

Neurophysiologie du Toucher

Jean Blouin

Institut des Sciences du Mouvement

UMR 7287, CNRS / Aix-Marseille Université



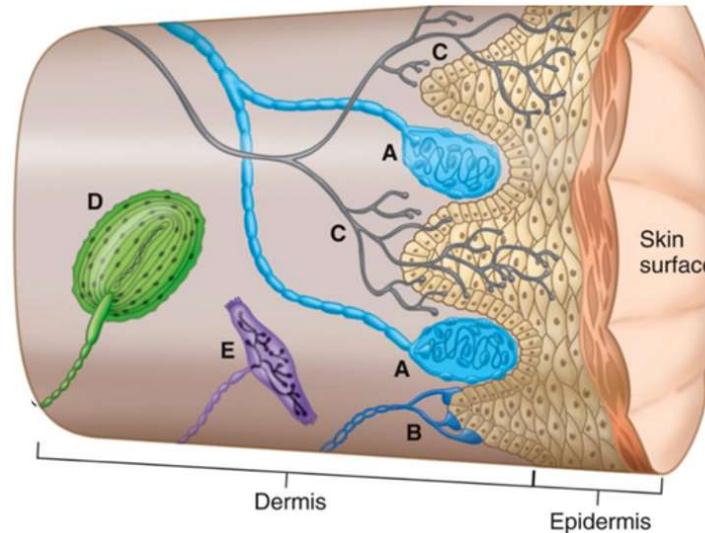
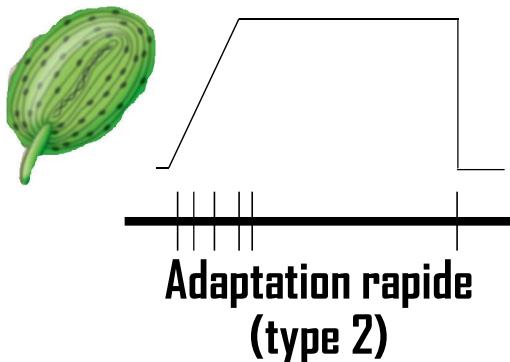
PHOTOTHEQUE IN2P3 / CNRS

Mécanorécepteurs de la peau

Type 1: Récepteurs superficiels, Type 2: Récepteurs profonds
Adaptation rapide ou lente

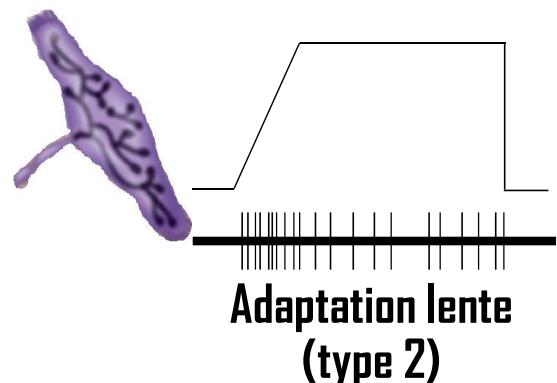
D. Pacinian corpuscles

Vibrations 40-400 Hz
Pression profonde



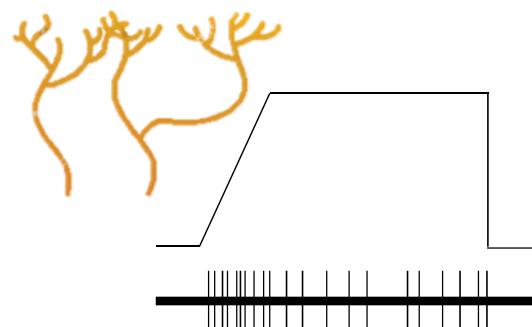
E. Ruffini corpuscles

Etirement de la peau



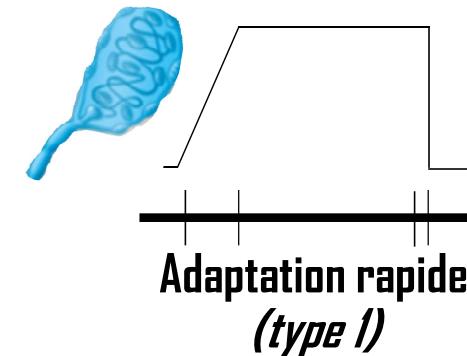
C. Free neurones ending

Température
Douleur



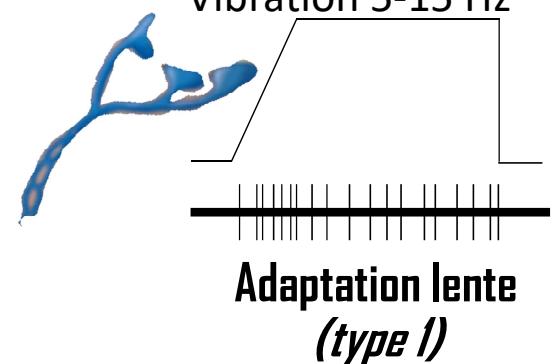
A. Meissner's corpuscles

Toucher discriminatif
Vibration 5-50 Hz

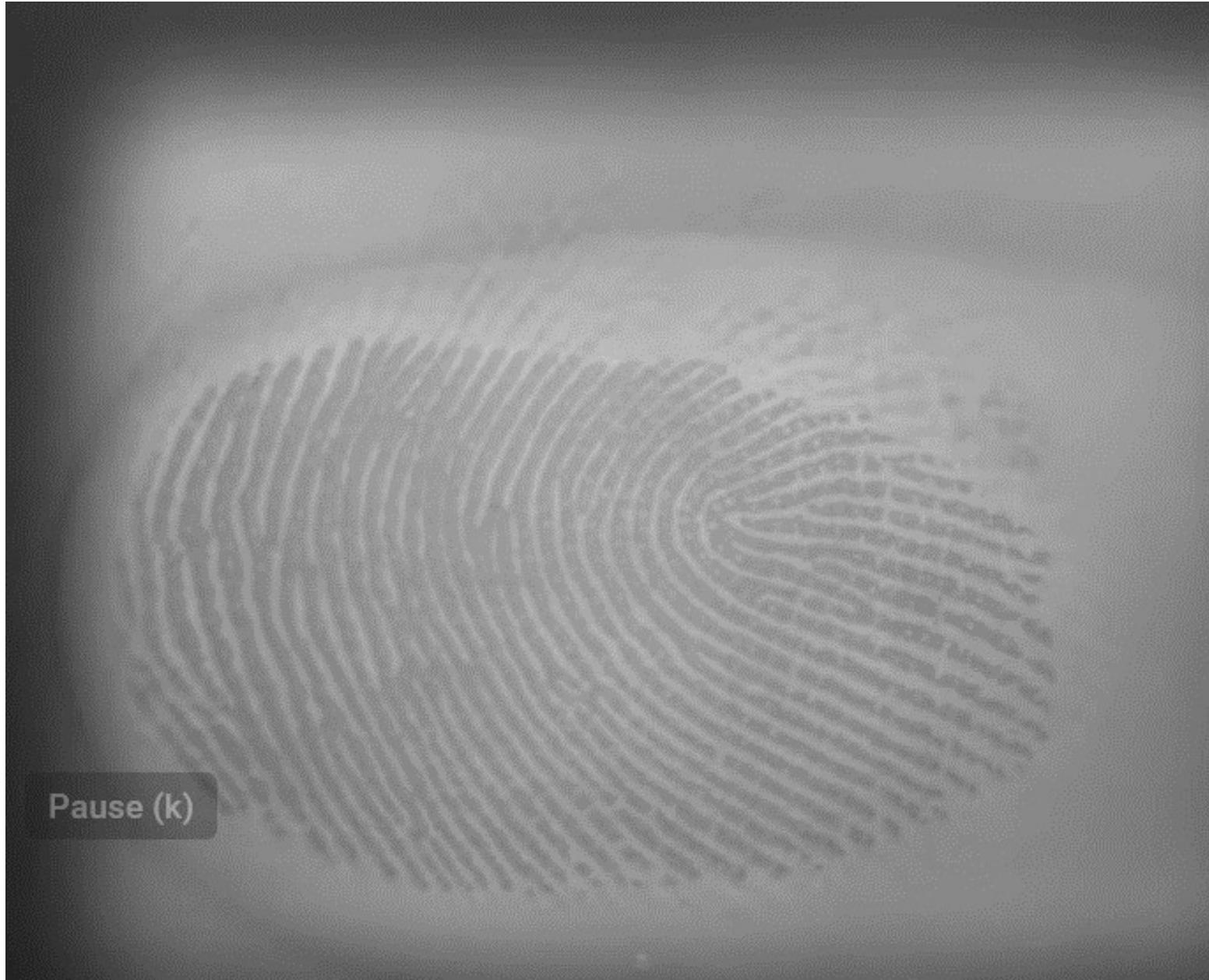


B. Merkel disks

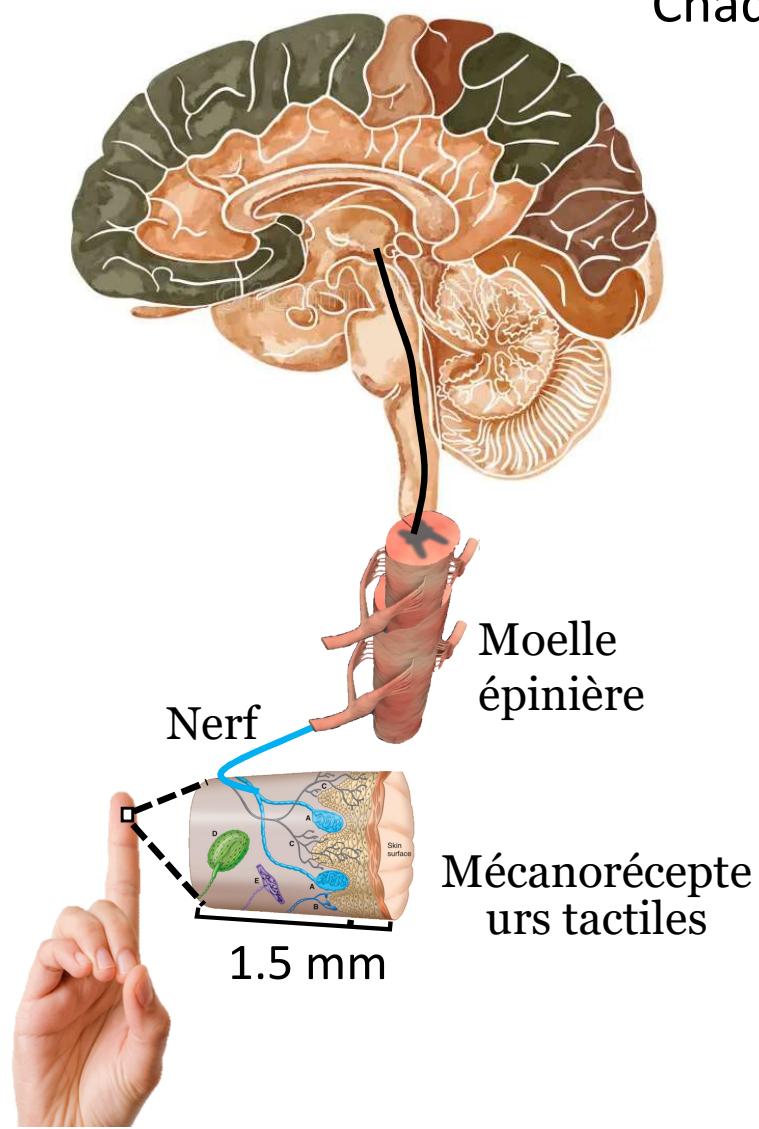
Pression légère
Vibration 5-15 Hz



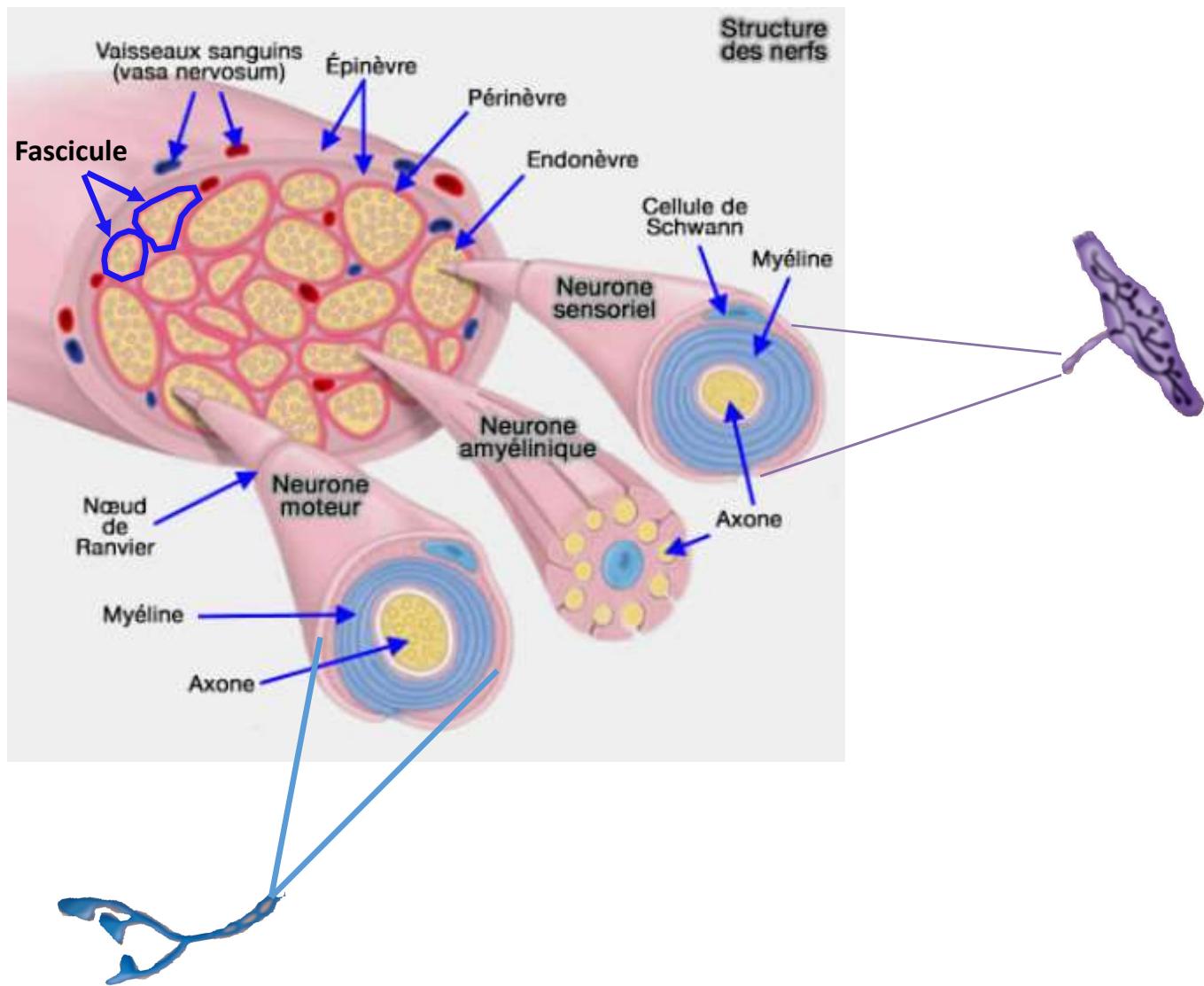
Les dermatoglyphes (doigts, orteils) amplifient les contraintes mécaniques sur la peau favorisant la détection des vibrations et déformations par les mécanorécepteurs



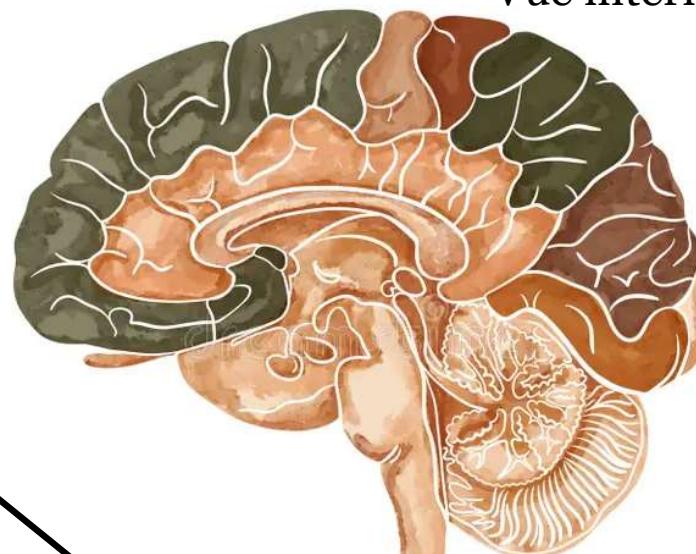
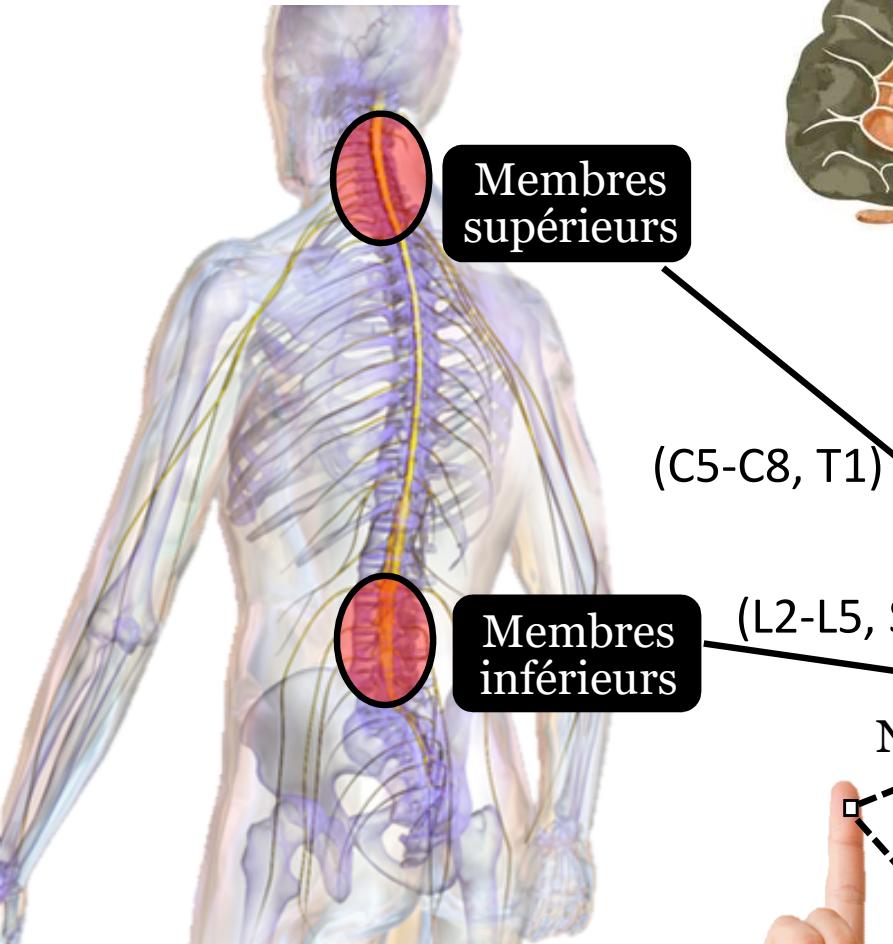
Giacometti (2024) La préhension s'anticipe du bout des doigts
www.dailyscience.be



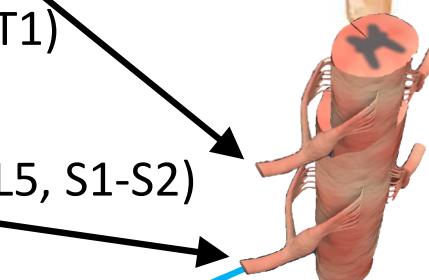
Chaque mécanorécepteur est relié à une seule fibre nerveuse
(l'axone du neurone sensoriel)



Vue interne



Moelle épinière



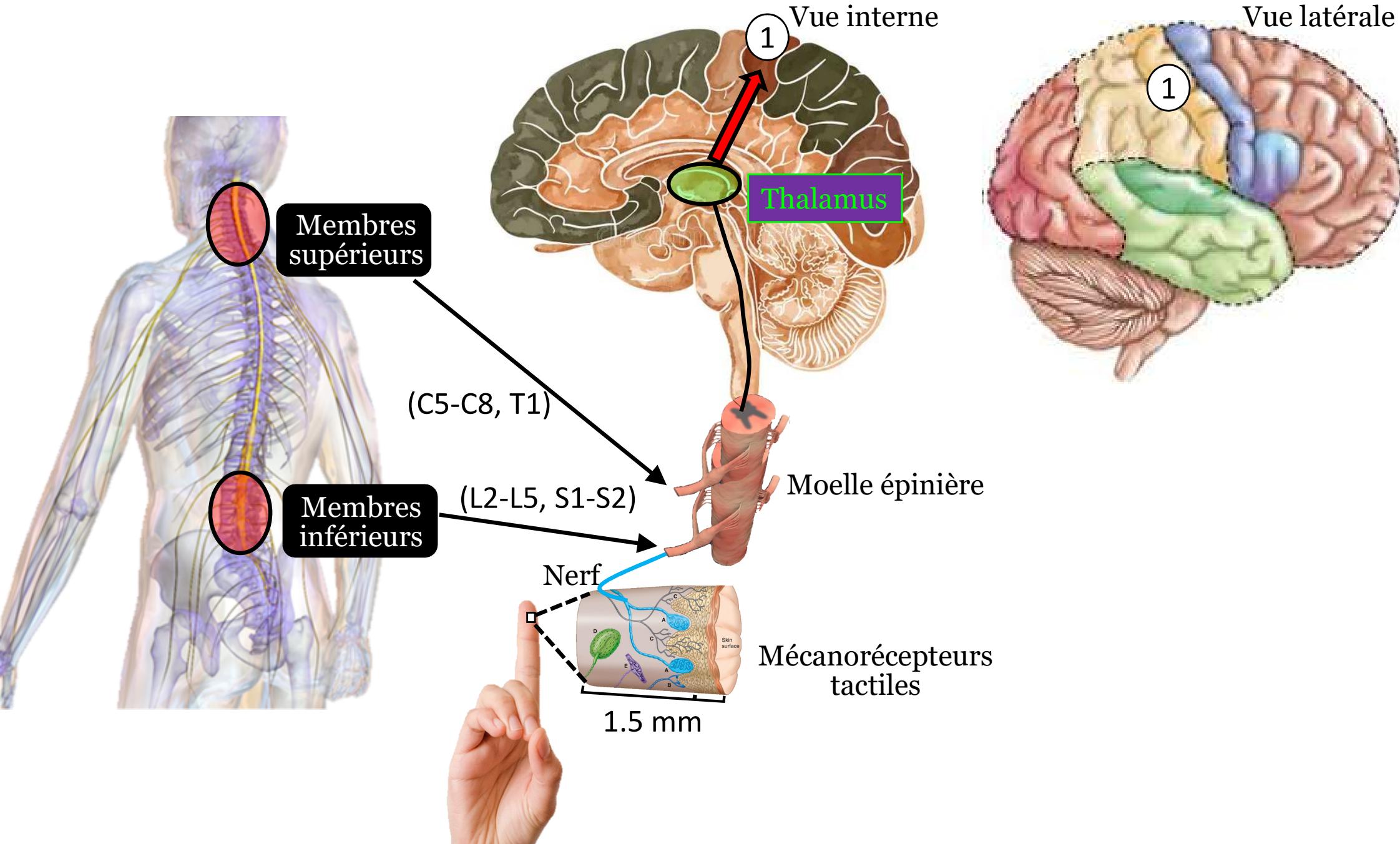
Mécanorécepteurs tactiles

1.5 mm

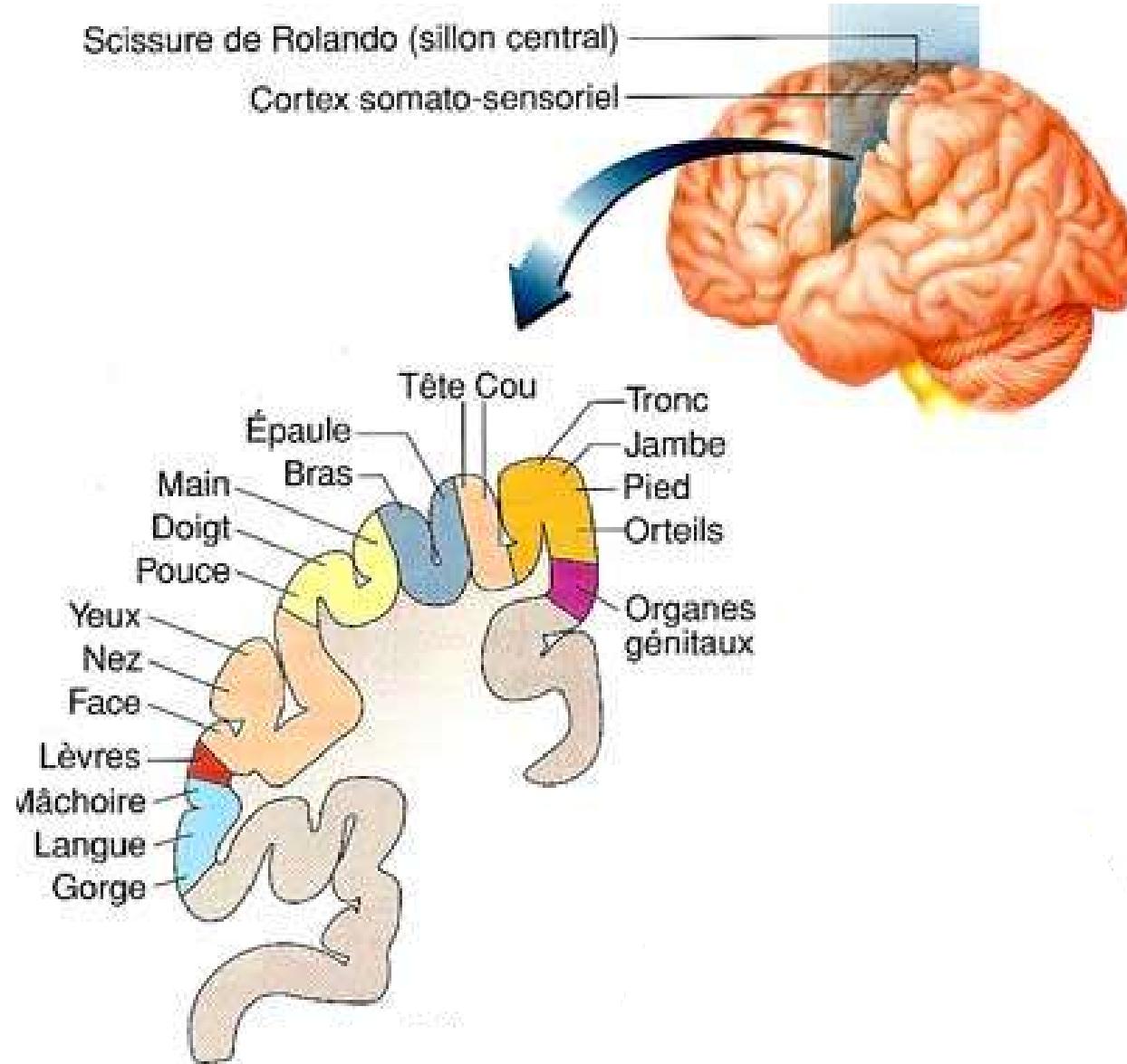
① Cortex somatosensoriel
(traitements de « bas niveau »)



Projections vers aires
intégrative et impliquées dans
la perception et la motricité

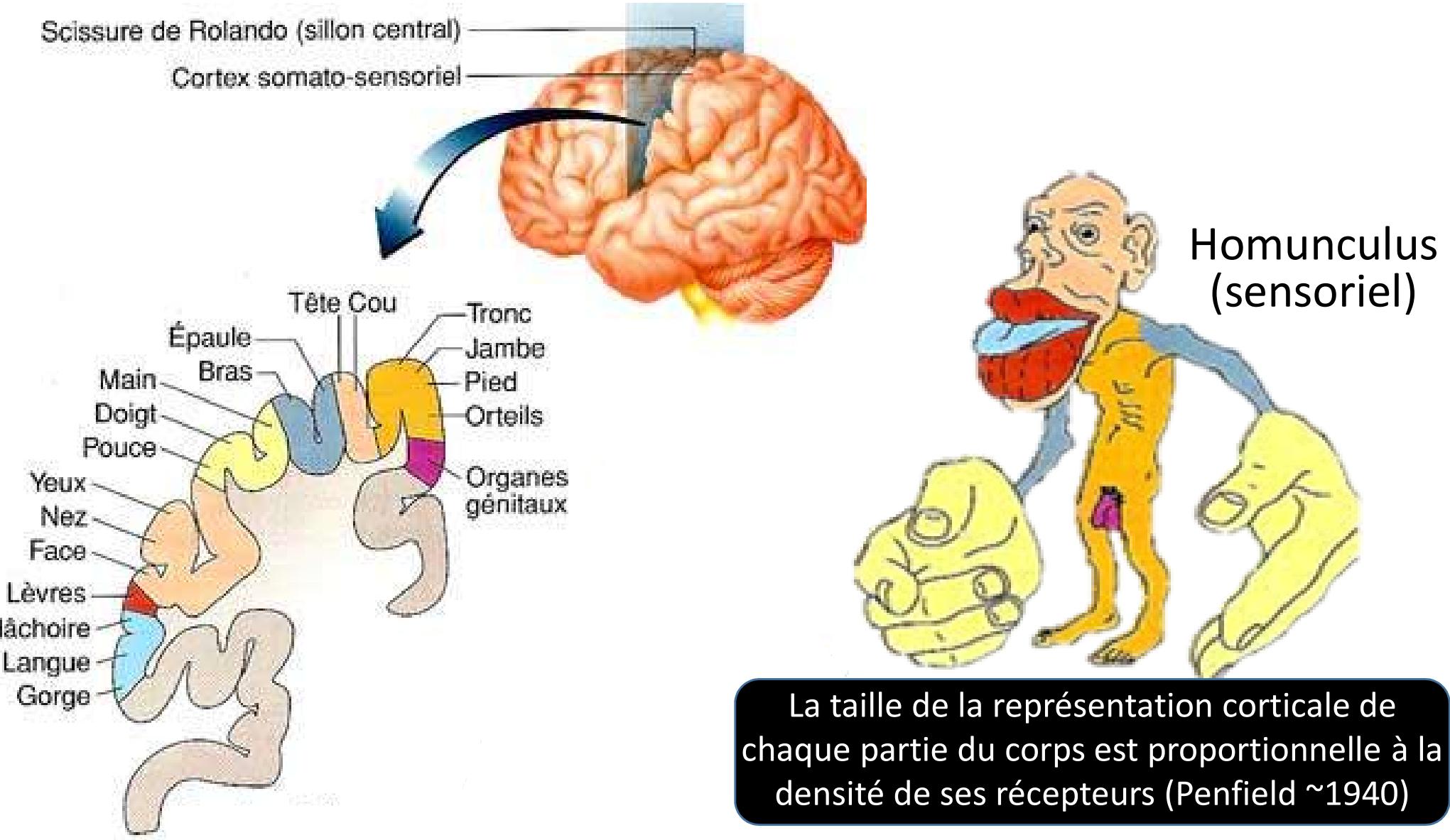


Somatotopie tactile au sein du cortex somatosensoriel



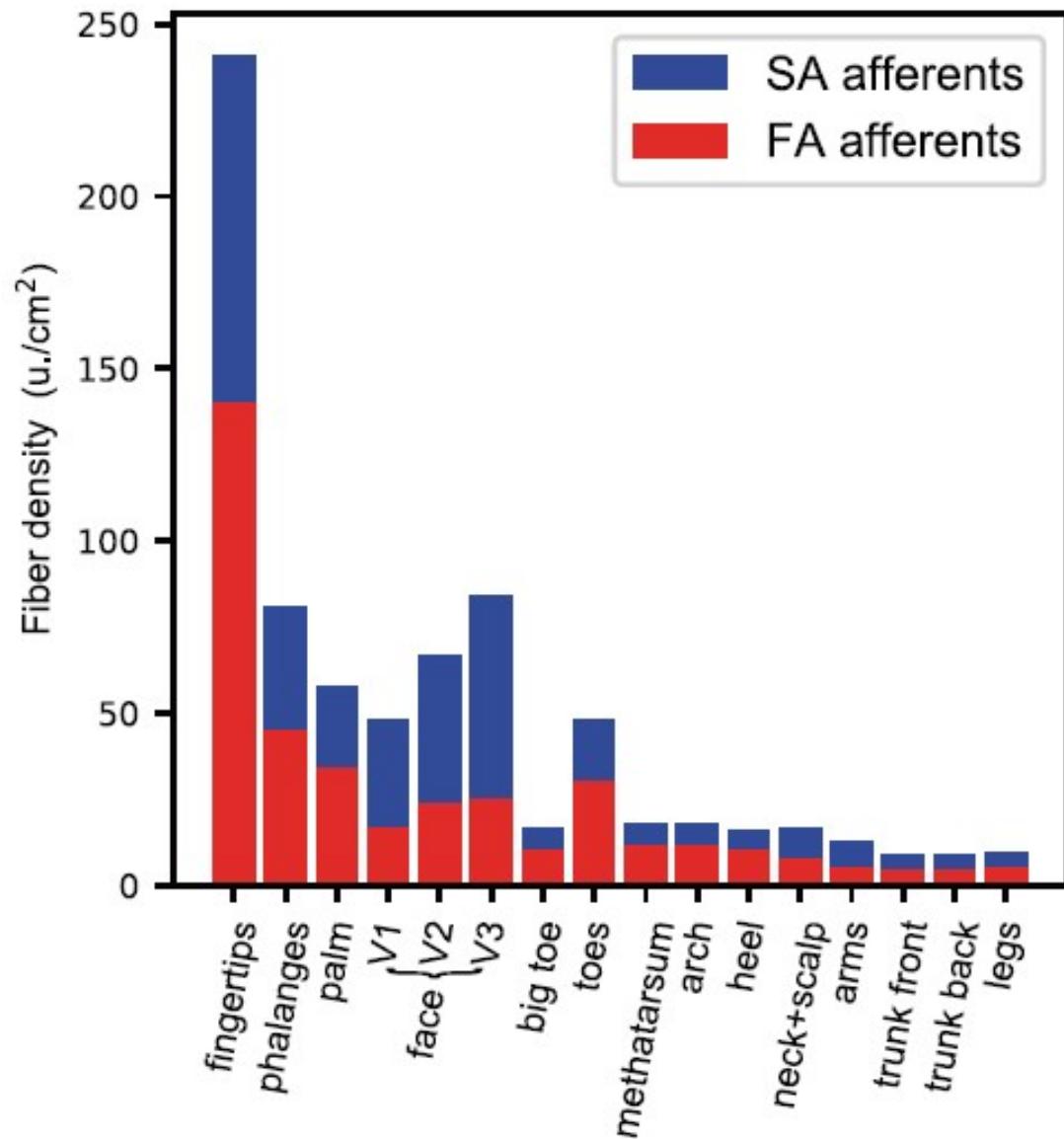
Vue coupe frontale du cortex somatosensoriel
(épaisseur ~3mm)

Somatotopie tactile au sein du cortex somatosensoriel

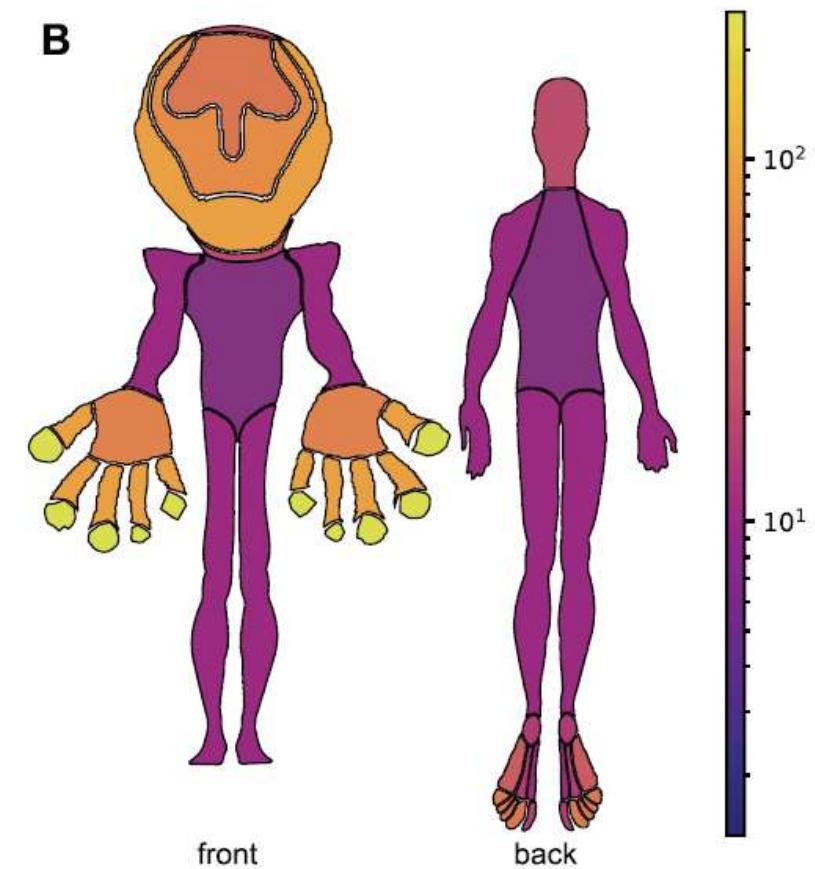


Densité des récepteurs tactiles

A



B

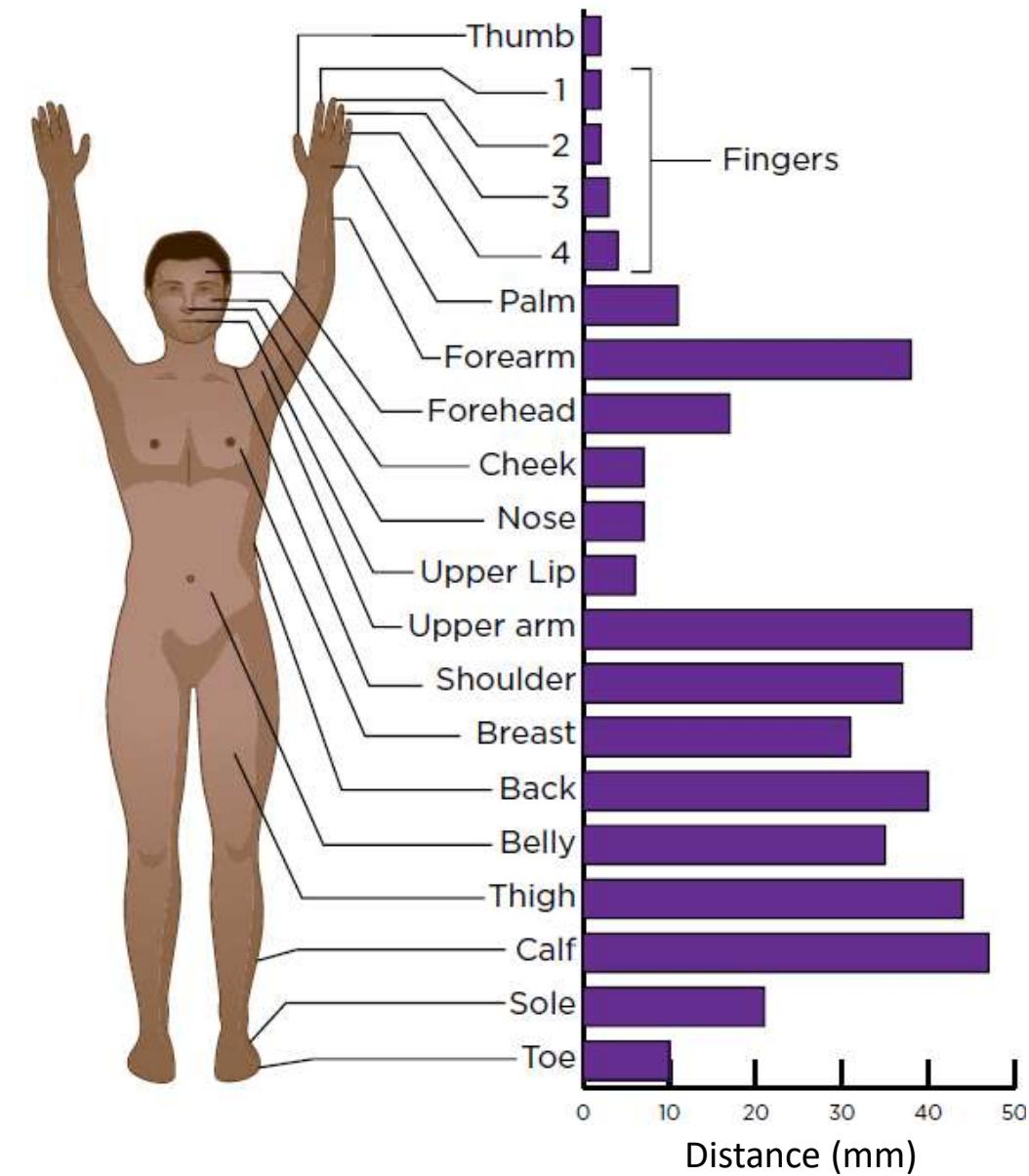
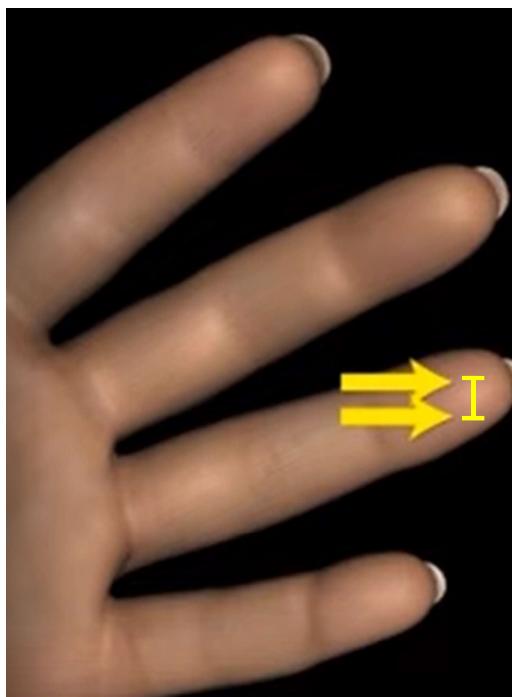


Jeune adulte: entre 200 000 et 270 000 récepteurs tactiles

Après 20-30 ans, nous perdons 5% de fibres chaque 10 ans

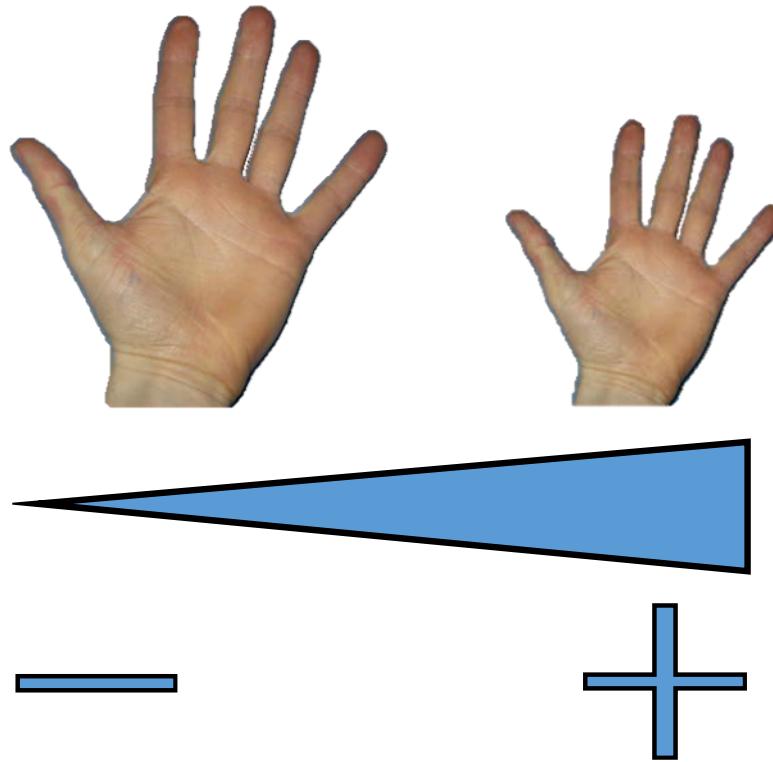
Corniani & Saal 2020

La densité des récepteurs impacte la distance minimale à partir de laquelle 2 stimulations tactiles simultanées sont perçues comme étant distinctes

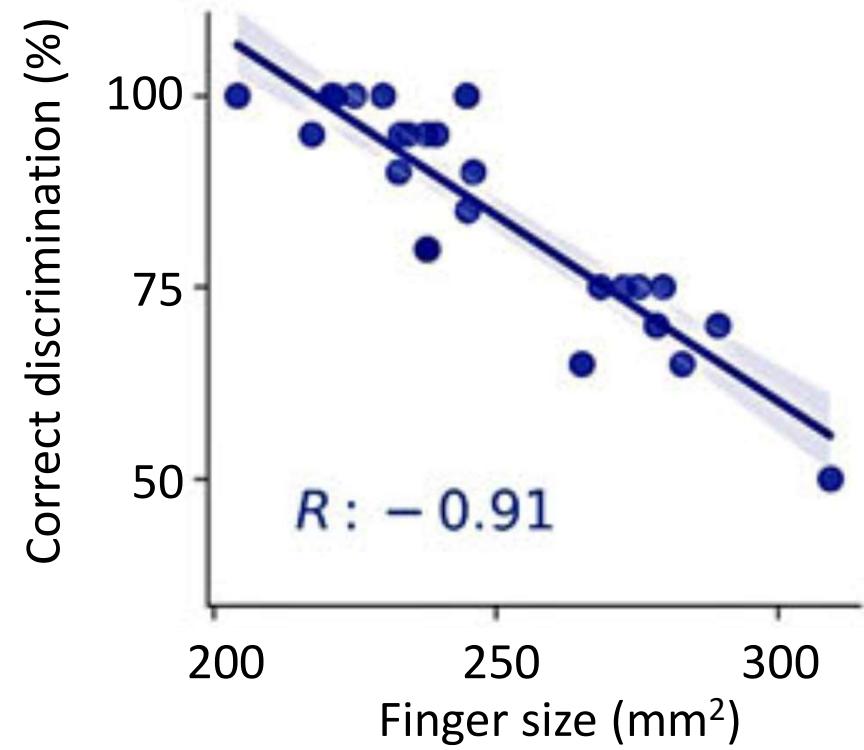


La densité des mécanorécepteurs varie selon les parties du corps
et non de la taille de ces parties

DISCRIMINATION TACTILE



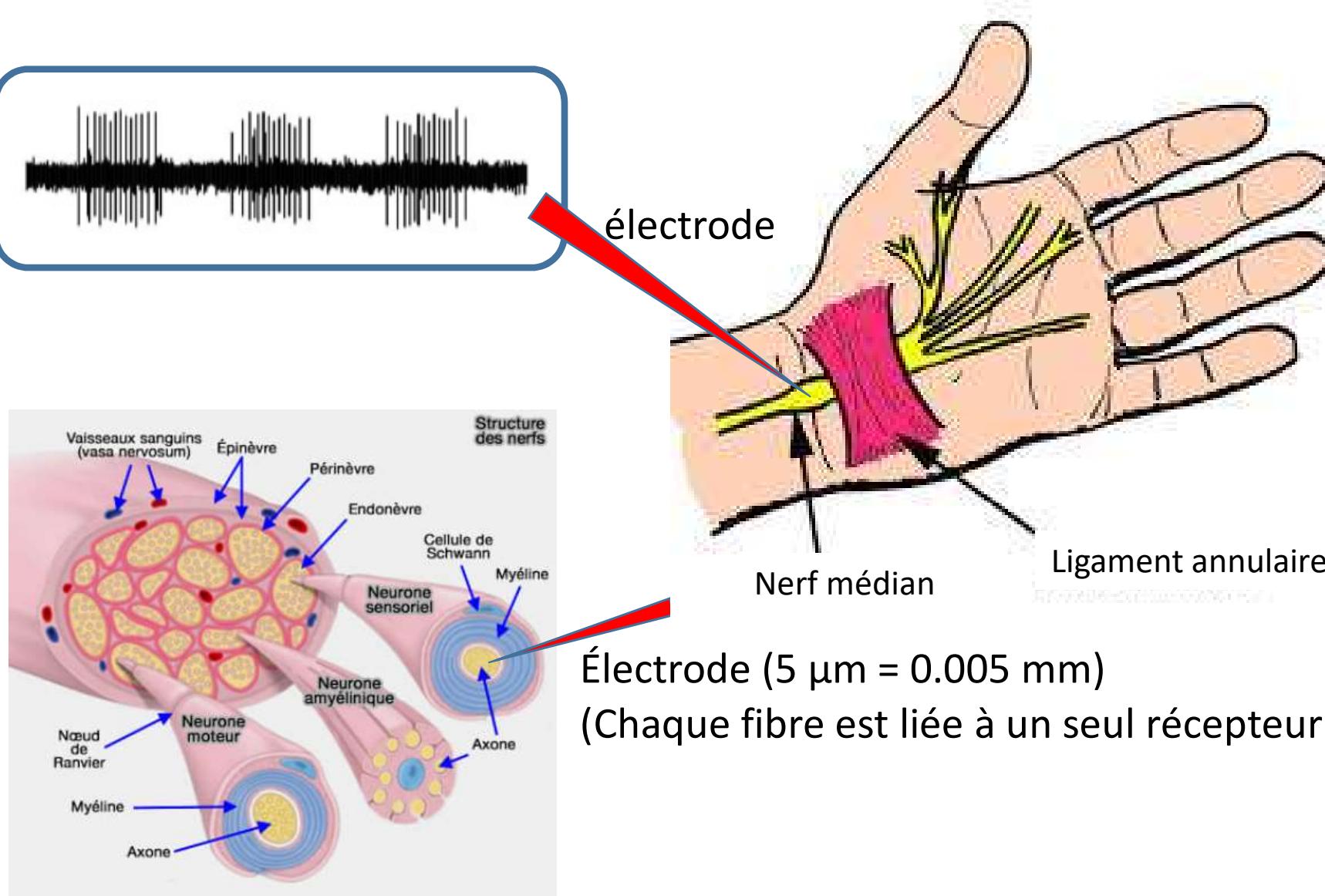
Capacité à sentir la dureté d'un objet
(*tactile discrimination compliance*)



Li & Gerling (2023) Journal of Physiology

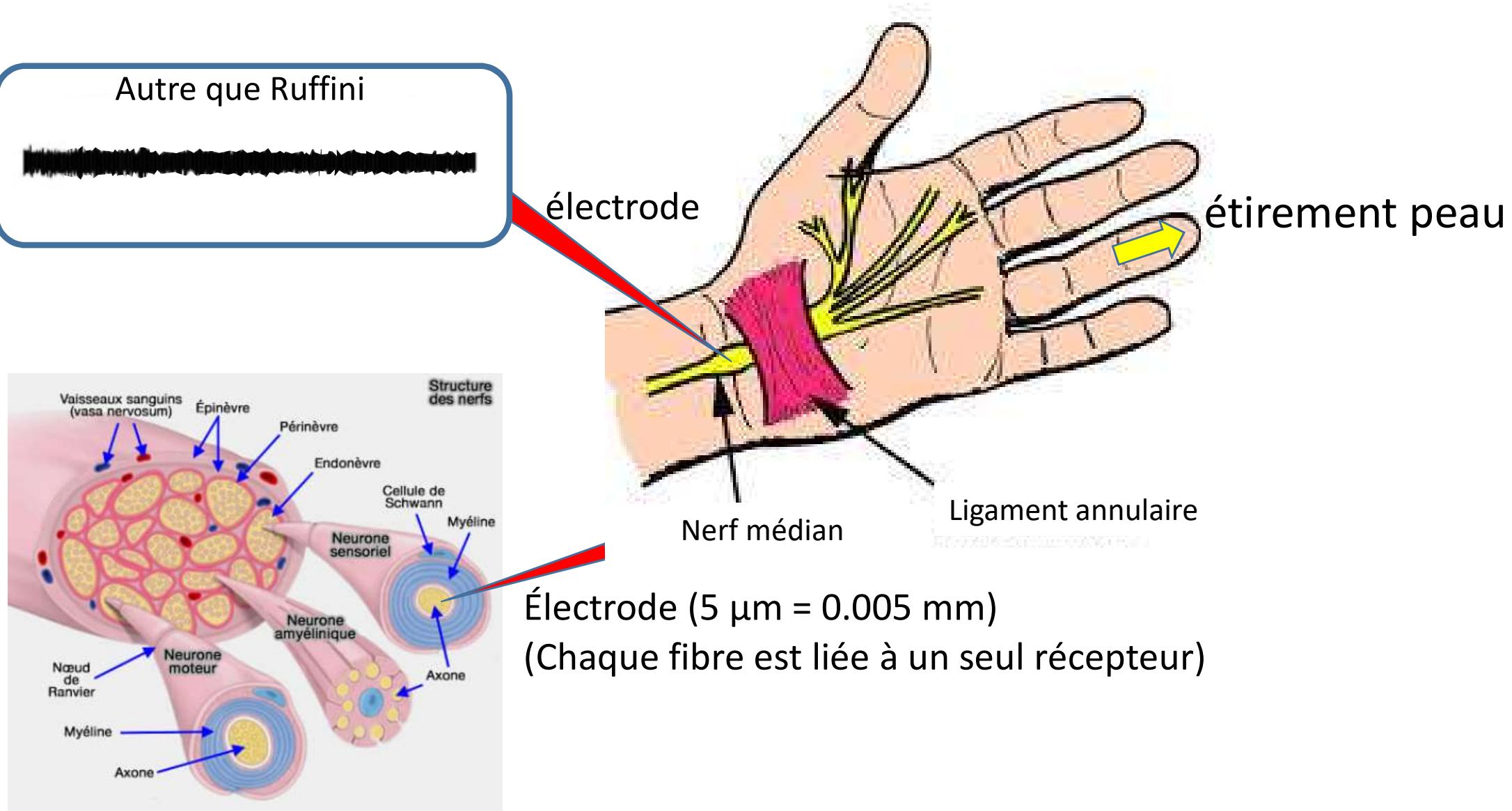
La microneurographie permet de déterminer:

1: Le type de mécanorécepteur stimulé (Pacini, Meissner, etc.)



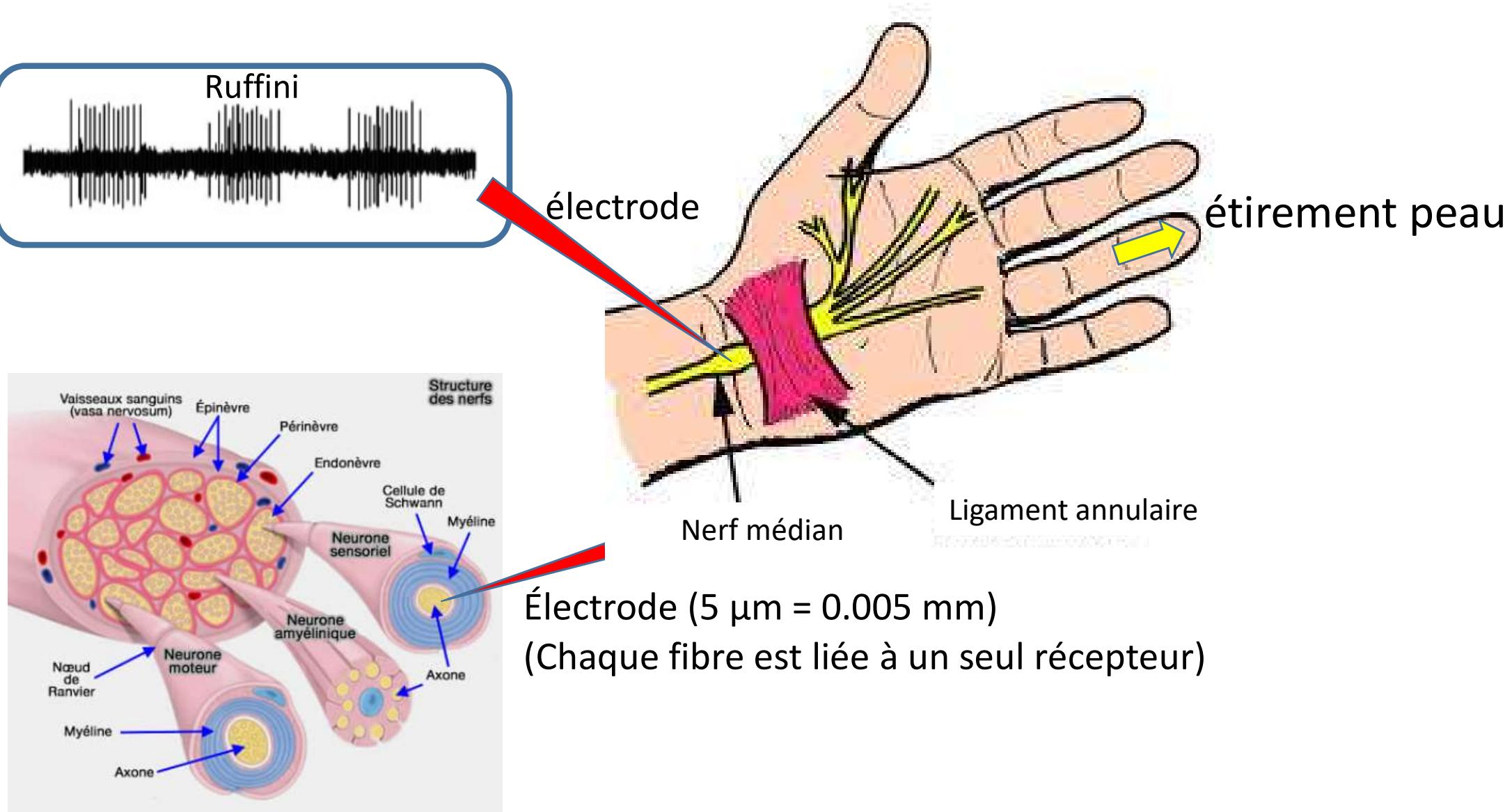
La microneurographie permet de déterminer:

1: Le type de mécanorécepteur stimulé (Pacini, Meissner, etc.)



La microneurographie permet de déterminer:

1: Le type de mécanorécepteur stimulé (Pacini, Meissner, etc.)

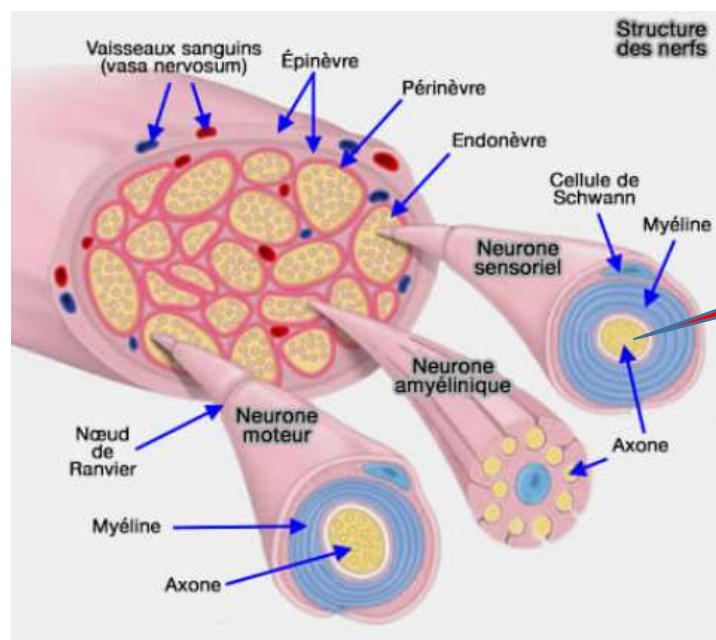


La microneurographie permet de déterminer:

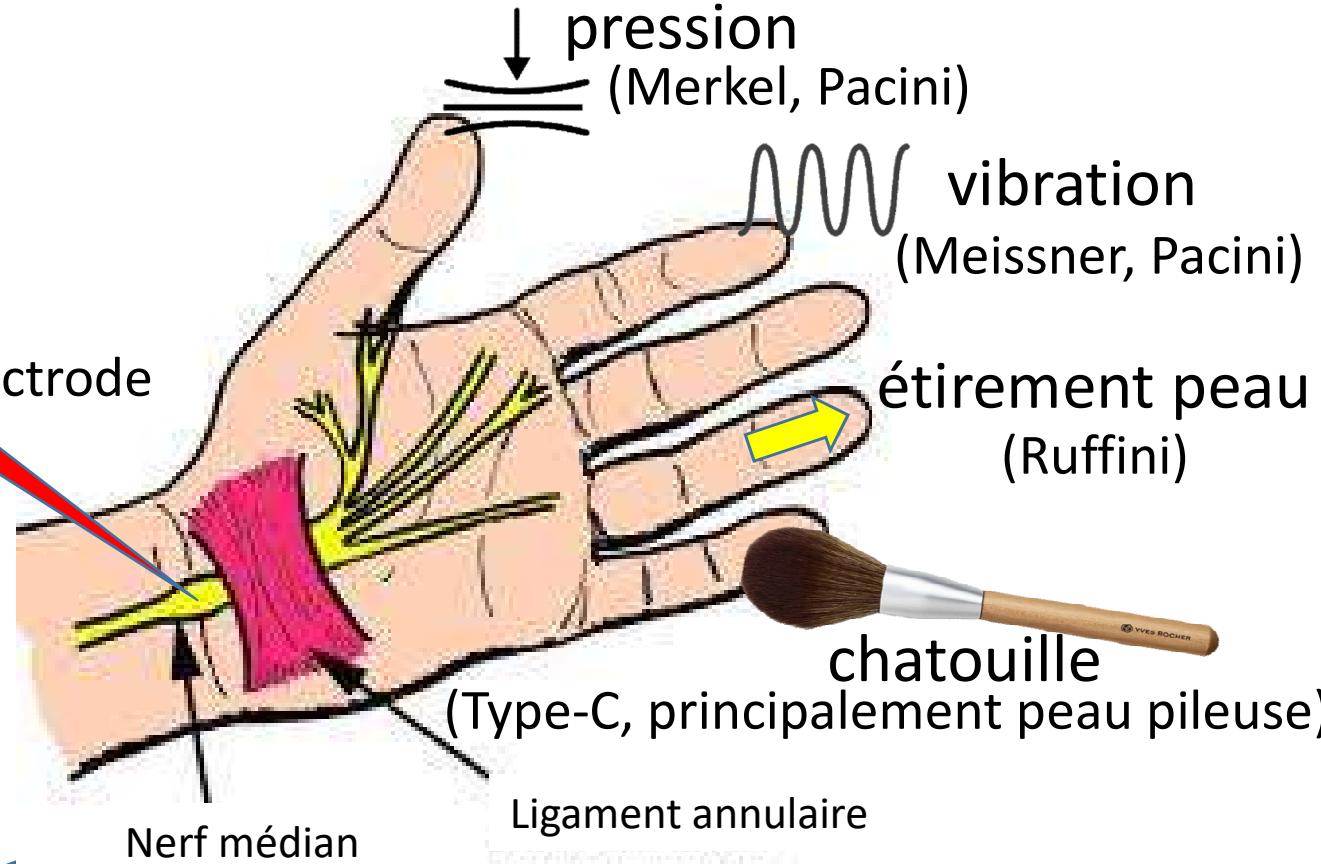
1: Le type de mécanorécepteur stimulé (Pacini, Meissner, etc.)



électrode

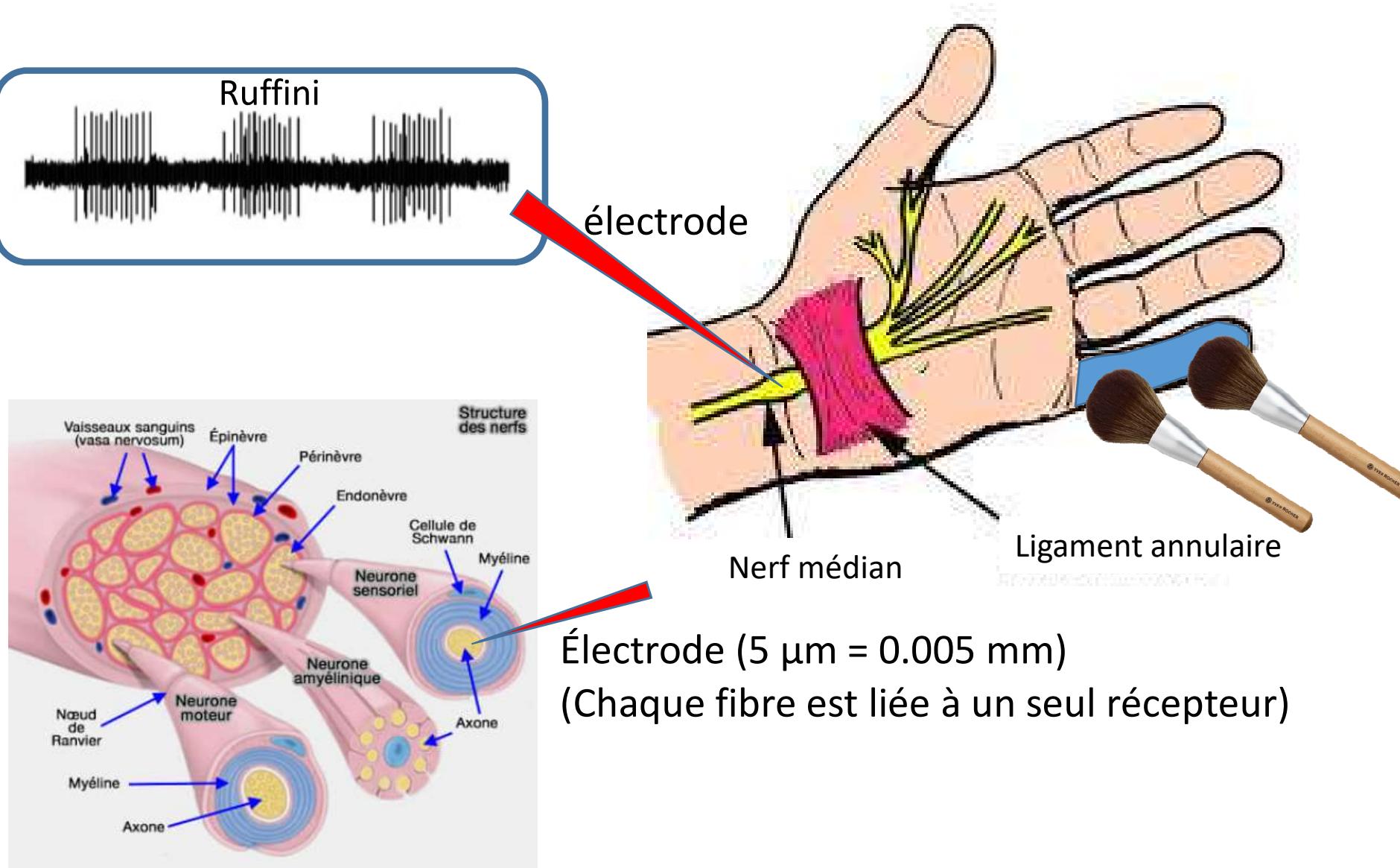


Électrode ($5 \mu\text{m} = 0.005 \text{ mm}$)
(Chaque fibre est liée à un seul récepteur)

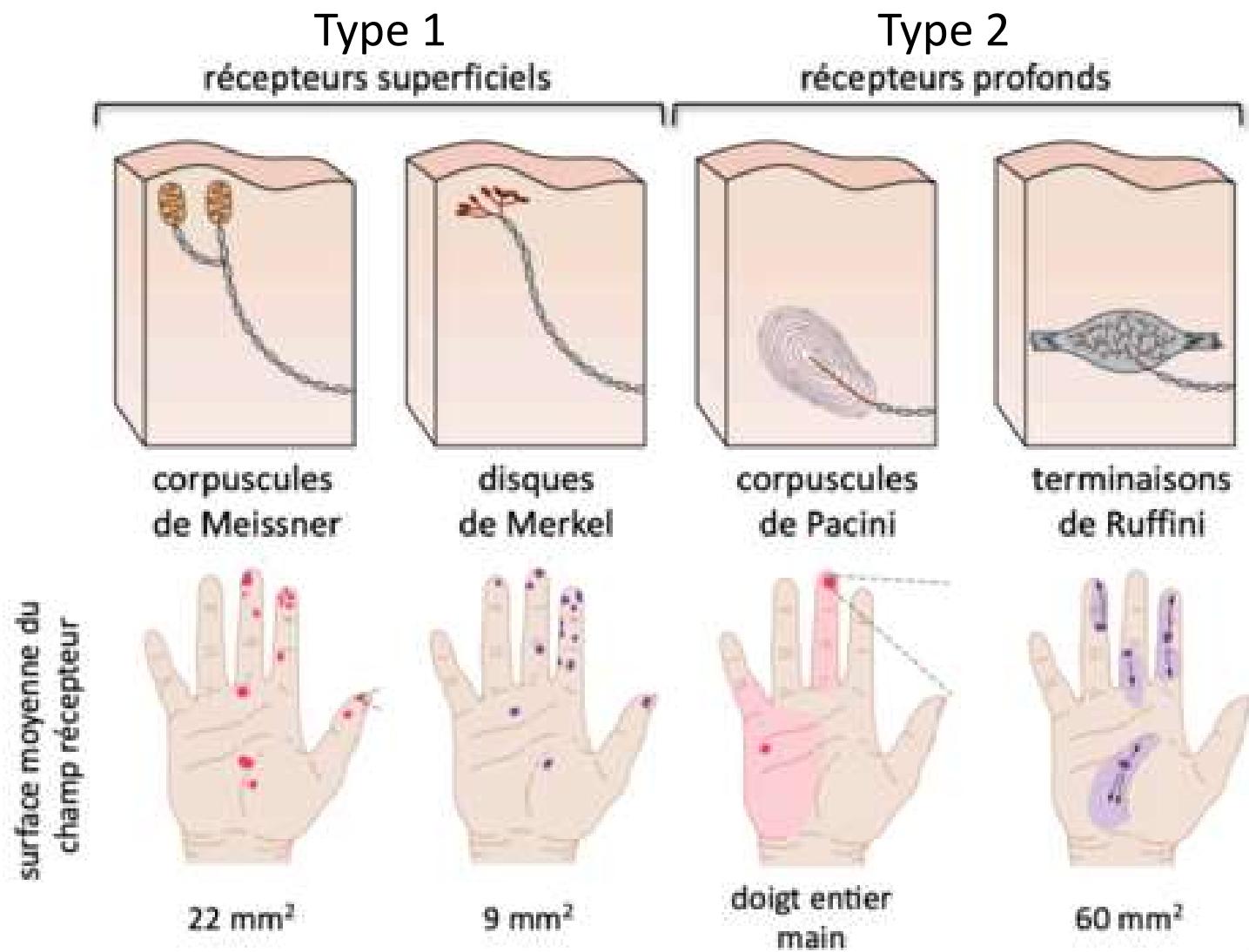


La microneurographie permet de déterminer:

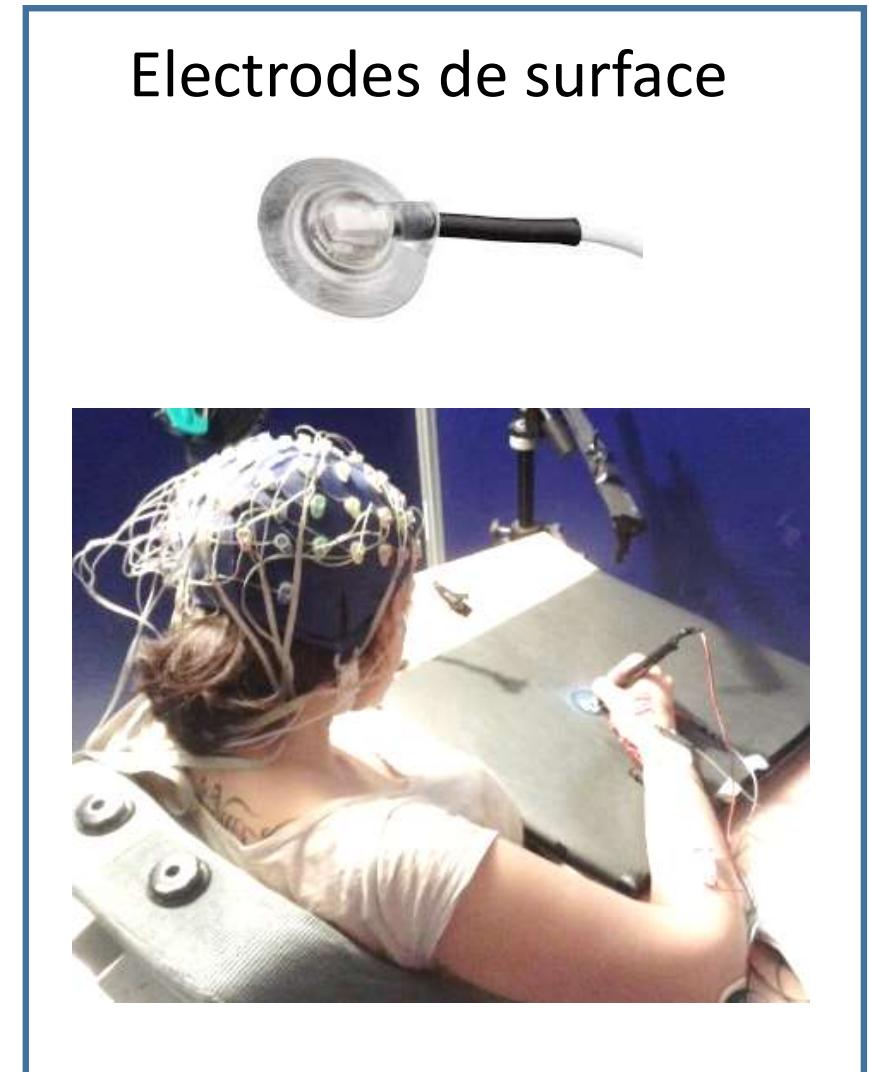
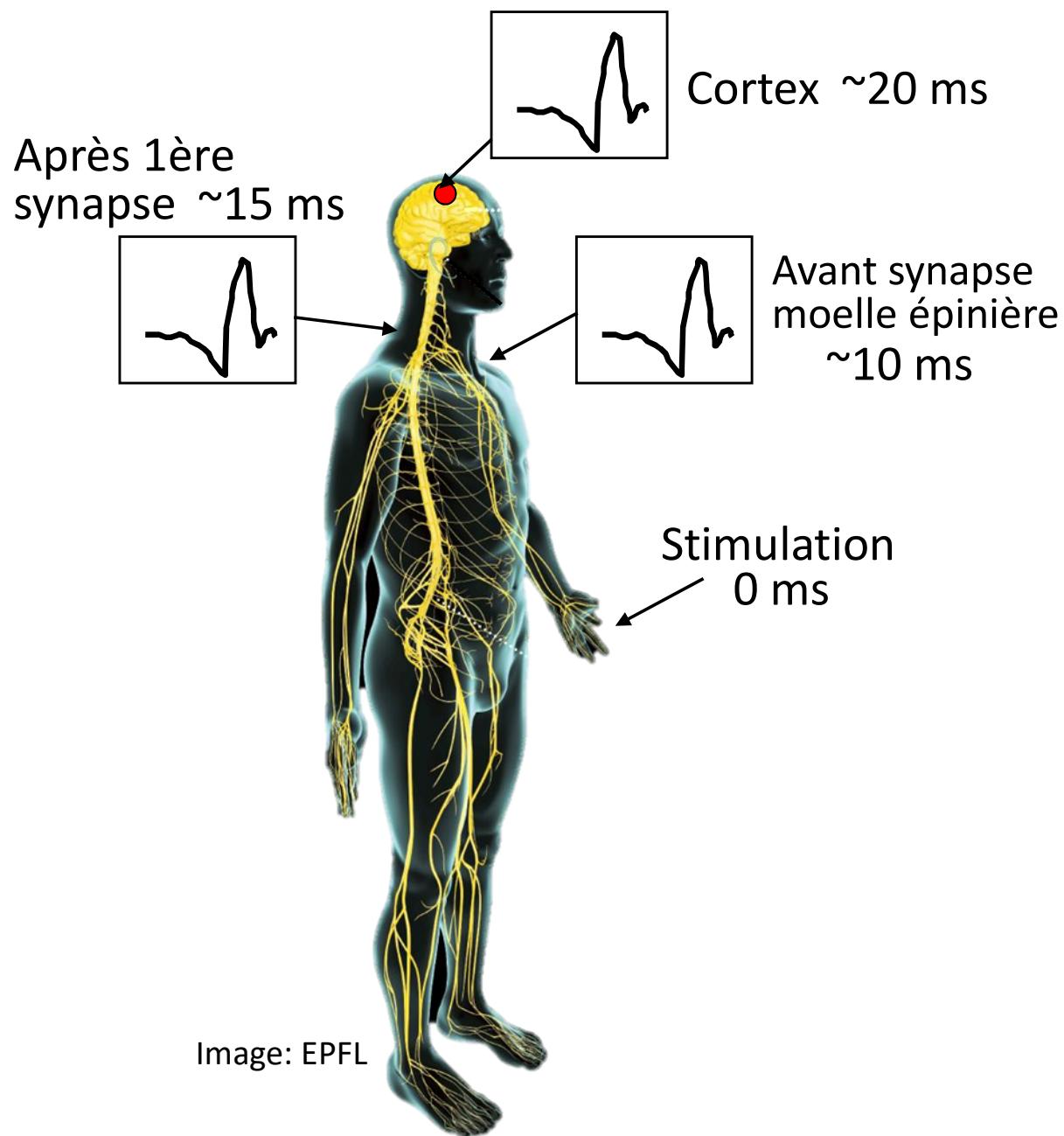
- 1: Le type de mécanorécepteur stimulé (Pacini, Meissner, etc.)
- 2: Le champ récepteur des mécanorécepteurs
(zone de la peau qui, lorsque stimulée, active un mécanorécepteur)



La taille des champs récepteurs varie selon le type de mécanorécepteur

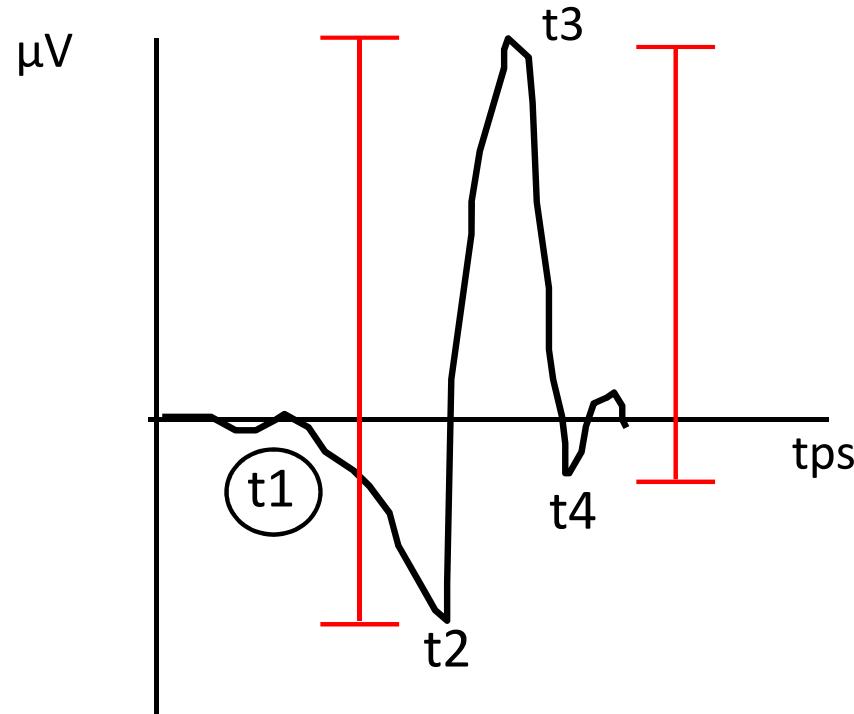


Potentiel évoqué somatosensoriel: Réponse d'une population de neurones à une stimulation sensorielle

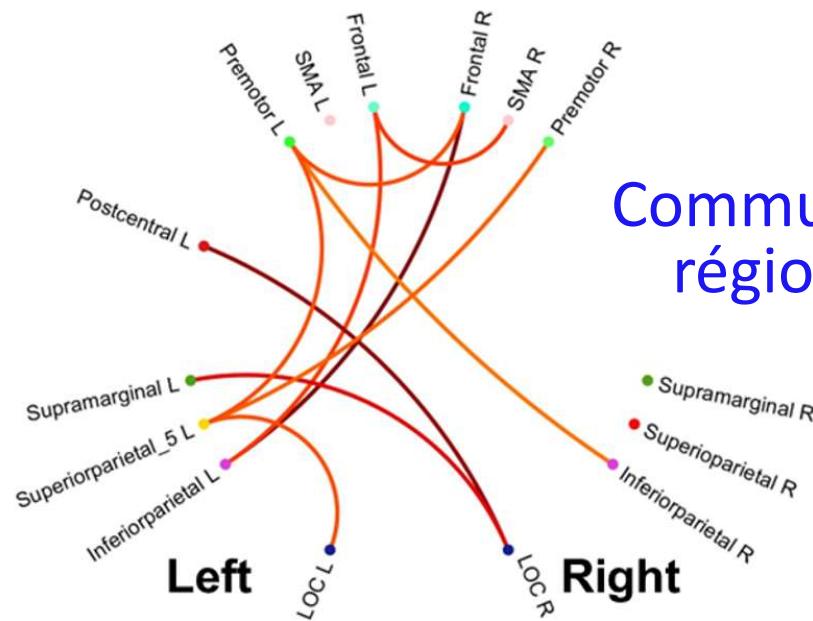
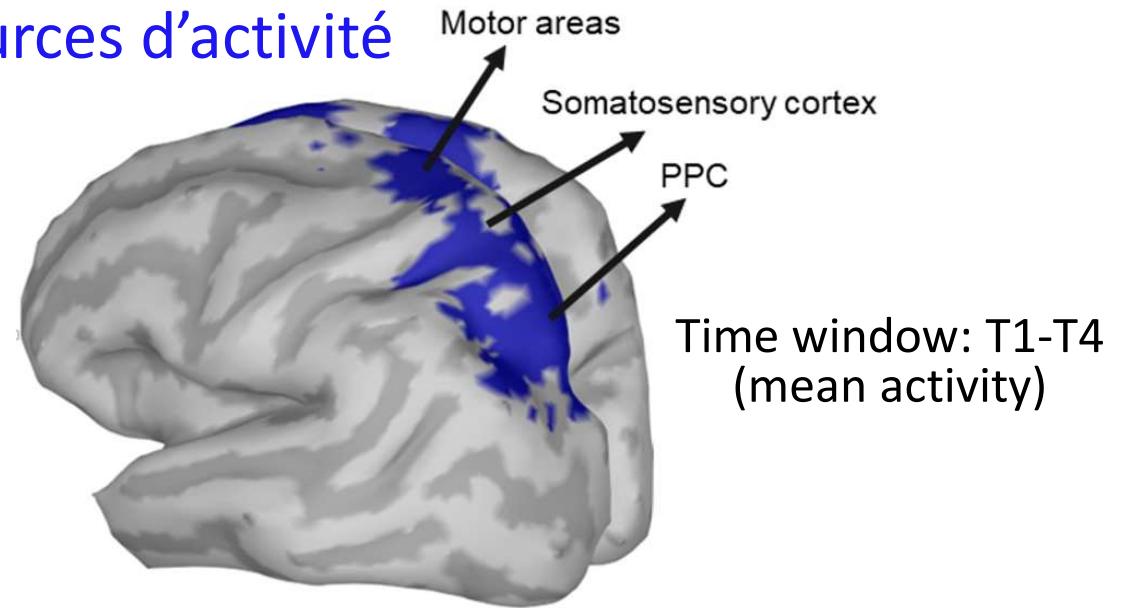


Exemples de variables d'intérêt

Latences, amplitudes



Sources d'activité



Communication entre régions corticales

Différentes techniques d'imagerie cérébrale



Imagerie par résonance magnétique (IRM)

Résolution temporelle: 1 seconde
Résolution spatiale: ~1 mm
(superficie, profondeur)



Magnétoencéphalographie (MEG)

Rés. temporelle: 1 ms
Rés. spatiale: ~3 mm (estimation de sources)



Electroencéphalographie (EEG)

Rés. temporelle: 1 ms
Rés. spatiale: ~7 mm (estimation de sources)

Imagerie par résonance magnétique (IRM)



> 7 millions d'euros €



Avantage financier pour l'EEG !

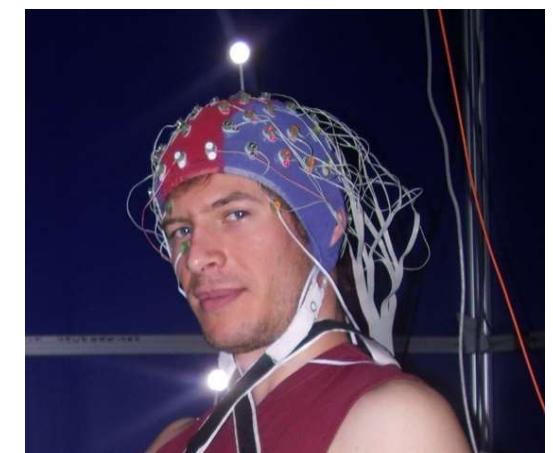
Magnétoencéphalographie (MEG)



~1.5 million €



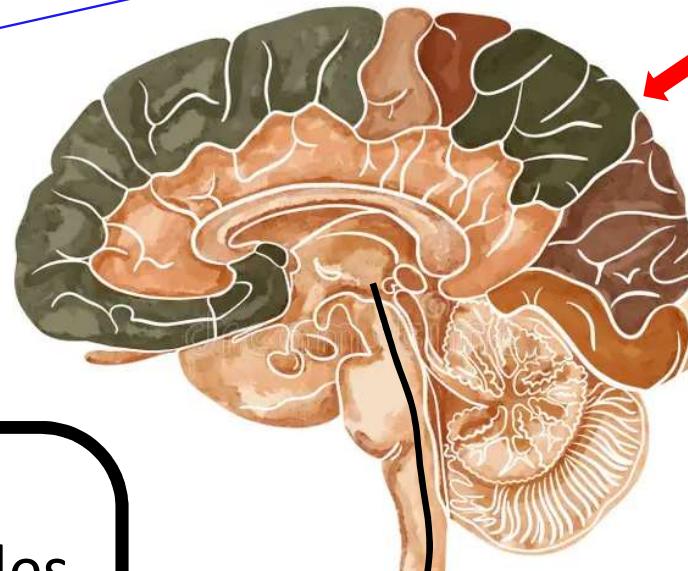
Electroencéphalographie (EEG)



~30 000 €



De manière générale

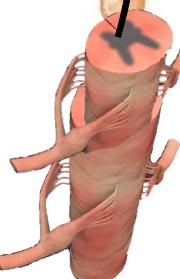


Cerveau
Réponses liées à la pertinence et à la prédictabilité des informations sensorielles



Nerf

Réponses proportionnelles aux fréquences et amplitudes des stimulations

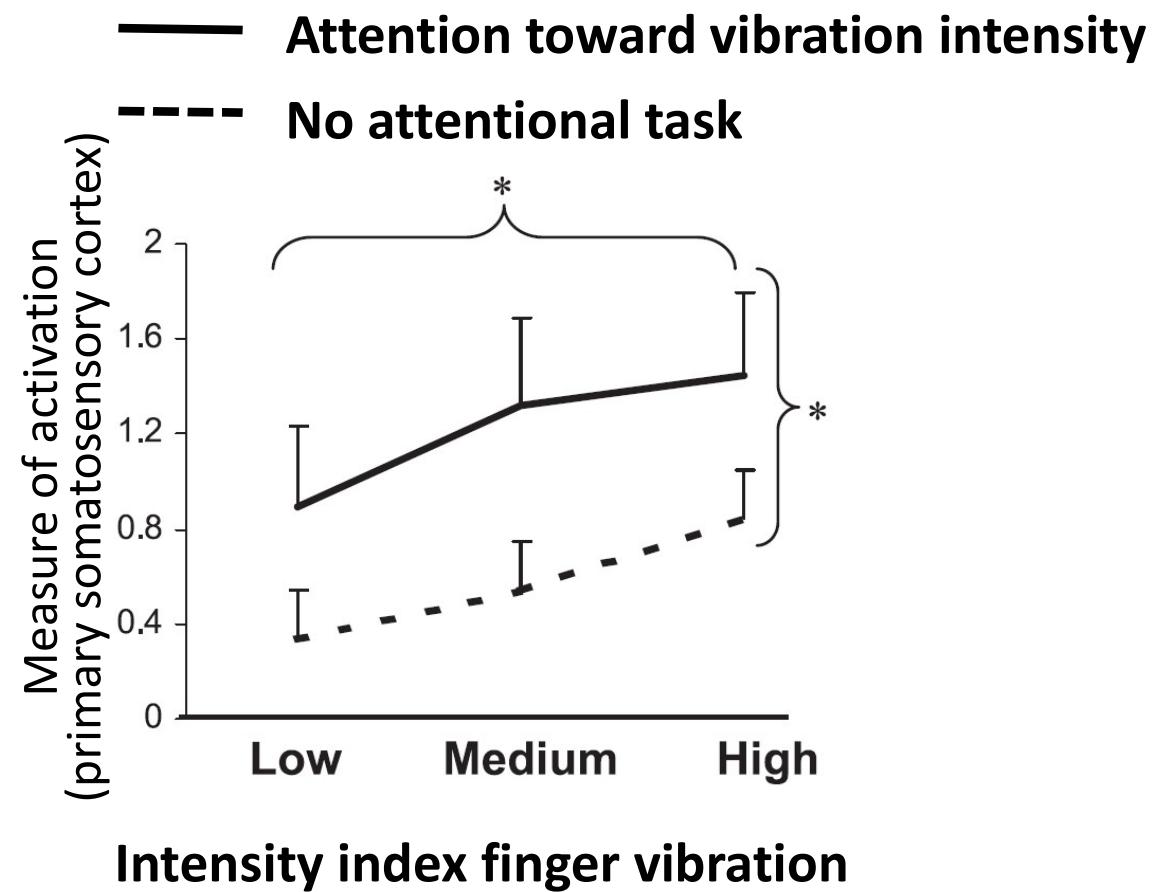
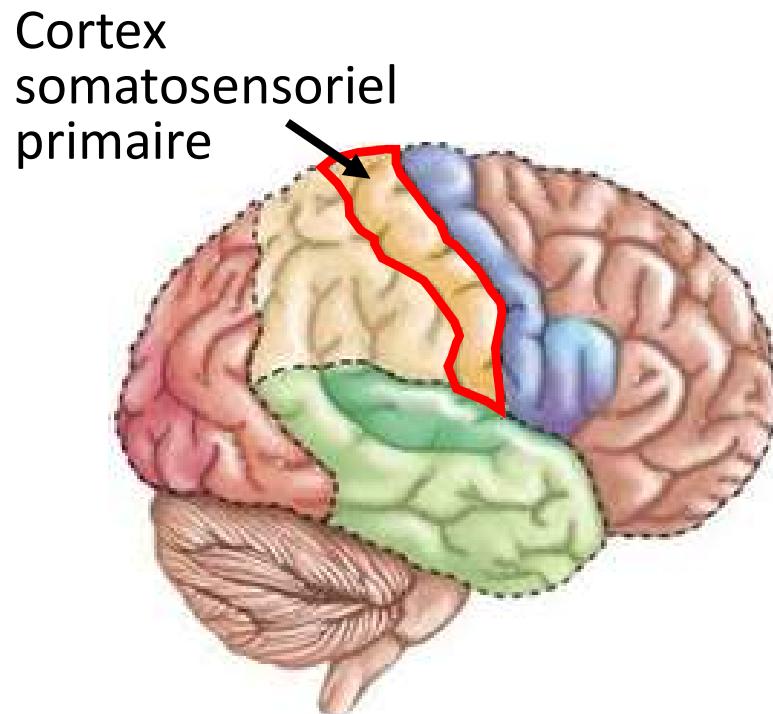


Moelle épinière

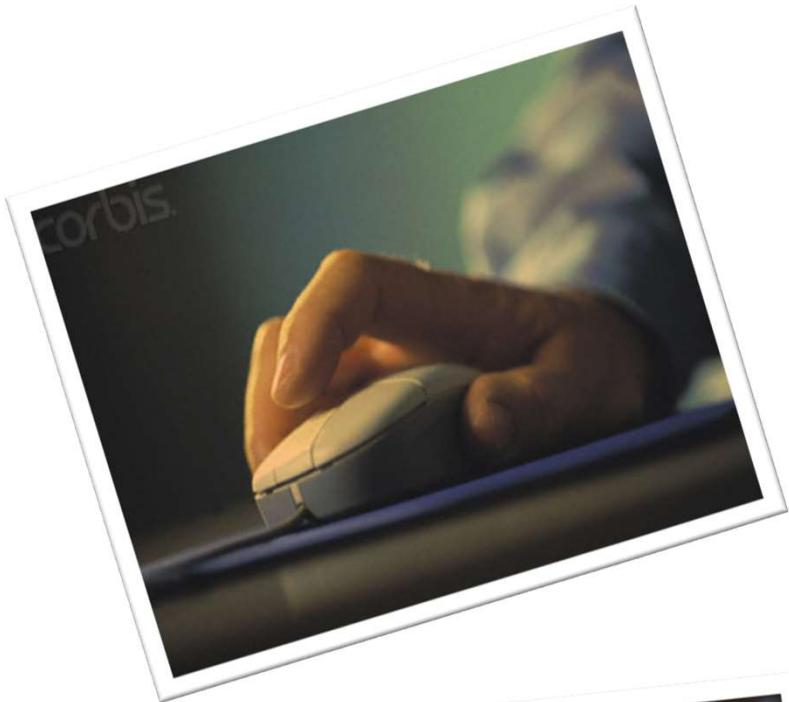


Mécanorécepteurs tactiles

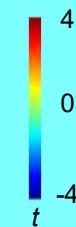
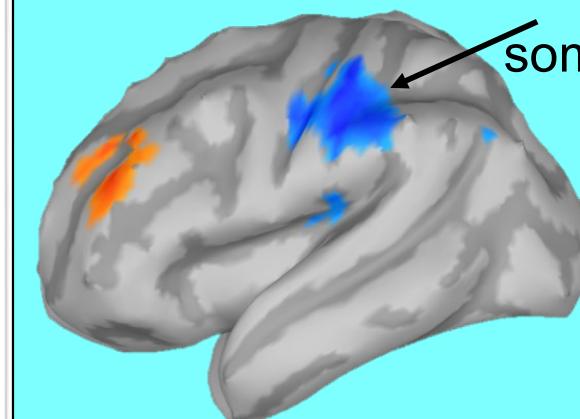
Attention dirigée vers la stimulation tactile augmente l'activité du cortex somatosensoriel primaire



Les informations somatosensorielles sont atténuées lorsqu'elles deviennent incohérentes avec la vision



Context: Conflit entre informations tactiles et visuelles

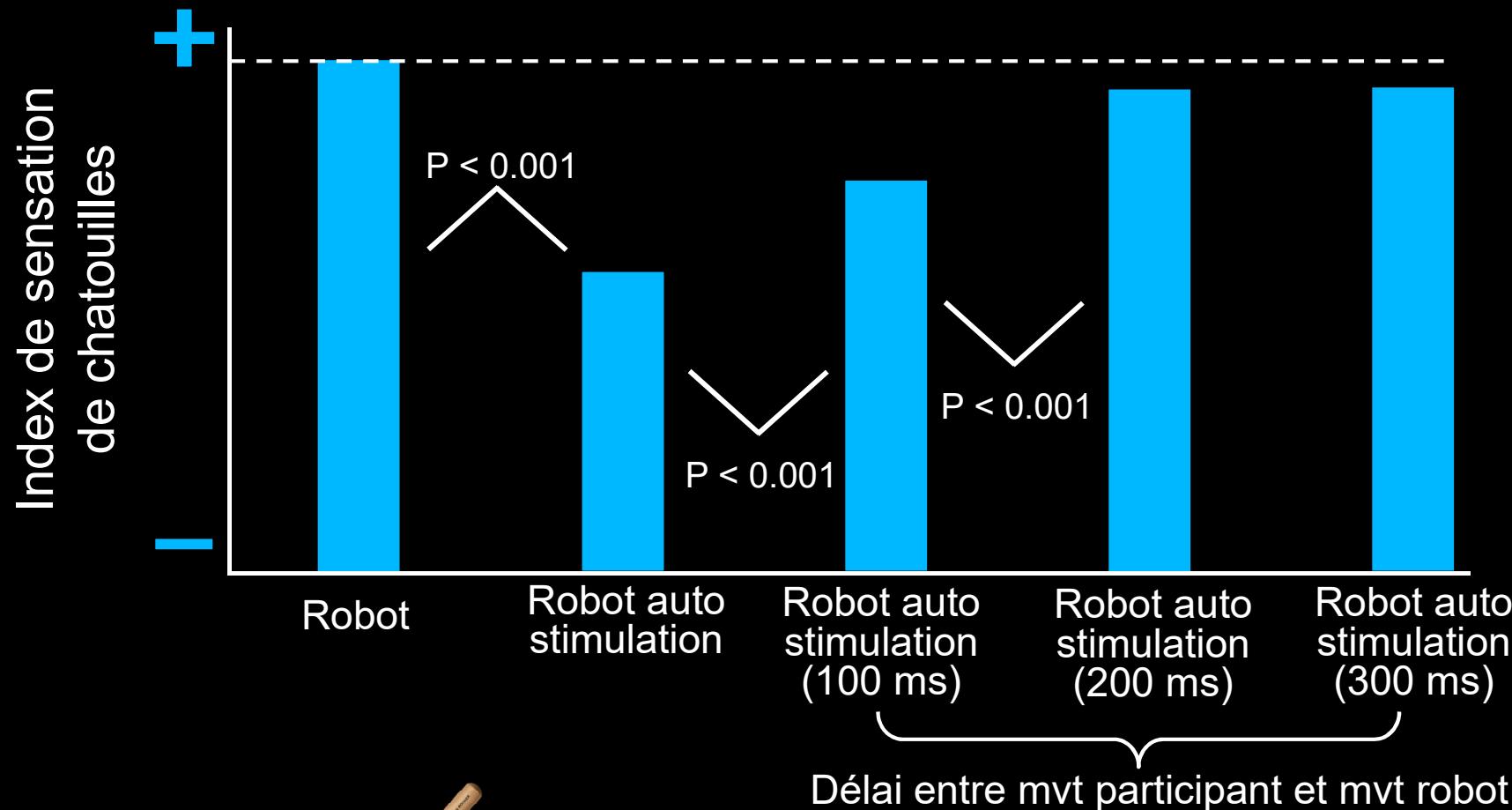


Vlachou et al. Scientific Reports 2025

Prédiction
sensorielle



La sensation de chatouille diminue
lorsqu'on se chatouille soi-même



Prédiction
sensorielle

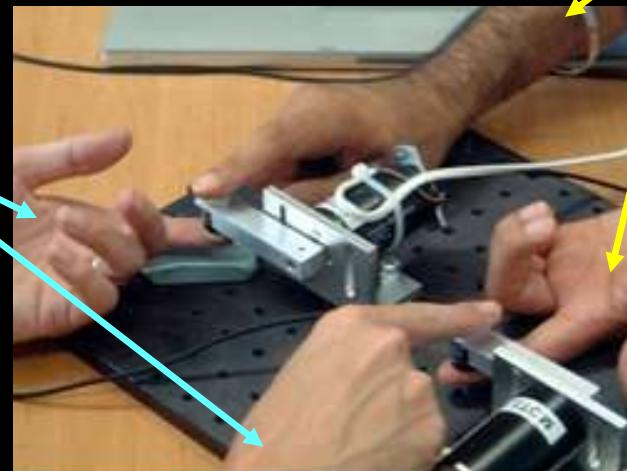
La sensation de pression diminue lorsque nous appliquons soi-même la pression

Instructions données
séparément aux participants:



Expérimentateur 1

Participant 1

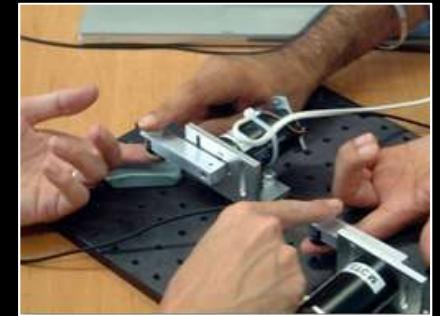
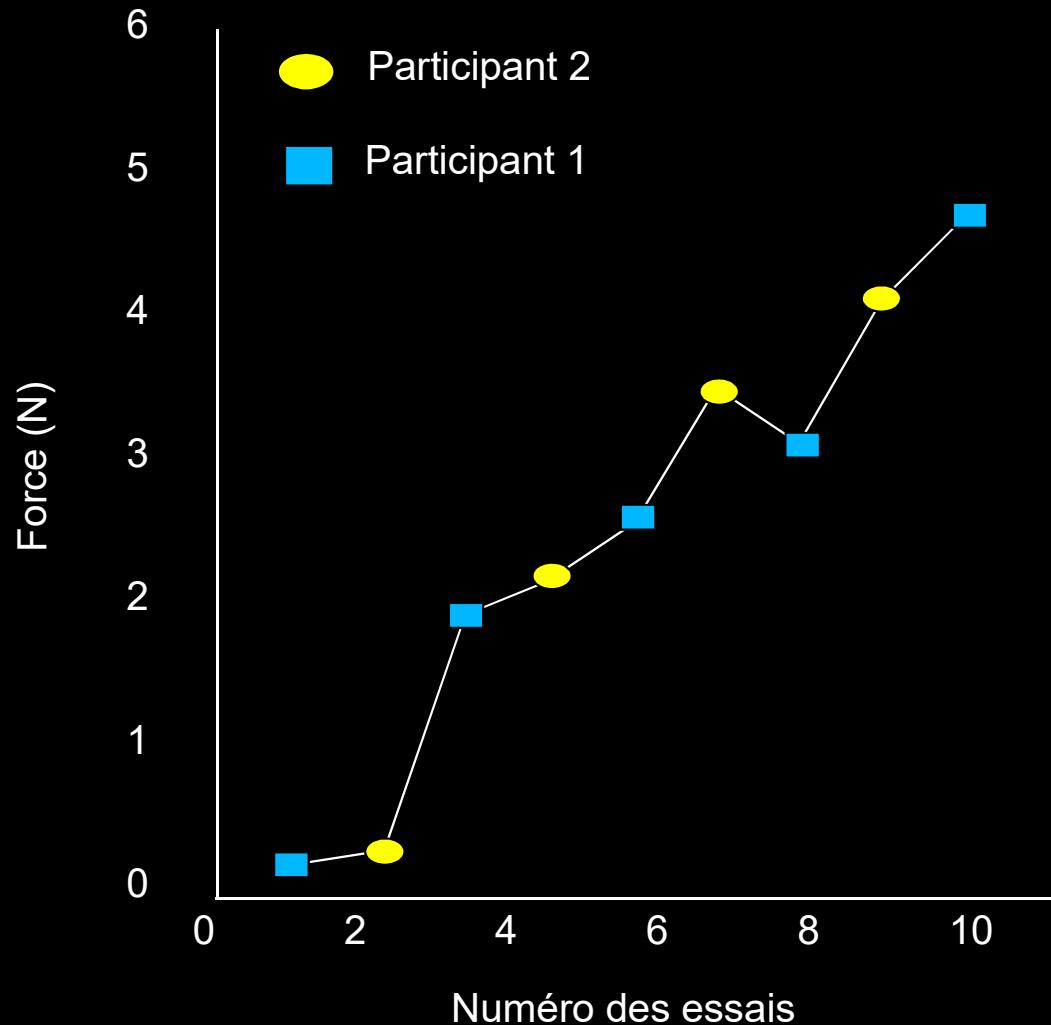


Participant 2

Expérimentateur 2

Prédiction
sensorielle

La sensation de pression diminue lorsque
nous appliquons soi-même la pression

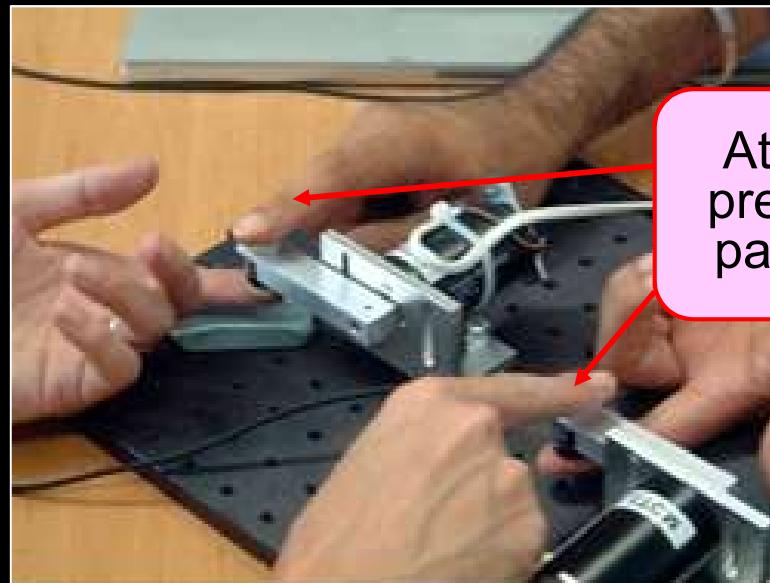


Prédiction
sensorielle

→ La sensation de pression diminue lorsque nous appliquons soi-même la pression



Chaque participant a cru que l'instruction reçue par l'autre participant était de doubler la force ressentie !



Atténuation de la pression ressentie par la main active

Exemples d'atténuation de sensations auto-induites



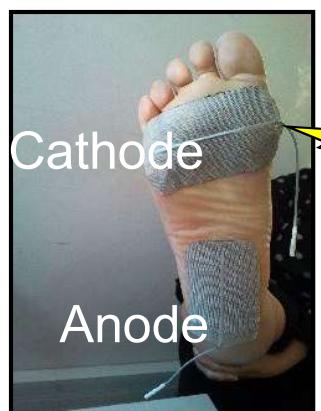
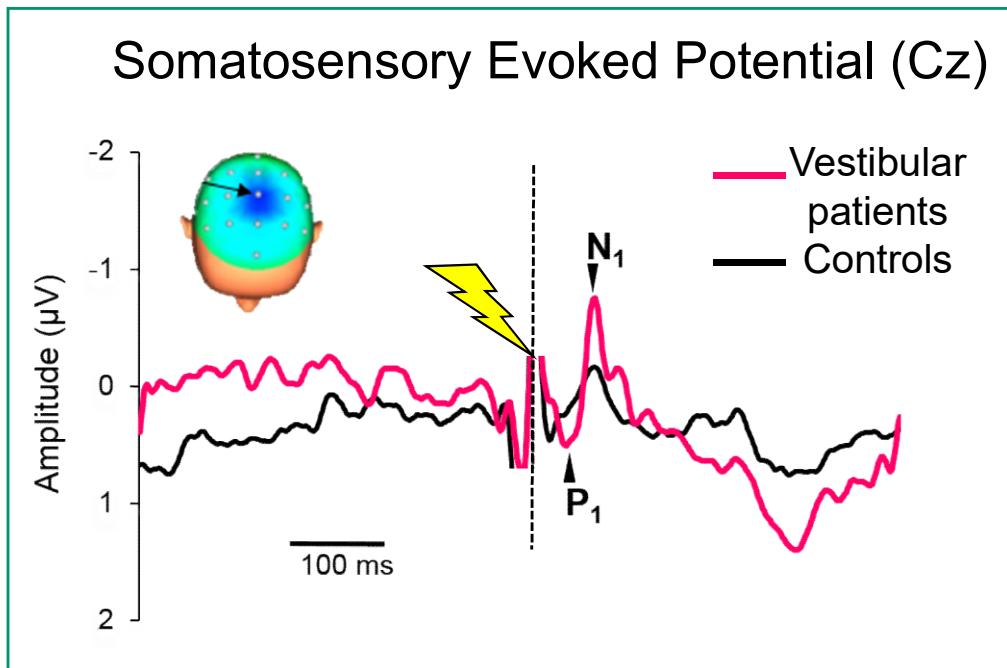
Nous avons l'impression de faire moins de bruit que ce que les autres entendent



Nous préférons effectuer nous-mêmes les gestes douloureux sur notre corps



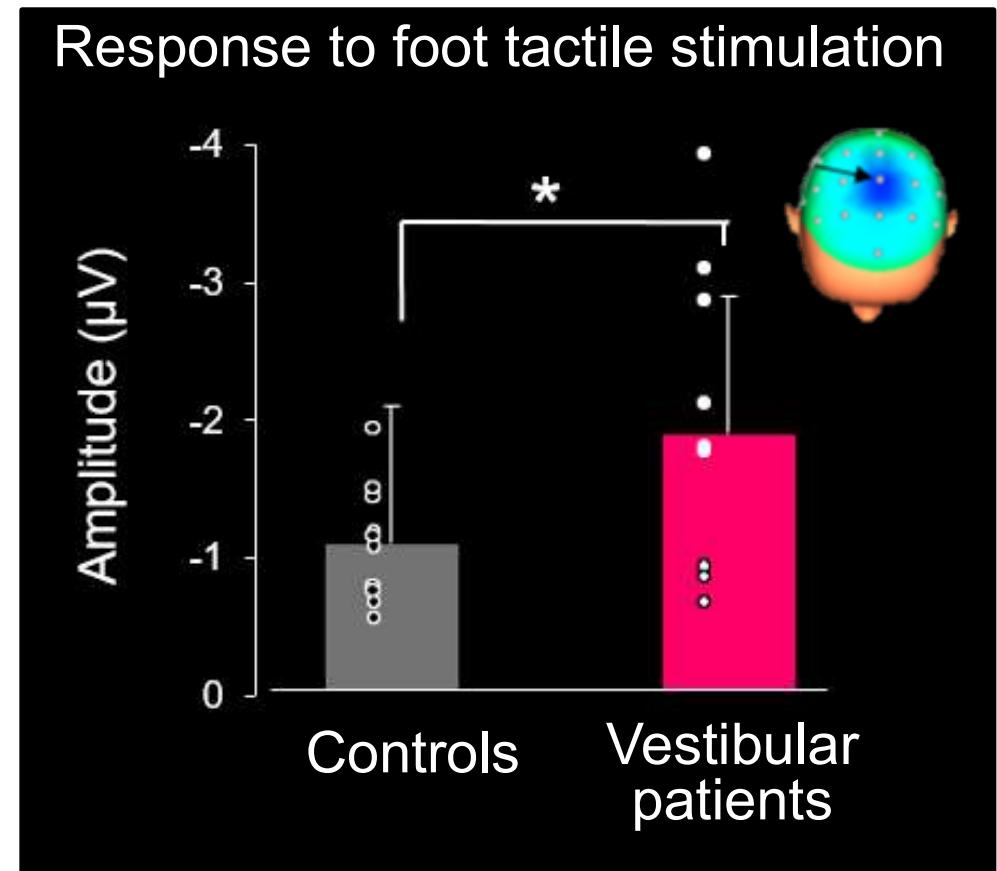
Les réponses tactiles augmentent pour compenser l'absence d'autres informations sensorielles (cas des informations tactiles plantaires chez les patients vestibulo-lésés)



Cathode

Anode

Station debout, yeux ouverts
~7mA 10 ms pulse



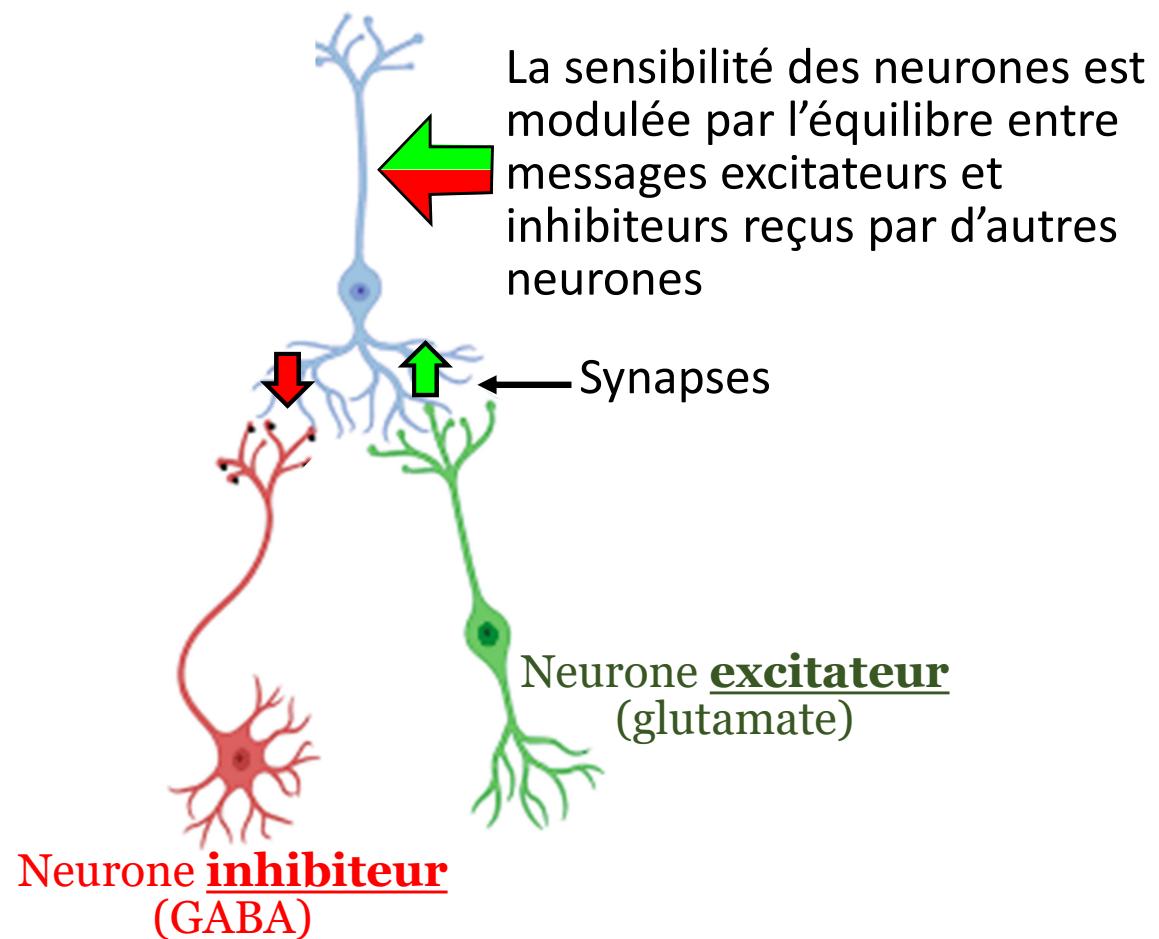
Mécanismes permettant de moduler les réponses tactiles



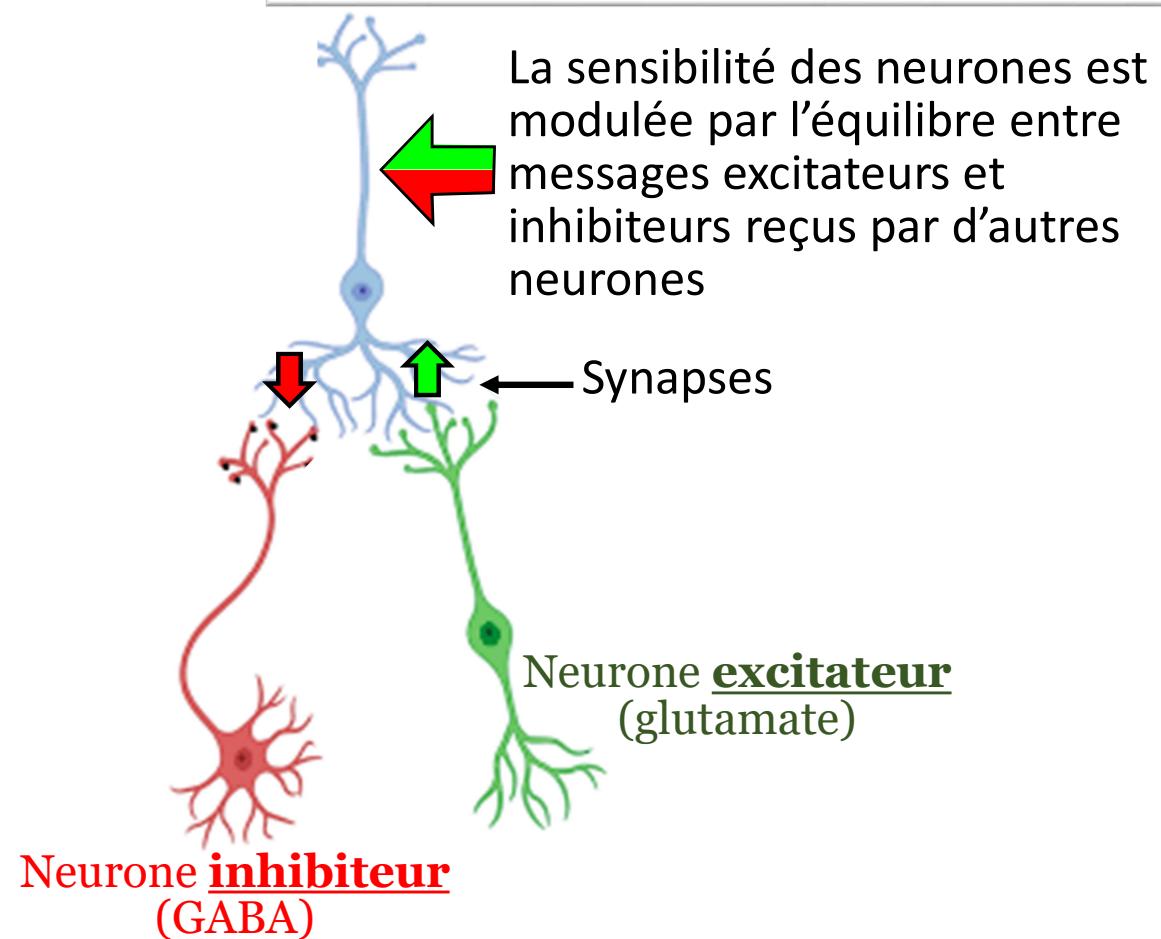
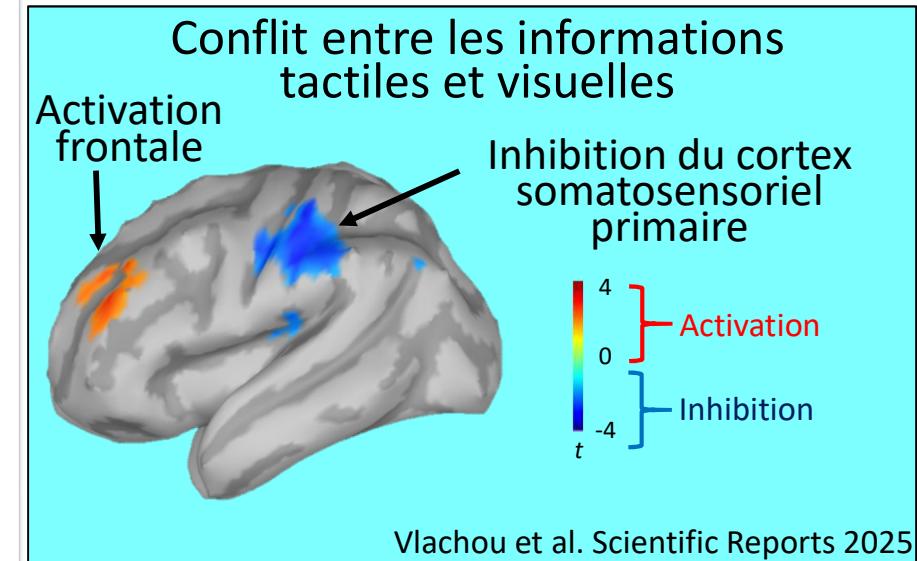
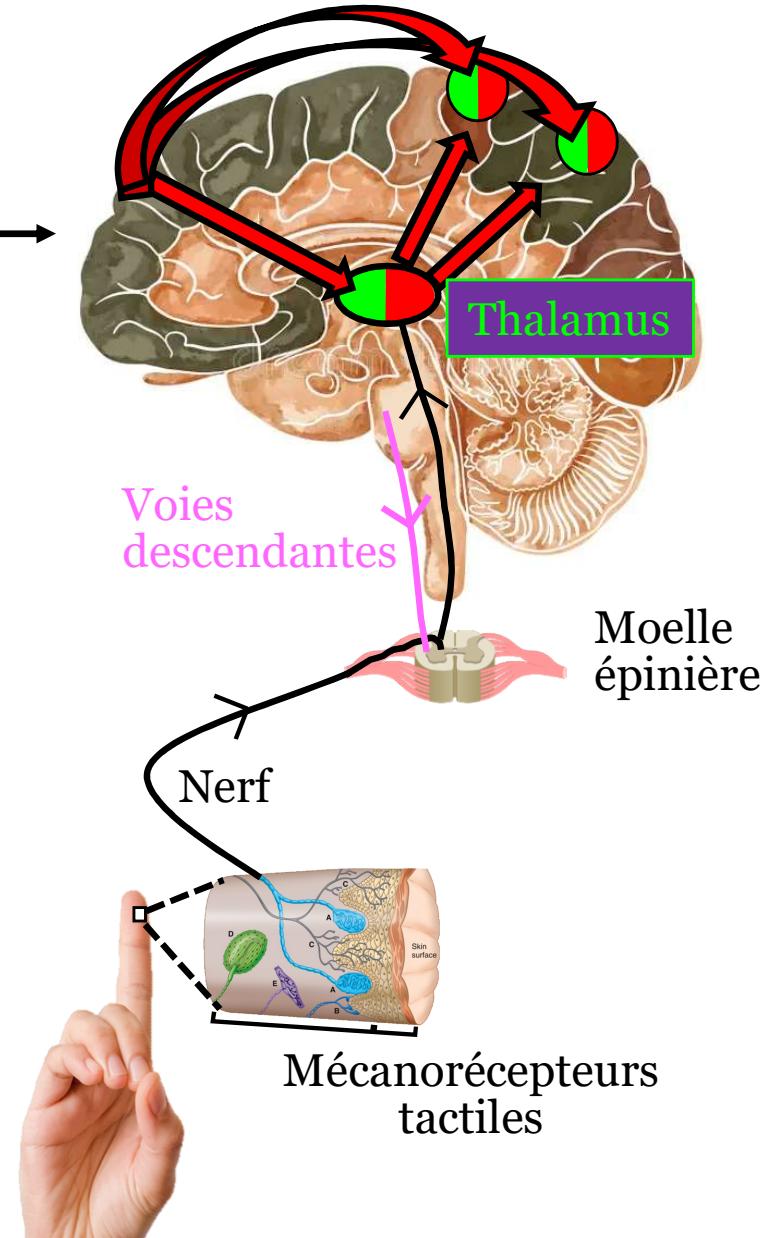
1. Inhibition neuronale
2. Facilitation neuronale
3. Substitution sensorielle
4. Suppression des informations prédictives

1. INHIBITION NEURONALE

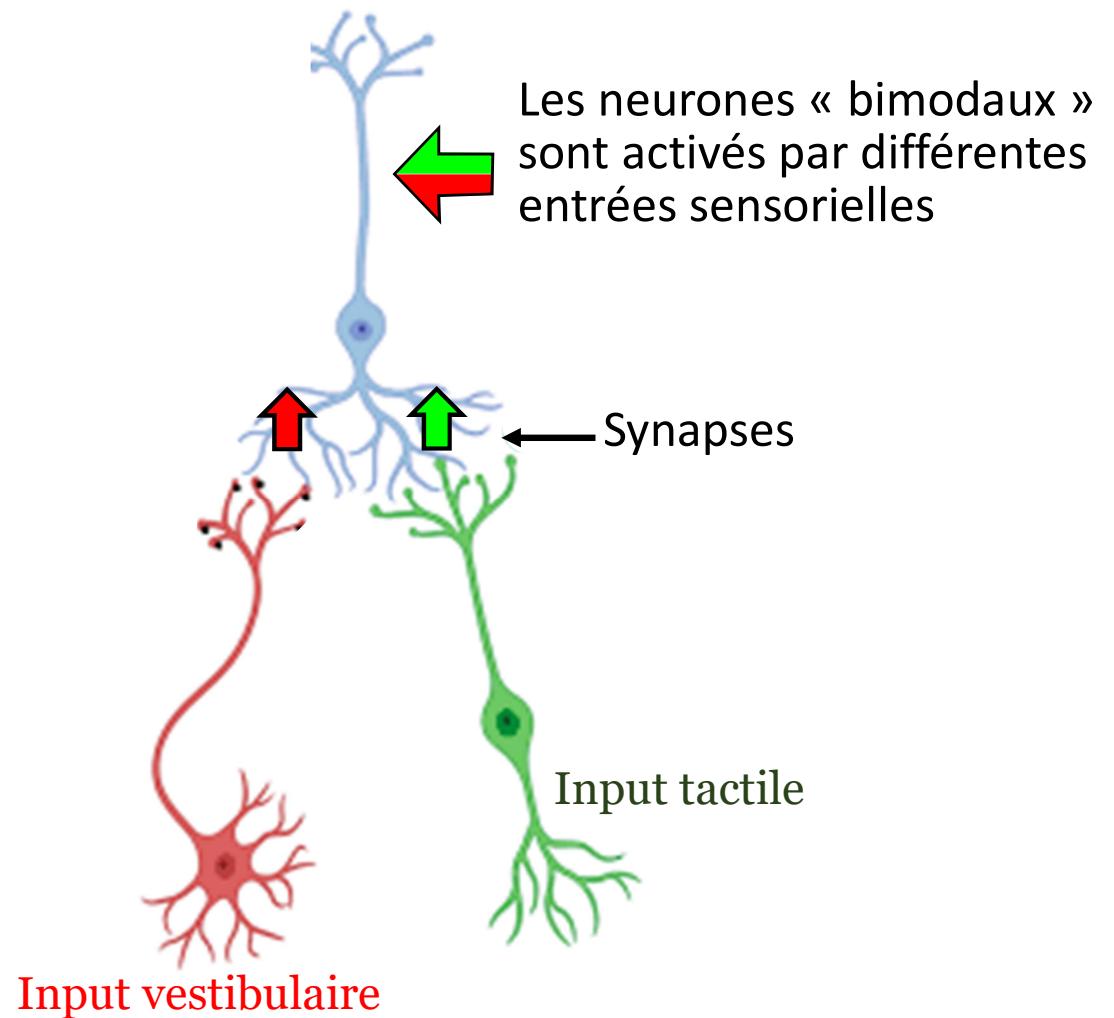
2. FACILITATION NEURONALE



Le cortex frontal (attention, prise de décision, régulation des réponses motrices) module le traitement sensoriel d'autres régions cérébrales

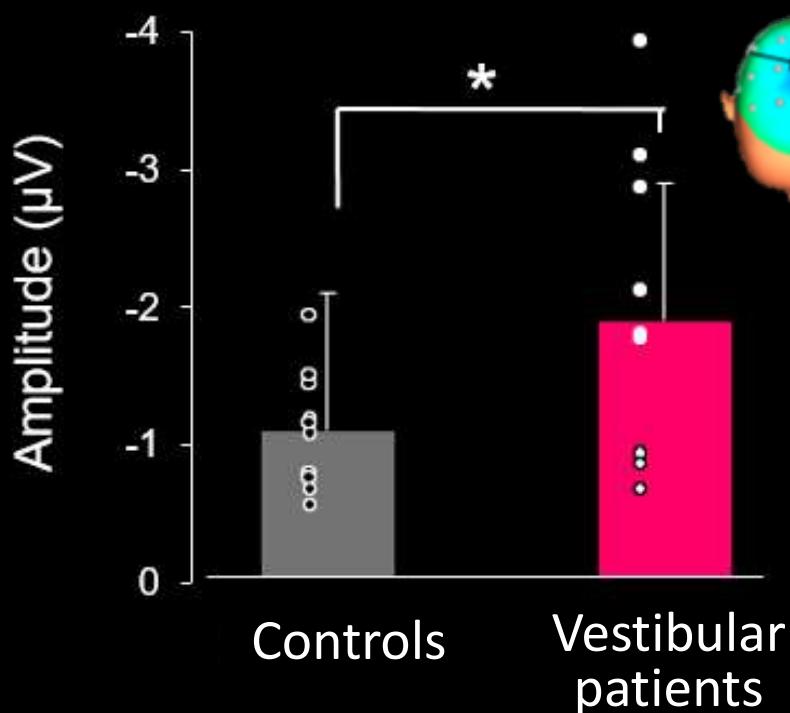


3. Substitution sensorielle

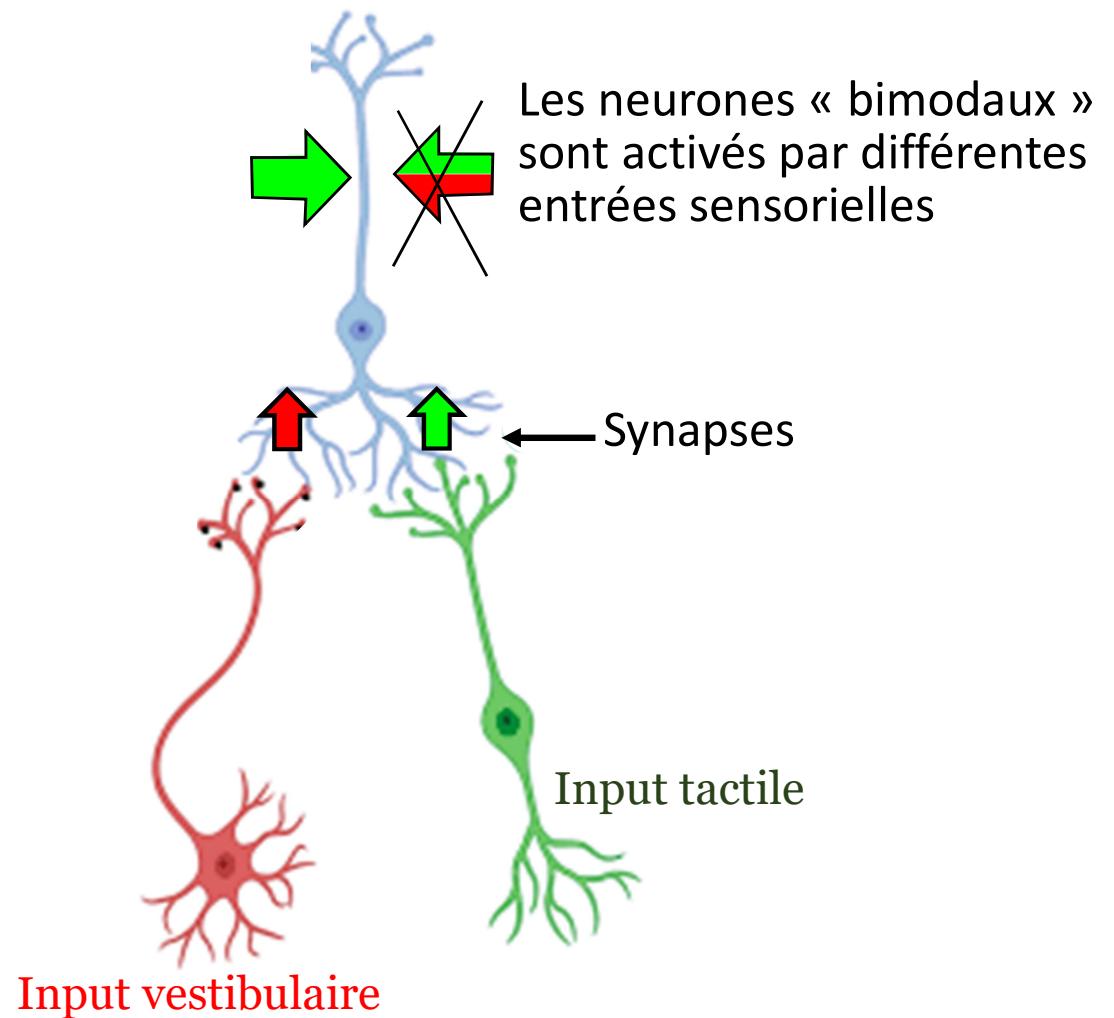


3. Substitution sensorielle

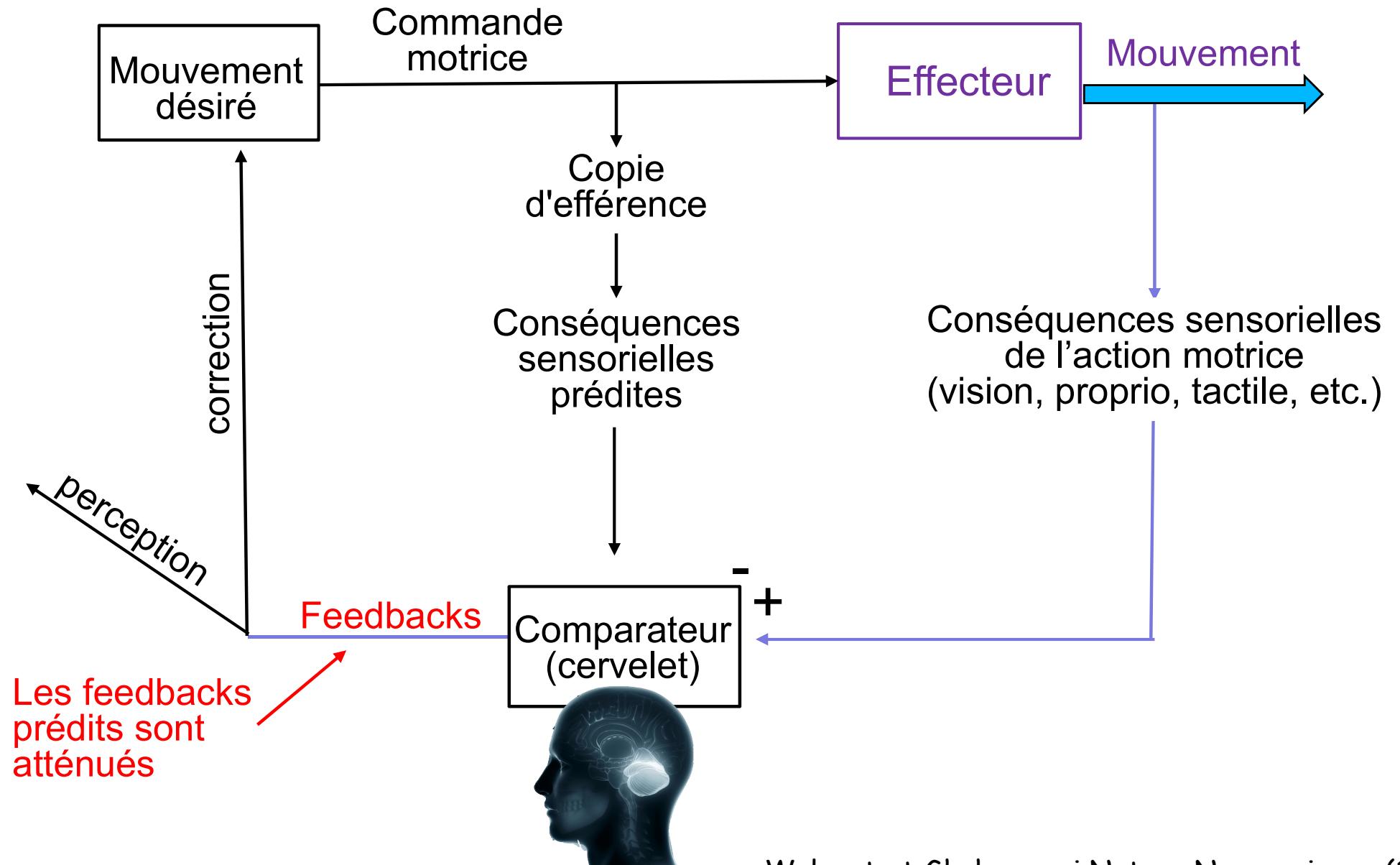
Response to foot tactile stimulation



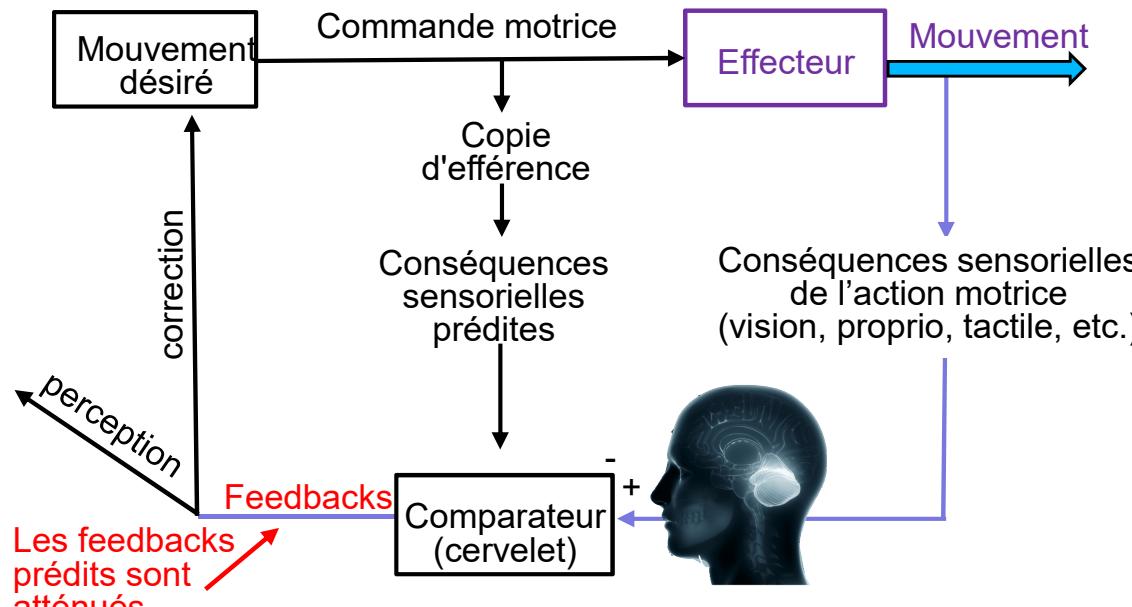
Fabre et al. J Neurophysiol 2023



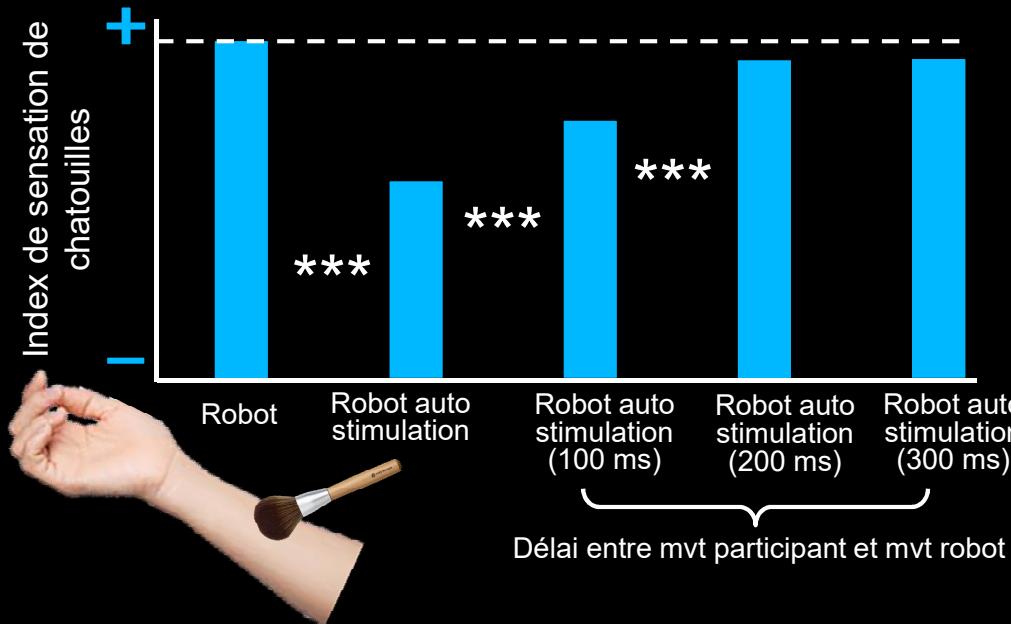
4. Suppression des informations tactiles prédictives



4. Suppression des informations tactiles prédictives



Blakemore et al. J Cognitive Neurosciences 1999



Shergill et al. (2003) Science

