



MOUVEMENTS VOLONTAIRES DE LA MAIN FANTÔME ET PERSPECTIVES THÉRAPEUTIQUES APRÈS AMPUTATION DU MEMBRE SUPÉRIEUR



A.Touillet¹, N. Jarrassé², C. Nicol³, L.Peultier⁴, I. Loiret¹, N. Martinet¹, J. Paysant¹, J.B. De Graaf³

SORNEST
2015

1 Institut Régional de Médecine Physique et de Réadaptation (IRR) de Nancy

2. Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR), UMR 7222, CNRS – Université Pierre et Marie Curie

3 Institut des Sciences du Mouvement (ISM), UMR 7287, CNRS- Aix-Marseille Université

4 Développement, Adaptation et Handicap, Université de Lorraine, Nancy,

Les différents types de mouvements après amputation

2

MOUVEMENTS VISIBLES	MOUVEMENTS SANS MOUVEMENTS VISIBLES
Mouvement du membre résiduel	
Mouvement du membre prothétique	
Mouvement visualisé	



Les différents types de mouvements après amputation

3

MOUVEMENTS VISIBLES	MOUVEMENTS SANS MOUVEMENTS VISIBLES
Mouvement du membre résiduel	Mouvement imaginé
Mouvement du membre prothétique	Mouvement volontaire de membre fantôme
Mouvement visualisé	

Mouvements volontaires de membre fantôme ≠ Mouvements imaginés

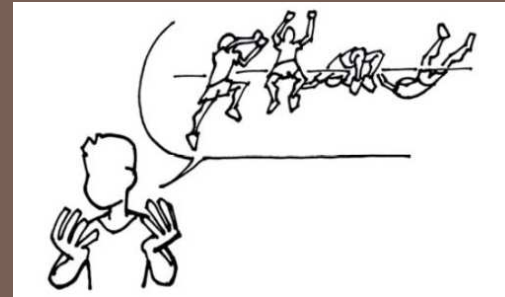
4

- Souvent confondus avec mouvements imaginés
- Personnes amputées capables de distinguer les 2 types de mouvements
- Mouvements volontaires peu décrits, peu étudiés

Mouvement imaginé

Imagerie mentale visuelle

Imagerie mentale kinesthésique



Mouvement fantôme

Mouvement « réel » du membre amputé



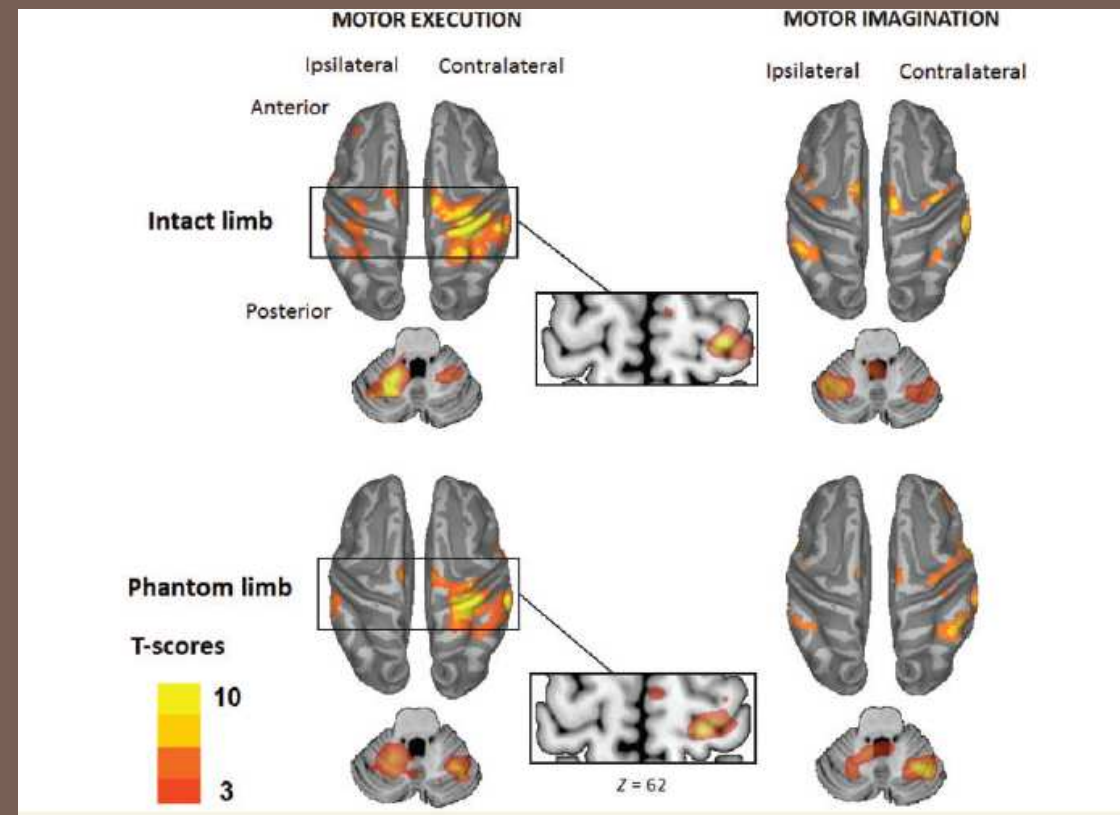
Mouvements volontaires de membre fantôme : données actuelles

5

□ Etudes neurophysiologiques récentes :

-mouvements volontaires du membre fantôme $\neq$ mouvements imaginés du membre fantôme

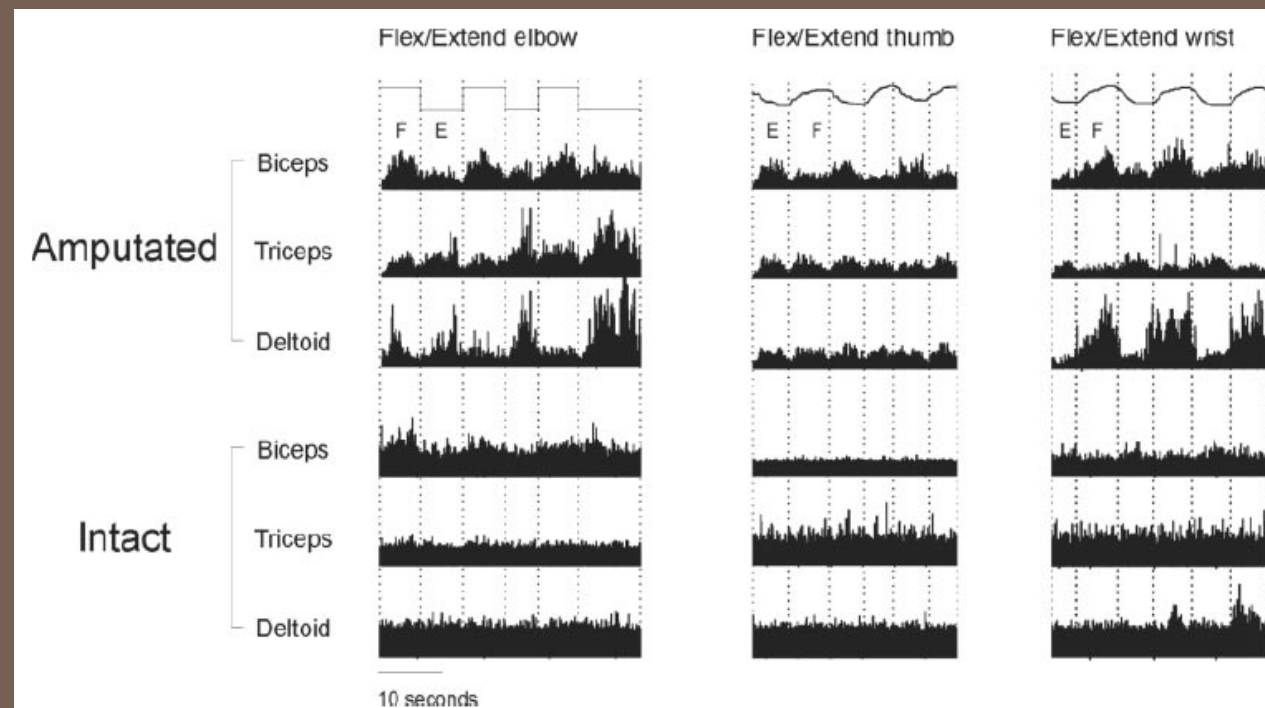
-zones activées similaires à celles activées pendant mouvements volontaires membre sain



Mouvements volontaires de membre fantôme et activité myoélectrique : données actuelles

6

- Activité myoélectrique
- dans les muscles du membre résiduel
- spécifique du mouvement de membre fantôme réalisé
- Pas d'activité pendant mouvements imaginés



Reilly K. et al. Brain.2006

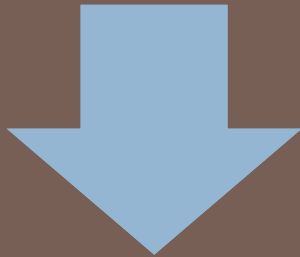
Mouvements volontaires de membre fantôme et perspectives thérapeutiques

7

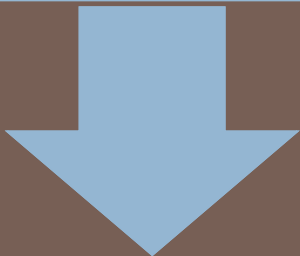
- I- Place par rapport à la prise en charge en appareillage ?
- II- Place par rapport à la prise en charge de douleurs de membre fantôme ?

I- Mouvements volontaires du membre fantôme et possibilité de commande de prothèse ?

Mouvements **volontaires**
membre fantôme



Activité myoelectrique
spécifique au niveau membre
résiduel

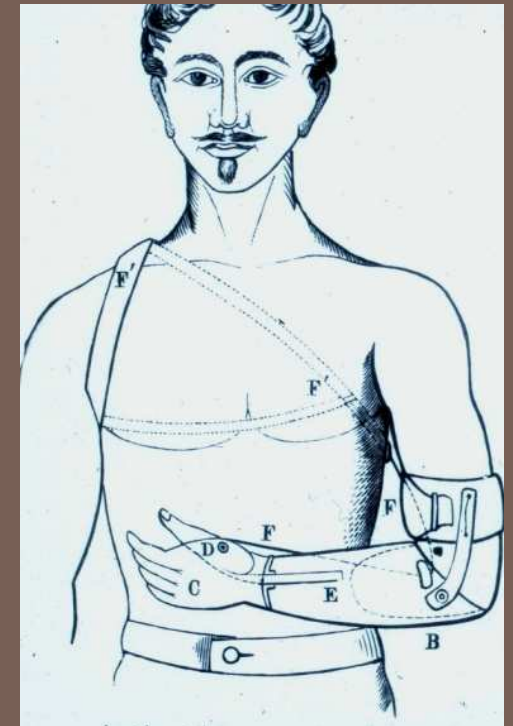


Possibilité de contrôle d'une
prothèse myoélectrique ?

Commande +
intuitive ?

Plus de degrés de
mobilité ?

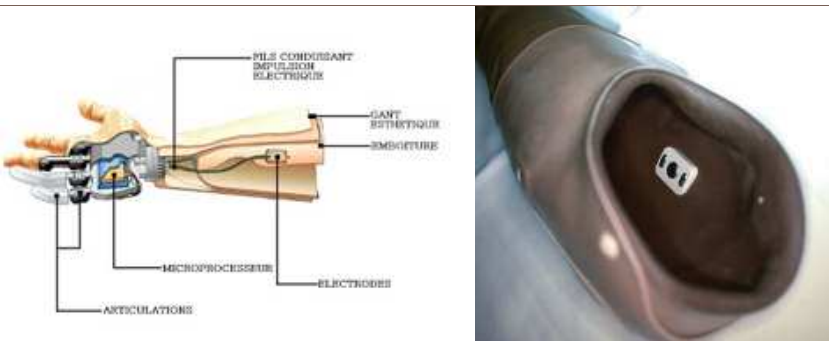
« *Je ne sais pas comment*
le mouvement se produit, mais *je veux le*
faire et je le fais »



Comte de Beaufort (1860)

Commandes actuelles des prothèses myoélectriques de membre supérieur

9



Contractions volontaires
biceps/triceps
épicondyliens/épitrochléens

Seuils/ Séquençage

-Nécessité apprentissage/
entraînement
-Limite nombre articulations
contrôlables

« *Je ne sais pas comment*
le mouvement se produit, mais *je veux le*
faire et je le fais »



Comte de Beaufort (1860)



Mouvements volontaires du membre fantôme : préalables à leur utilisation pour le contrôle prothétique

- Ce qu'il faut préciser : Etude en cours
- 1. Epidémiologie des mouvements de membre fantôme
- 2. Types de mouvements réalisables
- 3. Evolution spontanée
- Identification de la population cible potentielle



Mouvements volontaires du membre fantôme : étude préalable à leur utilisation pour le contrôle prothétique

- Entretien semi-dirigé (sensations, douleurs, mouvements)
- Personnes suivies en consultation ou hospitalisées dans le service d'appareillage suite à une amputation majeure acquise de membre supérieur
- Depuis juin 2013
- En cas de mouvements volontaires réalisables : description verbale et imitation avec le membre sain

PHANTOM AND STUMP PHENOMENA INTERVIEW

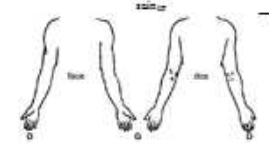
NOM _____ Sexe _____ Age _____

Prénom _____

Date : ____ / ____ / 2013 Code : ____

1. À quel niveau a été pratiquée l'amputation ? (Circulez et mentionnez la mesure [cm] à partir de l'axe de l'humérus)

Longueur du moignon : ____ Longueur du membre sain : ____



2. Quand est-ce que l'amputation a eu lieu ? (mois et année) : ____

Temps écoulé depuis l'amputation en mois : ____

3. Quelle est la cause de l'amputation (par exemple : accident ou maladie) ? ____

4. Est-ce que le patient avait ressenti des douleurs avant l'amputation ?

Si Oui, depuis combien de temps avant l'amputation ?

Si Oui, depuis combien de temps avant l'amputation ?

5. Où se situait la douleur ?

6. Quelle intensité vous faisait ressentir l'amputation ?

7. Depuis quand ?

8. Depuis quand ?

9. Depuis quand ?

10. Depuis quand ?

11. Depuis quand ?

12. Depuis quand ?

13. Depuis quand ?

14. Depuis quand ?

15. Depuis quand ?

16. Depuis quand ?

17. Depuis quand ?

18. Depuis quand ?

19. Depuis quand ?

20. Depuis quand ?

21. Depuis quand ?

22. Depuis quand ?

23. Depuis quand ?

24. Depuis quand ?

25. Depuis quand ?

26. Depuis quand ?

27. Depuis quand ?

28. Depuis quand ?

29. Depuis quand ?

30. Depuis quand ?

31. Depuis quand ?

32. Depuis quand ?

33. Depuis quand ?

34. Depuis quand ?

35. Depuis quand ?

36. Depuis quand ?

37. Depuis quand ?

38. Depuis quand ?

39. Depuis quand ?

40. Depuis quand ?

41. Depuis quand ?

42. Depuis quand ?

43. Depuis quand ?

44. Depuis quand ?

45. Depuis quand ?

46. Depuis quand ?

47. Depuis quand ?

48. Depuis quand ?

49. Depuis quand ?

50. Depuis quand ?

51. Depuis quand ?

52. Depuis quand ?

53. Depuis quand ?

54. Depuis quand ?

55. Depuis quand ?

56. Depuis quand ?

57. Depuis quand ?

58. Depuis quand ?

59. Depuis quand ?

60. Depuis quand ?

61. Depuis quand ?

62. Depuis quand ?

63. Depuis quand ?

64. Depuis quand ?

65. Depuis quand ?

66. Depuis quand ?

67. Depuis quand ?

68. Depuis quand ?

69. Depuis quand ?

70. Depuis quand ?

71. Depuis quand ?

72. Depuis quand ?

73. Depuis quand ?

74. Depuis quand ?

75. Depuis quand ?

76. Depuis quand ?

77. Depuis quand ?

78. Depuis quand ?

79. Depuis quand ?

80. Depuis quand ?

81. Depuis quand ?

82. Depuis quand ?

83. Depuis quand ?

84. Depuis quand ?

85. Depuis quand ?

86. Depuis quand ?

87. Depuis quand ?

88. Depuis quand ?

89. Depuis quand ?

90. Depuis quand ?

91. Depuis quand ?

92. Depuis quand ?

93. Depuis quand ?

94. Depuis quand ?

95. Depuis quand ?

96. Depuis quand ?

97. Depuis quand ?

98. Depuis quand ?

99. Depuis quand ?

100. Depuis quand ?



Mouvements volontaires du membre fantôme : étude préalable à leur utilisation pour le contrôle prothétique

- 36/38 patients interrogés
- 9♀ 27♂
- Age moyen au moment de l'entretien (sd) : 50 ± 17 ans
- Délai médian post-amputation (1^{er}-3^{ème} quartile) : 6 ans (0,4-13,8)
- Etiologies : traumatique, infection...
- 12 patients amputés < du coude (3 quadri-amputés et 1 bi-amputé)
- 24 patients amputés > du coude (1 bi-amputé)

1. Epidémiologie des mouvements volontaires de membre fantôme

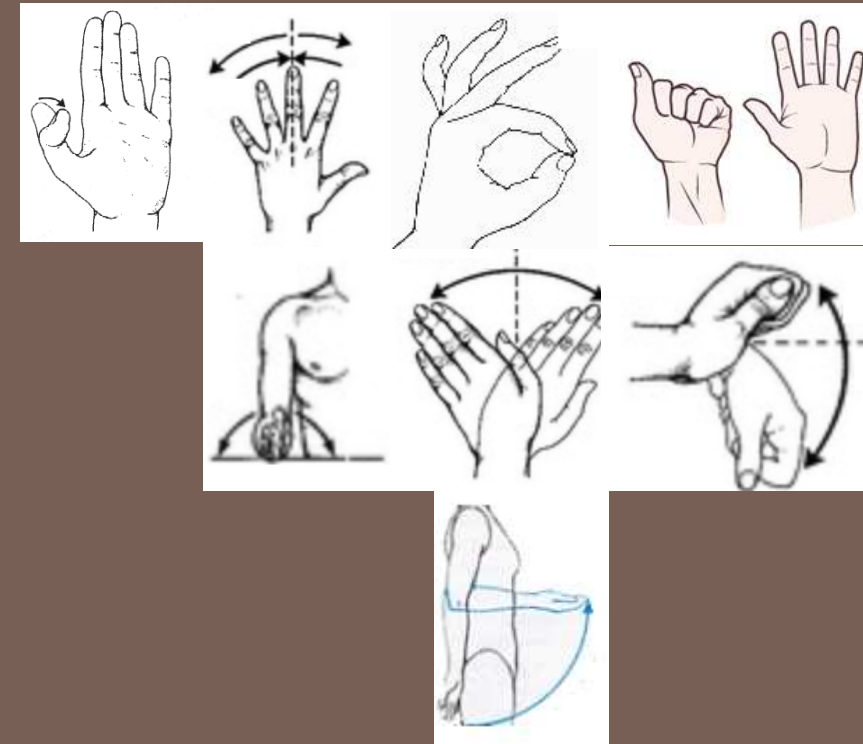
- ❑ Mouvements volontaires de membre fantôme chez 77% des patients.
- ❑ Absence complète de mouvements depuis l'amputation : 5/36 patients.
- ❑ Mouvements plus fréquents après amputation > coude (24/25 membres) vs < coude (9/16 membres amputés).
- ❑ **Reste à préciser : existence de mouvements en cas d'agénésie ?**



2. Types de mouvements volontaires de membre fantôme réalisables

14

- 8 types différents de mouvements décrits
- Mouvements de la main : 77%
- Mouvements du poignet : 47%
- Mouvements du coude : 29%
- Pas de mouvements de l'épaule



3. Evolution spontanée

15

- Apparition précoce : 8/10 interrogés $\leq$ 6 mois post-amputation
- Persistance à distance de l'amputation : 10/13 interrogés $\geq$ 10 ans post-amputation
- Disparition pour 3 patients
- **Reste à préciser : délais exacts d'apparition ? Progression de la mobilité ?**

Mouvements volontaires du membre fantôme : préalables à leur utilisation pour le contrôle prothétique

16

□ Ce qu'il faut préciser : Etude en cours

- 1. Epidémiologie des mouvements de membre fantôme
- 2. Types de mouvements réalisables
- 3. Evolution spontanée

□ 4. Activités EMG associées à ces mouvements

□ 5. Caractéristiques des mouvements / Entrainabilité

□ 6. Liens membre fantôme/membre prothétique

□ 7. Liens entre mouvements et douleurs

□ Informations sur la faisabilité pratique



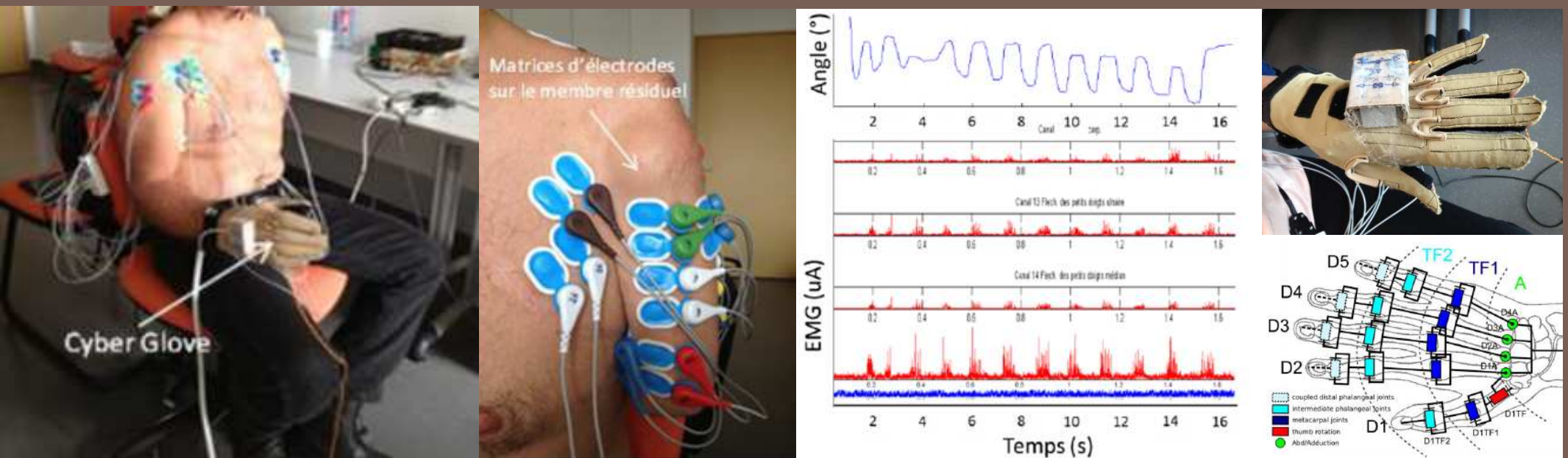
4 Activités EMG associées à ces mouvements : précisions nécessaires

17

- Evaluation de la reproductibilité à moyen terme lors des mouvements (plusieurs mois) : Reilly et al. ont confirmé la stabilité des patterns à plusieurs jours d'intervalle. Reilly K. et al. Brain.2006
- Evaluation de la fatigabilité musculaire.
- Précision sur les muscles du membre résiduel concernés et la répartition au niveau de chaque muscle → choix de la localisation des électrodes.

Etude en cours : données EMG / cinématiques

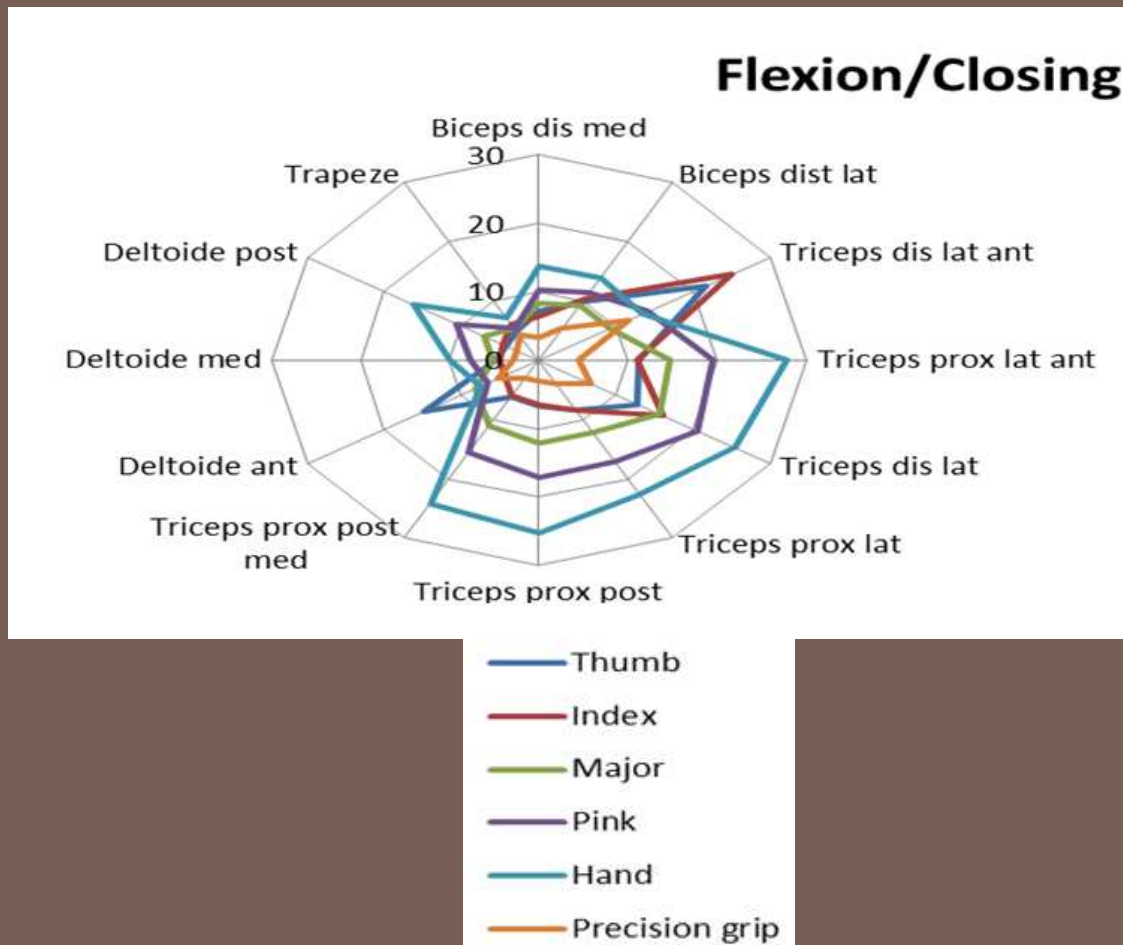
- Enregistrements EMG et cinématiques chez 16 patients réalisant des mouvements volontaires de membre fantôme.
- Répétition des enregistrements à différents délais post amputation.



4. Activités EMG associées à ces mouvements

19

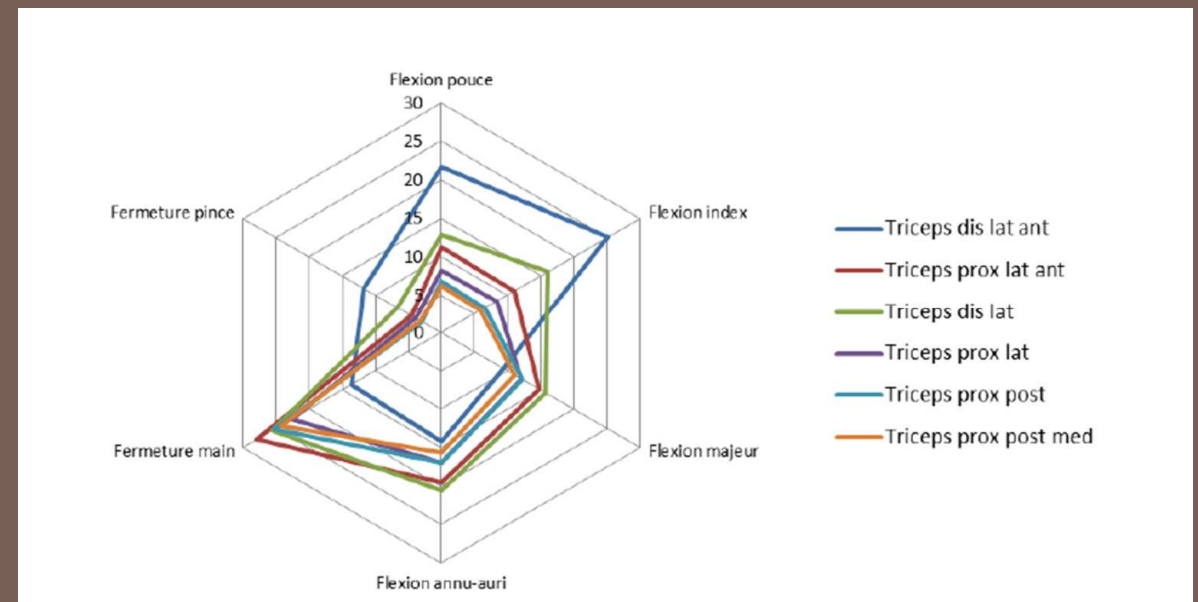
- Pattern différents
- Muscles les plus distaux



4. Activités EMG associées à ces mouvements

20

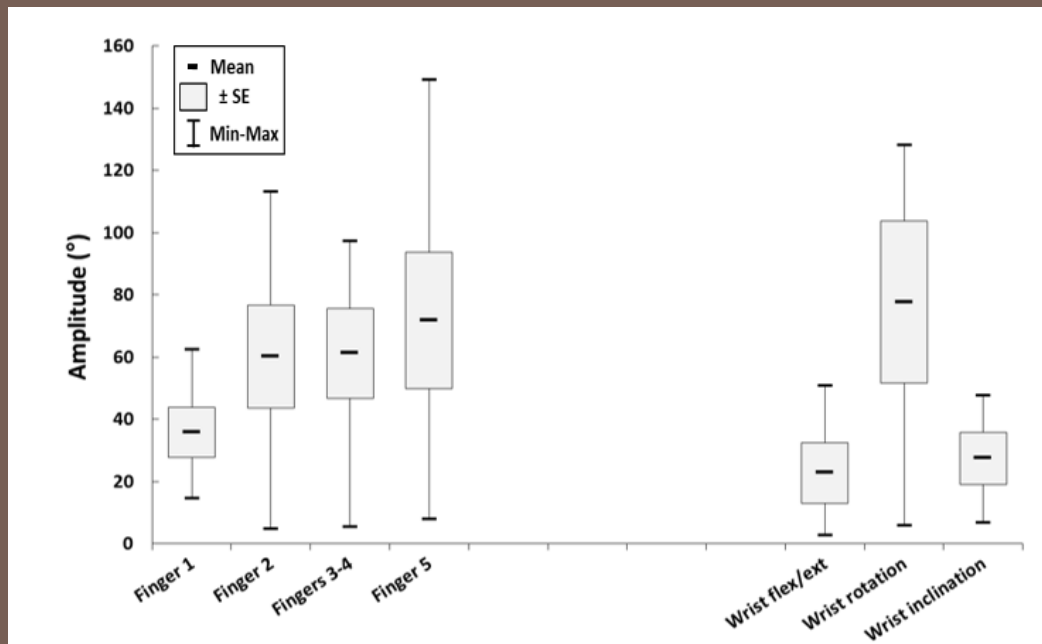
- Intérêt de plusieurs électrodes/muscles



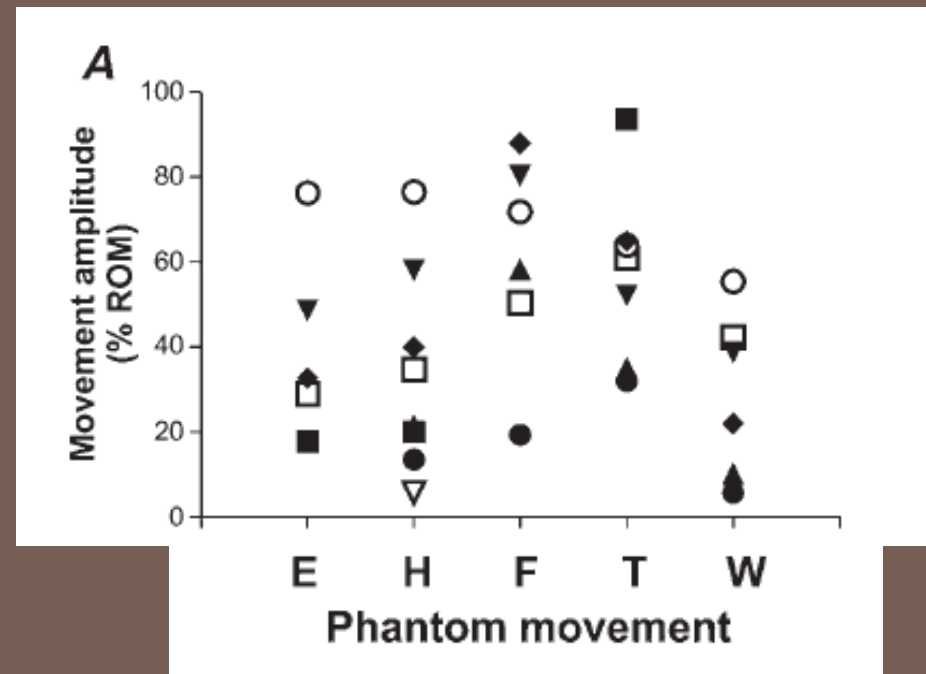
5. Caractéristiques des mouvements / Entraînabilité

21

□ Mouvements peu amples



De Graaf J.B. Submitted

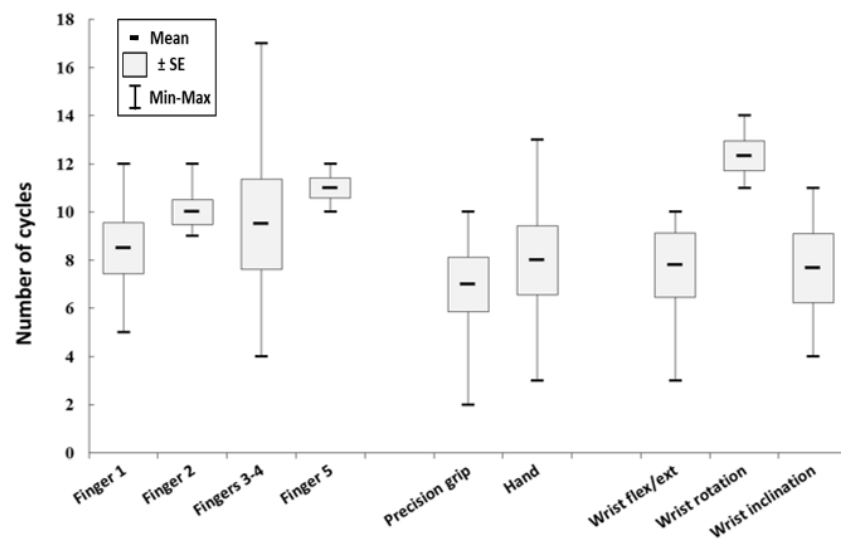
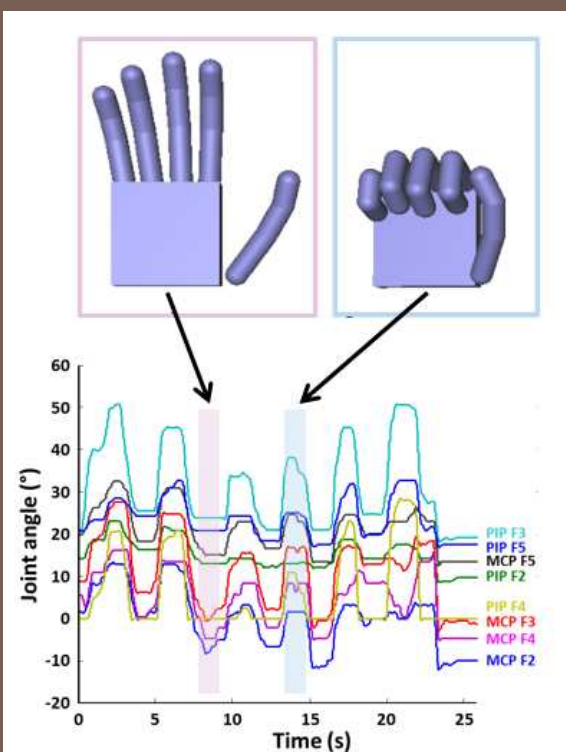


Gagné M et al, Neuroscience 2009

5. Caractéristiques des mouvements / Entraînabilité

22

□ Mouvements lents, faible endurance



Nombre de cycles de mouvement en 40s

De Graaf J.B. Submitted



Raffin E. et al. Cortex. 2012

5. Caractéristiques des mouvements / Entraînabilité

23

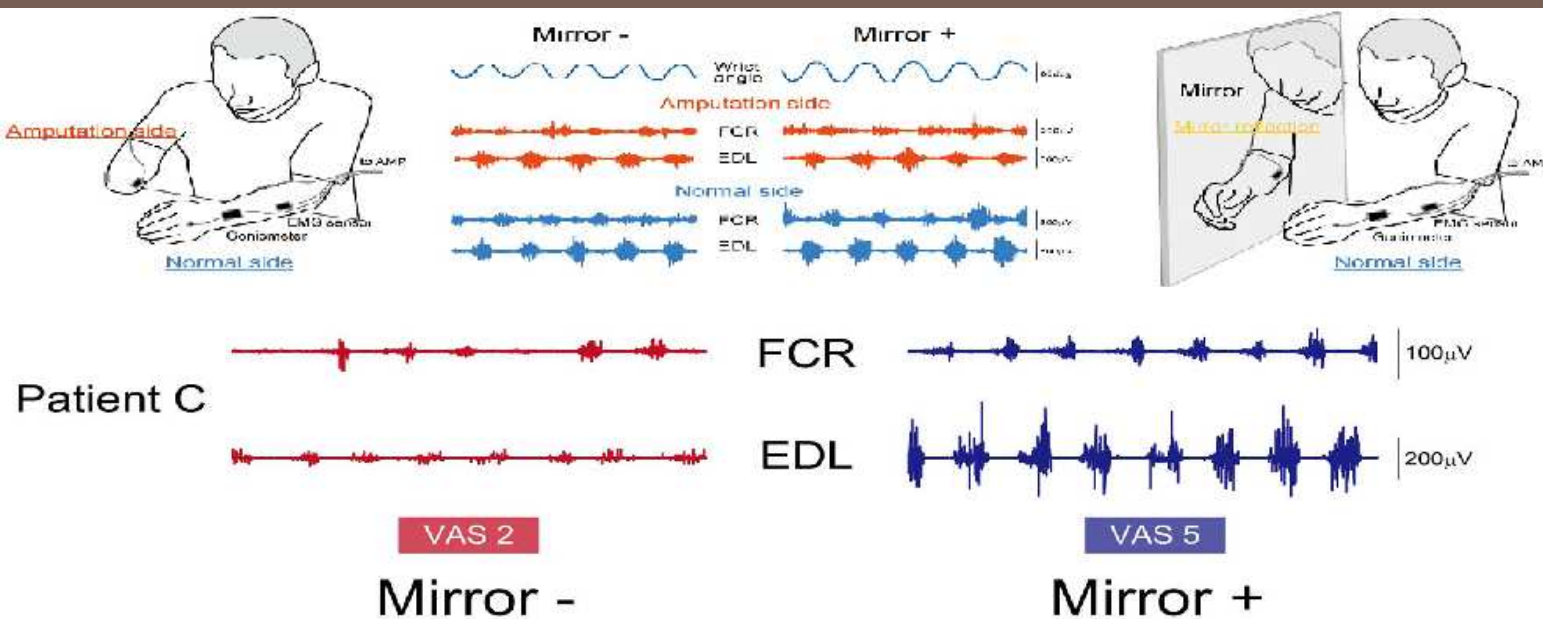
- Pas de données actuelles dans cette étude sur entraînabilité : auto exercices chez certains patients.
- Faisabilité d'un entraînement des mouvements volontaires du membre fantôme chez 10 patients amputés. Ülger O et al. J Rehabil Med 2009
- **Reste à préciser : impacts de l'entraînement (apparition de mouvements, gain en endurance) ?**



5. Caractéristiques des mouvements / Entrainabilité

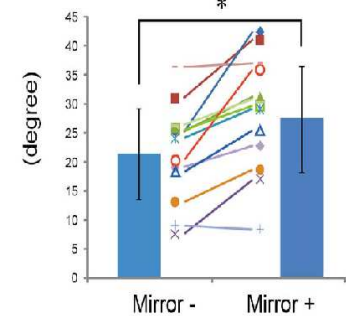
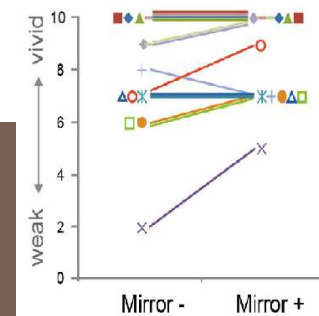
24

- Techniques utilisables : Miroir, imagerie mentale ?



A VAS

B ROM



6. Liens membre fantôme/membre prothétique

- Vérifier l'absence de conflit entre membre prothétique et membre fantôme.
- 2 patients décrivent dissociation membre fantôme/ membre prothétique.
- **Reste à préciser : appropriation de cette technique de commande ?**



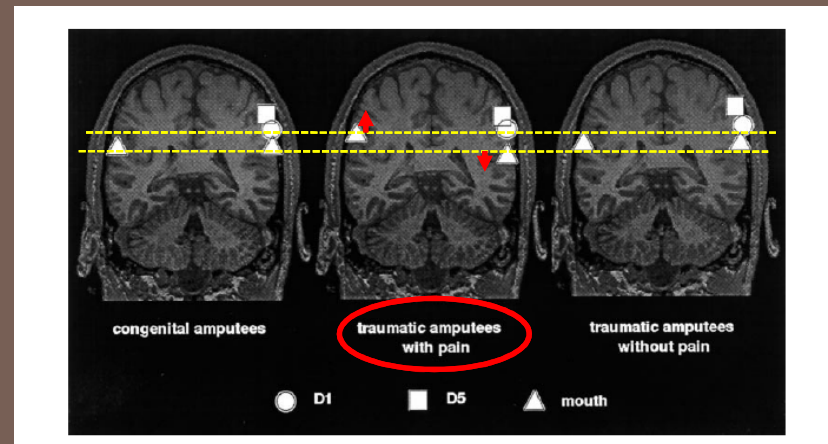
Brugger P. Human body perception from the inside out. 2006



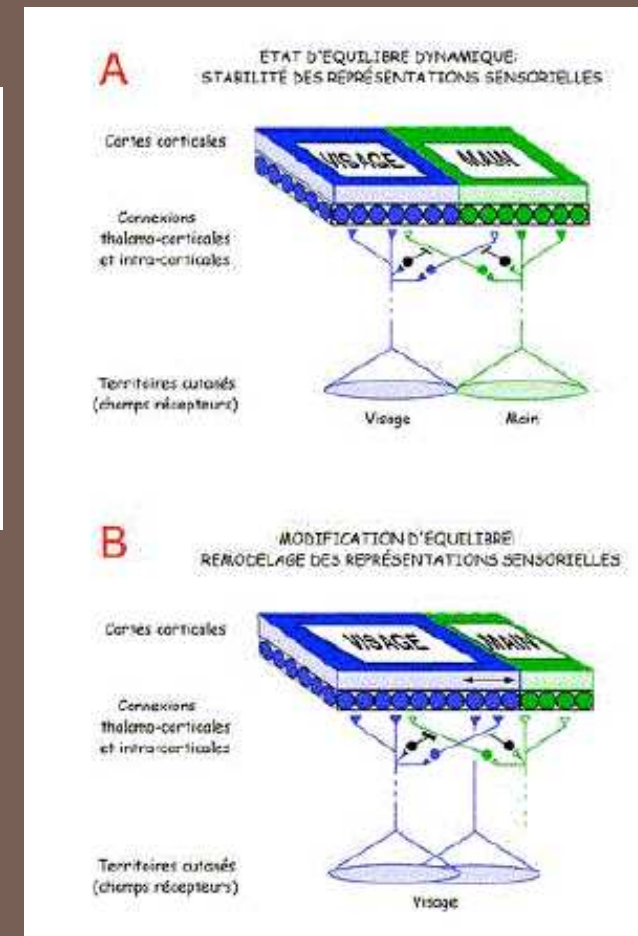
II- Mouvements volontaires du membre fantôme et douleurs de membre fantôme

26

- Liens entre douleurs et réorganisation corticale (M1/S1)
- Déplacement des aires de la face et du membre résiduel vers les aires du membre amputé plus important chez patients douloureux



Flor H. et al. Experimental Brain Research. 1998

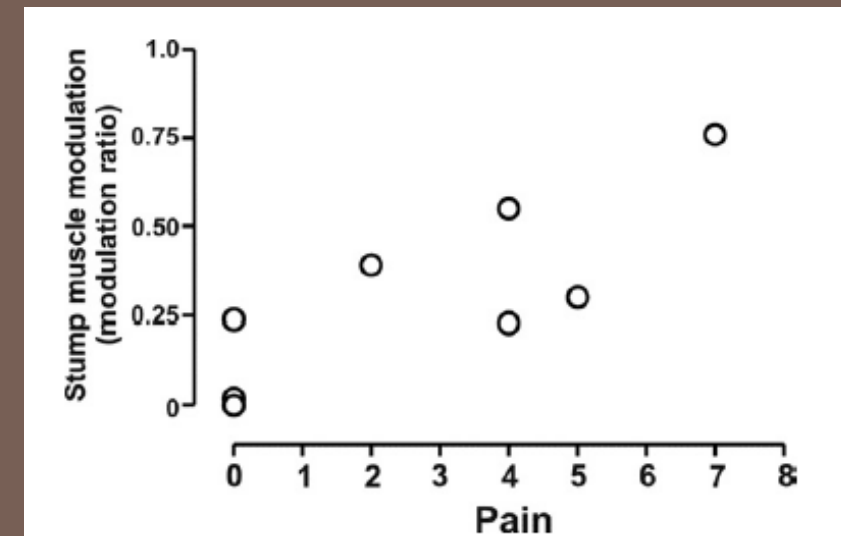


Xerri C. Intellectica. 2003

II- Mouvements volontaires du membre fantôme et douleurs de membre fantôme

27

- Bon contrôle moteur du membre fantôme associé à une faible réorganisation corticale Raffin E. Thèse. 2011
- Bon contrôle moteur du membre fantôme corrélé négativement avec l'existence de douleurs fantôme
- Douleurs → ↓ vitesse de réalisation mouvement



Gagné M et al, Neuroscience 2009

7. Liens entre mouvements et douleurs

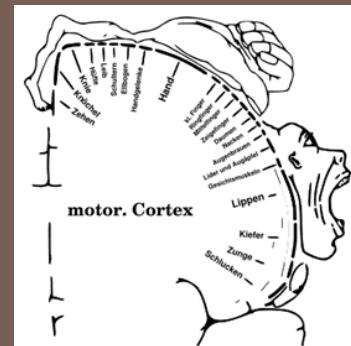
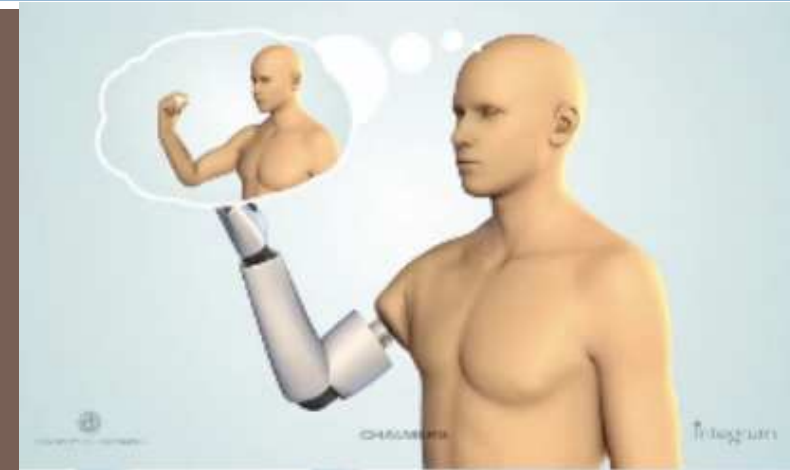
28

- Dans la littérature données contradictoires : renforcement des douleurs ≠ diminution des douleurs lors des mouvements.
- Ülger et al : diminution des douleurs de membre fantôme après un programme d'entraînement des mouvements de membre fantôme. Ülger O, et al. J Rehabil Med 2009.
- Dans notre étude : 3 patients : mouvements ↓ douleurs membre fantôme
3 patients : mouvements ↑ douleurs membre fantôme
2 patients : mouvements → douleurs de membre résiduel

Synthèse : Mouvements volontaires de membre fantôme

29

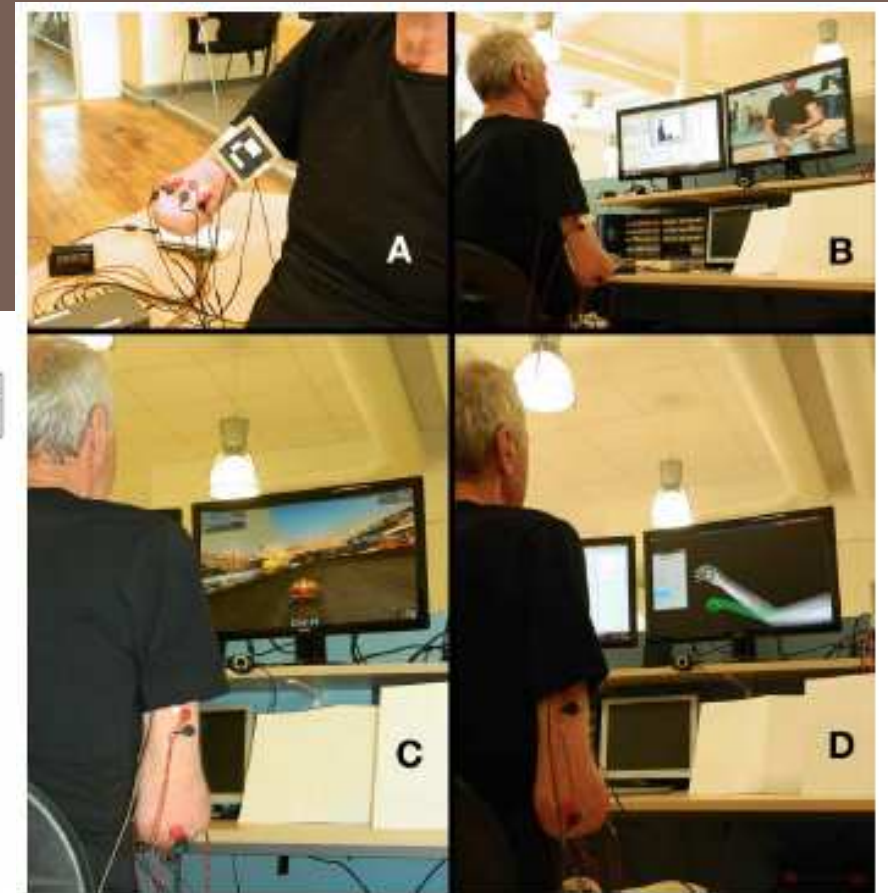
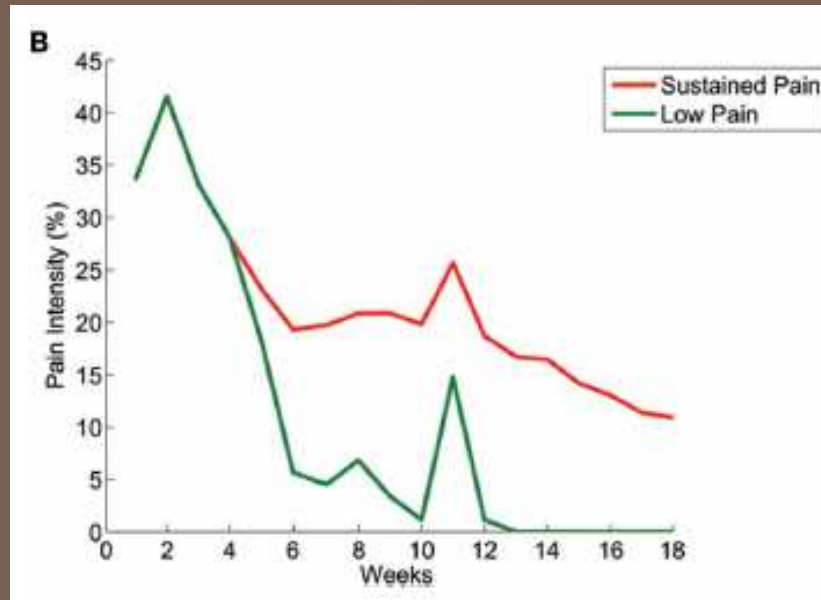
- sont fréquents, persistent
- concernent le plus souvent la main
- semblent intéressants à étudier pour
 - améliorer la commande des prothèses myoélectriques
 - prendre en charge les douleurs de membre fantôme
- Des études complémentaires sont nécessaires.
- **Intéressant à préciser : origine de la commande ?
Mécanisme de plasticité centrale ? Nerveuse périphérique ?**



Place par rapport aux innovations actuelles dans la prise en charge des douleurs de membre fantôme ?

30

- Mouvements de membre fantôme contrôle d'un membre virtuel en réalité augmentée
- Association feedback visuel et mouvements exécutés

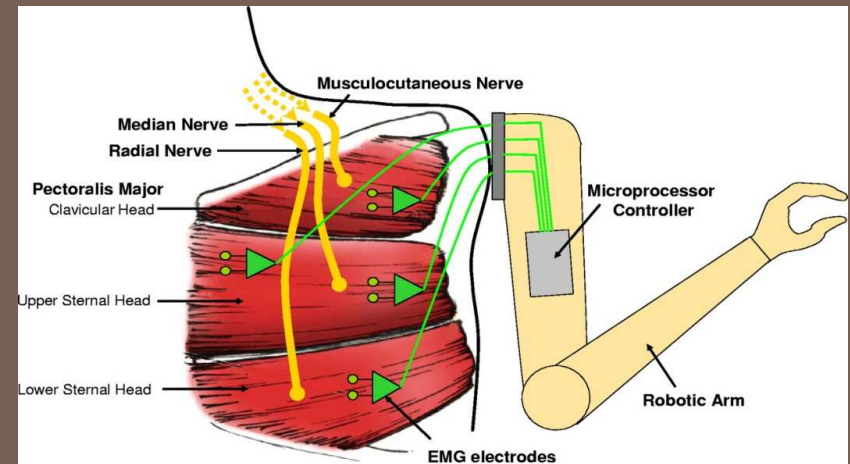


Place par rapport aux innovations actuelles en appareillage ?

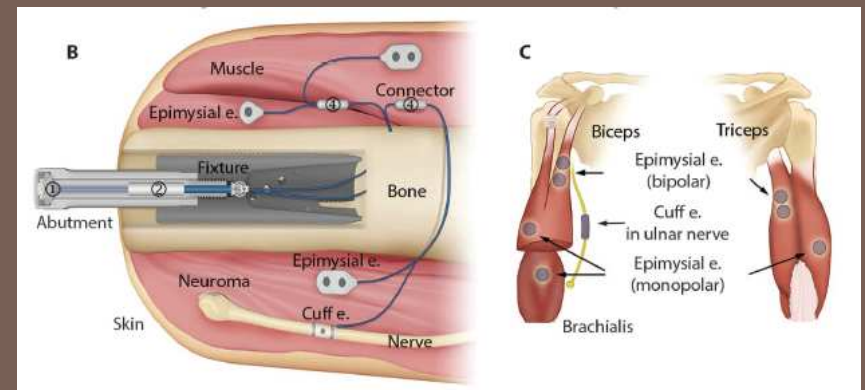
31

□ Alternative aux neurotisations ?

□ Complémentaire des techniques d'implantation d'électrodes intra musculaires ?



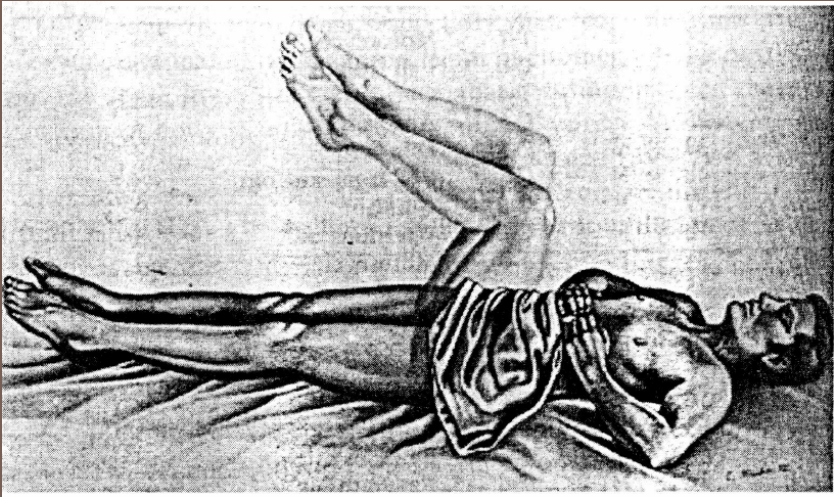
Zhou P et al. J Neurophysiol 2007



Ortiz Cataln et al. Sci Transl Med. 2014

Mouvements volontaires du membre fantôme : perspectives d'innovation ?

32



Merci de votre attention



Bibliographie

33

- Brugger P. Human body perception from the inside out. 2006
- De Graaf J.B. et al, Quantification of phantom hand mobility in upper limb amputees. Submitted
- Flor H. et al. Cortical reorganization and phantom phenomena in congenital and traumatic upper-extremity amputees. *Experimental Brain Research*. 1998;119:205-212
- Gagné M. et al. Motor control over the phantom limb in above-elbow amputees and its relationship with phantom limb pain. *Neuroscience*. 2009;162:78-86
- Kawashima N et al. Interindividual difference in the effect of mirror reflection-induced visual feedback on phantom limb awareness in forearm amputees. *PLOS ONE*. 2013;8:e69324
- Ortiz Catalan M. et al. Treatment of phantom limb pain based on augmented reality and gaming controlled by myoelectric pattern recognition : a case study of a chronic PLP patient, *Neuroscience* 2014
- Ortiz Catalan et al. An osteointegrated human-machine gateway for long-term sensory feedback and motor control of artificial limbs. 2014 *Sci Transl Med*
- Raffin E. et al. Disentangling motor execution from motor imagery with phantom limb. *Brain*. 2012;135:582-595
- Raffin E. et al. The moving phantom : motor execution or motor imagery ? *Cortex*. 2012;48:746-757
- Raffin E. Les mouvements de membre fantôme : relations entre perceptions motrices et neuroanatomie fonctionnelle étudiée e IRM fonctionnelle. Thèse de neuroscience. 2011
- Reilly K. et al. Persistent hand motor commands in the amputees' brain. *Brain*. 2006;129:221-2223
- Touillet A, et al. Characteristics of voluntary phantom limb movements in persons with upper limb amputation. Submitted
- Ülger O et al. Effectiveness of phantom exercises for phantom limb pain: a pilot study. *J Rehabil Med* 2009; 41(7): 582-584.
- Xerri C. Pasticité des représentations somesthésiques et illusions perceptives : le paradoxe du membre fantôme. *Intellectica*. 2003;36-37:67-87