

# Effets des vibrations focales sur la prévention de la maladie musculaire et l'altération de la commande neurologique après l'AVC

Maud Pradines

Post-doctorante, Kinésithérapeute

EA 7377 Bioingénierie Tissus Neuroplasticité (BIOTN)

Université Paris Est-Créteil

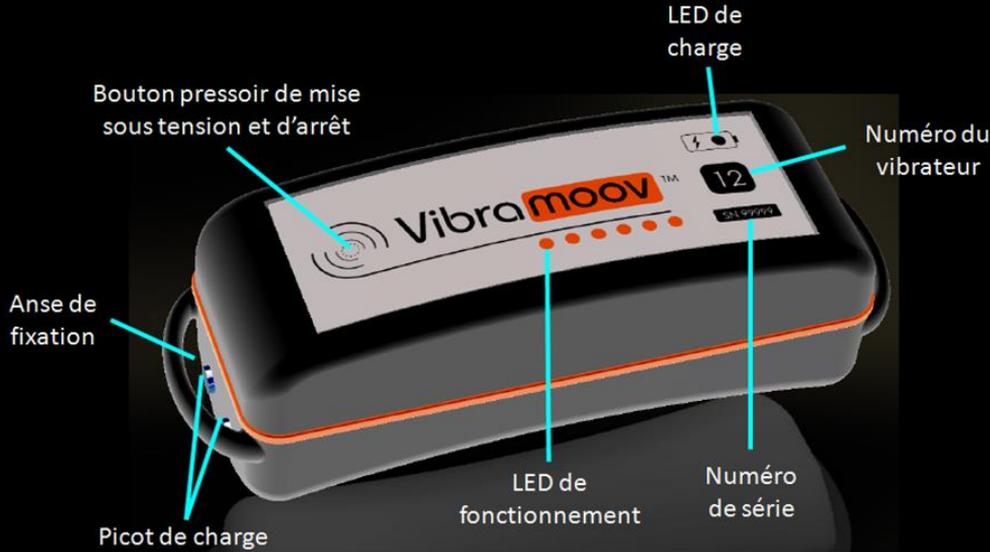
Service de Rééducation Neurolocomotrice, Groupe Hospitalier Universitaire Mondor

# BIOTN



TECHNO-  
CONCEPT

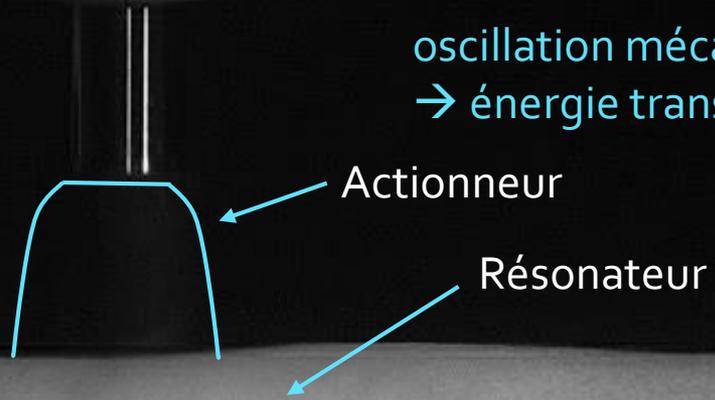
*Bioingénierie, Tissus, Neuroplasticité*  
EA 7377, Université Paris-Est Créteil



# Paramètres vibratoires

- **Amplitude** mvt oscillatoire (mm)
- **Fréquence** : nb répétitions cycles oscillatoires/sec (Hz)

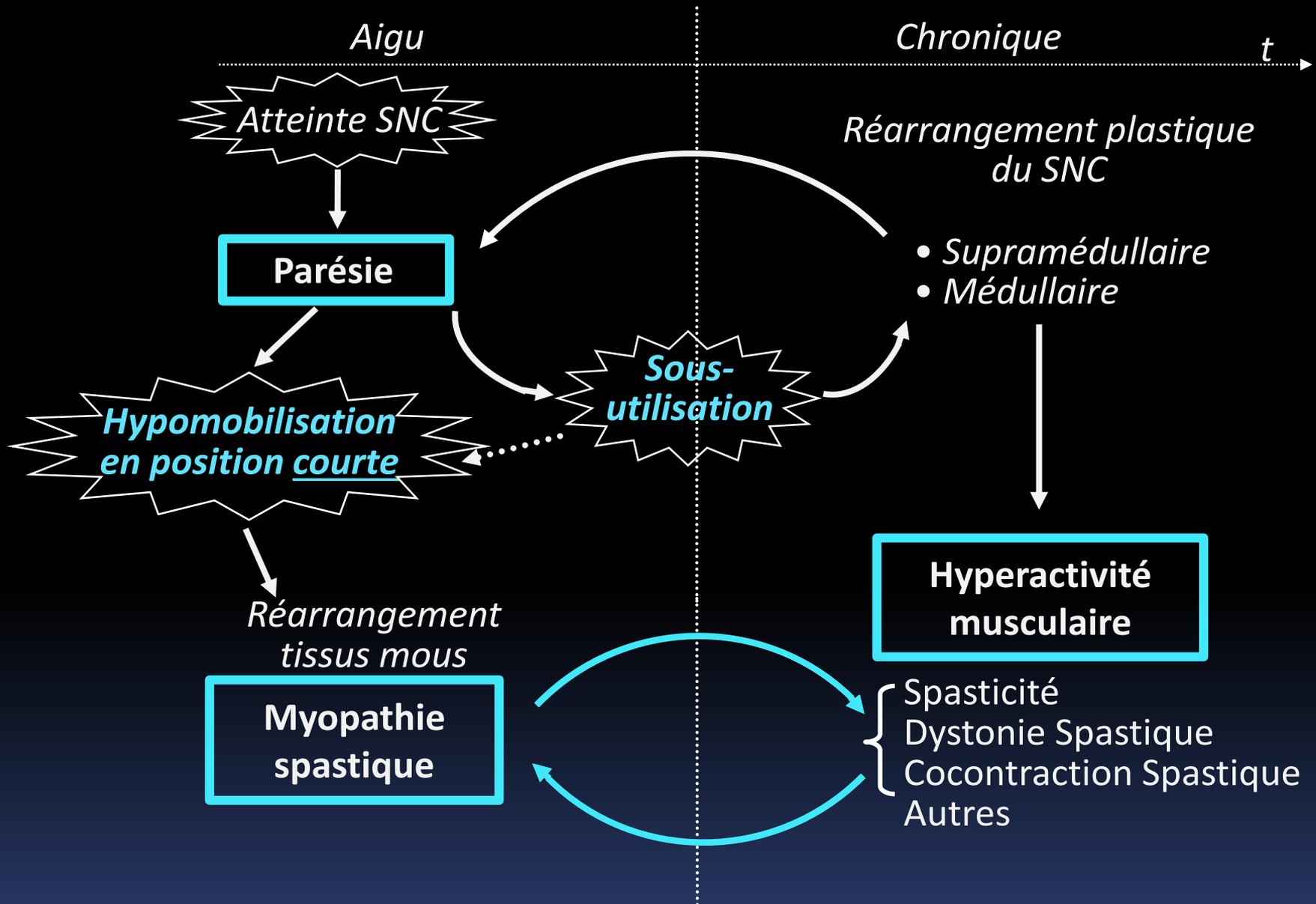
oscillation mécanique  
→ énergie transmise



Actionneur

Résonateur

# L'hémiplégie après l'AVC : Physiopathologie

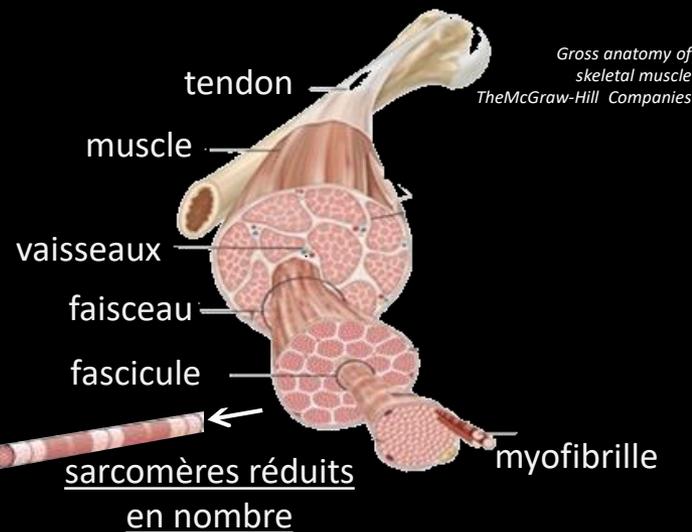


# Myopathie spastique, maladie du muscle après l'AVC



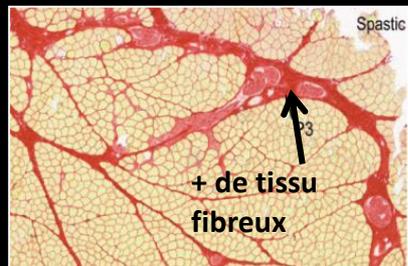
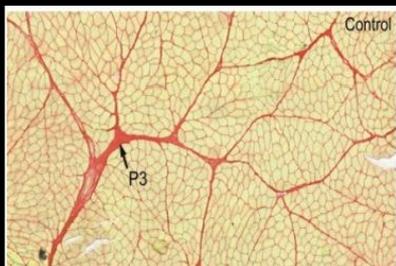
Position allongée → pied équin

Singer et al, 2002

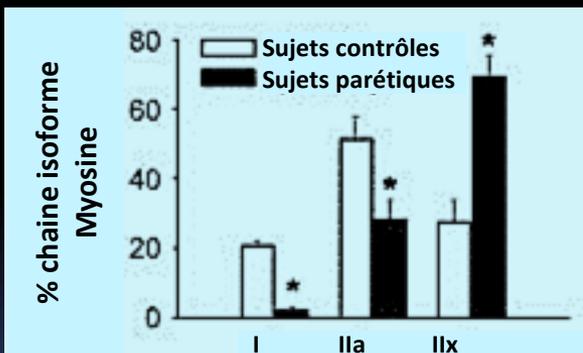


Muscle sain

Muscle malade



De Bruin, 2014



Olsson et al, 2006

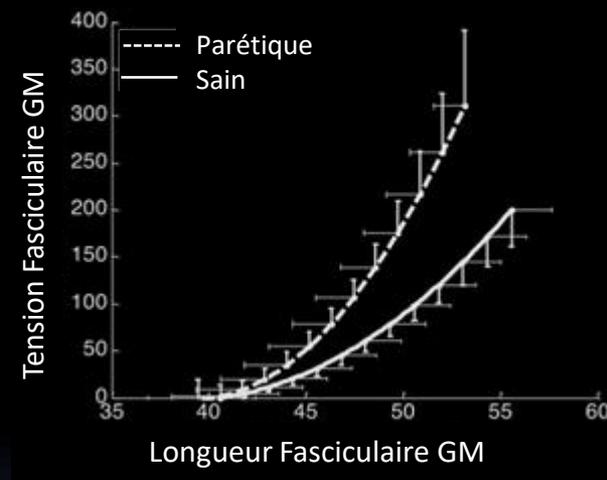
## Atrophie



PF MVC = 16.9Nm ST = 0.91Nm/cm<sup>2</sup>

PF MVC = 80.6Nm ST = 2.77Nm/c

Lieber et Smith, 2014



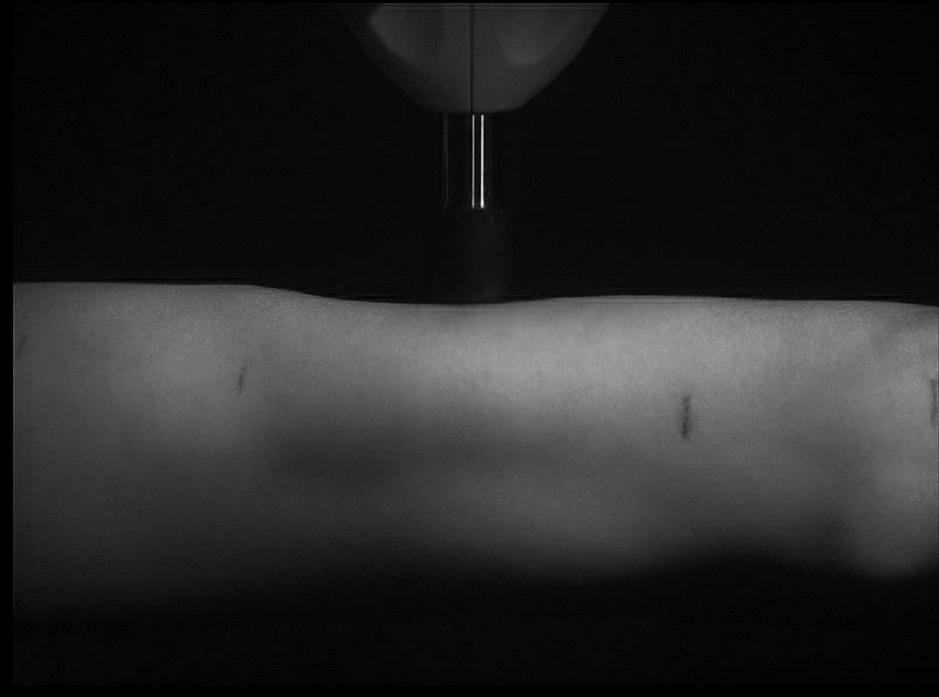
Zhao et al, 2015

# 1 - Vibrations et prévention maladie musculaire ?



Position allongée → pied équin

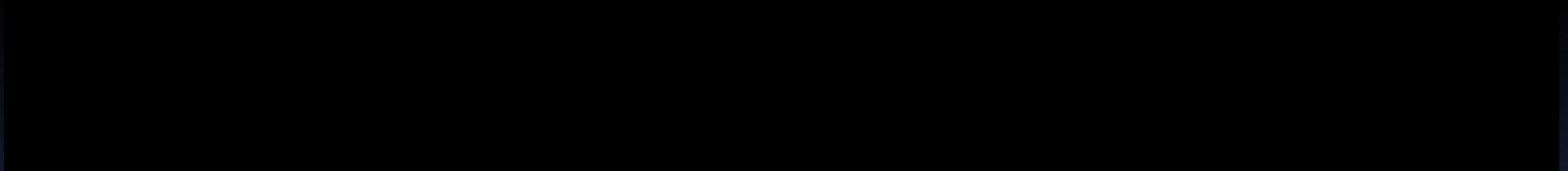
*Singer et al, 2002*



*Focal Vibration Stretches Muscle Fibers by Producing Muscle Waves.*  
*Guang H, Ji L, Shi Y – IEEE – 2018*

# Effets perceptifs

## Illusion du mouvement par vibration



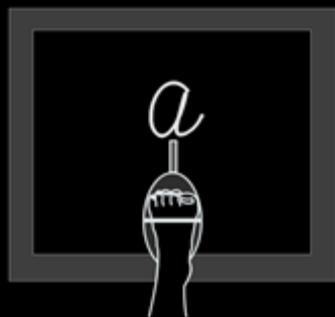
Mouvement illusoire = allongement du muscle vibré

*Goodwin et al, 1972; Craske, 1977; Eklund 1972,  
Feldman et Latash, 1982; Hagbarth et Eklund 1966;  
Lackner et Levine, 1979 ; Roll et al, 1980*

# Effets perceptifs

## Leurre neurosensoriel

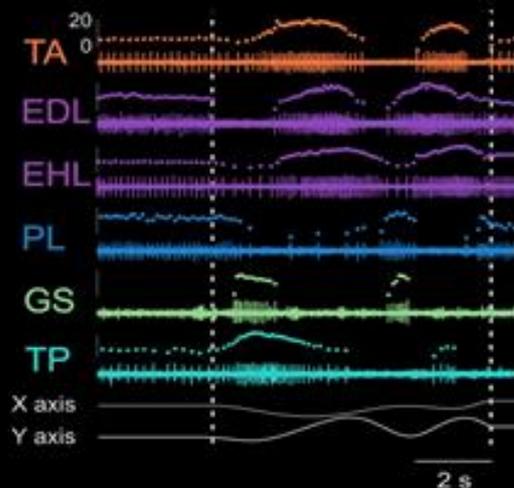
Enregistrement microneurographie



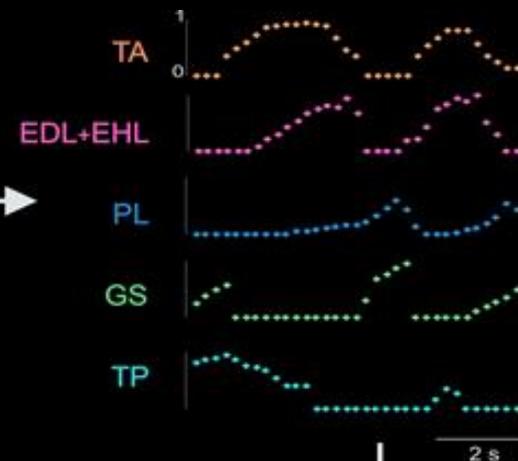
Copie active



Schémas unitaires  
multi-muscles  
Base neurosensorielle



Moyenne des afférences  
proprioceptives



Vibration muscles cheville



Mouvement  
d'illusion



Identification  
symbolique

# Effets perceptifs « signature proprioceptive »

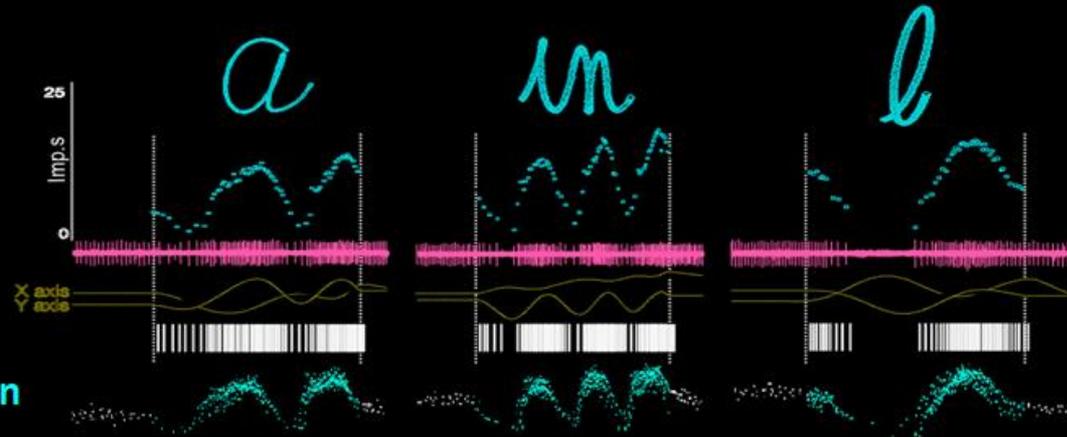
JP Roll, 2004

Fréquence unitaire

Potentiel d'action

Mouvement

Fréquence de population

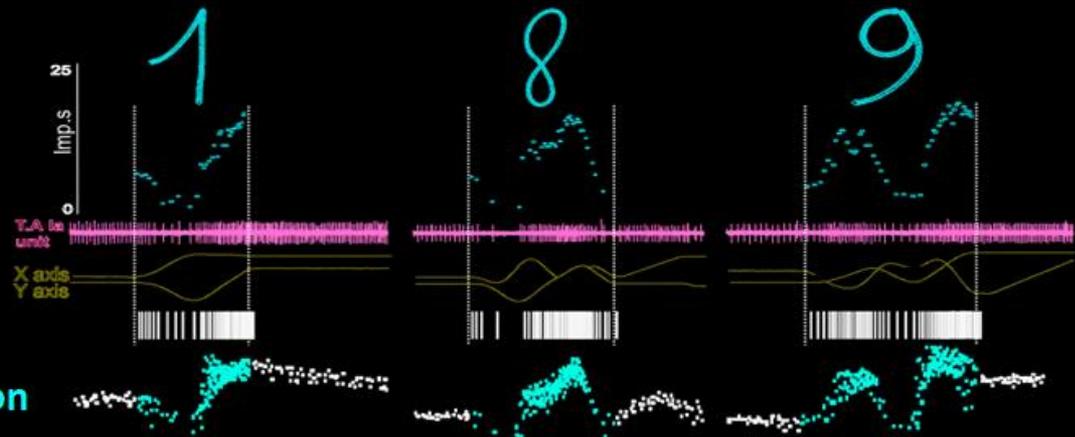


Fréquence unitaire

Potentiel d'action

Mouvement

Fréquence de population



→ Code barre neurosensoriel

1 seule afférence = pas de codage d'une trajectoire motrice complexe

→ Mise en activité successive résultant de stim des ≠ récepteurs

→ signature sensorielle singulière

70% lettres/nombres  
identifiés Gilhodes/Roll, 2001

# Systeme Vibramoov – multiples options Reproduction du schéma de marche



# Traitement de la commande neurologique par effets centraux des vibrations ?

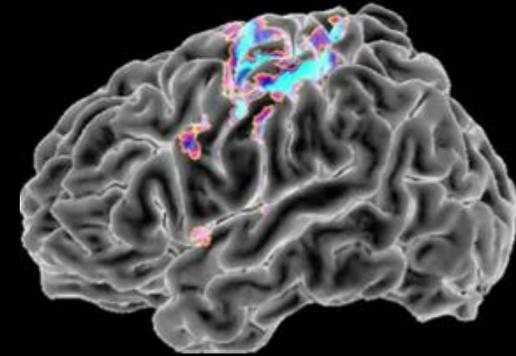
Roll JP et al, Neuroimage - 2012

## → Contexte de l'immobilisation sujets sains

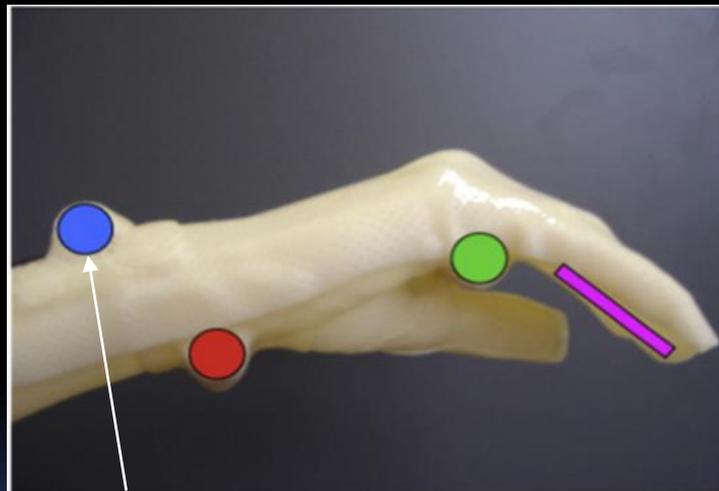
n = 16 sujets sains

- Groupe 1: immobilisation 5 jours poignet + main
- Groupe 2 : immobilisation + **SPF\*** (2x30 minutes/jour)

Critères évaluations : IRM fonctionnelle et mesures des amplitudes articulaires.

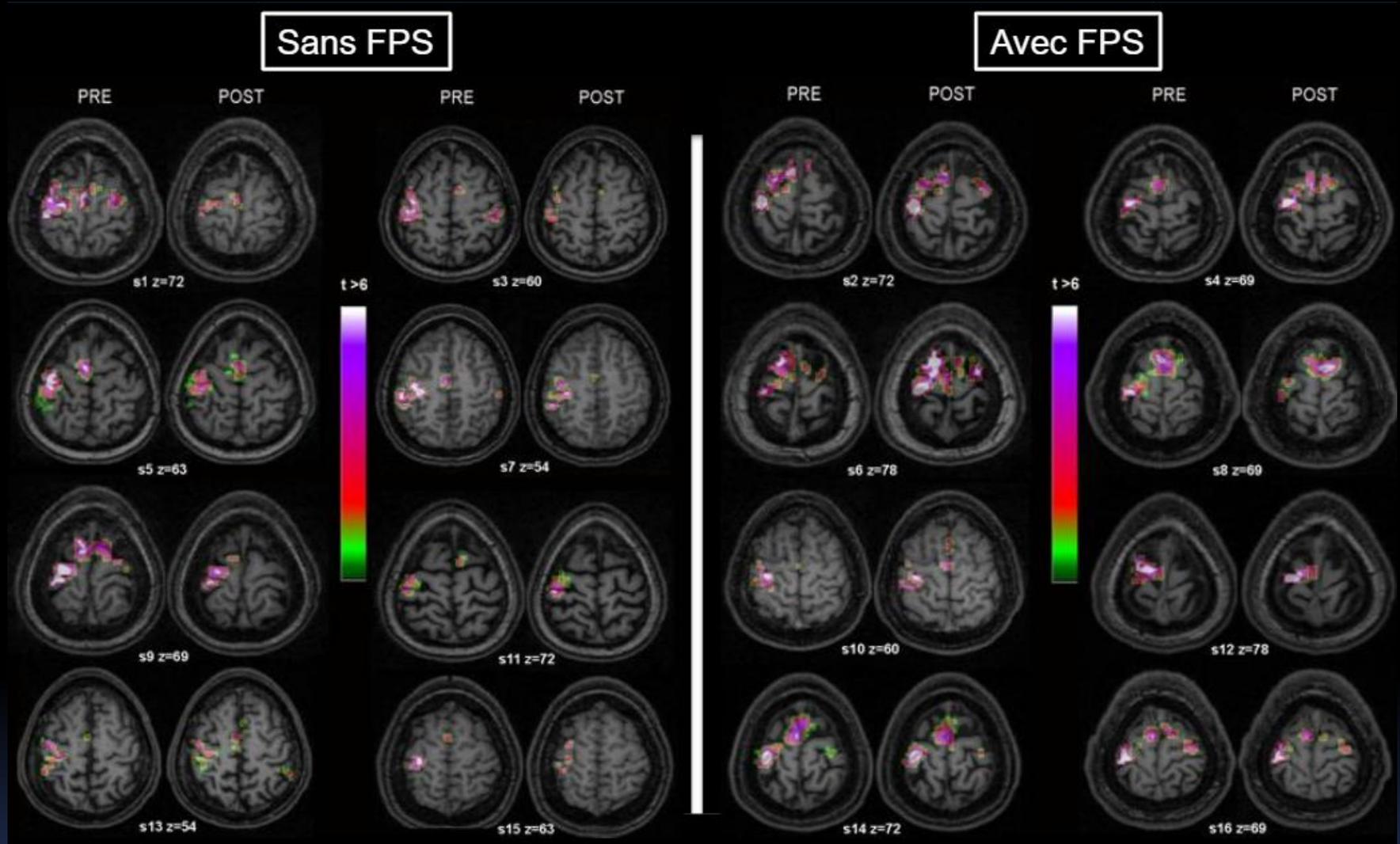


→ Pilotage neuromimétique des vibrateurs et de la matrice tactile



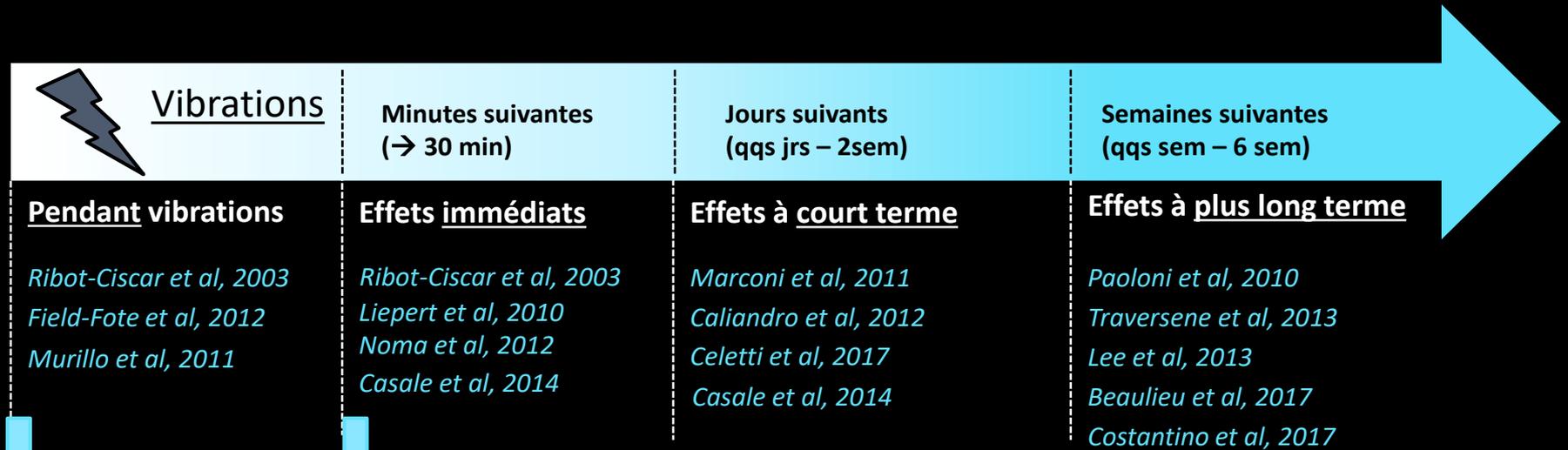
\* Stimulation Proprioceptive Fonctionnelles

# Effets métaboliques cérébraux des vibrations focales chez sujets sains



→ Préservation circuits sensori-moteurs grâce vibration

# Littérature sur les vibrations focales dans la parésie spastique – stade chronique



∟ « spasticité »...?  
*Hmax/Mmax*  
*Ashworth modifié*  
 ↗ *amplitude active agoniste*  
 Pas d'essai contrôlé

*Ribot-Ciscar et al* : Vibration triceps brachii → ↗ Force triceps  
*Liepert et al* : améliore circuits inhibiteurs antagonistes (PSC)  
 + améliore fonction  
*Noma et al; Casale et al* : ∟ tonus → *Ashworth modifié* !

*Casale et al, Celetti et al, 2017* : ∟ spasticité maintenue  
 → *Ashworth modifié* !  
 → *Marconi et al, 2011* : ↗ *aires motrices et vol des représentations corticales muscles vibrés,*  
 ↗ *fonction (Wolf)*  
 ∟ *spasticité (corrélée inhibition intracorticale)*

# Les vibrations focales dans la parésie spastique

- Aux stades aigu/subaigu ?  
→ Très peu d'études !

*Toscano 2019 → non randomisé, court terme ++  
Li 2019 → effets centraux (court terme)*

- Effets sur la maladie musculaire dans la parésie spastique ?
- Effets sur l'altération de la commande centrale par illusion mvts?
  - nombre de muscles vibrés (2 en moy)
  - variations fréquence chaque vibreur

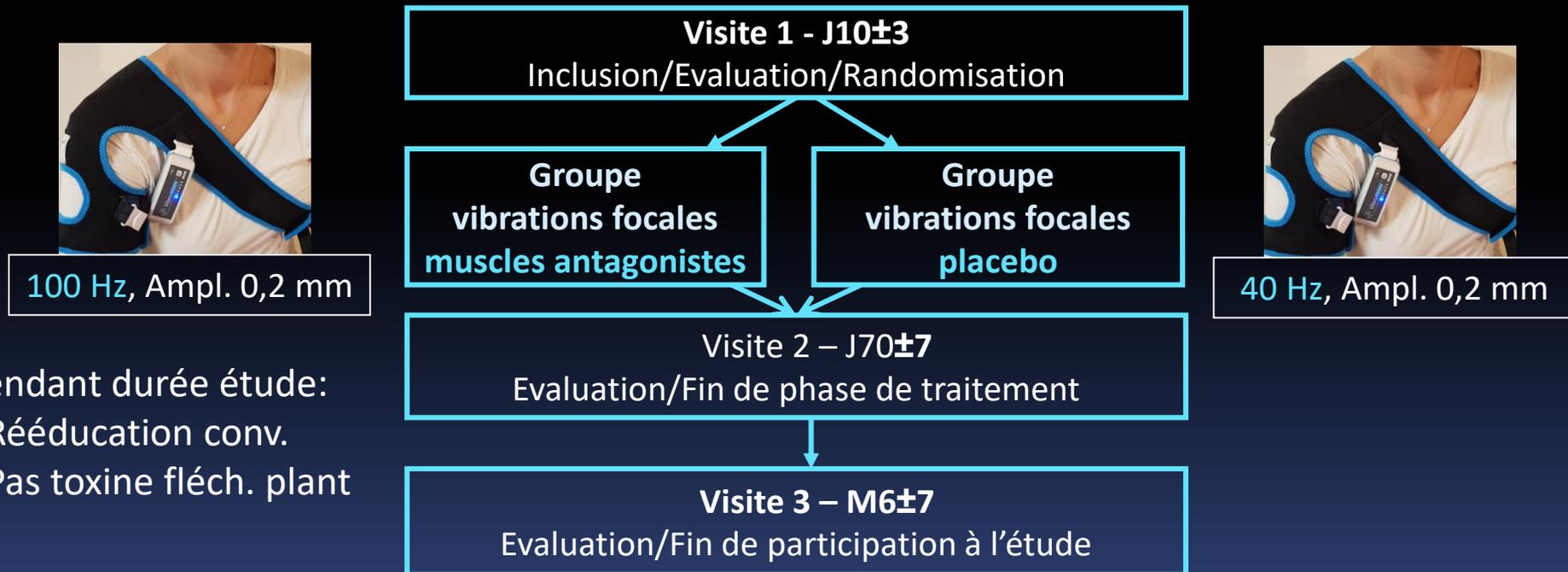


poursuite des travaux de JP Roll

# Objectif MYOPROTECT

Evaluer l'effet d'un programme de **vibrations focales** des muscles atteints de **myopathie spastique** (gastrocnémiens, quadriceps, grand pectoral, extenseurs d'épaule) sur un score Composite actif par rapport à un programme de **vibrations placebo**, et en comparaison d'un programme de vibrations sur les muscles agonistes, commencé à **J10±3** après un AVC

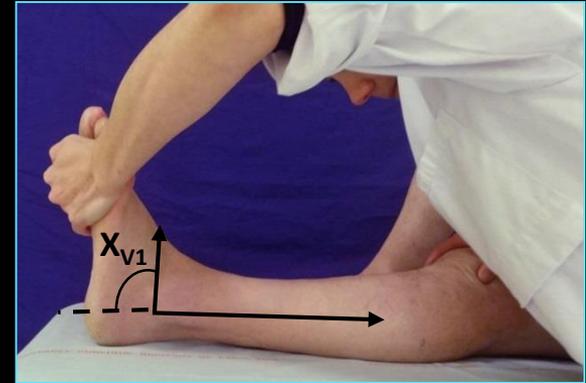
## Diagramme de flux MYOPROTECT



# Critères d'évaluation MYOPROTECT

## Critères secondaires :

### Evaluation clinique en aveugle



1. Score selon l'échelle modifiée de Frenchay

*(Gracies et al, 2010)*

2. Vitesse de déambulation, longueur de pas et cadence, avec chaussures et pieds nus à vitesse confortable, et chaussures à vitesse maximale dès que possible (M2 et M6)

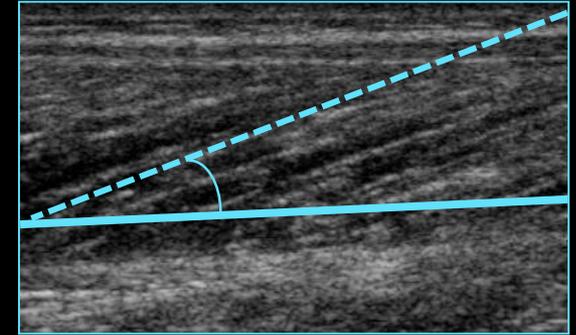
3. Mesures de  $X_{V1}$ ,  $X_{V3}$  et  $X_A$  des 4 muscles ciblés dans chacun des groupes

4. Score sur l'Echelle de Qualité de Vie EQ5D ou SF-12

# Critères d'évaluation MYOPROTECT

## Critères secondaires :

### Evaluation biomécanique tissulaire passive in vivo



- 1. Comportement mécanique du syst musculo-articulaire :**
  - Relation couple passif-angle articulaire (raideur, énergie)
  - Relaxation de la force
- 2. Comportement mécanique du complexe musculo-tendineux (échographie)**
  - Relation force-longueur du muscle et du tendon
- 3. Architecture du complexe musculo-tendineux (échographie)**
  - longueur fasciculaire
  - angle de pennation
  - épaisseur musculaire
  - longueur et surface de section transversale tendineuses

# Déroulement Myoprotect

## Parcours patients dans l'étude :

Hôpital Mondor - Service de Neurologie (Pr Hosseini)  
Rééducation conventionnelle + randomisation des patients  
pour vibrations à J10

→ Poursuite traitement par vibrations et rééducation  
conventionnelle :

Transfert si possible à l'hôpital Chenevier (pav Calmette)

	Inclusion J10±3	Visite M2	Visite M6
Vérification des critères d'inclusion/non-inclusion	✓		
Information	✓		
Consentement écrit	✓		
Examen clinique	✓	✓	✓
Examen biomécanique musculaire in vivo	✓	✓	✓
Randomisation : groupe de traitement	✓		

## Recrutement prévisionnel

---

	Nombre de sujets
Nb total sujets	36
Période d'inclusion (mois)	18 mois
Nb de sujets / mois	2

---

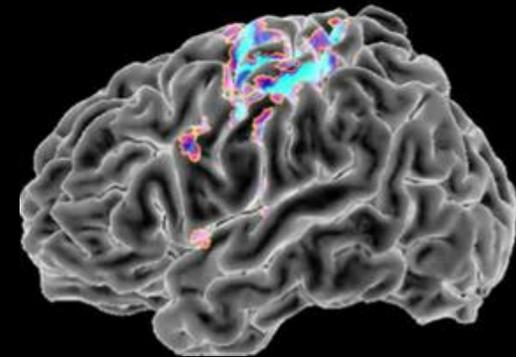
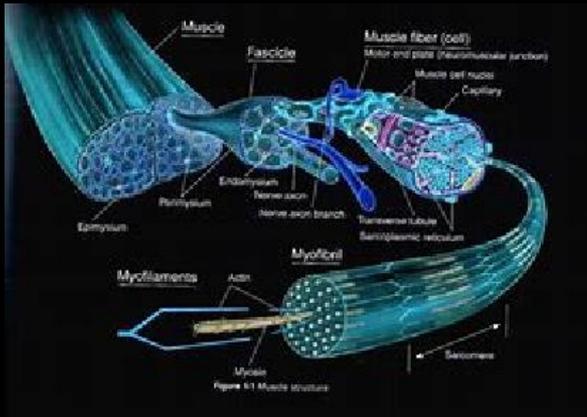
## Calendrier

- Durée période d'inclusion : 18 mois
- Durée participation patient : 6 mois
- Durée phase expérimentation : 2 ans
- Durée totale recherche : 3 ans

# Soumission ANR – Projet VibrAVC

Collaboration :

- TechnoConcept
- BIOTN, UPEC et Laboratoire "Neural Connectivity and Plasticity" (NCP) – Inserm U1146 / Sorbonne Université UMCR2 / UMR7371 CNRS

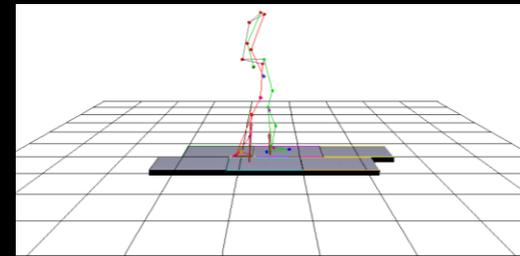


Plasticité musculaire  
Raideur et longueur fasciculaire

Plasticité cérébrale et  
de la commande neurologique  
Potentiels évoqués moteurs  
(stim magnétique transcrânienne), IRMf

Critère principal commun : amélioration fonctionnelle, phase subaigue après l'AVC

Demande de financement : 637 000 €



# Merci de votre attention

[maudprad@gmail.com](mailto:maudprad@gmail.com)

Service de Rééducation Neurolocomotrice  
du Professeur Jean-Michel Gracies  
Laboratoire *Analyse et Restauration du Mouvement*  
EA 7377 - BIOTN - Université Paris Est Créteil  
Hôpitaux Universitaires Henri Mondor  
AP-HP, Créteil



[www.neuroloco.fr](http://www.neuroloco.fr)



# Critères de sélection MYOPROTECT

## 1. Critères d'inclusion

- AVC ischémique survenu la semaine de l'inclusion ;
- Hémiparésie modérée à J10±3 : score NIHSS entre 5 et 15 ;
- Abduction active de l'épaule < 60° à J10±3 ;
- Flexion dorsale active < 90° à J10±3 ;
- Consentement éclairé écrit

## 2. Critères de non-inclusion

- Récidive d'AVC ;
- AVC de type hémorragique

# Randomisation MYOPROTECT

→ 3 groupes randomisés :  
Traitement : 3-5x/sem, 45 min

Groupe **Vibrations  
antagonistes**

Groupe **Vibrations  
agonistes**

Groupe **Placebo**

gastro/soléaire, quadriceps  
(vastes), extenseurs d'épaule,  
grand pectoral

Tibial ant, fléch épaule,  
deltoïde, extenseurs  
coude et poignet

gastro/soléaire, quadriceps  
(vastes), extenseurs d'épaule,  
grand pectoral



100 Hz, Ampl. 0,2 mm

100 Hz, Ampl. 0,2 mm

40 Hz, Ampl. 0,2 mm

+ Rééducation conventionnelle

# Critères d'évaluation MYOPROTECT

## Critère principal (en aveugle):

Score Composite actif  $X_A$  des 4 muscles antagonistes vibrés :

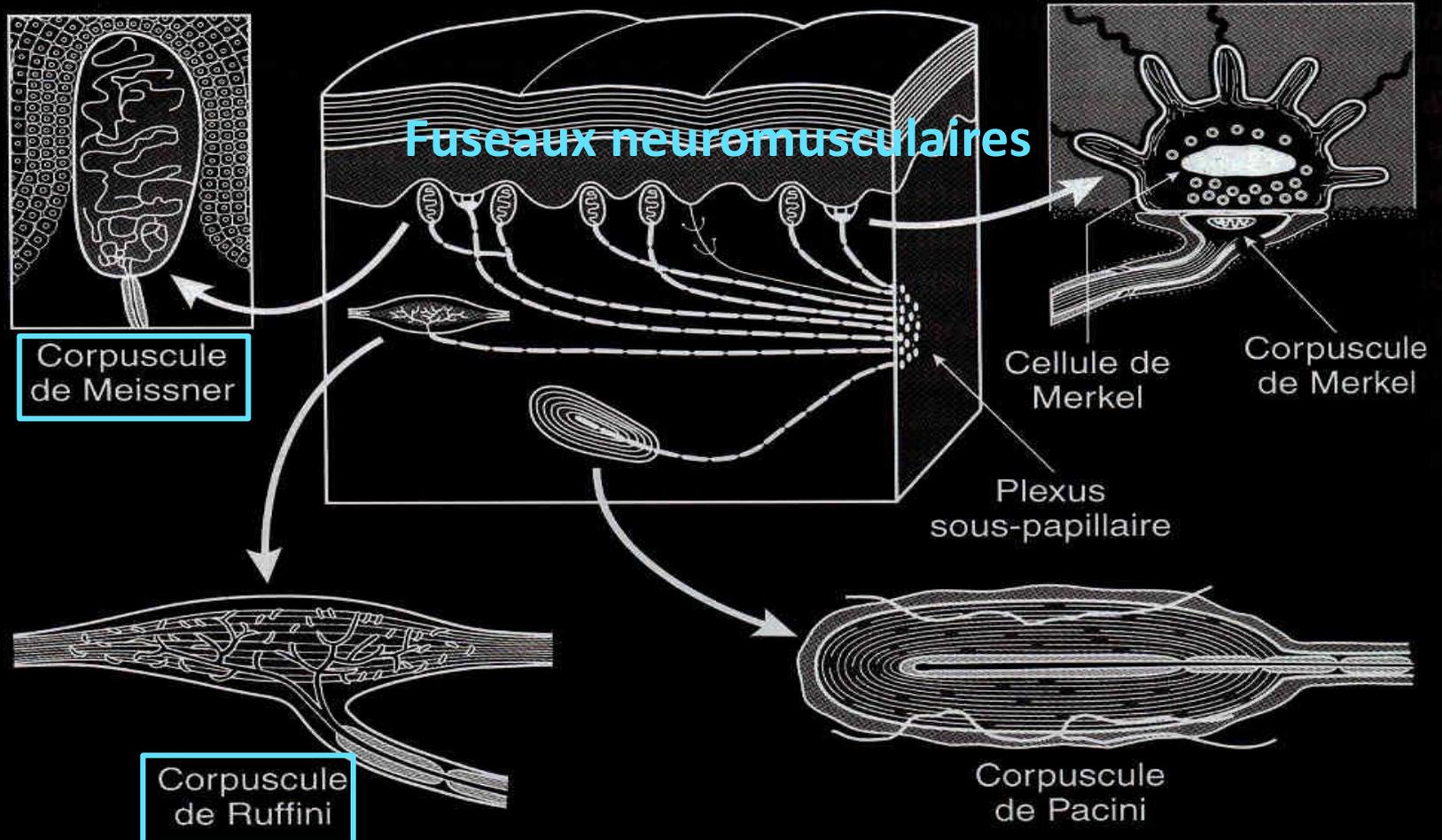
- Gastro/soléaire
- Quadriceps (vastes)
- Extenseurs d'épaule
- Grand pectoral

En comparaison d'un score Composite Contrôle :

- Carré pronateur
- Extenseurs des doigts
- Grand fessier
- Ischio-jambiers

# Effets physiologiques des vibrations focales

# Mécanismes d'action



→ action essentiellement sur les terminaisons primaires

Action sur les récepteurs cutanés

→ à adaptation rapide

*Brown et al, J Physiol 1967 ;  
Roll et al, Exp Brain Res 1989; Souron et al, J Appl Physiol 2017*

# Effets moteurs

## Réflexe Tonique Vibratoire

### 1- Réflexe Tonique Vibratoire

tendon Vibration Biceps

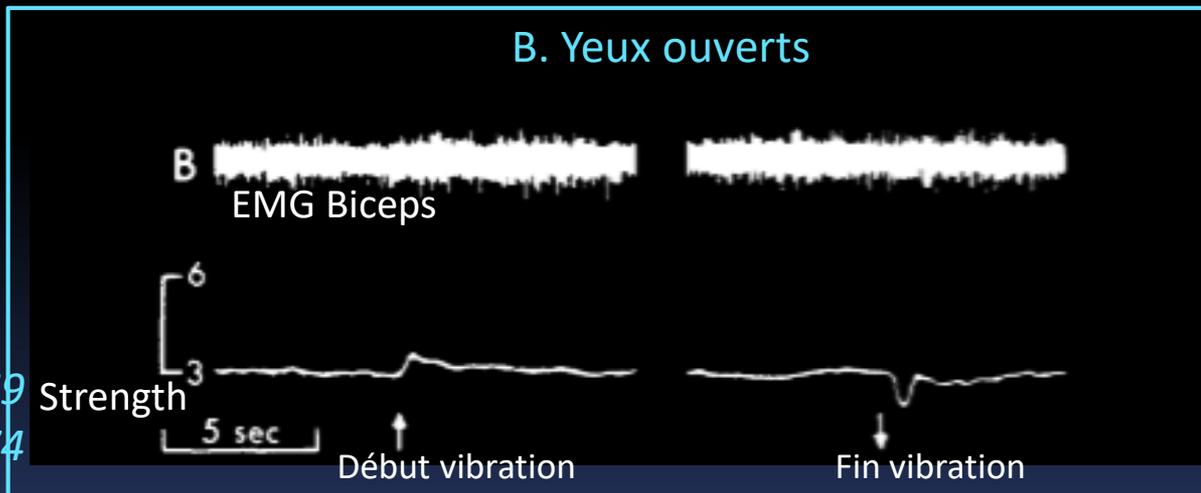
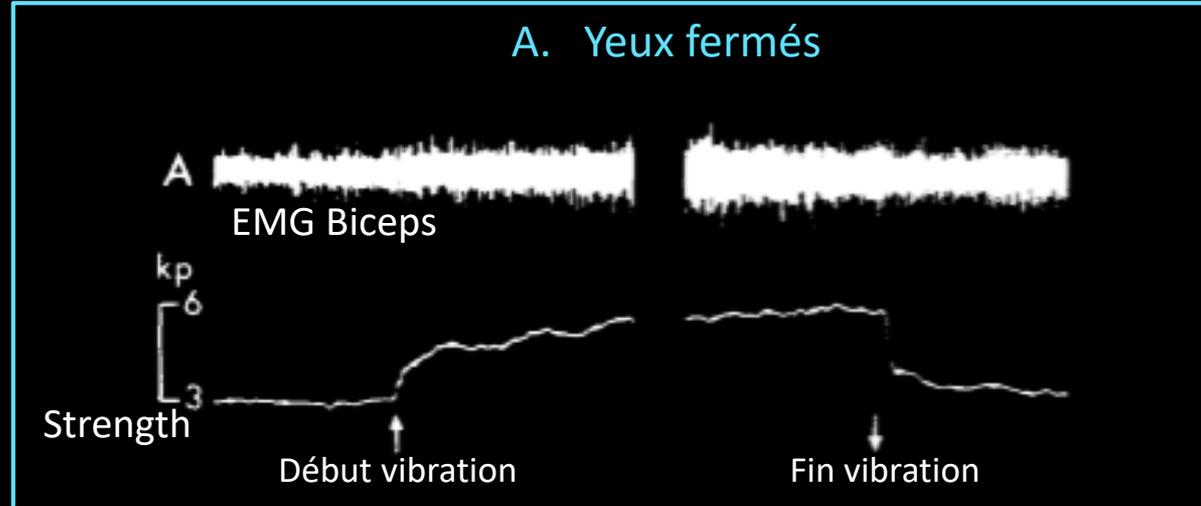
Fréquence : 160 Hz

- Plateau 20 à 40s après début

- Amplitude maintenue pendant durée vibrations (20 min !)

→ Réflexe peut être volontairement inhibé ou ↗

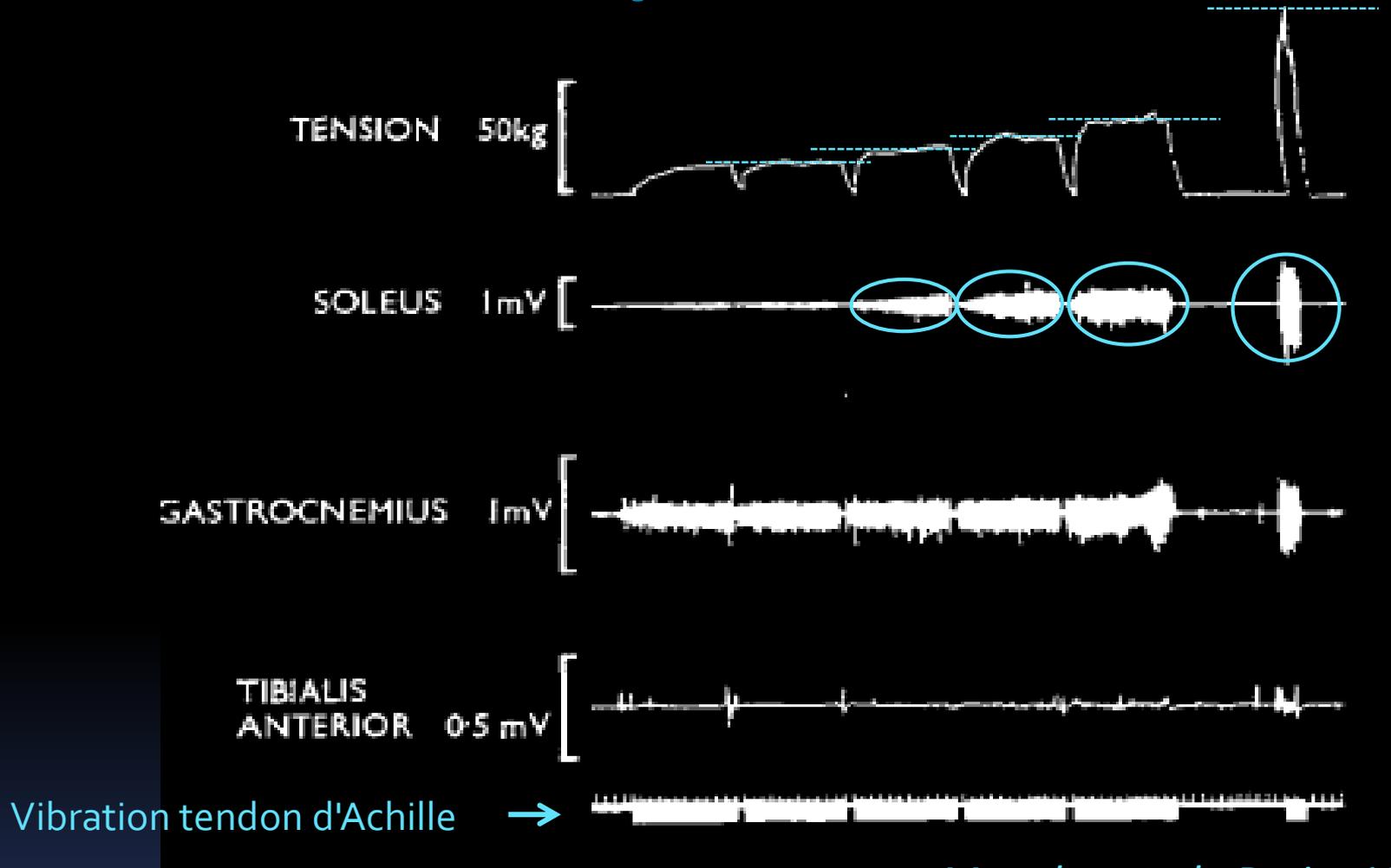
*Marsden et al. Brain.1969*  
*Bishop B. 1974*



*Eklund et Hagbarth. Experimental Neurology 1966*

# Effets moteurs

## Réflexe Tonique Vibratoire RTV



*Marsden et al., Brain, 1969*

→ ↗ progressive RTV avec répétition vibrations

# Effets moteurs

## Réflexe Tonique Vibratoire vs réflexe d'étirement

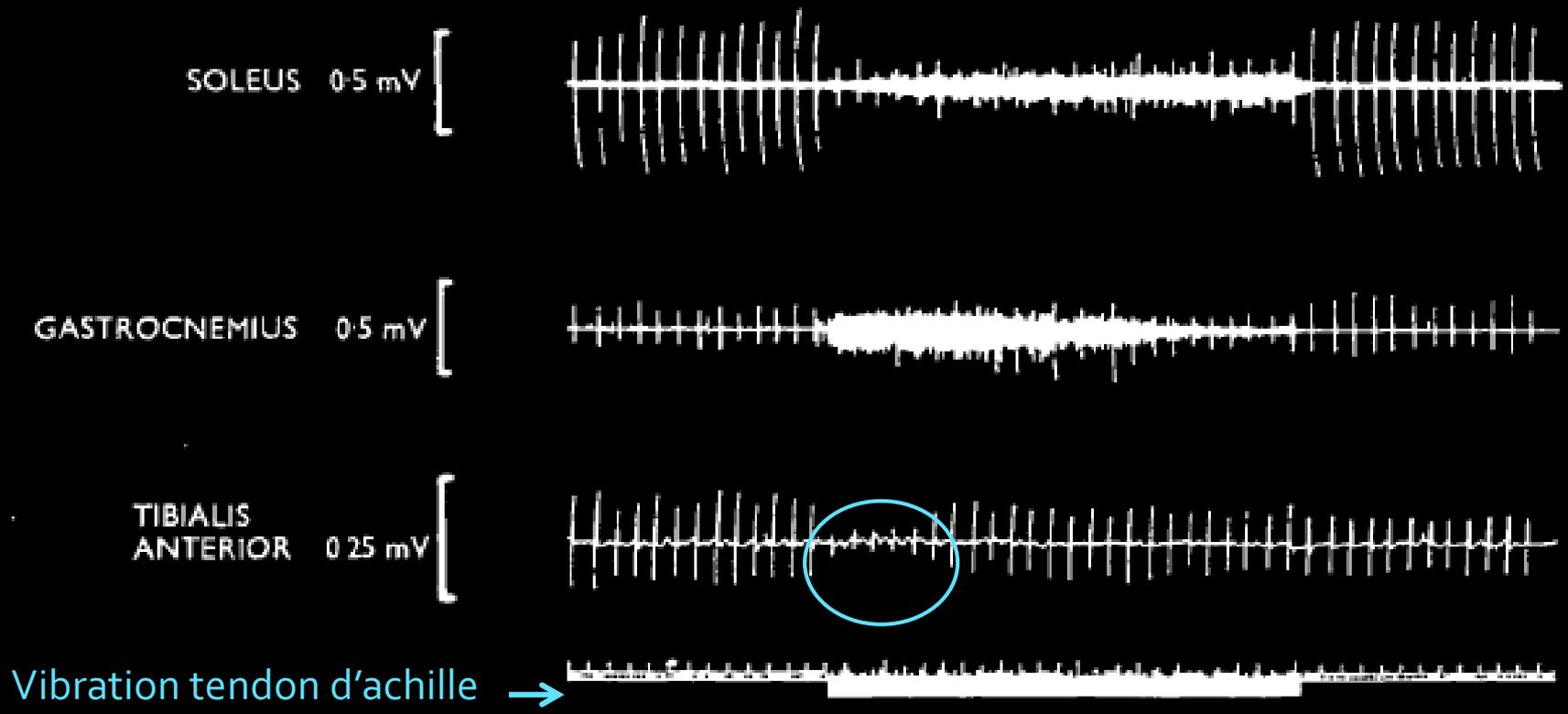
- Réflexe d'étirement vs RTV → même fibres afférentes, mais :
  - développement progressif du RTV ( $\pm 30s$  → plateau)
  - vibration inhibe réflexe monosynaptique en post vibration
- RTV → hypothèse implication supraspinale, origine sous-corticale :  
= voie polysynaptique empruntant fscx vestibulo- et réticulo-spinaux

*Bishop B 1974 ; Gillies et al. J Neurophysiol 1971*

# Effets moteurs sur l'antagoniste au muscle vibré

## 3- Inhibition du muscle antagoniste

→ inhibition réciproque



# Effets physiologiques des vibrations focales

- Effets moteurs
- Effets perceptifs

# Effets perceptifs

## Illusion du mouvement par vibration

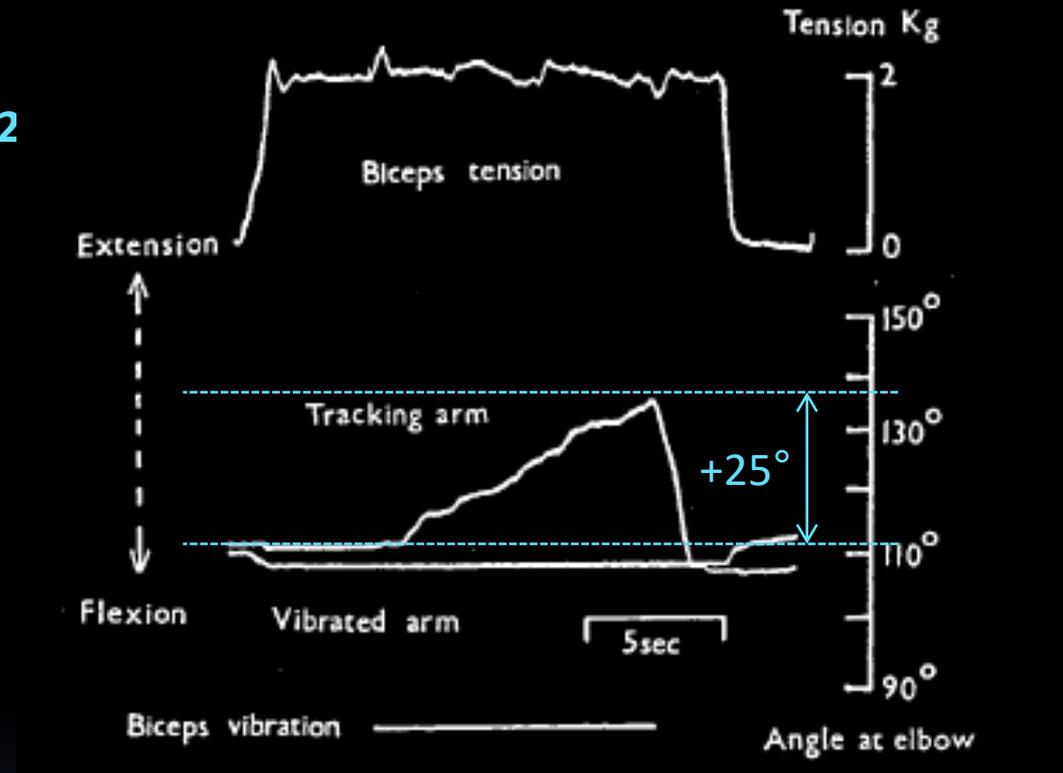
Découverts par l'équipe de McCloskey, 1972

Vibration tendon biceps 100 Hz

→ illusion mouvement extension coude  
direction : muscle étiré

- Sensation rotation à vitesse constante

- Déviation / sens absolu de position



*Goodwin, McCloskey, Matthews The contribution of muscle afferents to kinesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralyzing joint afferents Brain (1972) 95, 705-748*

# Effets perceptifs



Contrôle postural : illusion de mouvement ...  
..... et mouvement consécutif +++ → Réponses motrices ?

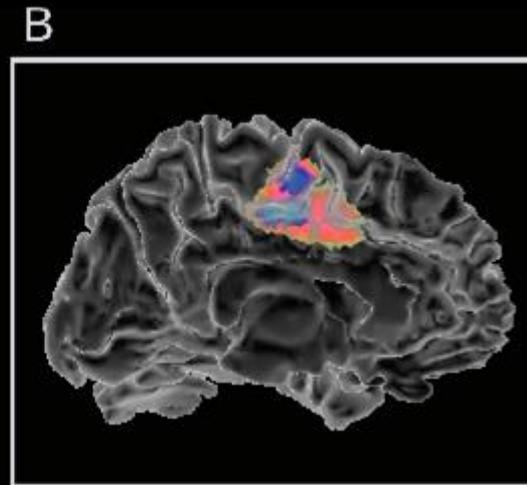
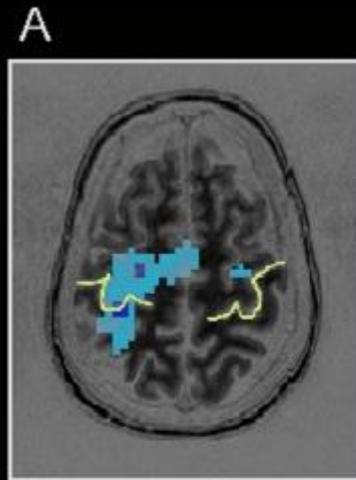
# **Effets métaboliques cérébraux des vibrations focales**

# Effets centraux des vibrations

Aires corticales spécifiquement activées lors de la perception d'un mouvement illusoire de la main.

*Romaiguère et al,  
Brain Res Cogn Brain Res 2003*

Activations corticales moy  
(n=8, reportées sur 1)



Activations liées à la  
perception de  
mouvement illusoire

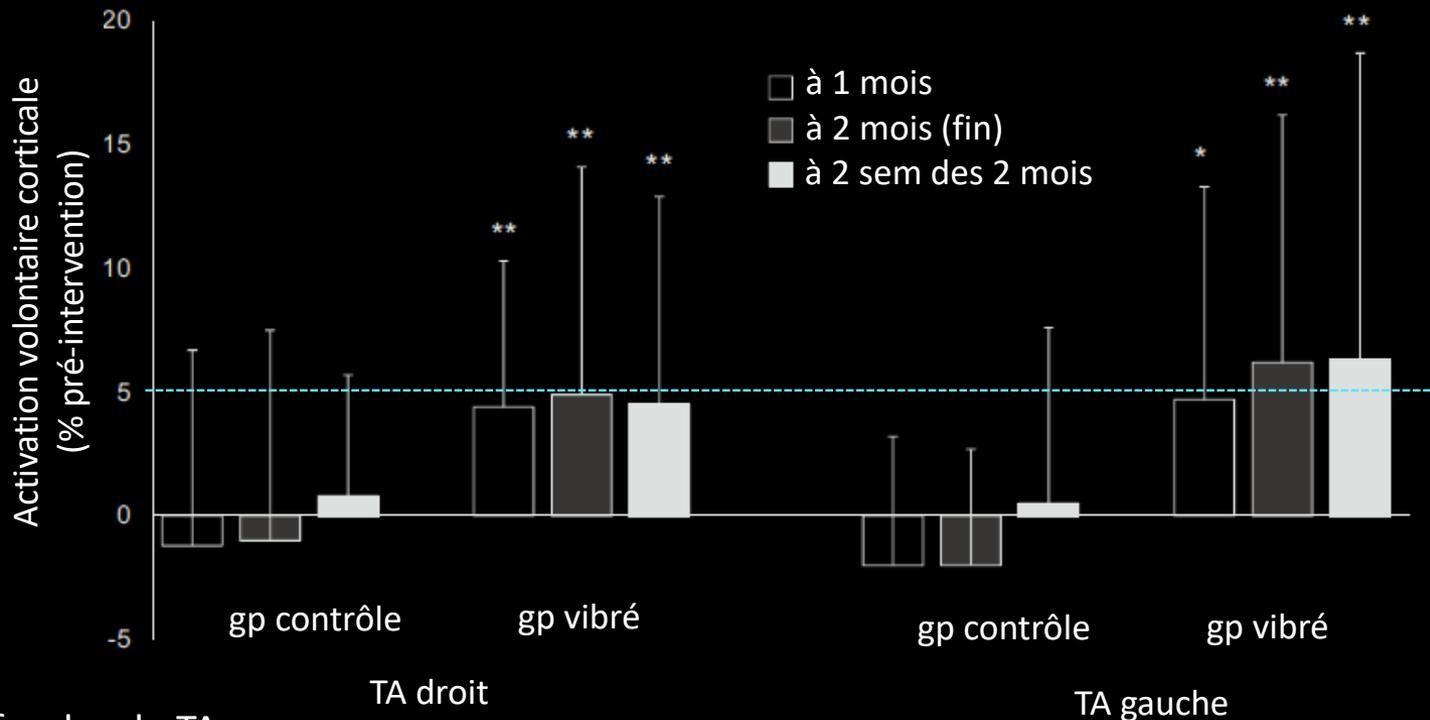
Activation significative de **quatre régions corticales** lors d'une sensation kinesthésique :

- cortex prémoteur,
- cortex sensorimoteur
- cortex pariétal gauche
- aires motrices supplémentaires et motrices cingulaires gauches et droites

# Effets centraux des vibrations focales



→ ↗ durable activation corticale volontaire par vibrations



Entraînement vibrations focales du TA

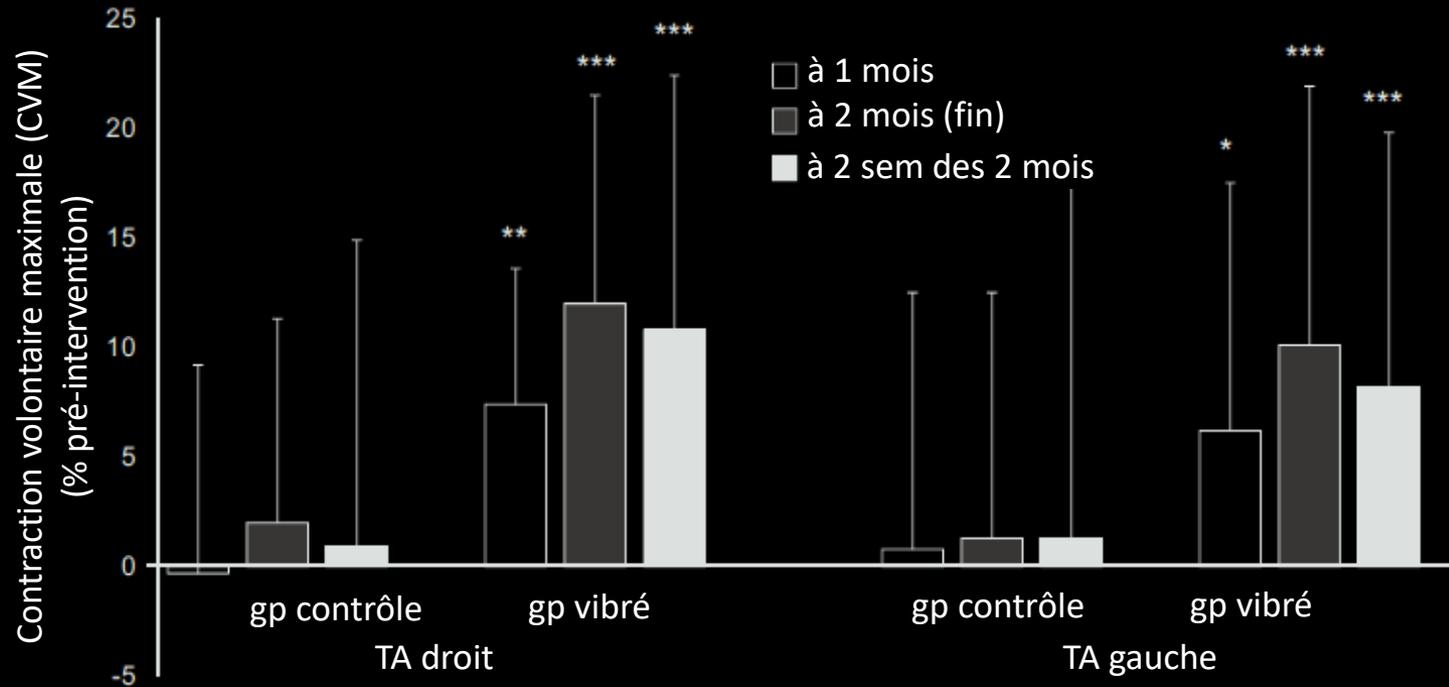
- Groupe contrôle → thérapie conv
  - Groupe exp → vibrations + thérapie conv
- 2 mois traitement – 3x/sem 1h (80-120Hz)

Evaluation par stimulation magnétique transcrânienne

[Souron et al – J Appl Phys - 2017](#)

# Effets centraux des vibrations focales

→ ↗ durable activation contraction volontaire maximale

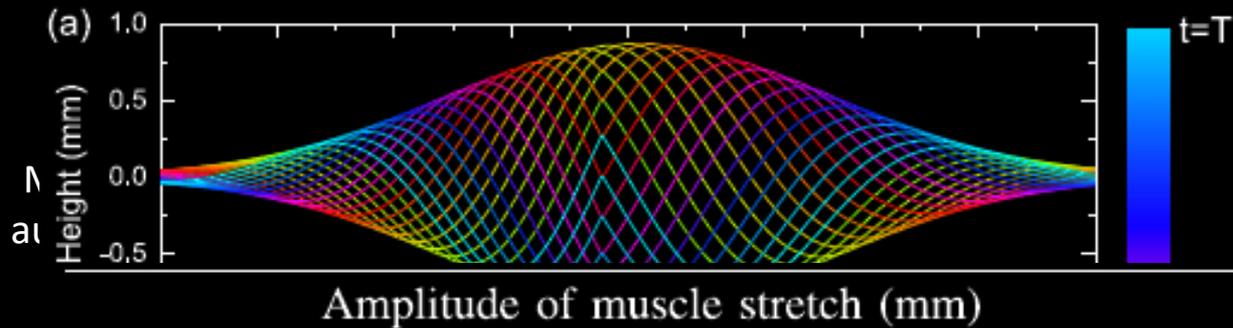


Renforcement moteur du muscle vibré

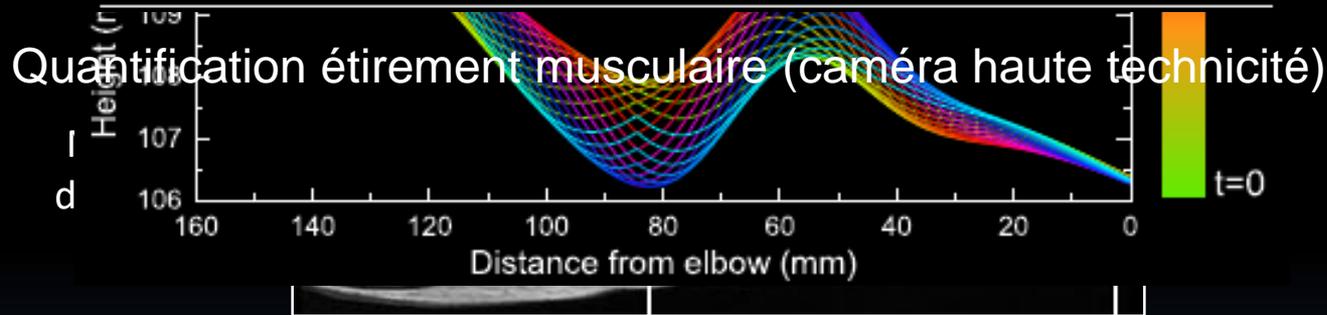
# **Vibrations focales dans la parésie spastique**

# **Les vibrations focales dans la parésie spastique – stade chronique**

# Vibration et étirement musculaire



subject A	subject B	subject C	subject D
$0.44 \pm 0.10$	$0.56 \pm 0.18$	$0.48 \pm 0.08$	$0.49 \pm 0.18$



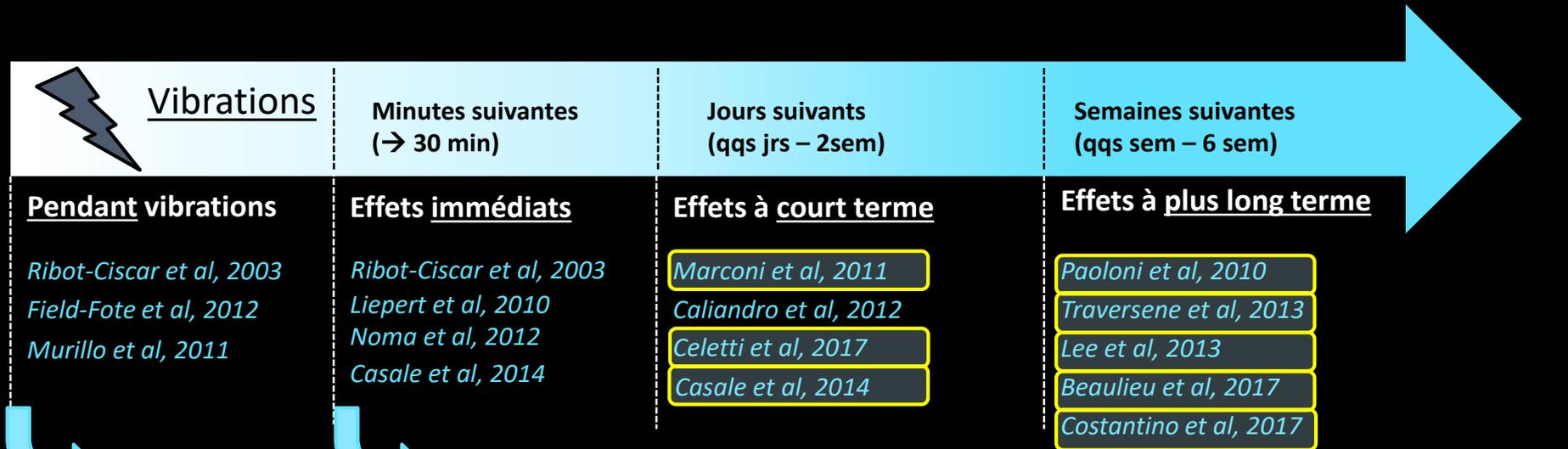
## Onde musculaire pendant 1 cycle

Observation par IRM de la déformation par vibration

(a) Onde avec référentiel horizontal

(b) Onde réelle avec référentiel courbe

# Les vibrations focales dans la parésie spastique – stade chronique



*Essais contrôlés randomisés*

∟ spasticité...?

*Hmax/Mmax*

*Ashworth modifié*

↗ *amplitude active agoniste*

Pas d'essai contrôlé

*Ribot-Ciscar et al* : Vibration triceps brachii → ↗ Force triceps

*Liepert et al* : améliore circuits inhibiteurs antagoniste (PSC)  
+ améliore fonction

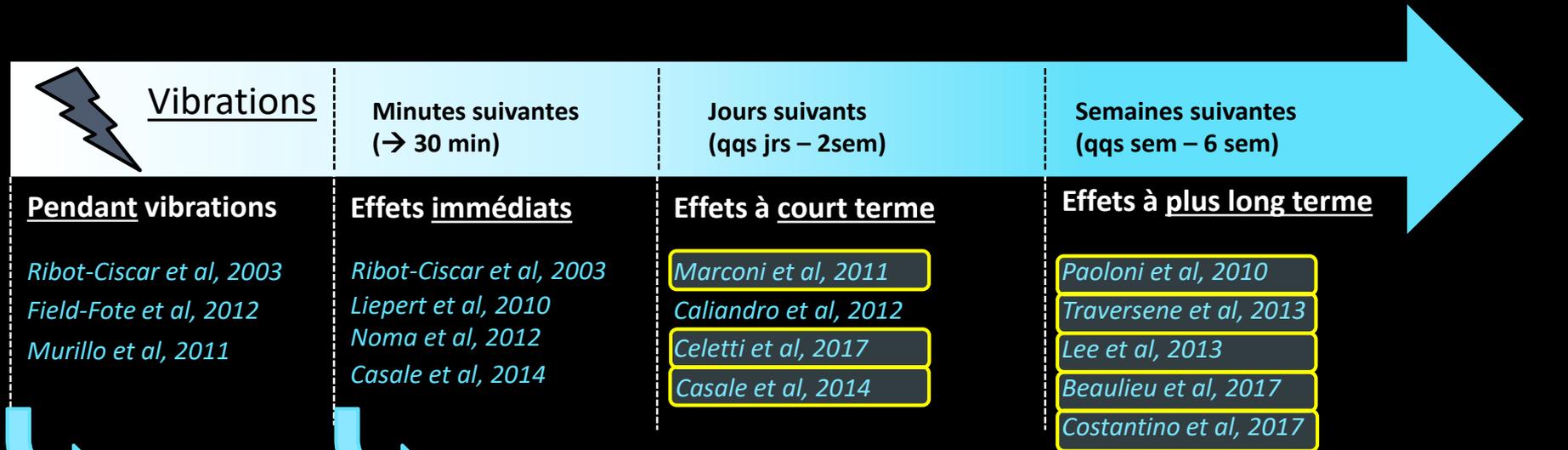
*Noma et al; Casale et al* : ∟ spasticité → *Ashworth modifié* !

*Casale et al, Celetti et al, 2017* : ∟ spasticité maintenue  
→ *Ashworth modifié* !

→ *Marconi et al, 2011* : ↗ aires motrices et vol des représentations corticales muscles vibrés,  
↗ fonction (Wolf)

∟ spasticité (corrélée inhibition intracorticale)

# Les vibrations focales dans la parésie spastique – stade chronique



Essais contrôlés randomisés

∩ spasticité...?

*Hmax/Mmax*

*Ashworth modifié*

↗ amplitude active agoniste

Pas d'essai contrôlé

*Ribot-Ciscar et al* : Vibration triceps brachii → ↗ Force triceps

*Liepert et al* : améliore circuits inhibiteurs antagoniste (PSC)  
+ améliore fonction

*Noma et al; Casale et al* : ∩ spasticité → *Ashworth modifié* !



Renforcement moteur immédiat/court terme muscle parétique

→ Effets durables avec répétition du traitement ?

# Les vibrations focales dans la parésie spastique – stade chronique

*Paolini et al. , 2010 - NNR*

**N=44**

12 séances de vibrations sur Tibial Ant et Long péronier - 4 sem

Vibrations focales + thérapie conv vs thérapie conv

- ↗ activité du TA
- ↗ angle flexion dorsale phase oscillante
- ↗ phase d'appui côté parétique
- ↗ vitesse de marche

*Beaulieu et al. 2017 – Clin Neurophys*

Stim magnétique transcrânienne (SMT) vs vibrations focales

- ↗ force muscles cheville (TA,Sol,LF) ( $p \leq 0,02$ )
- ↗ excitabilité du ctx moteur primaire hémisph contro avec SMT
- inhibition intracorticale avec SMT

# Rétraction Post Immobilisation Chez l'Homme

= Confirmation du **PROCESSUS AIGU**

1. **48h immobilisation** : augmentation du contenu en ARNm pour des composants du système ubiquitin-proteasome

*Urso et al, 2006; Abadi et al., 2009*

2. **5 jours immobilisation** : - 3,5% section transversale et -9% force musculaire

*Dirks et al, 2014*

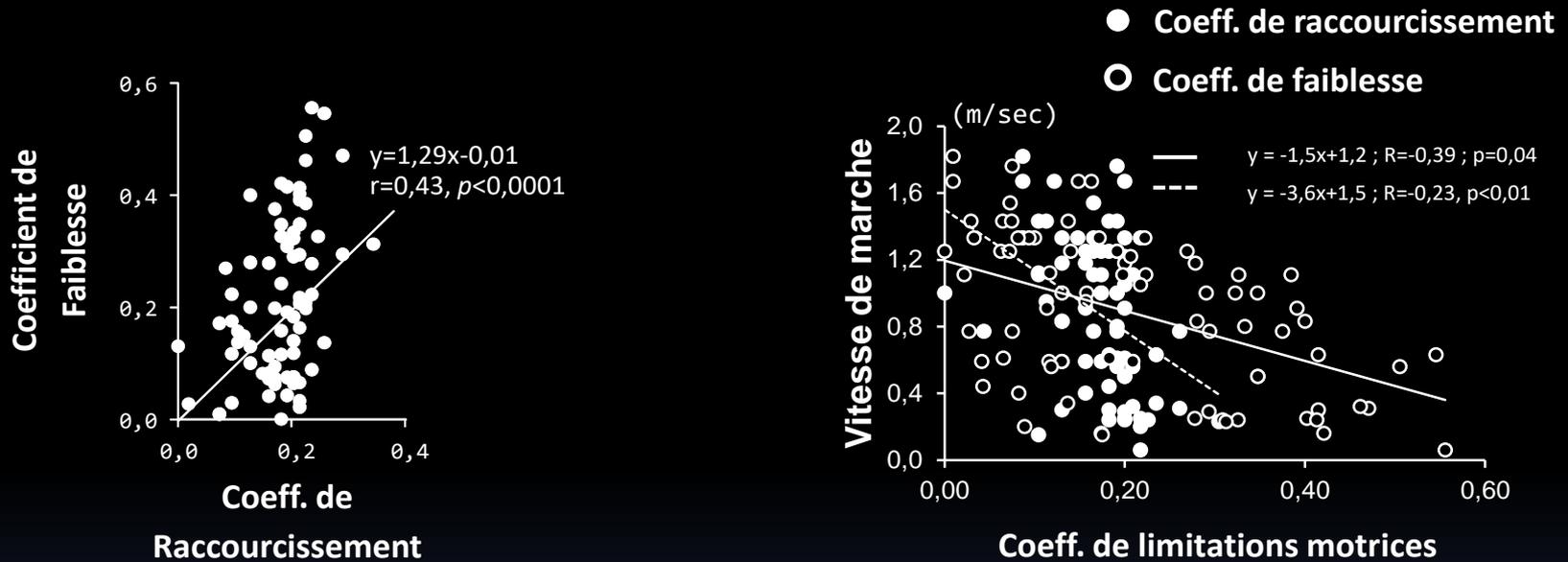
3. **8-14j repos au lit** : -9% section transversale ; -15% force ; raideur augmentée ; ↓ volume > dans muscles immobilisés en position courte (FP, Q vs IJ)

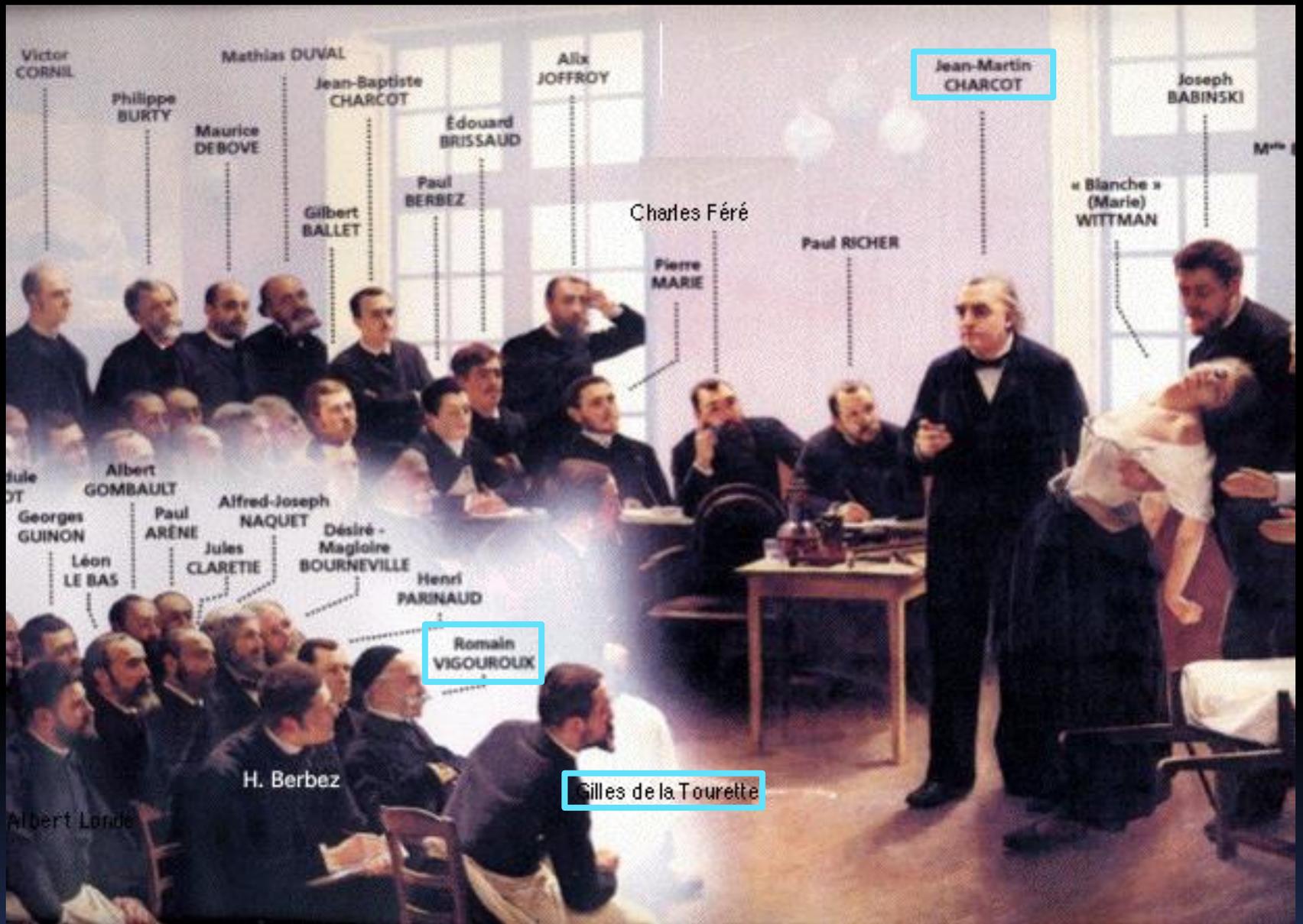
*Grosset and Onambele-Pearson, 2008; Seynnes et al, 2008;  
Abadi et al., 2009; Grosset et al, 2010*

# La myopathie spastique

## Impact sur commande et fonction

### Gastrocnémiens





JM Charcot, 1875  
Leçon du mardi de Charcot

*Brouet; 18...*

# Premiers usages cliniques

*Expériences de Georges Gilles de la Tourette*



*Casque vibrant*



→ Extension expérience Boudet à la boîte crânienne : **encéphale en vibration.**

Moteur : 6000 tours /min → vibration continue transmise au crâne tout entier

Sujet sain : 7-8 min → sensation d'engourdissement

Traitement de l'insomnie en 8 -10 séances 10 à 15 min

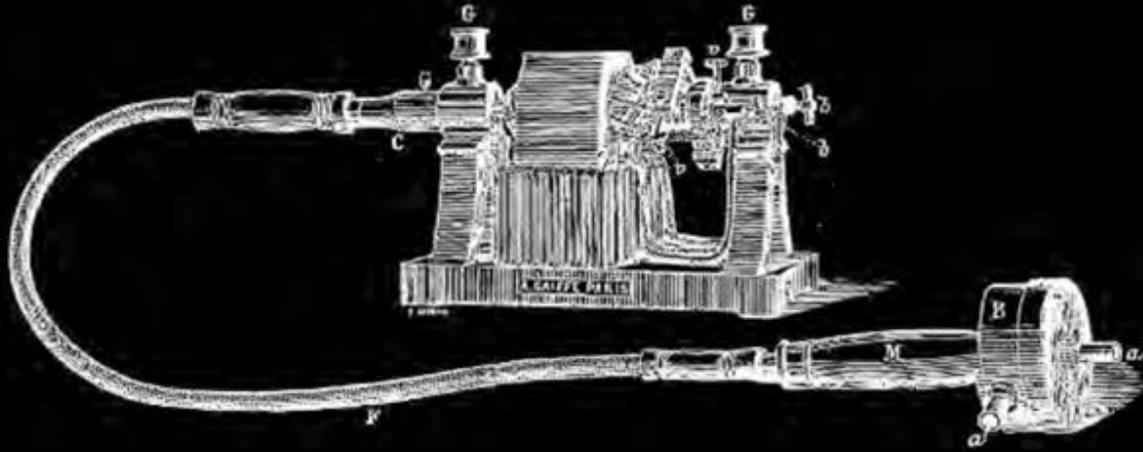
**Sédatif puissant** du système nerveux

# Premiers usages cliniques Appareils manuels

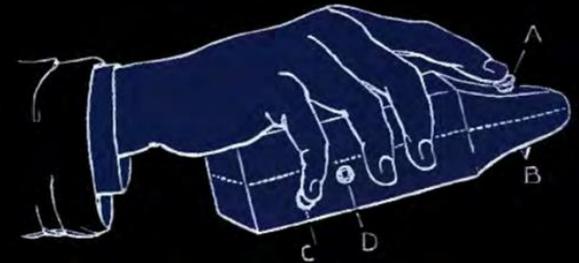


Appareil Pulsoconn du Dr Macaura  
Rotation manivelle transformée mouvement va et vient vertical

# Premiers usages cliniques Appareils électriques



*Labadie*, app fixe sur table  
petit moteur – 1800-2000 tours/min  
Mvt rotation transmis à un concusseur



Le «*clock-work percuteur*» (sur batterie)  
de Joseph Mortimer-Granville (tige  
percutante forme variable)



*fabriqué par M. Rupalley et Cie*

# Premiers usages cliniques

## Appareils pneumatiques

Pression nécessaire : 1,3 à 4,5 Kg.

Pour augmenter intensité → ↗ appui de l'appareil sur la peau plutôt que pression gaz



Divers concusseurs adaptables  
(se vissent latéralement)  
Connexion avec air comprimé  
(en bout de manche)



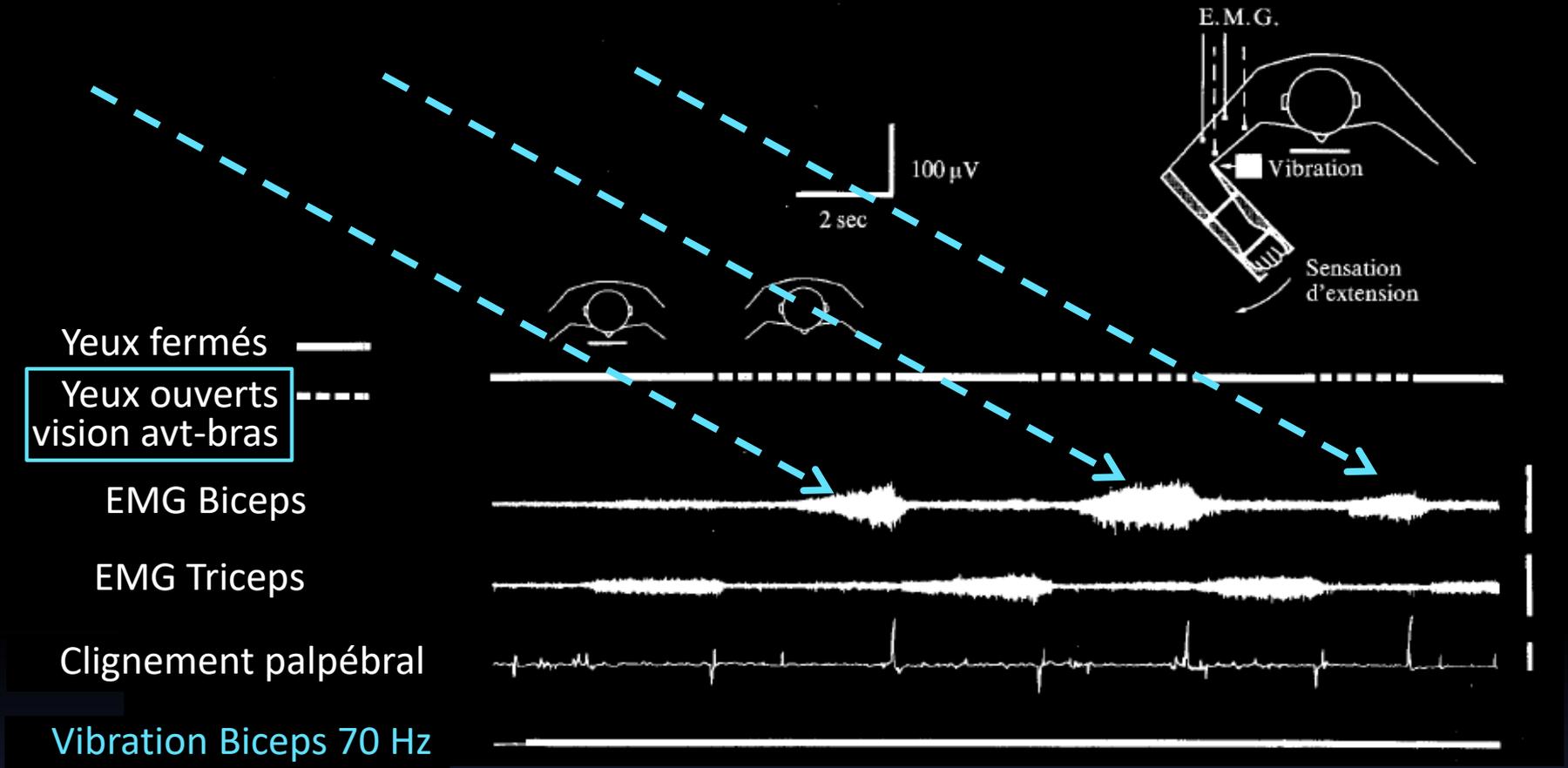
### ***La main vibrante***

Main placée entre moteur et sangles métalliques spiralées

→ débattement vertical des doigts par massages vibratoires du bout des doigts

→ proposé aux kinésithérapeutes pour vibrations punctiformes et aux coiffeurs

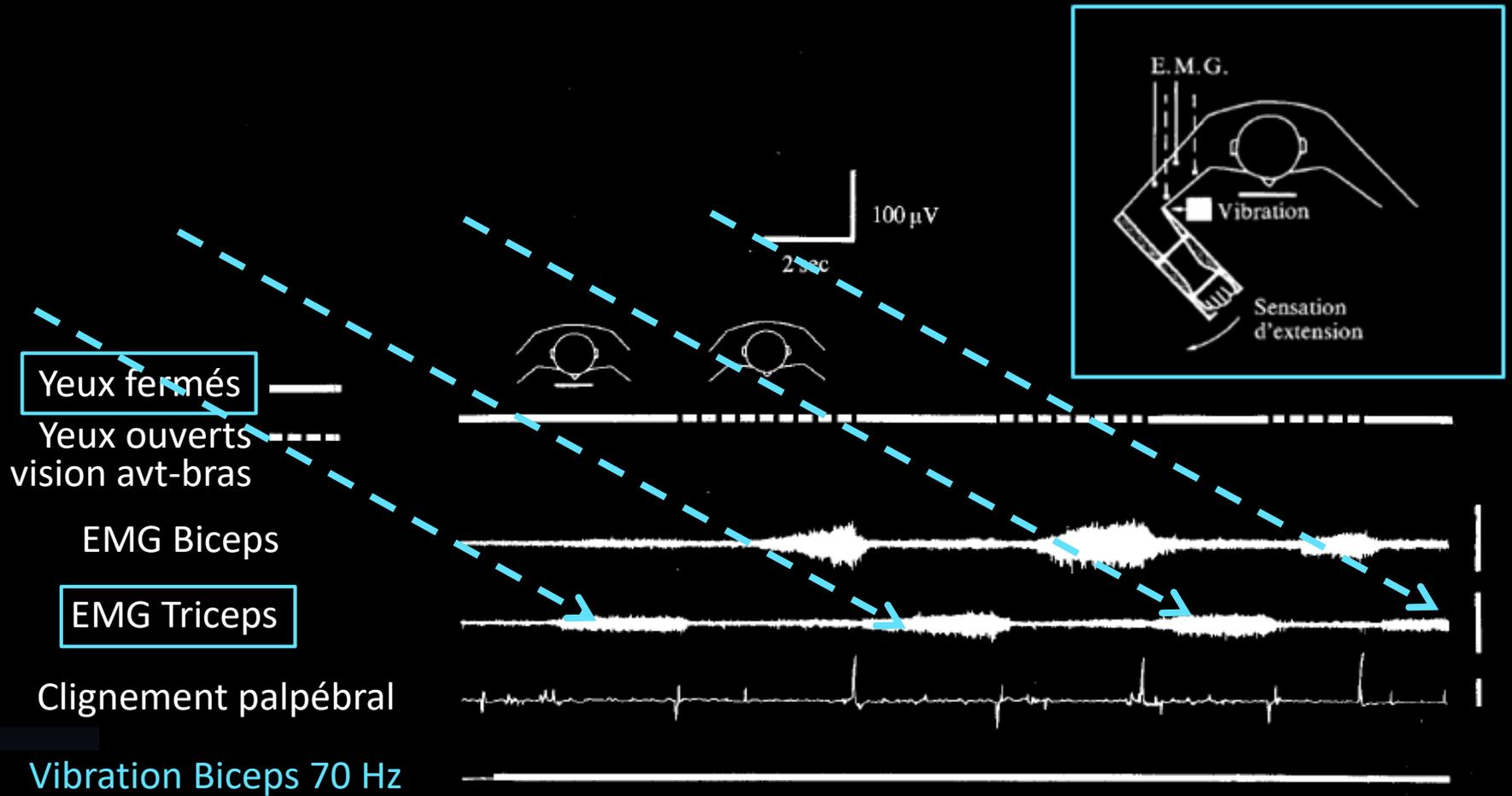
# Effets perceptifs vs moteurs pdt vibration



*Roll, Gilhodes, Tardy-Gervet; Experientia. 1980*

Vision avant-bras → Activité biceps RTV +++  
~~inhibition~~

# Effets perceptifs.. et moteurs



→ Contraction triceps (antagoniste du muscle vibré) associée à l'illusion mouvement

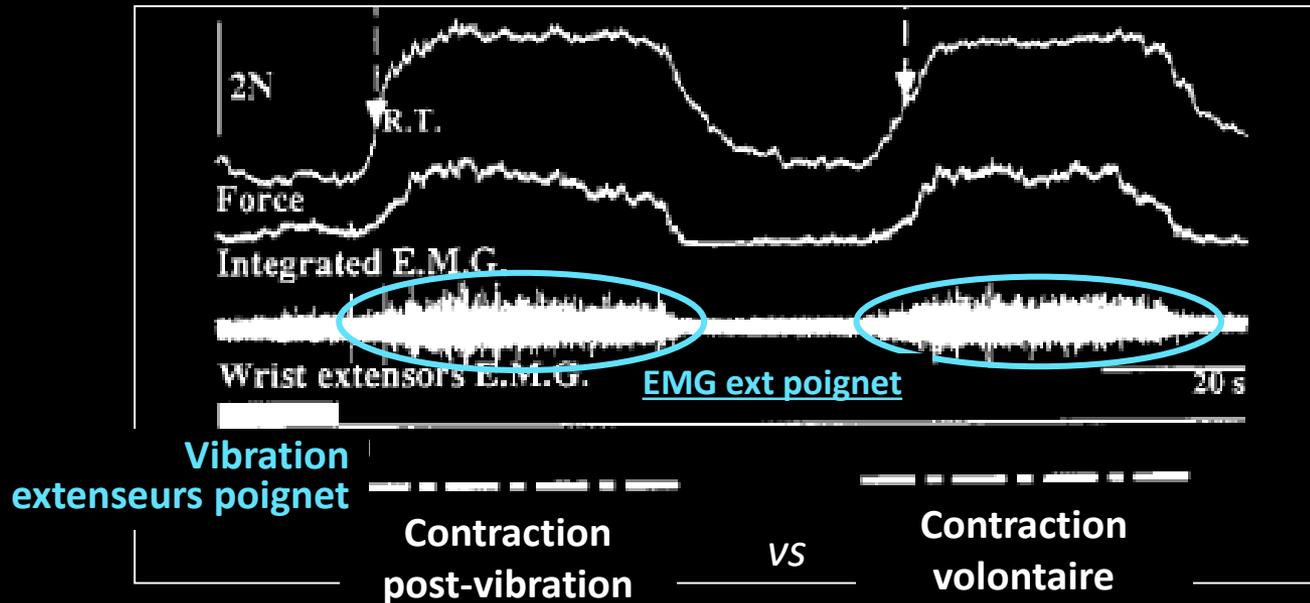
# Effets perceptifs vs moteurs



→ Relation fréquence de vibrations / Activité de l'antagoniste

++++Calvin-Figuière S, Romaguère P, Gilhodes JC, Roll JP.  
Antagonist motor responses correlate with kinesthetic illusions induced by tendon vibration. *Exp Brain Res.* 1999;124(3):342-50

# Effets immédiats en post vibration



→ Réponse similaire RTV et contraction volontaire

*Human motor unit activity during post-vibratory and imitative voluntary muscle contractions. Ribot-Ciscar, Roll, Gilhodes - 1996*