉRAPIE**
4, Rue du Professeur Montaut
54690 LAY SAINT CHRISTOPHE
Tél. : 03.83.22.22.21



Rapport de travail écrit personnel
présenté par **Véronique MAHIEU**
étudiante en 3ème année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du diplôme d'état
de masseur-kinésithérapeute
1998-1999

SOMMAIRE

RESUME	
1. INTRODUCTION	1
2. MATERIEL ET METHODE	2
2. 1. Population	2
2. 1. 1. Généralité	2
2. 1. 2. Etude clinique	2
2. 1. 2. 1. Présentation du patient	2
2. 1. 2. 2. Bilan d'entrée (26 juin 1998)	2
2. 1. 2. 3. Bilan du 8 septembre 1998	3
2. 1. 2. 4. Bilan du 21 octobre 1998	5
2. 2. Matériel	5
2. 2. 1. Electrostimulation musculaire	5
2. 2. 1. 1. Physiologie	5
2. 2. 1. 2. Principes	7
2. 2. 1. 3. Indications	7
2. 2. 1. 4. Détermination du seuil de déclenchement de la simulation électrique	9
2. 2. 2. Biofeedback	10
2. 2. 2. 1. Principes	10
2. 2. 2. 2. EMG Feedback	11
2. 3. Méthode	12
2. 3. 1. Protocoles	12
2. 3. 1. 1. Concernant les releveurs	12
2. 3. 1. 2. Concernant le muscle Deltoïde moyen	16
2. 3. 2. Informations recueillies par le logiciel AM Manager	18
2. 3. 2. 1. Possibilités données par le logiciel	18
2. 3. 2. 2. Utilisation des résultats	19
3. RESULTATS	20
3. 1. Courbes obtenues avec les muscles releveurs	20
3. 1. 1. Séance du 13 octobre 1998	20
3. 1. 2. Séance du 15 octobre 1998	20
3. 1. 3. Séance du 21 octobre 1998	20
3. 1. 4. Conclusions sur 8 jours	21
3. 2. Courbes obtenues avec le muscle Deltoïde moyen	21
3. 2. 1. Séance du 14 octobre 1998	21
3. 2. 2. Séance du 19 octobre 1998	21
3. 2. 3. Séance du 27 octobre 1998	21
3. 2. 4. Conclusions sur 13 jours	22
3. 3. Corrélation entre l'évolution clinique et les résultats chiffrés :	
Séance du 14 octobre 1998 réalisée sur les releveurs droits puis gauches	22
3. 3. 1. Rappel Clinique	22
3. 3. 2. Courbes obtenues	22
4. DISCUSSION	23
4. 1. Retransmission de la rétro-information	23
4. 2. Principe même du couplage électrostimulation - EMG de surface	23
4. 3. Travail analytique	24
5. CONCLUSION	25
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

RESUME

L'Automove® est un appareil portable d'électrostimulation musculaire couplé à un recueil EMG. Cette association permet une rééducation prenant en compte, d'une part la nécessité d'une information sensori-motrice dans le réapprentissage du mouvement volontaire et, d'autre part, le contrôle cognitif de la fonction motrice déficiente. L'étude suivante porte sur le cas précis de la restauration de la fonction de flexion dorsale de cheville et d'abduction d'épaule chez un hémiparalysé traumatique. Ainsi, nous proposons de donner un aperçu de l'intérêt d'un tel outil de rééducation, de le justifier par l'état actuel des connaissances en électrostimulation et EMGfeedback, et par l'évaluation clinique proposée.

1. INTRODUCTION

L'Automove AM 800® est conçu pour permettre la combinaison de l'électrostimulation musculaire et de l'EMG de surface. Il se présente comme un boîtier classique d'électrostimulation portable (cf. Annexe I).

L'AM 800® enregistre les potentiels électriques, même très faibles, émis par le muscle, grâce à des électrodes de surface, lors d'une tentative de contraction musculaire. Il intervient ensuite comme un relais pour assister cette commande volontaire par une stimulation électrique. De plus, pendant toute la durée de la phase de travail, l'AM 800® retransmet au patient une rétro-information qui le renseigne sur son niveau de recrutement musculaire.

En électrostimulation, nous connaissons déjà des appareils comme le Compex®, l'Elpha 2000® ou encore le Céfàr Myo® qui délivrent un courant de manière cyclique et automatique, et des appareils, de type Myotrac®, qui détectent l'activité électromyographique et retransmettent au patient l'information sous forme de signaux visuels et/ou sonores. L'Automove AM 800® est, en quelque sorte, l'association de ces deux types d'appareils.

Nous nous proposons d'étudier l'intérêt que peut représenter, en rééducation, un tel couplage : électrostimulation musculaire et EMG de surface.

2. MATERIEL ET METHODE

2. 1. Population

2. 1. 1. Généralité

L'utilisation, ici proposée, de l'AM 800® s'adresse à des patients ayant un défaut de commande de l'activité musculaire volontaire. Cette méthode d'apprentissage présente des difficultés et demande donc certains pré-requis de la part du patient :

- en effet, la retransmission de la rétro-information passe par des signaux visuels qui doivent être perçus de façon précise. Ainsi, un patient présentant un nystagmus ou une négligence visuo-spatiale ne pourrait travailler avec l'AM 800®
- l'apprentissage cognitif implique que le patient comprenne ce que l'on attend de lui, qu'il soit capable de mémoriser les différentes instructions et de maintenir son attention sur la rétro-information pendant toute la durée de la séance.
- de plus, la motivation, la participation active du patient à sa rééducation, sont des éléments fondamentaux à cet apprentissage.

2. 1. 2. Etude clinique

2. 1. 2. 1. Présentation du patient

M. S..., 32 ans, technicien viticole, a été victime d'un traumatisme crânien grave le 19 mai 1998 suite à un accident d'ULM dans le cadre de son travail. Le glasgow initial est de 6. M. S... est arrivé au Centre de Réadaptation de Lay-St-Christophe le 23 juin 1998.

2. 1. 2. 2. Bilan d'entrée (26 juin 1998)

M. S... suit du regard, n'a pas de code oui-non vraiment fiable, comprend les ordres simples avec une certaine latence. Il présente un tableau de quadriplégie plus marqué sur

l'hémicorps droit où l'on ne retrouve aucune motricité spontanée, une spasticité cotée à 1 (échelle d'Ashworth : cf. Annexe II) pour les rotateurs internes d'épaule, le biceps brachial, les pronateurs et les fléchisseurs des doigts, et à 2 pour le triceps sural. Sur l'hémicorps gauche, on retrouve une motricité spontanée au membre supérieur cotée à 2 (l'échelle d'évaluation musculaire selon Held : cf. Annexe II) sans hypertonie, une motricité spontanée au membre inférieur cotée à 3 et une spasticité cotée à 2 sur le triceps sural et le quadriceps. M. S... ne tient pas assis sans dossier mais tient sa tête et est capable de réactions posturales adaptées.

2. 1. 2. 3. Bilan du 8 septembre 1998

Le patient ne présente aucun trouble sensitif. Il réalise seul ses déplacements dans les activités de la vie quotidienne en fauteuil roulant avec une propulsion en marche assise. La marche est thérapeutique, avec un rollator. On observe un steppage à droite, au niveau de la cheville, avec uniquement un recrutement du muscle Tibial Antérieur. A gauche, l'attaque du pas se fait pied à plat, avec une tendance au récurvatum de genou et à la griffe des orteils. La longueur des pas est réduite et le patient esquive l'appui du côté droit. Le périmètre de marche est d'environ 50 m. L'équilibre assis, à genoux dressés et debout est acquis ; il est encore précaire en chevalier servant, membre inférieur droit devant, et en unipodal à gauche. La position unipodale à droite est quasiment impossible. Les réactions parachutes sont efficaces à gauche, ébauchées à droite. M. S... monte et descend les escaliers sur un étage en se tenant à la rampe avec la main gauche. Il mange seul mais a encore besoin d'une tierce personne pour sa toilette et l'habillage des chaussettes et chaussures.

M. S... n'a pas de problème de repères temporo-spatiaux ni de troubles gnosiques et participe normalement à une conversation avec, toutefois, la persistance d'une légère lenteur de compréhension et d'expression. Il demeure chez M. S... un manque d'auto-prise en charge et de prise de décisions.

Tableau III : Bilan du 8 septembre 98 - Membres Inférieurs

		Membre Inférieur Droit		Membre Inférieur Gauche	
		Spasticité	Motricité Volontaire	Spasticité	Motricité Volontaire
Hanche	Adducteur	0	4	0	5
	Abducteurs	0	4	0	5
	Fléchisseurs	0	4	0	5
	Extenseurs	0	4	0	5
Genou	Fléchisseurs	0	2	0	5
	Extenseurs	0	4	0	5
Cheville	Fléchisseurs dorsaux	0	1 ⁽¹⁾	0	2 ⁽²⁾
	Fléchisseurs plantaires	3	4	1	5
Orteils	Fléchisseurs	0	1	0	5
	Extenseurs	0	3	0	3

(1) Les fléchisseurs dorsaux de cheville à droite sont cotés à 1 dans un recrutement analytique et à 3 dans le schème de triple flexion.

(2) Les fléchisseurs dorsaux de cheville à gauche sont cotés à 2 dans un recrutement analytique et à 3 dans le schème de triple flexion.

Tableau IV : Bilan du 8 septembre 98 - Membres Supérieurs

		Membre Supérieur Droit		Membre Supérieur Gauche	
		Spasticité	Motricité Volontaire	Spasticité	Motricité Volontaire
Epaule	Fléchisseurs	0	2 ⁽¹⁾	0	5
	Abducteurs	0	2 ⁽¹⁾	0	5
	Rotateurs	0	4	0	5
Coude	Fléchisseurs	0	4	0	5
	Extenseurs	0	4	0	5
Poignet	Fléchisseurs	0	4	0	5
	Extenseurs	0	3	0	5
Doigts	Fléchisseurs	1	4	0	5
	Extenseurs	0	3	0	5
	Abducteurs	0	4	0	5
	Adducteurs	0	4	0	5

(1) Mouvements réalisés avec une syncinésie en élévation du moignon de l'épaule.

2. 1. 2. 4. Bilan du 21 octobre 1998

→ Bilan analytique :

- membre supérieur droit : disparition de la spasticité sur les fléchisseurs des doigts ; contrôle statique de l'épaule sans compensation lors du travail en décubitus, mais avec encore une légère participation du trapèze supérieur lors du travail assis ; meilleure préhension fine avec des gestes moins lents
- membre supérieur gauche : motricité et utilisation normales
- membres inférieurs : amélioration du recrutement volontaire des releveurs à 4 sur table, et diminution de l'hypertonie des triceps, nulle à gauche et cotée à 1 à droite.

→ Bilan fonctionnel :

- marche autonome avec une canne tripode sur un périmètre d'environ 500 m, il réalise ainsi ses déplacements à l'intérieur du centre mais cette marche est encore lente et demande une grande attention pour une parfaite fonctionnalité. L'attaque du pied est correcte à gauche mais se fait encore pied à plat à droite avec toutefois une amélioration du recrutement des muscles fibulaires.
- plus de récurvatum de genou, ni de griffe des orteils.
- équilibre debout sur plan instable (planche de Freeman) et unipodal à droite tenu plusieurs secondes, réactions parachutes efficaces des deux côtés.

2. 2. Matériel

2. 2. 1. Electrostimulation musculaire

2. 2. 1. 1. Physiologie

L'excitabilité d'une fibre nerveuse est sa propriété à répondre, par une modification interne active, à une variation énergétique. [5]

L'électrostimulation musculaire se base sur cette propriété et doit, pour créer un potentiel d'action, répondre à la loi des 3 seuils :

- Le seuil de climalyse :

Dans le motoneurone (= fibre myélinique), des mécanismes d'accommodation de la fibre à la stimulation, par récupération ionique, s'opposent à la création d'un potentiel d'action (cf. Annexe III Fig. 1).

Si la vitesse de dépolarisation est plus lente que la récupération ionique, il ne se créera pas de différence de potentiel, donc pas de potentiel d'action. La dépolarisation doit être suffisamment rapide pour provoquer un renversement des concentrations ioniques malgré l'accommodation, et donc créer une différence de potentiel.

- Le seuil d'intensité :

Il fait appel aux notions de chronaxie et de rhéobase. La chronaxie (selon Lapicque) représente le temps de passage du courant pour obtenir le seuil de contraction avec une intensité double de la rhéobase. La rhéobase est l'intensité minimale du courant capable d'exciter le nerf ou le muscle pour une durée de passage prolongée (cf. Annexe III Fig. 2).

- Le seuil de durée :

Ce seuil de durée fait référence à la chronaxie de la fibre nerveuse mais aussi à la période réfractaire. En effet, une fibre nerveuse qui vient d'être parcourue par une stimulation supra-liminaire connaît une période, dite réfractaire absolue, où elle ne peut à nouveau être excitée quelle que soit l'intensité de la stimulation. Puis, elle connaît une seconde période, dite réfractaire relative, où, pour être excitée, la fibre nerveuse demande une intensité très élevée. Plus on s'éloigne de la première stimulation, moins l'intensité devra être élevée, jusqu'à atteindre l'intensité seuil (cf. Annexe IV).

2. 2. 1. 2. Principes

L'électrostimulation musculaire peut se faire à partir de 2 types de cellules excitables :

- les cellules nerveuses qui transmettent l'influx jusqu'aux muscles
- les cellules musculaires elles-mêmes.

Avec l'Automove®, l'électrostimulation est couplée à un recueil EMG de l'activité musculaire. Lorsque celui-ci est utilisé avec 3 électrodes, comme dans le cas présent, nous sommes donc amenés à placer nos électrodes excitatrices en regard du muscle puisque ce sont ces mêmes électrodes de surface qui recueillent l'activité EMG. Nous veillerons cependant à placer nos électrodes en regard du point moteur du muscle concerné.

2. 2. 1. 3. Indications

Les indications de la stimulation excito-motrice sur un muscle sont multiples [4] :

- entretenir une trophicité musculaire
- prévenir ou traiter l'amyotrophie d'immobilisation
- maintenir ou accroître les amplitudes articulaires
- apporter des informations extéroceptives et proprioceptives provoquées par les contractions musculaires
- faciliter la reprogrammation sensitivomotrice
- diminuer la spasticité par stimulation des antagonistes aux muscles spastiques
- assurer une orthèse dynamique permettant de lutter contre une hypoextensibilité musculaire pouvant entraîner une attitude vicieuse.

Dans le cas présent, par le travail avec l'AM 800®, nous viserons :

- ⇒ une action trophique et vasculaire : en effet, toute diminution de l'activité musculaire entraîne une amyotrophie et une diminution de la vascularisation musculaire et osseuse, provoquant ainsi une déminéralisation osseuse génératrice de phénomènes douloureux.
- ⇒ une mobilité articulaire dans des secteurs que le patient ne peut explorer activement du fait de son déficit de recrutement musculaire volontaire, et d'éviter ainsi la rétraction des éléments musculaires et capsulo-ligamentaires péri-articulaires.
- ⇒ l'inhibition de la spasticité des muscles antagonistes aux muscles stimulés : J.M. ANDRE et al [1] définissent l'action de l'électrostimulation dans la diminution de la spasticité par des mécanismes d'action immédiats (inhibition présynaptique I A, meilleure activation des antagonistes, désinhibition suprasegmentaire) et des mécanismes à effets retardés (modification des propriétés viscoélastiques musculaires, développement des unités motrices à contraction rapide). Il est ainsi évoqué l'influence de l'électrostimulation musculaire sur la plasticité neuronale (collatéralité, néosynapsogénèse, hypersensibilité des récepteurs ...) mais ceci n'est qu'un mécanisme d'action possible qui ne permet pas encore d'être affirmé.
- ⇒ la facilitation de l'activité musculaire volontaire : en physiologie, la boucle concernant la commande motrice volontaire commence au système nerveux central pour agir sur les muscles en périphérie. Par l'électrostimulation musculaire, nous tentons de recréer cette boucle déficiente en utilisant, comme point de départ, la structure musculaire. Pour que cette boucle soit restaurée dans son ensemble, il est important de conjuguer, à la contraction électrostimulée, une participation volontaire de la part du patient.

L'AM 800® nous assure de cette participation active puisque c'est le patient qui déclenche la stimulation électrique par sa propre contraction, en initiant le mouvement, à la différence des appareils générant un courant excitomoteur de façon cyclique et automatique.

Ainsi, avec l'AM 800®, le patient se doit d'activer, volontairement, son muscle « cible » tandis qu'en électrostimulation traditionnelle, on ne peut objectiver la participation « active » de la contraction provoquée. J.M. ANDRE et al [1] définissent les phénomènes impliqués par la stimulation électrique et par l'action volontaire (cf. Annexe V).

2. 2. 1. 4. Détermination du seuil de déclenchement de la stimulation électrique

L'AM 800® mesure continuellement le niveau d'activité EMG du muscle sollicité. En mode automatique, il détermine, à chaque contraction musculaire, la valeur-seuil optimale de déclenchement de la stimulation électrique, en fonction des performances du patient.

En début de séance, un seuil est pré-établi à 50 μV . Ensuite, si la tentative de contraction est réussie, c'est-à-dire si le niveau EMG du patient dépasse la valeur-seuil, l'AM 800® prend pour nouvelle valeur-seuil la valeur maximale obtenue.

Tableau I : Détermination de la valeur-seuil après une tentative réussie

TENTATIVE	SEUIL EMG	EMG PATIENT
1	50 μV	60 μV
2	60 μV	65 μV
3	65 μV	...

Par contre, si le patient échoue dans sa tentative d'atteindre le seuil, celui-ci est recalculé sur la moyenne des 3 dernières valeurs enregistrées de l'EMG du patient.

Tableau II : Détermination de la valeur-seuil après une tentative échouée

TENTATIVE	SEUIL EMG	EMG PATIENT
1	70 μ V	75 μ V
2	75 μ V	78 μ V
3	78 μ V	72 μ V
4	$\frac{(75 + 78 + 72)}{3} = 75 \mu\text{V}$...

2. 2. 2. Biofeedback

2. 2. 2. 1. Principes

Un acte moteur n'est possible que si l'organisme reçoit, au fur et à mesure de l'action, toutes les informations dont il a besoin : la vitesse, la direction, l'amplitude, la force du mouvement ... En effet, le mouvement n'est pas une activité purement motrice, mais bien sensori-motrice. Le patient ne pourra et ne saura reproduire un geste ou une posture que s'il a connu et ressenti, par ses propres afférences proprioceptives, ce qu'est ce geste ou cette posture [7].

En physiologie, toutes ces informations sont perçues grâce à des récepteurs périphériques, puis sont analysées par les centres supérieurs (cortex pariétal et temporal principalement) avant d'être transmises aux centres responsables de la commande motrice (aire 4 du cortex frontal et zones corticales participant au faisceau pyramidal) qui vont alors pouvoir conduire le mouvement en fonction des informations reçues.

Ainsi, les rééducations neuromusculaires et cognitives se proposent de redonner au patient les informations non ou mal perçues. Lors d'un programme de rééducation classique, le

kinésithérapeute fournit oralement plusieurs de ces éléments : position d'une articulation, d'un segment de membre, degré de contraction musculaire ... Le patient peut aussi les recevoir directement par l'intermédiaire d'un miroir.

La technique de biofeedback permet de transmettre au patient, de façon exacte et objective, une rétro-information externe. On supplée, en fait, la boucle de feedback interne déficiente par une boucle de feedback externe. Dans un premier temps, il est nécessaire de faire comprendre au patient la signification de l'information donnée par l'appareil, c'est-à-dire de la rétro-information. Ensuite, il faudra lui montrer qu'il est capable de contrôler volontairement son activité musculaire. L'apprentissage par biofeedback est une étape intermédiaire, transitoire, du programme de rééducation.

2. 2. 2. 2. EMG feedback

Dans le cas présent, l'information donnée au patient est le degré de recrutement musculaire. L'intensité de la contraction musculaire est représentée par un barregraphe qui donne un résultat quantifié, précis et continu. La rétro-information restituée au patient les qualités de son recrutement musculaire volontaire, élément indispensable à la restitution d'un schéma moteur. A cette rétro-information visuelle est associée une information sonore qui prévient le patient quand il peut commencer sa contraction et quand le seuil est atteint.

De plus, la connaissance du résultat stimule la motivation du patient à poursuivre et à améliorer ses performances. L'Automove® favorise d'autant plus cette stimulation que l'on demande au patient d'atteindre un certain niveau de recrutement musculaire (= valeur-seuil).

2. 3. Méthode

2. 3. 1. Protocoles

2. 3. 1. 1. Concernant les releveurs

⇒ L'installation du sujet :

La position doit être confortable afin de pouvoir être maintenue pendant toute la durée de la séance. De plus, nous recherchons une détente maximale du sujet pour qu'il puisse se concentrer électivement sur l'écran du boîtier Automove® et sur le muscle cible.

Le sujet est à demi-assis sur une table de rééducation où le dossier a été redressé à 70-80°. Un coussin demi-lune est placé sous les genoux créant ainsi une flexion d'environ 30°.

Cette position a été décidée après avoir pris en compte les éléments suivants :

- Détente du plan postérieur afin de ne pas réactiver la spasticité du muscle triceps sural lors du travail en flexion dorsale de cheville, et de ne pas être gêné par une éventuelle hypoextensibilité des muscles gastrocnémiens.
- Stimulation des muscles releveurs dans une position proche de la rectitude, dans le souci de redonner un nouveau schéma moteur au patient. En effet, il nous paraît peu fonctionnel et donc peu intéressant de demander une flexion dorsale de cheville sur un membre inférieur en flexion complète de hanche et de genou, qui aurait tendance à aller dans le schéma syncinétique de la triple flexion.
- Position redressée du tronc, avec le boîtier Automove® à hauteur du regard pour que le sujet suive, sur l'écran à cristaux liquides, le barregraphe témoin de son activité musculaire. De plus, nous veillons au bon éclairage de la pièce, suffisant mais non agressif, et au calme afin de faciliter la concentration du patient sur la rétro-information externe qui lui est transmise.

⇒ Le placement des électrodes répond à trois impératifs liés à la détection du signal EMG

global : [6] chap. V-1 paragraphe 2-1-2

- limiter la détection au seul muscle choisi
- disposer du signal le plus ample possible
- éviter les artéfacts de tous ordres.

Le premier impératif nous a guidés vers le choix d'électrodes de surface auto-adhésives, carrées, de 4 cm de côté.


- L'électrode EMG ⁽⁻⁾ est placée sur le point moteur du muscle tibial antérieur, au niveau du tiers proximal du corps musculaire. Sur le patient suivi dans cette étude, ce point moteur a été évalué sur une ligne allant de la tête de la fibula à la malléole interne, le centre de l'électrode se trouvant à 6 cm de la tête de la fibula.
- L'électrode EMG ⁽⁺⁾ est placée au niveau du tiers inférieur du corps du muscle tibial antérieur, à 6 cm en-dessous de l'électrode négative et à 4 cm de la crête tibiale.
- L'électrode de référence est placée sur le muscle triceps sural, à la face médiale de la jambe, à 9 cm de la crête tibiale, à équidistance des deux autres électrodes.

Il est important de noter précisément ce positionnement afin d'être reproductible dans la détection EMG. De plus, toujours dans le souci de limiter la détection au seul muscle choisi, nous avons opté pour un mode de détection bipolaire, insensible aux potentiels lointains, contrairement à la détection monopolaire [6] chap. II-1 paragraphe 1-1-2.

Le deuxième impératif nous amène à être très précis dans la détermination du point moteur (point présumé d'activité maximale). Cette détermination est préalablement réalisée par électrostimulation [6] chap. II-3 paragraphe 1-1-3.

Le troisième impératif nous conduit à prendre des précautions techniques diverses, notamment une bonne préparation de la peau et une fixation rigoureuse des électrodes. L'Automove® mesure automatiquement la résistance des électrodes EMG. Il convient de vérifier cette résistance au début de chaque séance : plus celle-ci sera faible, plus les résultats enregistrés seront fiables. Le manuel d'instruction de l'Automove® préconise une résistance inférieure à 10 kilo ohms.

⇒ Paramètres :

- Courant bi-directionnel symétrique : 
- Largeur d'impulsion déterminée à partir de la valeur de la chronaxie du muscle Tibial Antérieur : $\lambda = 250 \mu\text{s}$ [8]
- Fréquence : afin d'obtenir la téτανisation du muscle (sommation temporelle), nous avons choisi une fréquence de 50 Hz [6] chap. I-2 paragraphe 1-1-2
- Intensité : suffisante pour recruter l'ensemble des fibres musculaires et supportée par le patient : $I = 45 \text{ mA}$
- Temps d'installation du courant : nous avons choisi une rampe de montée et de descente de l'intensité de 1 s. Ce temps peut être prolongé, et cela en fonction de la réactivité des antagonistes, le but étant de ne pas provoquer de réflexe d'étirement. Dans le cas présent, le réflexe d'étirement à craindre est celui du muscle triceps sural pendant la phase d'installation de l'intensité (cf. Annexe VI).
- Temps de travail avec l'intensité maximale : 6 s. Cela nous amène à un temps total d'électro-stimulation de 8 s. Nous veillons à ce que ce temps ne soit pas trop long car nous sommes face à des patients très fatigables. De plus, à ce temps de travail où la

contraction active est renforcée par la stimulation électrique, il faut rajouter le temps de contraction active où le patient cherche à atteindre le seuil.

- Ainsi nous avons choisi un temps de repos suffisamment long, double environ du temps de travail, soit 20 s.
- Le travail avec l'Automove® est, comme nous l'avons vu, contraignant, tant sur le plan moteur que cognitif. Cela justifie des séances courtes ne dépassant pas 20 min.

⇒ Déroulement de la séance :

- Sélection du programme

L'Automove® garde en mémoire, d'une séance à l'autre, les paramètres de stimulation. Il est possible d'enregistrer plusieurs séries (ou pool) de paramètres, à condition de leur donner un numéro de programme différent. Dans un premier temps, l'utilisateur mémorise les paramètres, avec lesquels il désire travailler, sous un certain numéro de programme (différent de zéro). Pour les séances suivantes, il lui suffit de rappeler ce programme pour retrouver les paramètres de la première séance. Ainsi, plusieurs utilisateurs peuvent, facilement, utiliser le même boîtier Automove® sur des localisations ou des patients différents.

- Consignes données au patient.

Au signal donné par l'appareil (« OK » sur l'écran, diode verte allumée), le patient tente de ramener vers lui la pointe du pied (mouvement de dorsiflexion de cheville). Pendant toute cette phase de contraction active non-accompagnée d'électrostimulation, on lui demande de suivre la rétro-information, témoin de son activité EMG, et d'amener ainsi le barregraphe jusqu'au curseur représentant le seuil de déclenchement de la stimulation électrique. Lors de la phase d'électrostimulation (« STIM » sur l'écran, diode

rouge allumée), on lui demande de poursuivre la contraction active. Pendant la phase de repos (« REPOS » sur l'écran, diode éteinte), il tente de se relâcher au maximum en suivant la rétro-information afin que son activité EMG soit la plus faible possible.

2. 3. 1. 2. Concernant le muscle Deltoïde moyen

⇒ Installation du patient :

Comme pour le travail des releveurs, nous installons le sujet dans un souci de confort optimal. Le patient doit pouvoir réaliser toute la séance sans douleur. Le mouvement demandé est une abduction dans le plan physiologique (ou plan de la scapula) à 30° d'adduction horizontale par rapport au plan frontal. Le sujet est assis sur une chaise (ou un fauteuil roulant) le dos callé au dossier afin d'éviter les contraintes d'un contrôle postural exigeant. Son avant-bras repose sur une table placée devant lui afin de placer l'épaule à 60° d'abduction et à 30° d'antéposition, le coude est fléchi à 90°. Il est souhaitable de placer une épaisseur de mousse sur la table pour un plus grand confort. Nous sommes particulièrement attentifs aux compensations, notamment à la sur-élévation du moignon de l'épaule par les muscles trapèze supérieur et élévateur de la scapula, à la rotation interne d'épaule par le muscle Grand Pectoral, et à l'inclinaison du tronc, afin de ne pas donner de mauvais schémas moteurs au patient.

Si l'on se réfère à l'étude cinésiologique de l'épaule, le muscle deltoïde moyen, recruté analytiquement à partir d'une position bras au corps, réalise une ascension de la tête humérale et non une abduction. Il ne devient abducteur que si la tête est recentrée activement, ce qui, en physiologie, est le rôle de la coiffe des rotateurs. Ainsi, dans le souci de favoriser le recentrage de la tête humérale afin d'obtenir un travail fonctionnel du muscle deltoïde moyen, nous choisissons une position de départ à 60° d'abduction. En effet, dans


cette position, le muscle deltoïde moyen perd de sa composante d'ascension pour gagner en composante d'abduction [11].

Comme précédemment, nous sommes attentifs aux conditions environnementales.

⇒ Placement des électrodes :

- L'électrode EMG ⁽⁻⁾ est placée sur le point moteur du muscle Deltoïde moyen, au-dessus de la zone d'insertion. Chez notre patient, ce point moteur a été évalué sur une ligne allant du bord externe de l'acromion à l'épicondyle, à 16 cm de l'acromion.
- L'électrode EMG ⁽⁺⁾ est placée à la partie supérieure du muscle Deltoïde moyen, juste en dessous de l'acromion.
- L'électrode de référence est placée sur le corps musculaire du muscle Supra-Epineux, juste au-dessus de l'épine de la scapula, à 8 cm de l'angle supéro-interne de la scapula.

⇒ Paramètres :

- Courant bi-directionnel symétrique : 
- Largeur d'impulsion déterminée à partir de la valeur de la chronaxie du muscle Deltoïde :
 $\lambda = 120 \mu\text{s}$ [8]
- Fréquence : afin d'obtenir une téτανisation du muscle : $N = 50 \text{ Hz}$
- Intensité : suffisante pour recruter l'ensemble des fibres musculaires et supportée par le patient : $I = 35 \text{ mA}$
- Temps d'installation du courant : 1 s.
- Temps de travail avec l'intensité maximale : 6 s.
- Temps de descente du courant : 1 s.
- Temps de repos : 20 s.
- Durée de la séance : 20 min

Les justifications de ces choix sont les mêmes que celles expliquées au § 2.3.1.1. Le réflexe d'étirement à craindre ici est celui du muscle Grand Pectoral.

⇒ Déroulement de la séance :

- Sélection du programme
- Consignes données au patient

Le mouvement demandé est une abduction dans le plan physiologique. A partir de la position de départ décrite précédemment, on demande au patient de décoller son coude de la table tout en gardant l'avant-bras horizontal, sans partir dans les compensations précédemment citées.

2. 3. 2. Informations recueillies par le logiciel AM manager

2. 3. 2. 1. Possibilités données par le logiciel

Les informations recueillies par l'AM 800® sont consultables grâce au logiciel AM Manager (utilisable sur PC uniquement). La transmission des informations du boîtier AM 800® vers le micro-ordinateur se fait par infrarouge. Les informations (cf. Annexe VII) sont disponibles sous 3 chapitres : 1 - Sessions logs, 2 - Parameter logs, 3 - Trigger logs

Un logging est un enregistrement de tous les événements survenus au cours de la séance. Les résultats sont donnés sous forme de tableaux.

Pour l'étude suivante, ce sont les résultats disponibles dans « Trigger logs » qui nous intéressent :

A : Index des logs

B : Date de l'événement (jour - mois)

C : horaire de l'événement (heure, minute, seconde)

D : N° de programme en cours

E : Événement de type « Log Cleared » : mémoire effacée, ou de type « EMG Electrode ALARM » : défaut d'électrodes EMG

F : Événement de type :

→ « Attempt » = tentative échouée d'atteinte du seuil

→ « Trigger » = tentative réussie d'atteinte du seuil

G : Valeurs des seuils EMG

H : Valeurs EMG atteintes au cours de l'essai (= EMG du patient)

I : Valeur de l'intensité de stimulation.

2. 3. 2. 2. Utilisation des résultats

Les résultats sont retransmis par AM Manager sous forme de colonnes, de A à I, une rangée horizontale correspondant à un événement. Pendant une séance de 20 min, nous obtenons, en moyenne, 60 événements. Pour une lecture plus aisée des résultats, nous nous proposons de les représenter sous forme de graphes à deux entrées :

→ en abscisse : le nombre d'événements répertoriés (Attempt et Trigger).

→ en ordonnée : la valeur de l'EMG en micro-volts (μV)

Sur un même graphe, nous superposons 2 courbes : l'une représentant l'évolution de la valeur du seuil EMG, l'autre l'évolution de la valeur EMG développée par le patient.

3. RESULTATS

3. 1. Courbes obtenues avec les muscles releveurs (cf. Annexe VIII)

3. 1. 1. Séance du 13 octobre 1998

On note, en premier lieu, une grande irrégularité des performances. La courbe représentant l'EMG du patient montre de grands pics puis de grands effondrements où elle reste en dessous de celle représentant le seuil, malgré un réajustement constant de celui-ci. Ceci exprime une difficulté évidente de commande motrice volontaire. Le patient est quelquefois capable d'un recrutement moteur dépassant 300 μV mais ceci n'est pas reproductible d'un essai à l'autre et montre plutôt un épuisement au fur et à mesure de la séance.

3. 1. 2. Séance du 15 octobre 1998

La courbe est toujours très irrégulière. Le nombre de pics à recrutement élevé est bien supérieur à celui observé précédemment mais on note toujours, entre ces pics, des chutes de la valeur EMG, c'est-à-dire encore un manque de reproductibilité de la commande motrice volontaire. Il est aussi intéressant de noter que le niveau global de recrutement est supérieur à celui de la séance du 13 octobre.

3. 1. 3. Séance du 21 octobre 1998

On peut noter une certaine tendance à l'aplanissement de la courbe : il y a toujours plusieurs pics à recrutement élevé mais les amplitudes de ceux-ci sont réduites. On a donc une plus grande régularité des performances de recrutement moteur volontaire. De plus, le niveau moyen de recrutement est encore une fois supérieur à la celui de la séance précédente, avec une tendance à la hausse vers la fin de la séance.

3. 1. 4. Conclusions sur 8 jours

Les résultats obtenus montrent, sur une période très courte, des progrès évidents concernant :

- la commande volontaire en elle-même où chaque tentative du patient d'atteindre le seuil se traduit par une augmentation significative de la valeur EMG.
- le recrutement musculaire puisqu'au fur et à mesure des séances, la valeur moyenne de l'EMG du patient augmente.
- l'endurance musculaire puisque l'on note une plus grande régularité des performances.

3. 2. Courbes obtenues avec le muscle Deltoïde moyen (cf. Annexe IX)

3. 2. 1. Séance du 14 octobre 1998

On note une certaine régularité de la courbe qui évolue dans une amplitude relativement faible (environ 100 μ V). Par contre, le niveau de recrutement reste bas, ne dépassant pas 180 μ V. Les performances restent à peu près stables au cours de la séance sans signe d'amélioration du recrutement, mais sans signe non plus de fatigue en fin de séance.

3. 2. 2. Séance du 19 octobre 1998

Les résultats sont assez semblables à ceux du 14 octobre, à la différence près, que le niveau de recrutement moyen est bien supérieur. La courbe évolue en effet autour de 200 μ V contre 150 μ V précédemment.

3. 2. 3. Séance du 27 octobre 1998

La courbe garde le même profil que les deux précédentes mais avec encore une augmentation du niveau moyen de recrutement. On observe, en effet, plusieurs valeurs supérieures à 250 μ V.

3. 2. 4. Conclusions sur 13 jours

Contrairement aux courbes obtenues avec les muscles releveurs, on observe ici une certaine régularité des performances dès la première courbe. Ceci semble montrer un déficit de commande volontaire moins marqué. Des progrès notables sont néanmoins à signaler concernant le niveau moyen de recrutement.

3. 3. Corrélation entre l'évolution clinique et les résultats chiffrés :

Séance du 14 octobre 1998 réalisée sur les releveurs droits puis gauches

3. 3. 1. Rappel clinique

A ce stade de progression du patient, on notait des releveurs de force quasiment identique sur table (cotés à 4 des deux côtés). Et pourtant, à la marche, un déficit de commande volontaire était nettement plus marqué à droite puisque l'attaque du pas n'était possible que pied à plat. Le patient n'était donc pas capable de recruter ses releveurs droits de manière efficace pendant la marche, c'est-à-dire d'associer la dorsiflexion de cheville à l'extension de hanche et de genou. Tandis que, pour la même cotation d'EMFM sur table, le patient était capable de recruter correctement ses releveurs gauches à la marche.

3. 3. 2. Courbes obtenues (cf. Annexe X)

Les deux courbes présentent une grande irrégularité mais il est intéressant de constater la différence de valeur moyenne de recrutement entre le côté droit et le côté gauche. Alors que l'examen sur table ne permet pas de prédire le recrutement fonctionnel des releveurs à la marche, les résultats obtenus grâce à l'Automove® et au logiciel AM Manager nous permettent une appréciation plus précise des capacités du patient.

4. DISCUSSION

4. 1. La retransmission de la rétro-information

Dans le chapitre 2.1., nous avons cité les conditions nécessaires au patient pour travailler avec l'Automove®. Une des difficultés rencontrées est le suivi même de la rétro-information. Celle-ci est représentée sous forme de barregraphe gris sur l'écran à cristaux liquides. Son suivi demande une bonne vision ainsi qu'une attention soutenue. Une rétro-information visuelle agrandie, plus attrayante, d'un contraste plus marqué, se rapprochant peut-être plus de celle proposée par le Myotrac®, permettrait à des patients présentant des troubles visuels ou attentionnels, d'y accéder avec plus de facilité. On pourrait ainsi élargir la population pouvant bénéficier de cet apprentissage.

4. 2. Principe même du couplage Electrostimulation - EMG de surface

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 2.2.1.2, l'enregistrement EMG de surface nous oblige à placer nos électrodes sur un muscle de manière élective. Or, cela ne va-t-il pas à l'encontre de la fonctionnalité même du mouvement demandé et de l'électrostimulation ? Dans cette étude nous enregistrons l'activité myoélectrique du muscle Tibial antérieur alors que nous demandons au sujet de relever la pointe du pied sans inversion ni éversion, de manière à obtenir le mouvement qui sera le plus fonctionnel à la marche. Si l'on reste analytique sur le muscle Tibial antérieur, cela signifie que la stimulation électrique, au lieu d'aider le patient dans le mouvement initié, l'emmènerait en adduction-supination. Afin d'éviter cette contradiction, et dans le souci de ne pas redonner un mauvais schéma moteur au patient, nous avons choisi un placement d'électrodes se rapprochant plus de celui utilisé dans la stimulation électrique fonctionnelle. En effet, si l'on se réfère au placement décrit dans le paragraphe 2.3.1.1., il est évident que nous ne sommes pas électivement sur le corps du muscle Tibial antérieur, de par

l'emplacement même des électrodes et de par leur surface. Ce placement a été choisi afin de donner le mouvement le plus fonctionnel de flexion dorsale de cheville.

En fait, nous savons bien que l'EMG de surface, recueillie grâce à des électrodes adhésives, n'a pas la prétention de relever l'activité myélectrique du muscle dans son ensemble. Nous pouvons, par contre, admettre relever l'activité myélectrique des fibres musculaires en regard des électrodes. Ainsi, dans le travail présenté, nous enregistrons l'activité de quelques fibres musculaires, représentatives d'une fonction puis, par l'électrostimulation, nous tentons d'améliorer cette fonction.

La question du choix entre le recueil EMG et la fonctionnalité de la stimulation électrique ne s'est pas posée pour le travail de l'abduction d'épaule même si de nombreux auteurs (de BISSCHOP, DUMOULIN,...) préconisent la stimulation du muscle Supra-Epineux conjointement à celle du muscle Deltoïde moyen. Dans la position de travail décrite dans le paragraphe 2.3.1.2., le bras est placé à 60° d'abduction, ainsi le Deltoïde moyen perd de sa composante ascensionnelle pour gagner en composante de recentrage de la tête humérale. L'électrostimulation accompagne alors le mouvement sans créer de mauvais schémas moteurs.

4.3. Le travail analytique

Nous savons que, physiologiquement, un sujet ne recrute jamais un muscle de manière analytique mais bien un groupe de muscles correspondant à une fonction. Au niveau des fonctions supérieures, ce n'est pas l'image de la contraction d'un muscle qui est représentée mais bien l'image d'une fonction. Par exemple, le sujet n'envoie pas l'ordre « contraction du muscle Tibial antérieur » mais plutôt : « relever la pointe du pied » ou « enfoncer le talon dans le sol ». Le travail analytique d'un muscle peut paraître peu intéressant, surtout en neurologie où l'on recherche plutôt un travail global le plus fonctionnel possible. En fait, le travail avec

l'Automove® n'est qu'une étape intermédiaire où l'on va amener le patient à prendre conscience de la contraction d'un muscle qui n'était plus ou mal perçue. Dans cette étape, on tente de recréer la boucle de feedback interne afin de pouvoir, par la suite, réintégrer le muscle concerné dans une fonction.

5. CONCLUSION

Dans la rééducation de patients présentant une atteinte neurologique centrale, le travail avec l'Automove® nous paraît bénéfique. En effet, celui-ci permet d'associer :

- un entretien trophique des muscles parétiques
- un entretien articulaire dans des secteurs non exploités activement
- une inhibition temporaire de la spasticité
- la facilitation de l'activité musculaire volontaire
- l'apprentissage par rétro-information d'une nouvelle commande motrice.

Ainsi, le travail avec l'Automove® nous permet de résoudre, en partie, certaines des difficultés rencontrées en rééducation. De plus, l'Automove® incite le patient à s'investir dans sa rééducation en lui permettant d'objectiver ses progrès par l'intermédiaire de résultats quantitatifs et qualitatifs. En effet, la lenteur de la progression est fréquemment un facteur de démotivation. Le suivi objectif de la progression est, enfin, un élément fondamental pour le thérapeute qui est amené, de plus en plus, à justifier l'utilité et l'efficacité de sa prise en charge.

BIBLIOGRAPHIE

1. **ANDRE J.M., BRUGEROLLES B., BEIS J.B., CHELLIG L.** - La stimulation électrique neuromotrice dans le traitement de la spasticité - Ann. Réadaptation Méd. Phys., 1993, 36, p. 329-336.
2. **BASMAJIAN J.V** - Muscle alive. Their functions revealed by électromyography. - 3ème éd. - Baltimore : Williams and Wilkins Co, 1985 - 515 p.
3. **BENTON L.A., BAKER L.L., BOWMAN B.R., WATERS R.L.** - Fonctionnal electrical stimulation - 2ème éd. - Downey Ca. : Rancho Los Amigos, 1981
4. **BISSCHOP G. de, DUMOULIN J.** - Neurostimulation électrique transcutanée - Paris : Masson, 1991, 125 p.
5. **BISSCHOP G. de, DUMOULIN J., AARON Cl.** - Electrothérapie appliquée en kinésithérapie et rééducation, en rhumatologie et médecine du sport - Monographie de Bois-Larris, Paris : Masson, 1984, 84 p.
6. **BOUISSET S., MATON B.** - Muscles, Posture et Mouvement. Bases et applications de la méthode électromyographique - Hermann, 1995, 735 p.
7. **BRUGEROLLES B., CHAUVIERE C., ANDRE J.M.** - Le biofeedback. Rétro-information, rétro-contrôle, rétro-commande, rétro-action. Rev. Réadapt. Fonct. Prof. Soc. 1986, 15, p. 16-21.
8. **DUMOULIN J., BISSCHOP G. de** - Points moteurs et chronaxies normales. Planches - Paris : Maloine, 1964, p. 20 à 24.

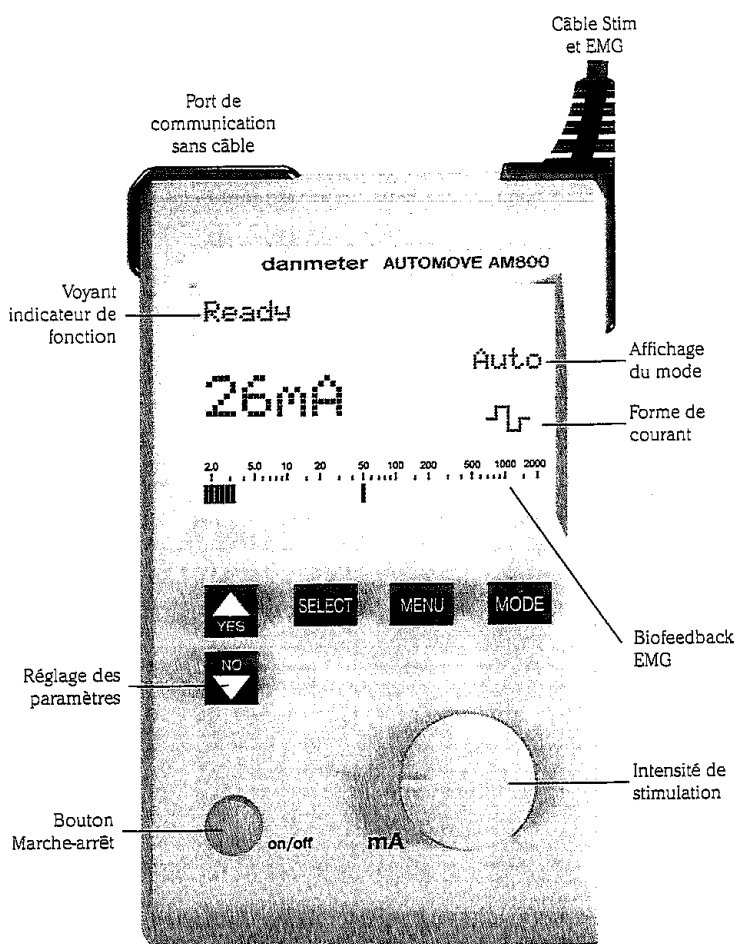
9. **ETIENNE J.C., BERTHELIN F., GARROS J.C., JOLY B.** - Association de l'électrothérapie et du biofeedback chez l'hémiplégique récent - Ann. de Rééducation, 1985, 3, p. 64-69.
10. **INGLIS J., DONALD M.W., MONGA T.N., SPROULE M., YOUNG M.J.** - Electromyographic Biofeedback and Physical Therapy of the Hemiplegic Upper Limb - Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 1984, 65, 12, p. 755-759.
11. **KAPANDJI I.A.** - Physiologie articulaire, Tome I : Membre Supérieur. - 5ème éd. - Paris : Maloine, 1994. - 296 p.
12. **KING T.I.** - Electromyographic Biofeedback treatment in Hemiplegia - Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine, 1994, 6, 3, p. 259-272.
13. **RANDAL E., SCHLEENBAKER M.D., MAINOUS G.** - Electromyographic Biofeedback for Neuromuscular Reeducation in the Hemiplegic Stroke Patient : a Meta-Analysis - Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 1993, 74, 12, p. 1301-1304.

ANNEXES

ANNEXE I

AUTOMOVE 800

Stimulation et biofeedback EMG



Le concept AUTOMOVE

L'AUTOMOVE 800 réalise la combinaison d'un très performant EMG de surface et d'un neurostimulateur musculaire. Il est capable de détecter des niveaux très faibles de potentiels EMG et de déclencher une stimulation dès qu'un certain seuil est atteint. Ainsi, la neurostimulation n'est pas subie passivement par le patient, il en est le moteur, chaque essai lui demande une totale participation.

La nouvelle version AUTOMOVE 800 totalement automatisée, sélectionne les niveaux de seuil, mémorise les performances, rend compte du travail effectué.

Simplicité d'utilisation :

L'écran digital permet un contrôle instantané sur les paramètres de travail.

L'AUTOMOVE 800 ajuste automatiquement les niveaux de seuil de déclenchement de la stimulation.

Il mémorise chaque performance.

Equippé d'une mémoire interne : l'AUTOMOVE 800 permet la création de programmes spécifiques.

Liaison PC, Imprimante : un système d'évaluation.

Equippé d'une mémoire interne et d'un port de communication pour imprimantes ou PC, il donne la possibilité de conserver une trace du travail réalisé. Il est ainsi possible d'objectiver les performances et de suivre avec précision l'évolution du processus de récupération des fonctions motrices.

ANNEXE II

Cotation de la spasticité selon Ashworth :

- 0 : pas de spasticité
- 1 : ressaut à la mobilisation
- 2 : hypertonie gênant le mouvement mais la mobilisation est encore facile
- 3 : hypertonie plus importante, la mobilisation devient difficile
- 4 : la mobilisation est impossible

Evaluation musculaire selon Held :

- 0 : aucune contraction visible ou palpable
- 1 : contraction visible ou palpable n'entraînant pas de mouvement
- 2 : contraction musculaire entraînant une ébauche de mouvement
- 3 : le mouvement est possible contre une légère résistance
- 4 : le mouvement est possible contre une résistance plus importante
- 5 : normal

Annexe III

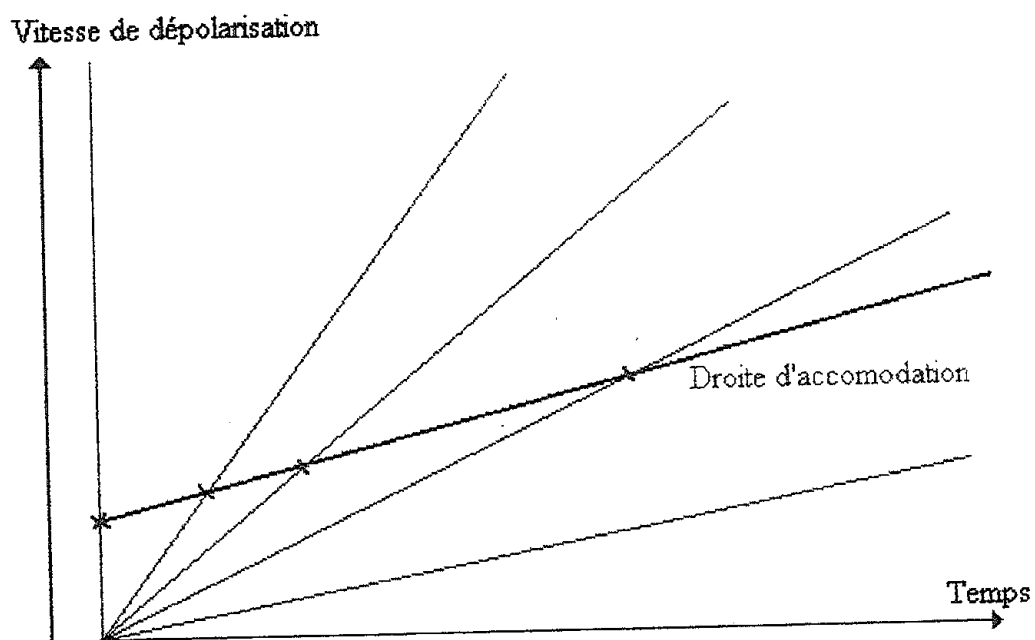


Figure 1 : Seuil de climalyse

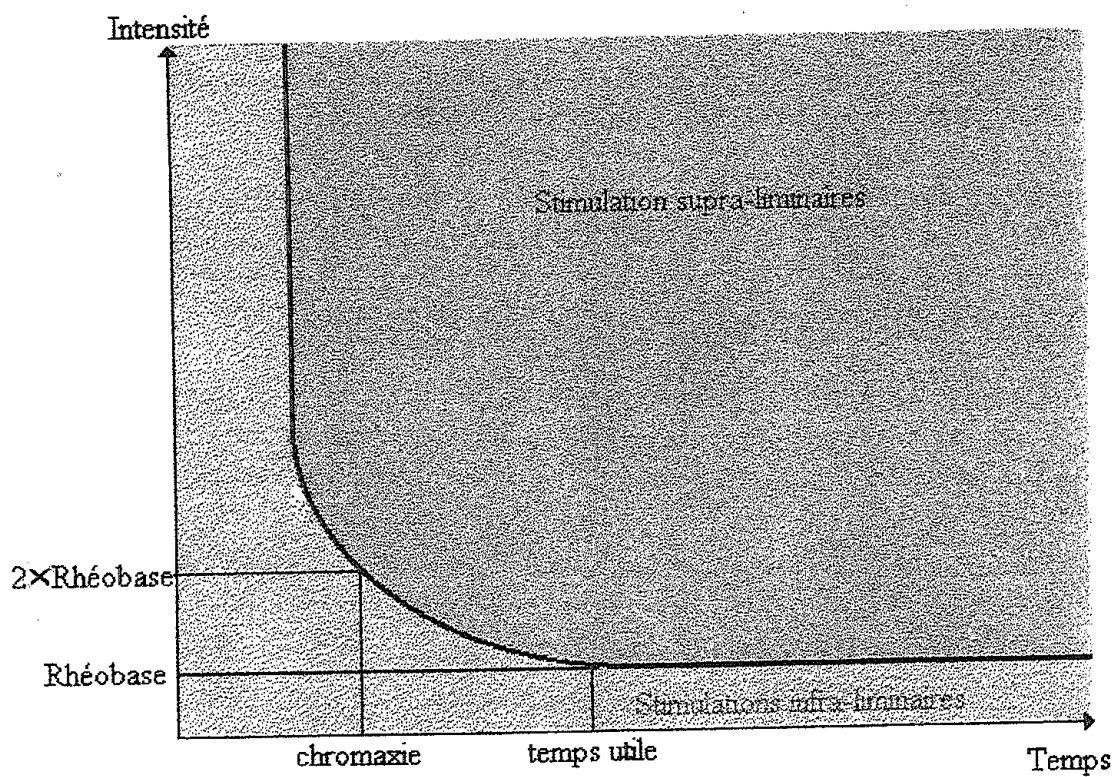
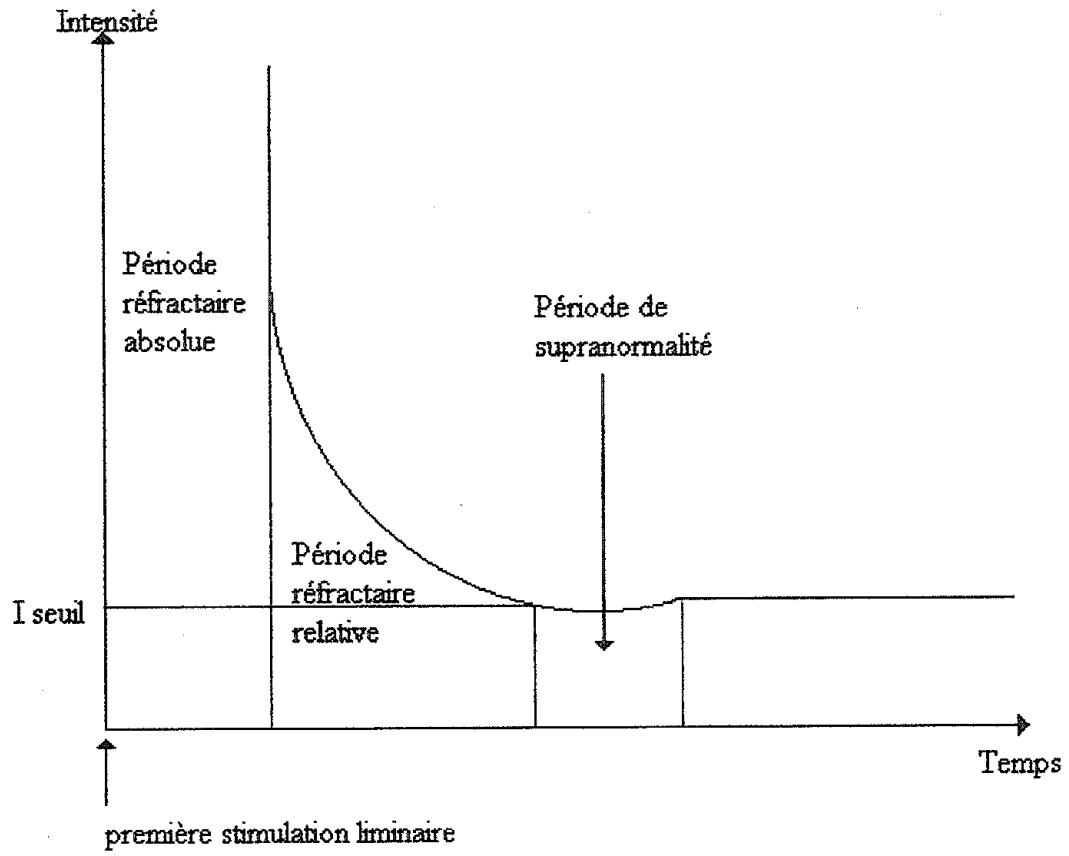


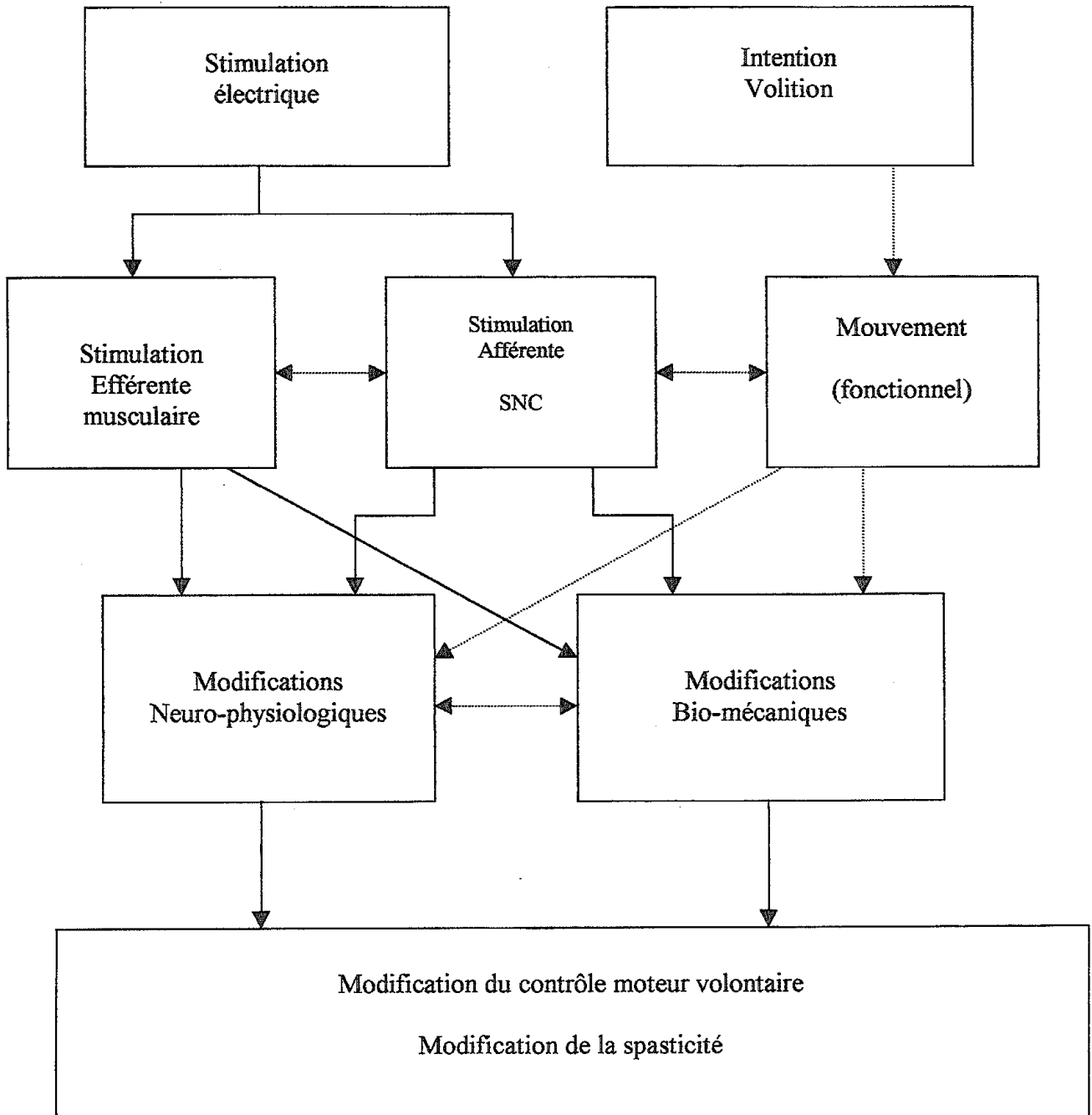
Figure 2 : Courbe I / t

Annexe IV



Seuil de durée

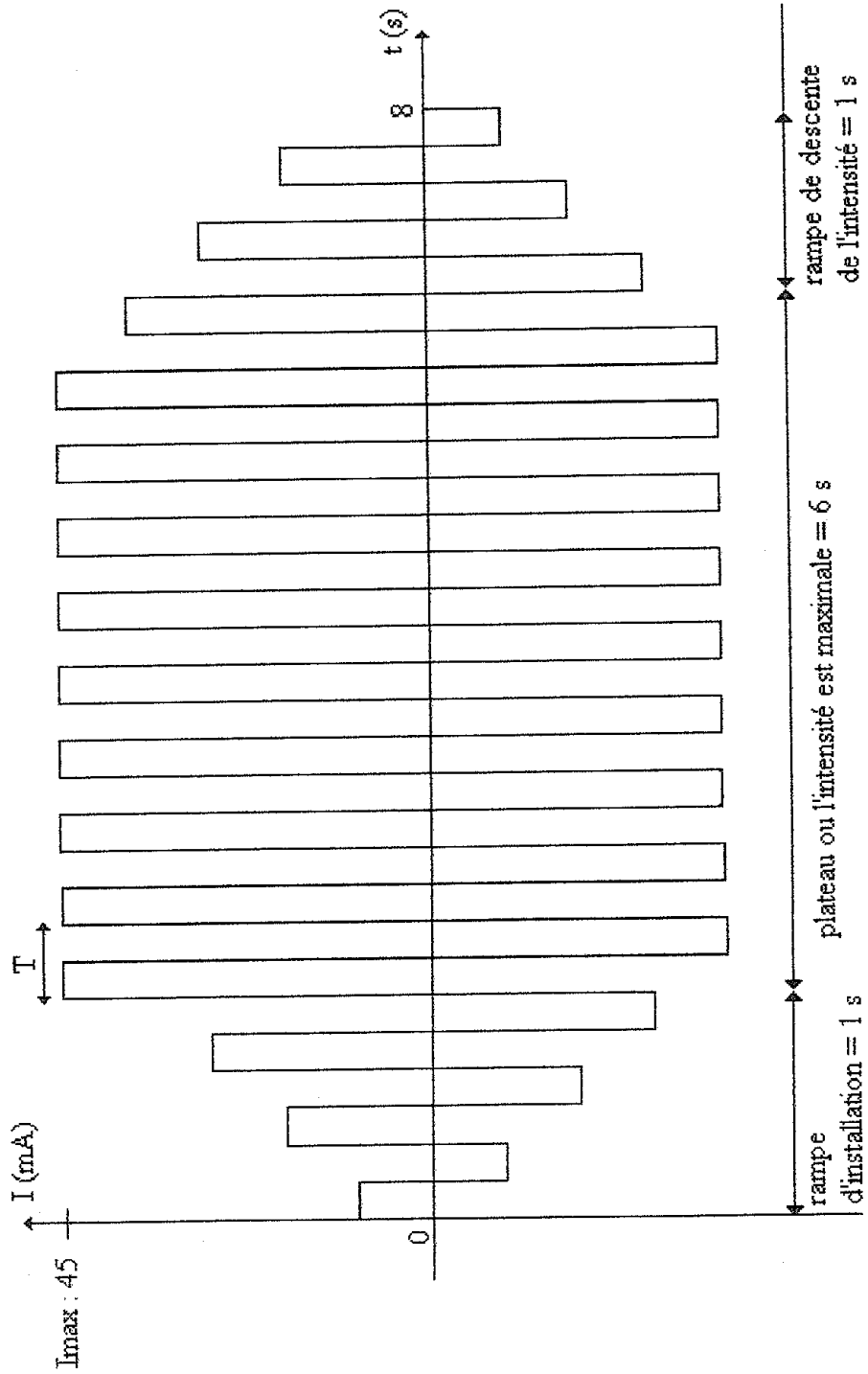
Annexe V



Phénomènes impliqués par la stimulation électrique et par l'action volontaire, susceptibles de modifier la spasticité.

Par ANDRE J.M. , BRUGEROLLES B., BEIS J.B. , CHELLIG L. [1]

Annexe VI



Rampe d'installation de l'intensité

ANNEXE VII

Détails des colonnes du « Sessions log » :

- A. Index des logs
- B. Date de l'événement
- C. Heure de l'événement
- D. Numéro de programme en cours
- E. Événement de type « modification de paramètre »
- F. Nombre total d'événements « modification de paramètre » avant que l'appareil ne soit éteint
- G. Événement de type « seuil atteint »
- H. Nombre total d'événements « seuil atteint » avant que l'appareil ne soit éteint

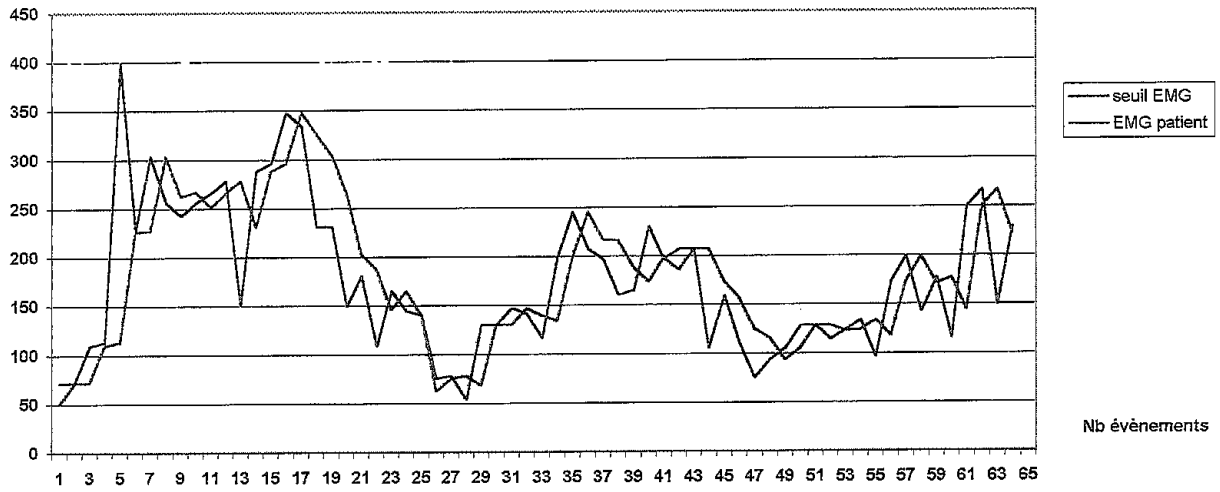
Détails des colonnes du « Parameter log » :

- A. Index des logs
- B. Date de l'événement
- C. Heure de l'événement
- D. Numéro de programme en cours
- E. Type d'événement
- F. Mode en cours
- G. Valeur du seuil EMG
- H. Valeur de l'intensité de stimulation
- I. Forme du courant
- J. Fréquence de stimulation
- K. Largeur d'impulsion
- L. Temps de la rampe d'installation du courant
- M. Temps de travail avec l'intensité maximale
- N. Temps de la rampe de descente du courant
- O. Temps de repos

ANNEXE VIII

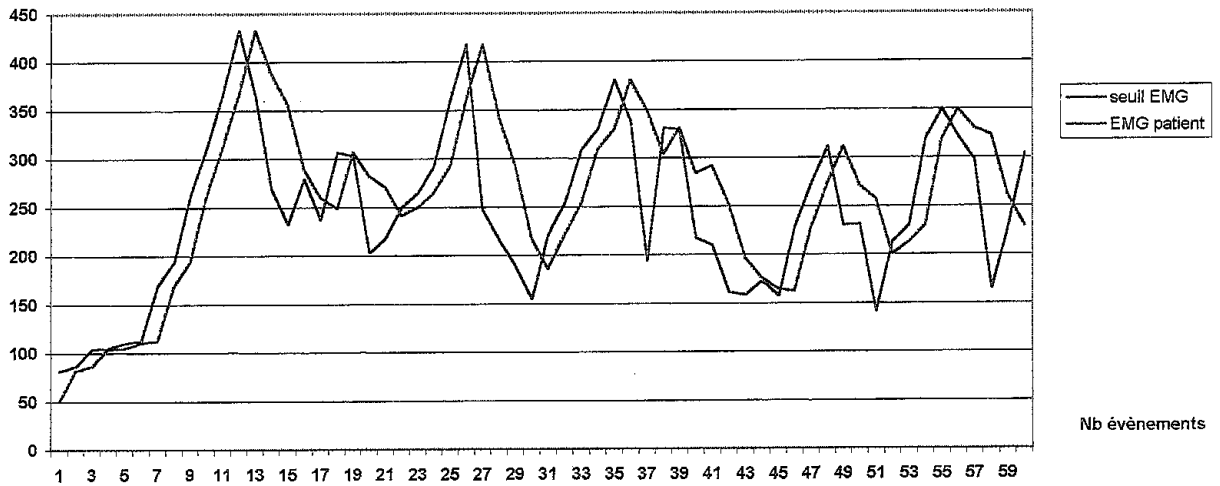
EMG μ V

Prog 1 du 13 octobre



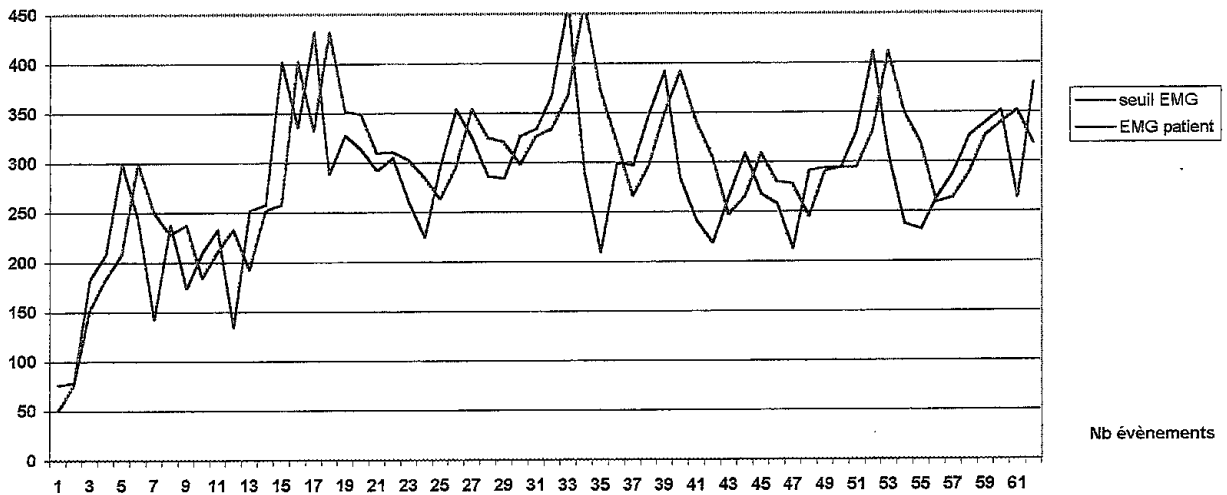
EMG μ V

Prog 1 du 15 octobre



EMG μ V

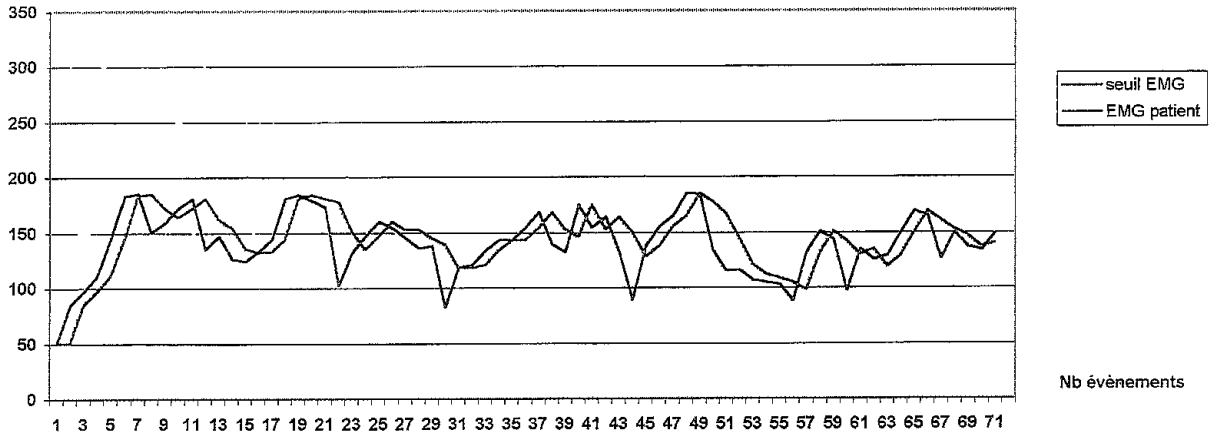
Prog 1 du 21 octobre



ANNEXE IX

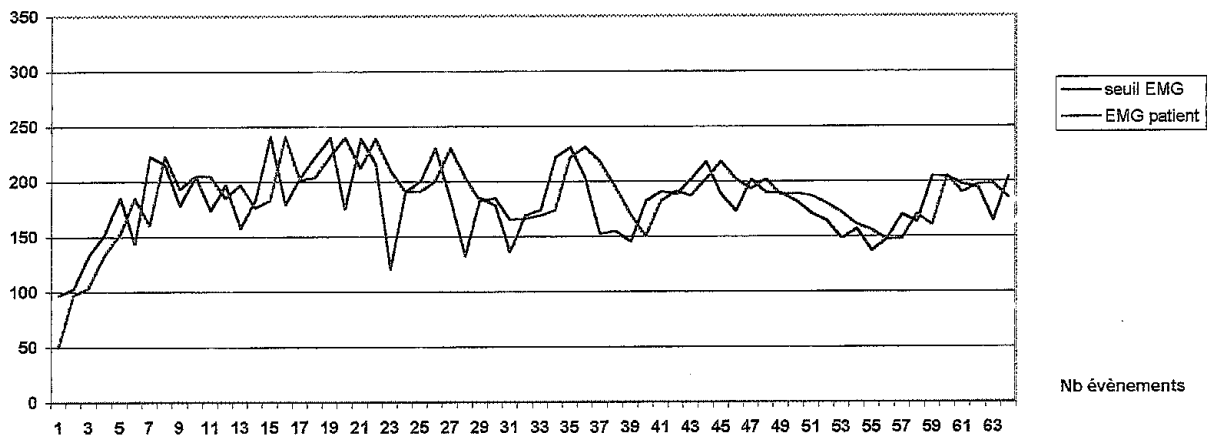
EMG μ V

Prog 2 du 14 octobre



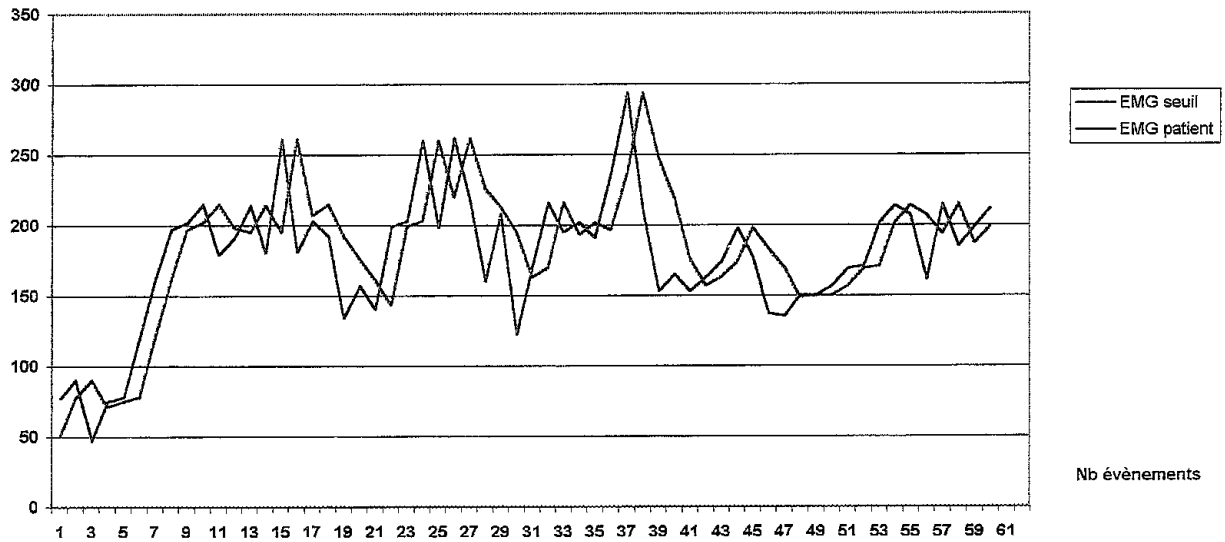
EMG μ V

Prog 2 du 19 octobre



EMG μ V

Prog 2 du 27 octobre



ANNEXE X

