

Neurophysiologie du Toucher

Jean Blouin

Institut des Sciences du Mouvement
UMR 7287, CNRS / Aix-Marseille Université



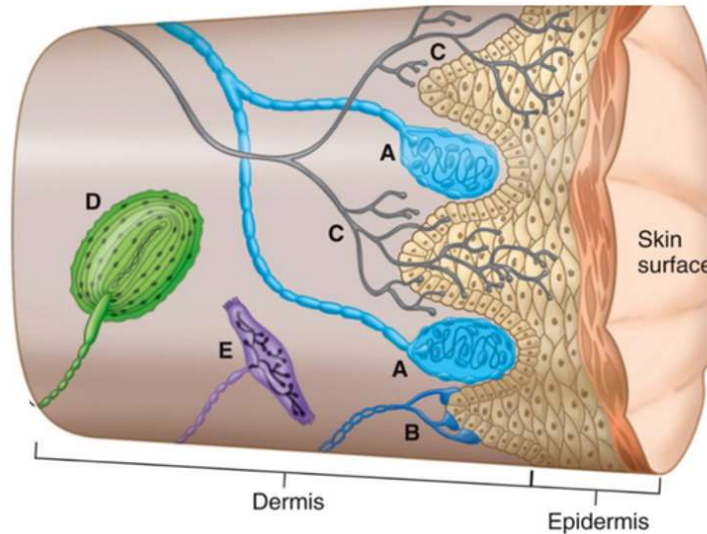
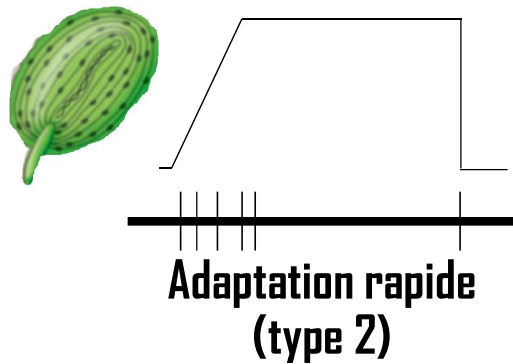
Mécanorécepteurs de la peau

Type 1: Récepteurs superficiels, Type 2: Récepteurs profonds

Adaptation rapide ou lente

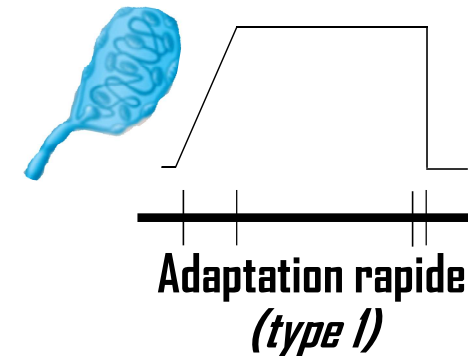
D. Pacinian corpuscles

Vibrations 40-400 Hz
Pression profonde



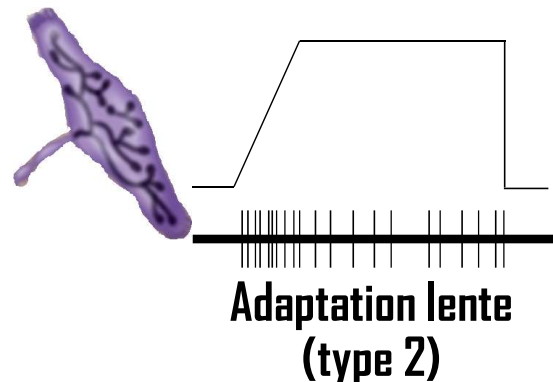
A. Meissner's corpuscles

Toucher discriminatif
Vibration 5-50 Hz



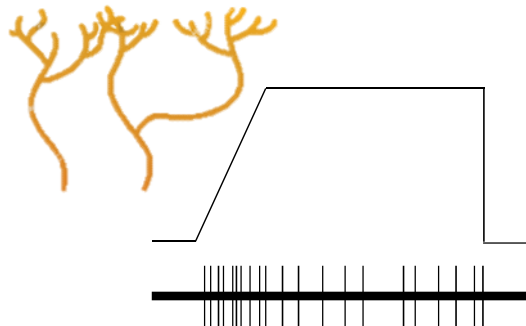
E. Ruffini corpuscles

Etirement de la peau



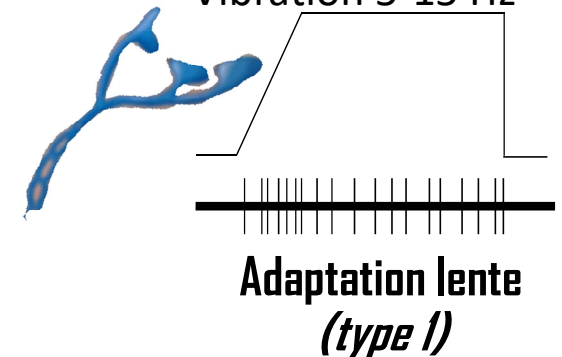
C. Free neurones ending

Température
Douleur

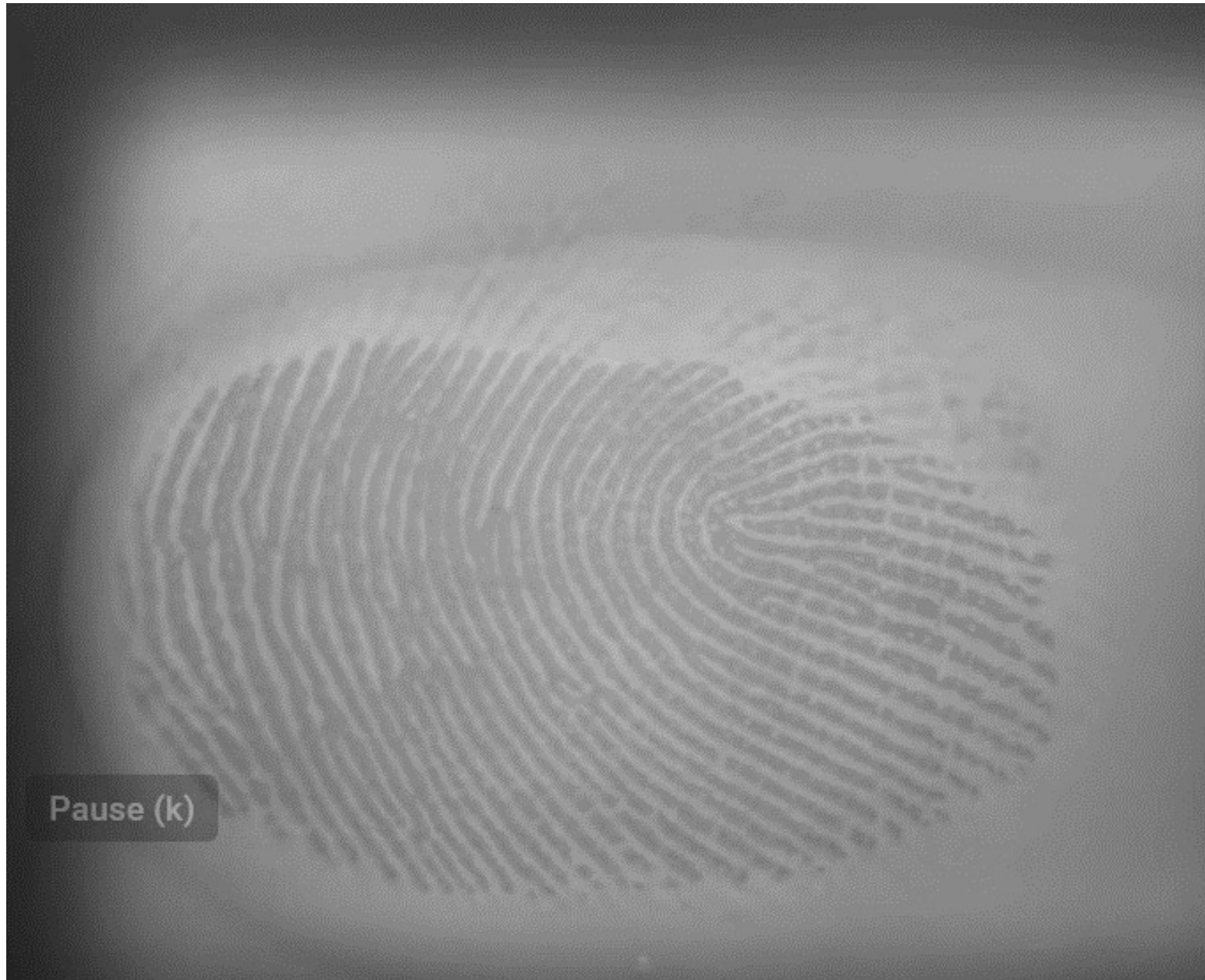


B. Merkel disks

Pression légère
Vibration 5-15 Hz

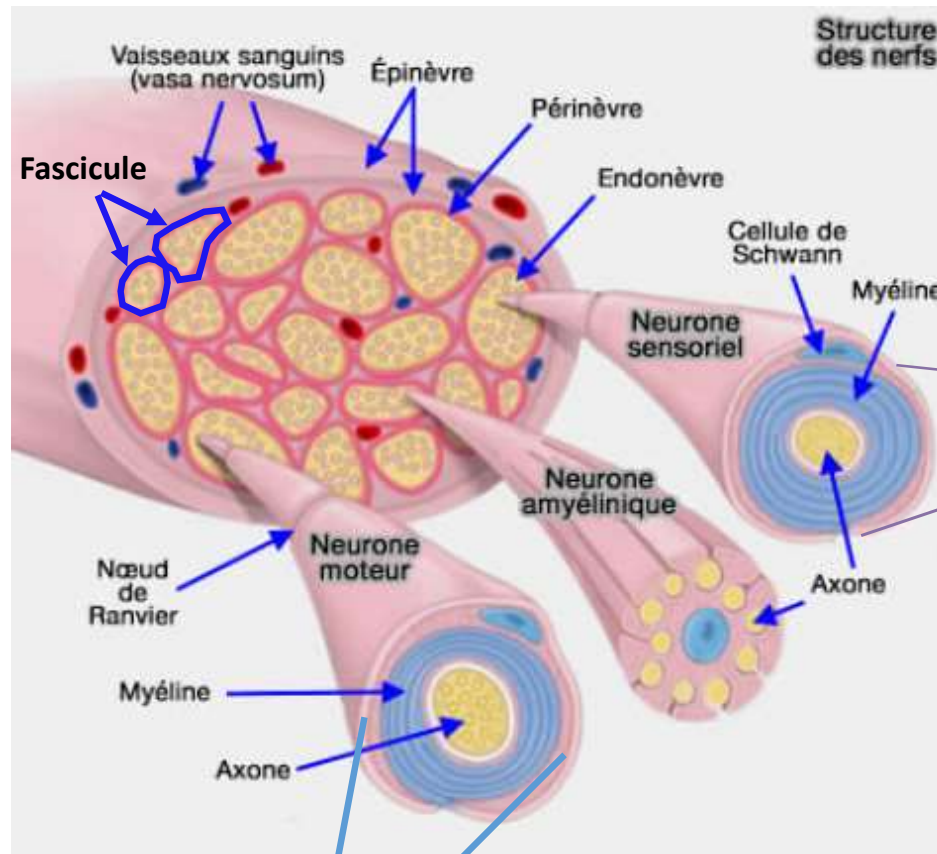
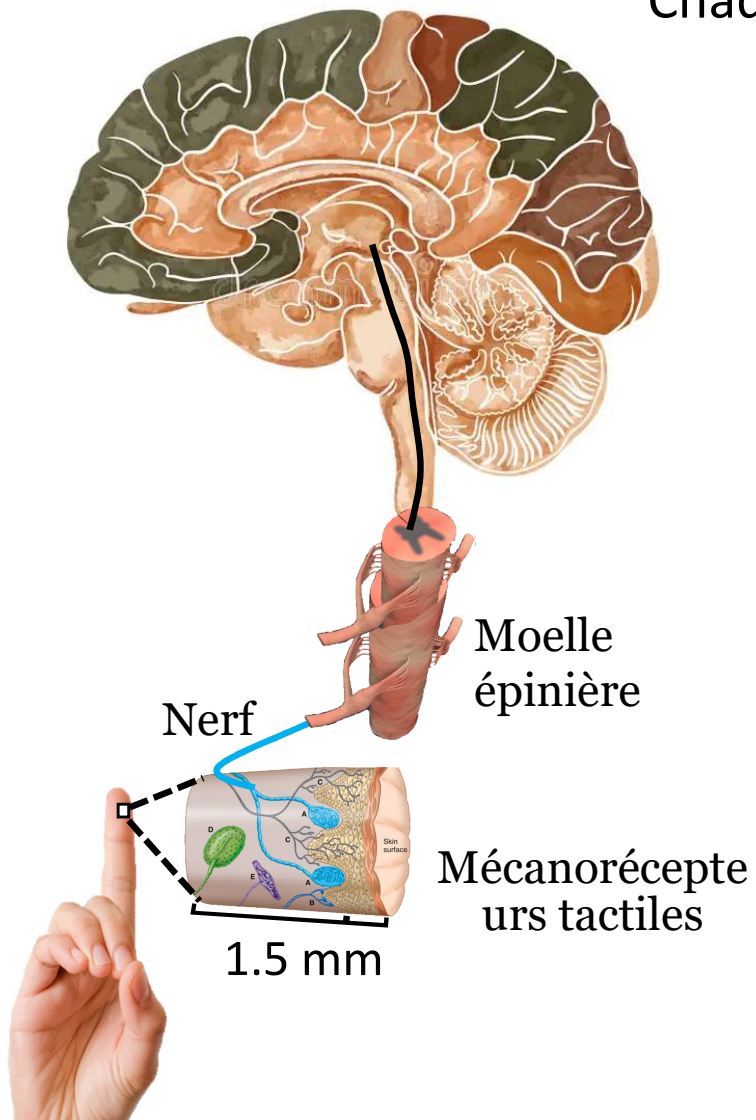


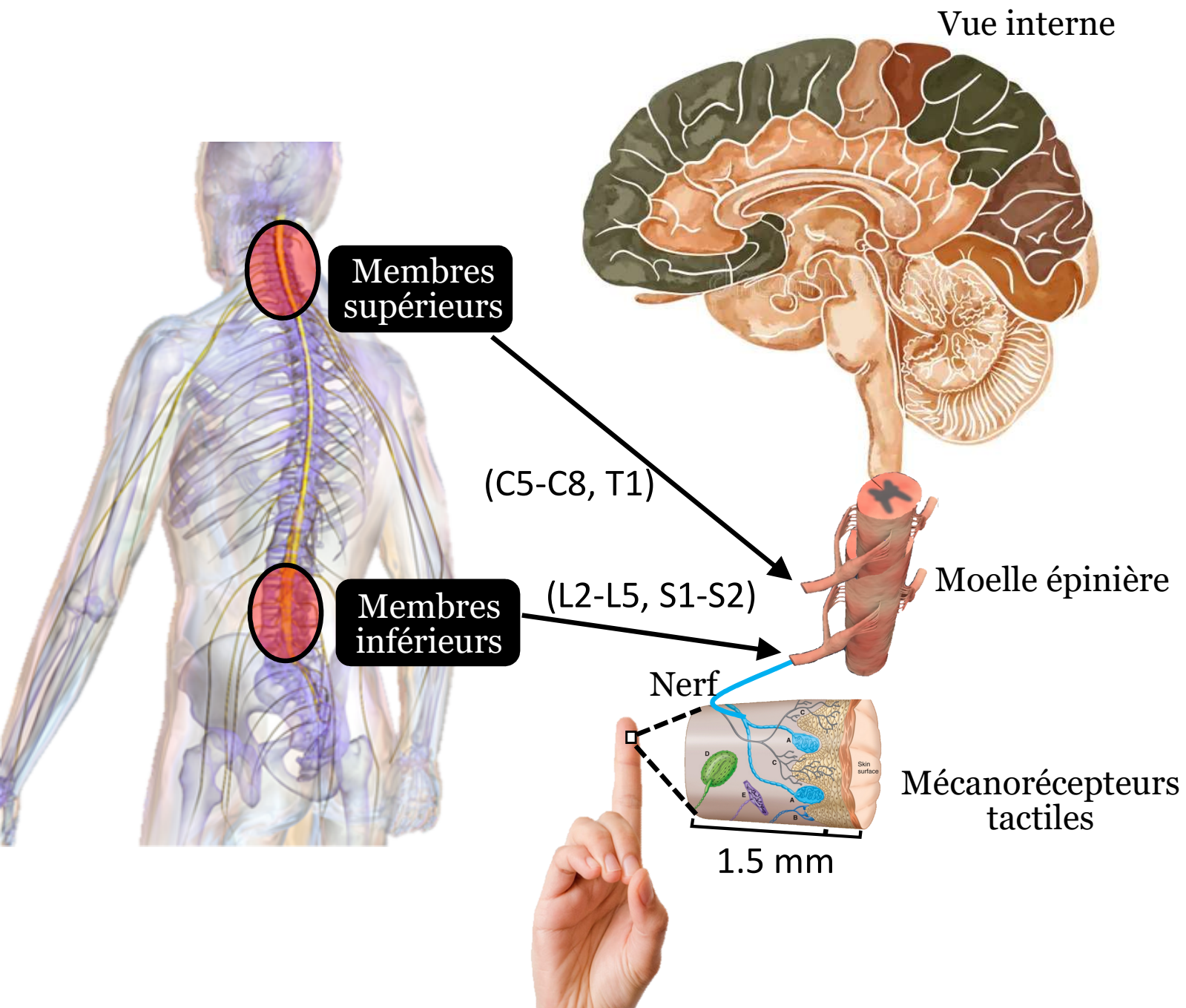
Les dermatoglyphes (doigts, orteils) amplifient les contraintes mécaniques sur la peau favorisant la détection des vibrations et déformations par les mécanorécepteurs



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)

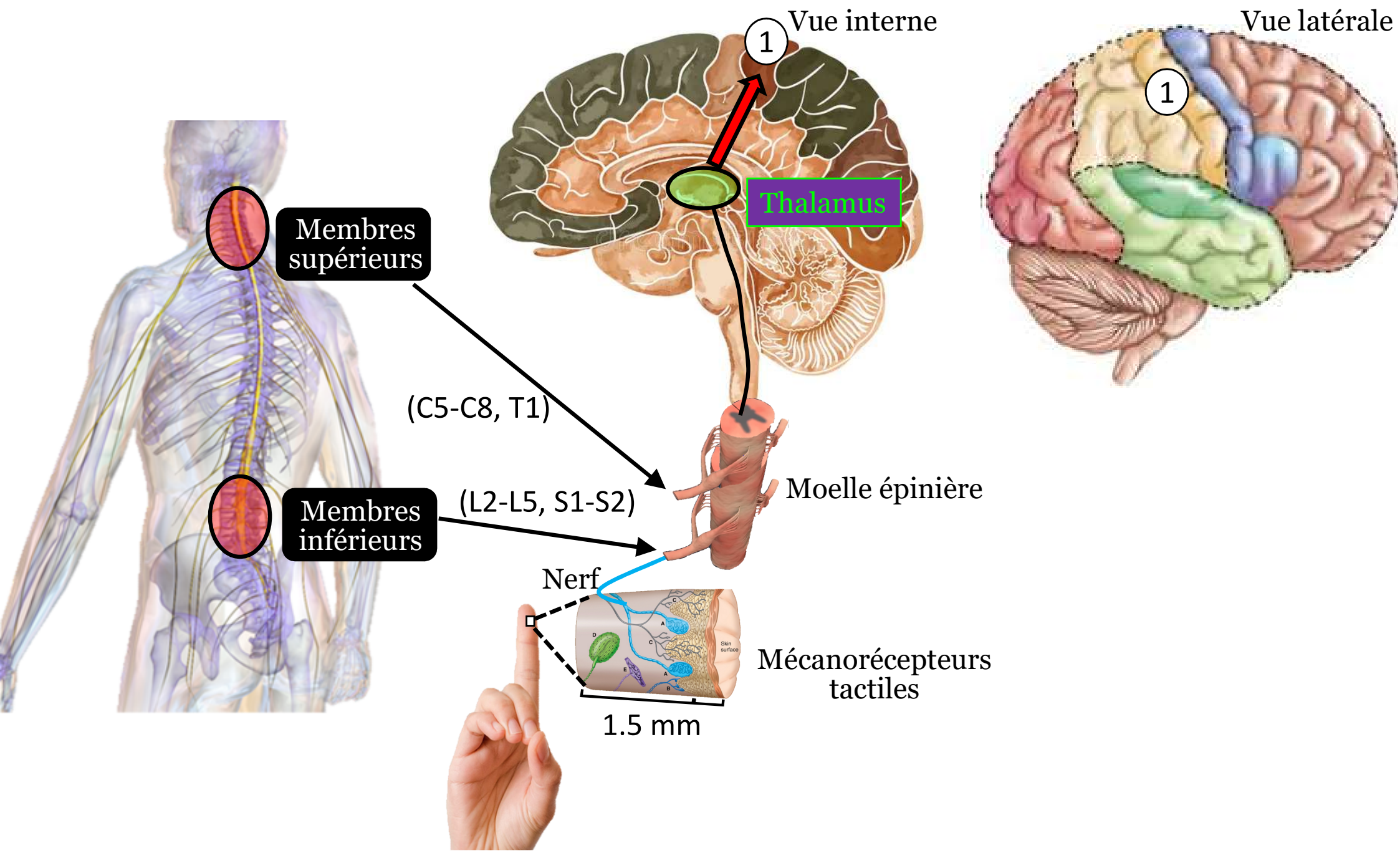




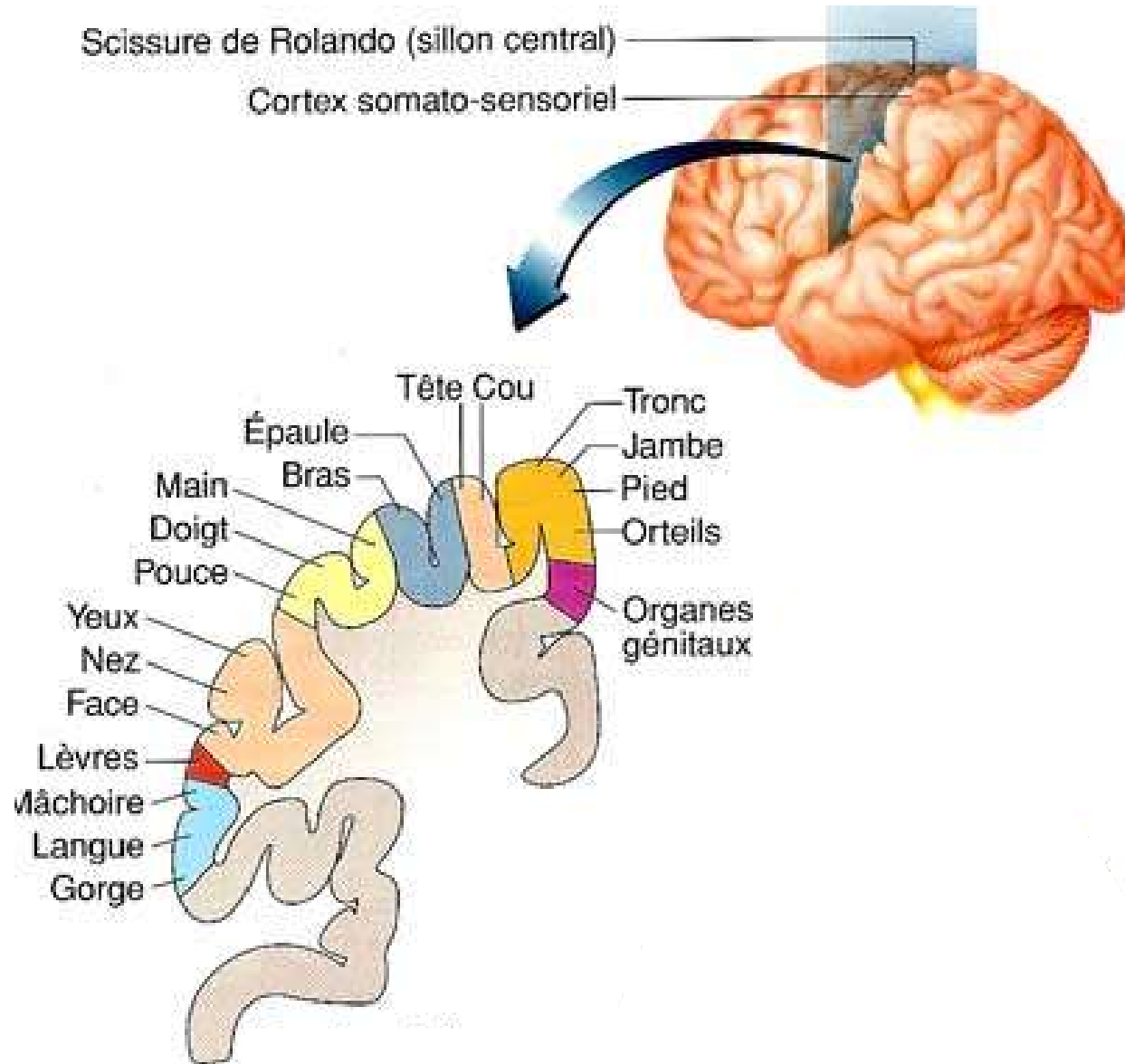
① Cortex somatosensoriel
(traitements de « bas niveau »)



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

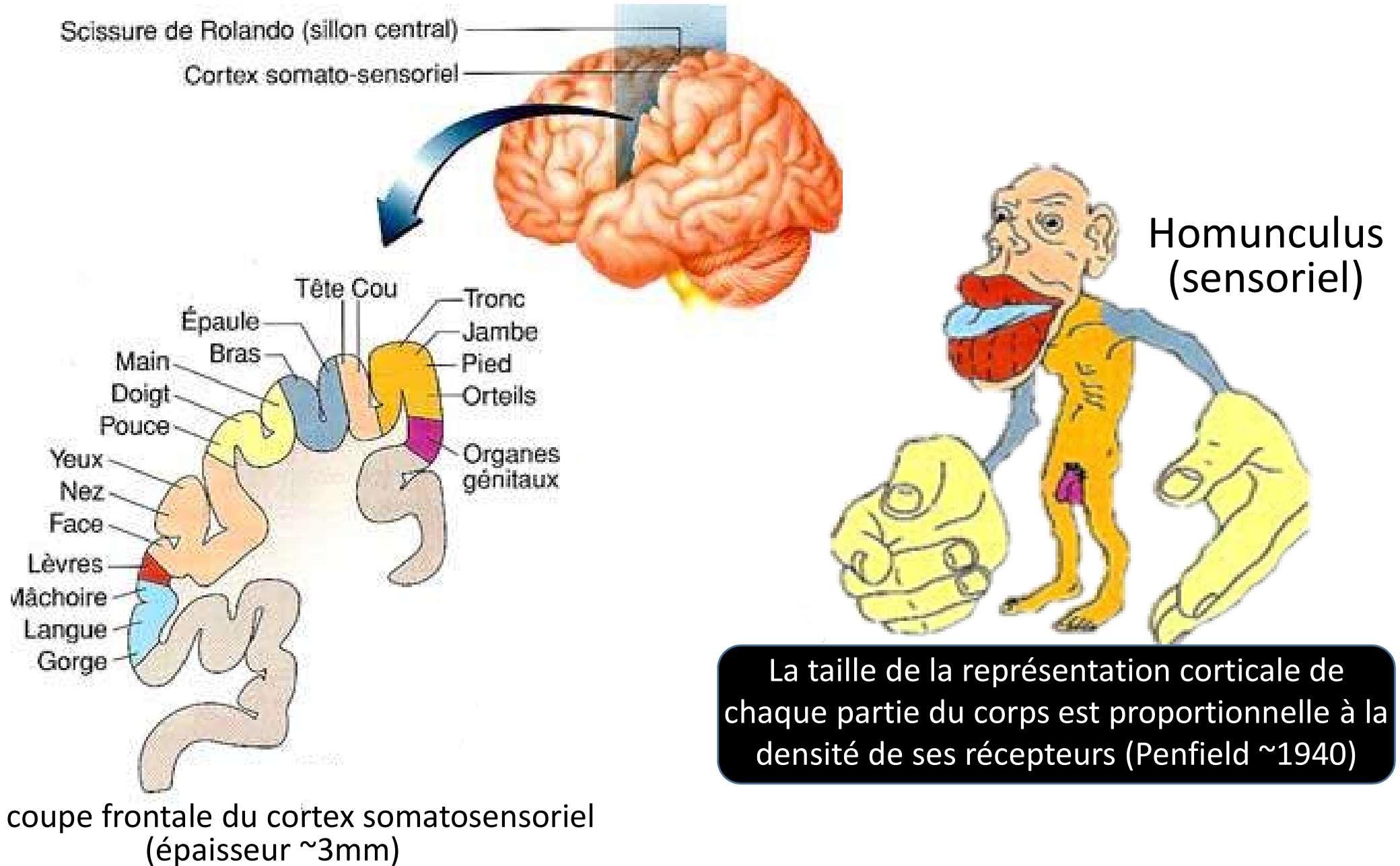


Somatotopie tactile au sein du cortex somatosensoriel



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

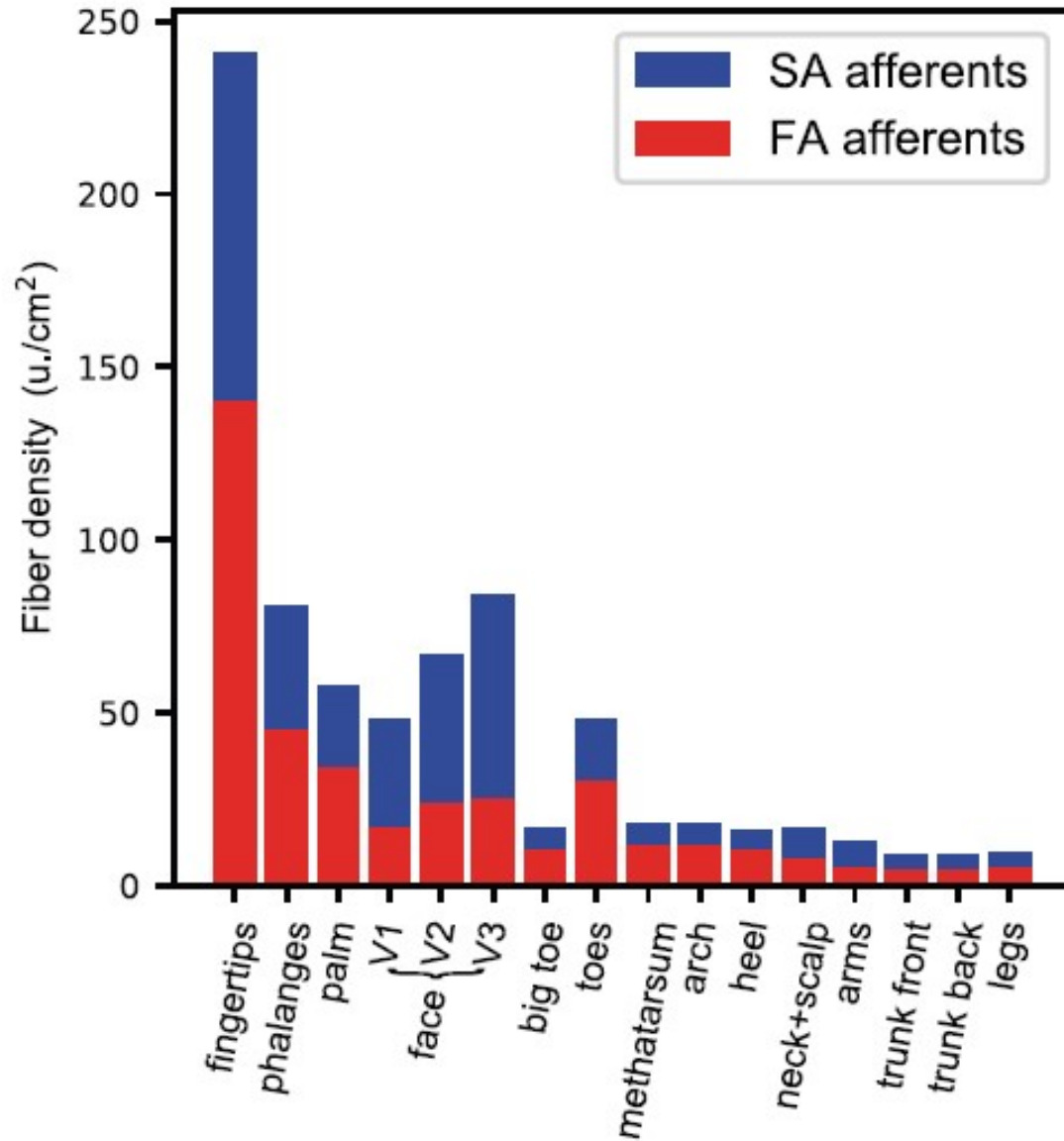
Somatotopie tactile au sein du cortex somatosensoriel



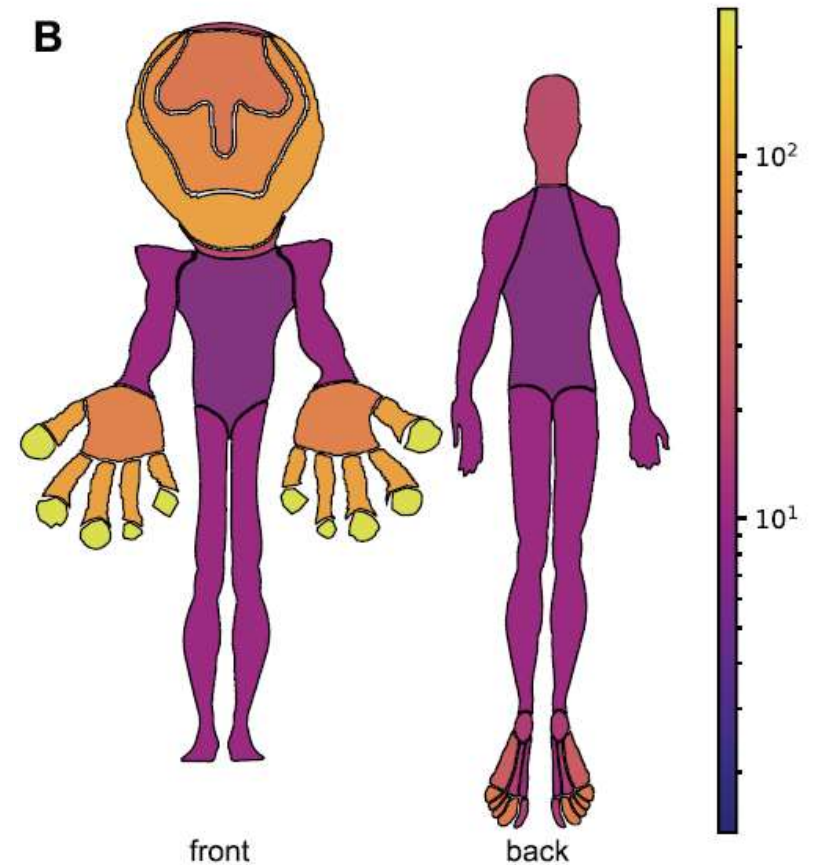
Vue coupe frontale du cortex somatosensoriel
(épaisseur ~3mm)

Densité des récepteurs tactiles

A



B

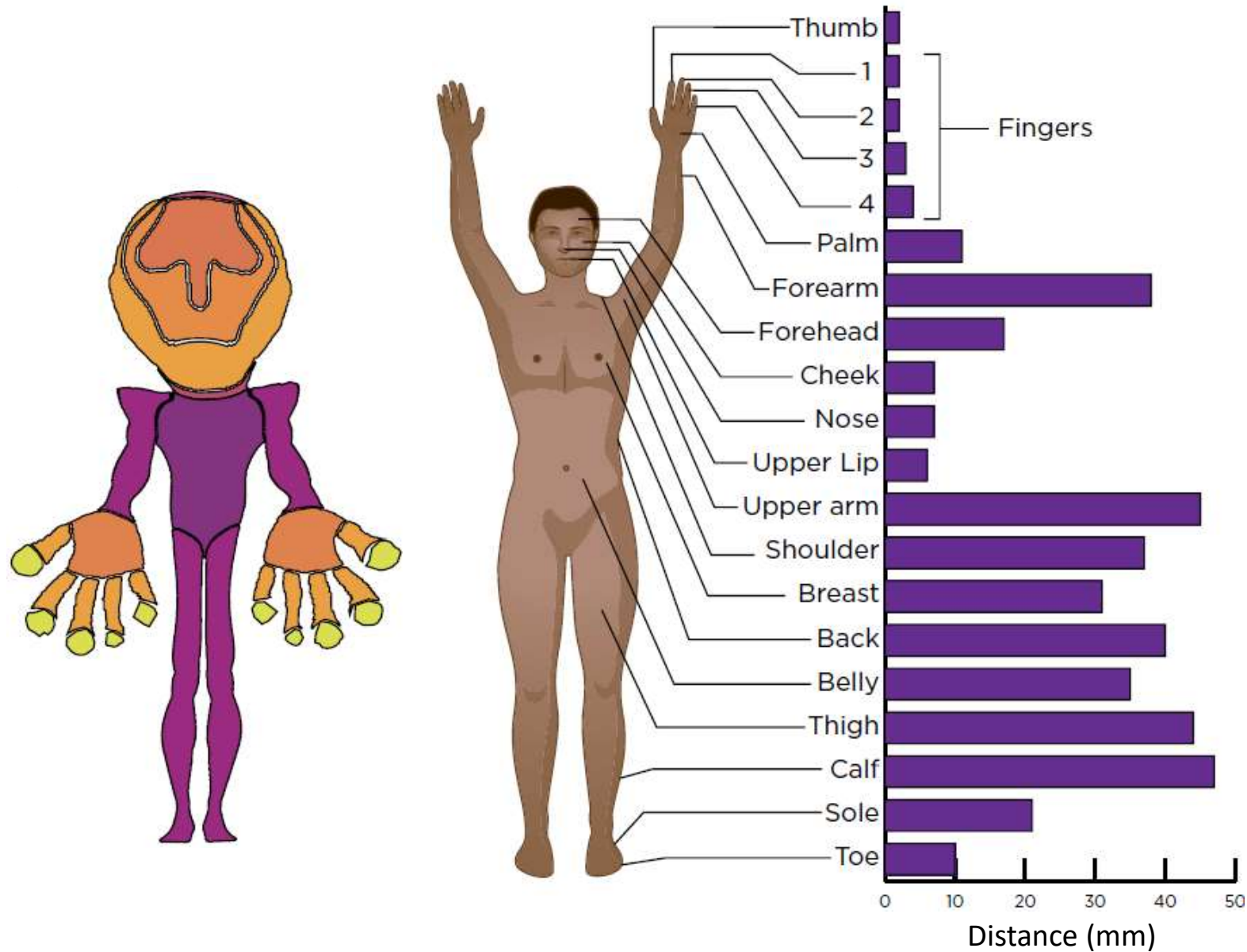
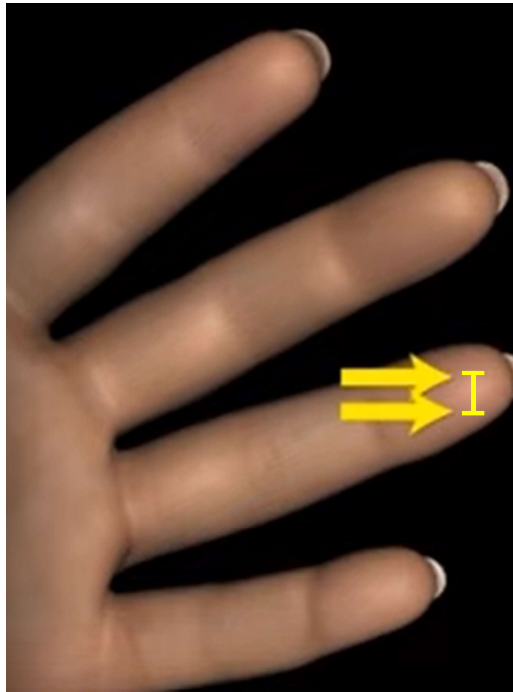


Jeune adulte: entre 200 000 et 270 000 récepteurs tactiles

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

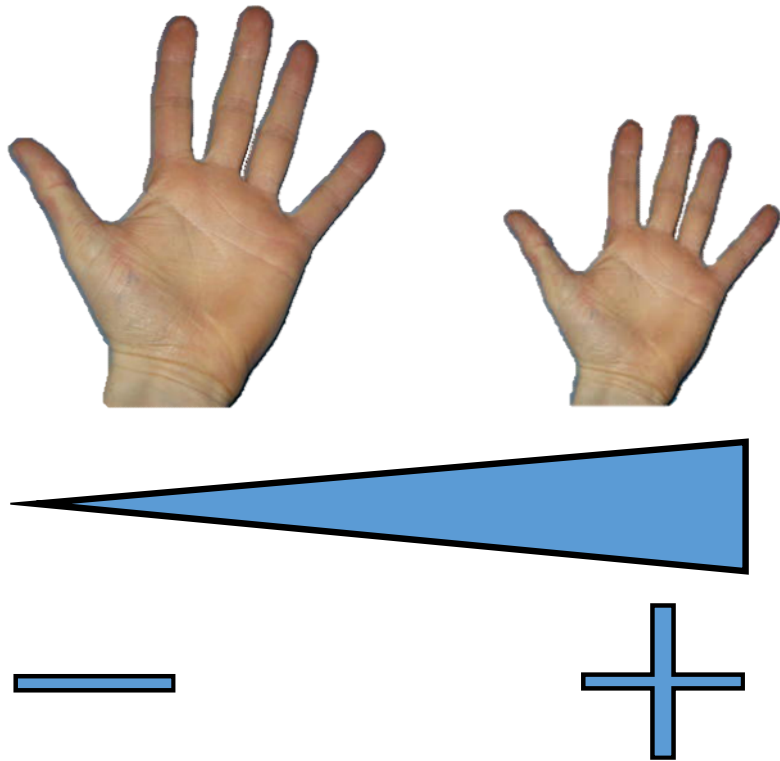
Corniani & Saal 2020

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

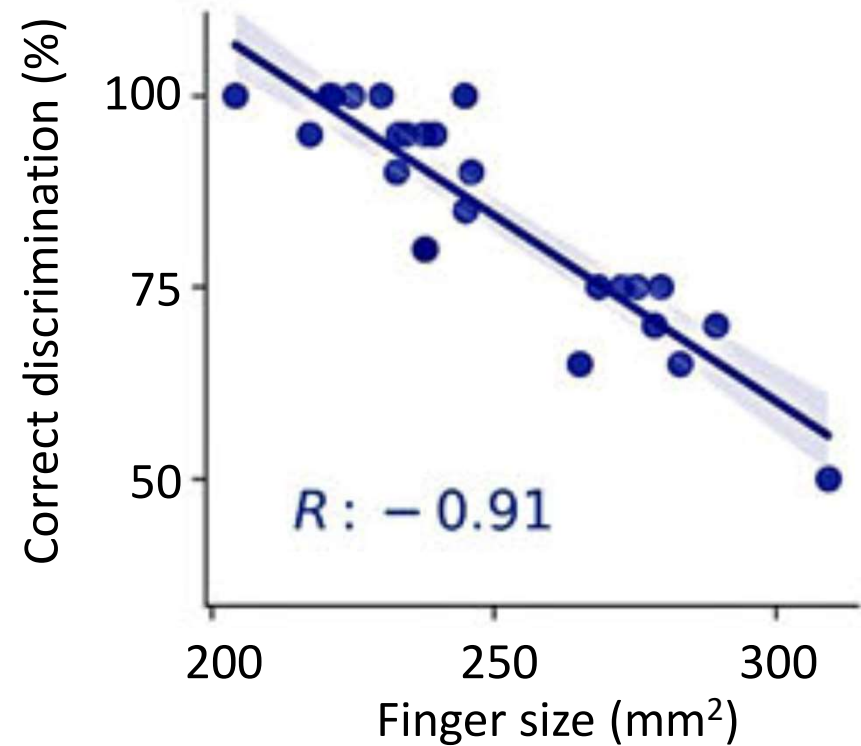


La densité des mécanorécepteurs varie selon les parties du corps et non de la taille de ces parties

DISCRIMINATION TACTILE



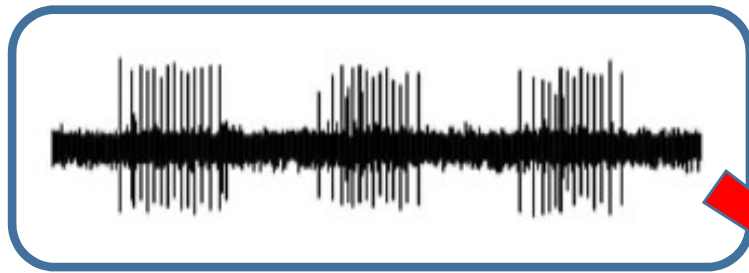
Capacité à sentir la dureté d'un objet (*tactile discrimination compliance*)



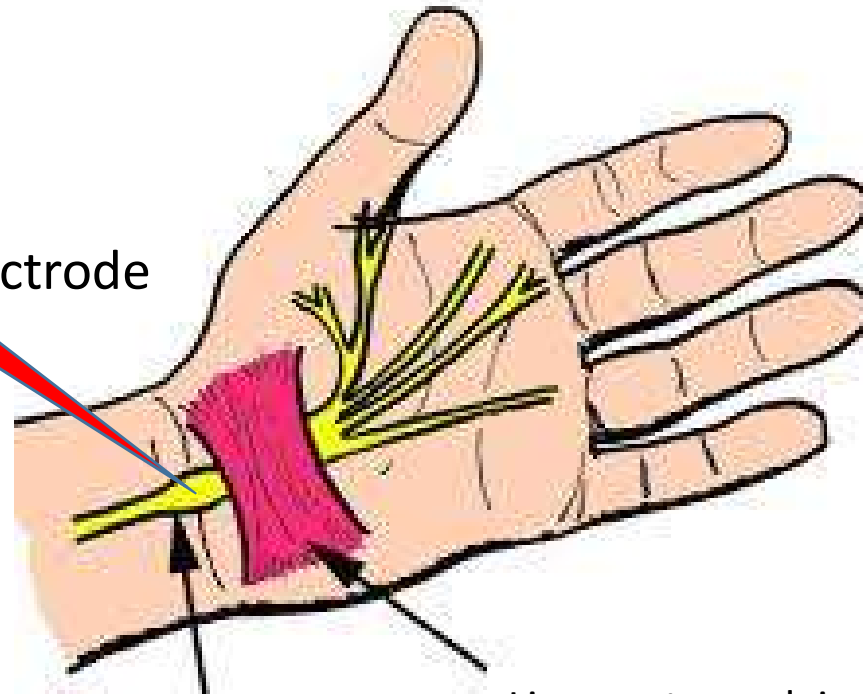
Li & Gerling (2023) Journal of Physiology

La microneurographie permet de déterminer:

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

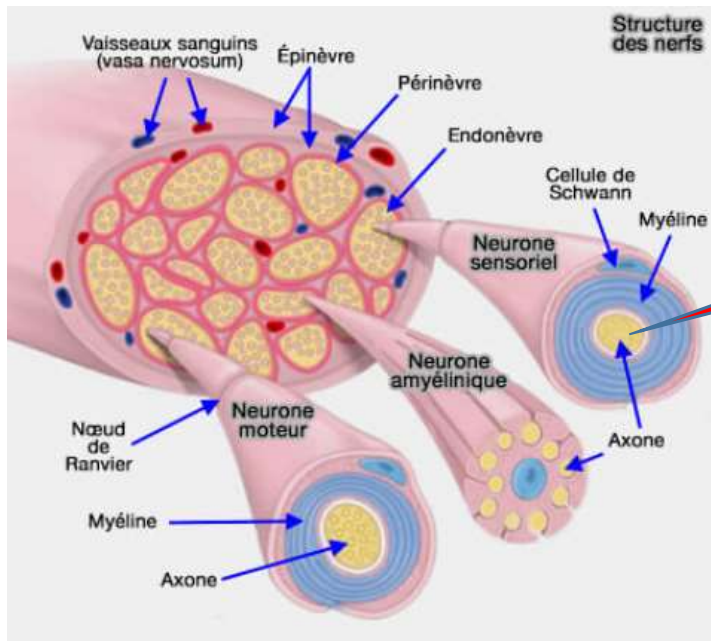


électrode



Nerf médian

Ligament annulaire



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

La microneurographie permet de déterminer:

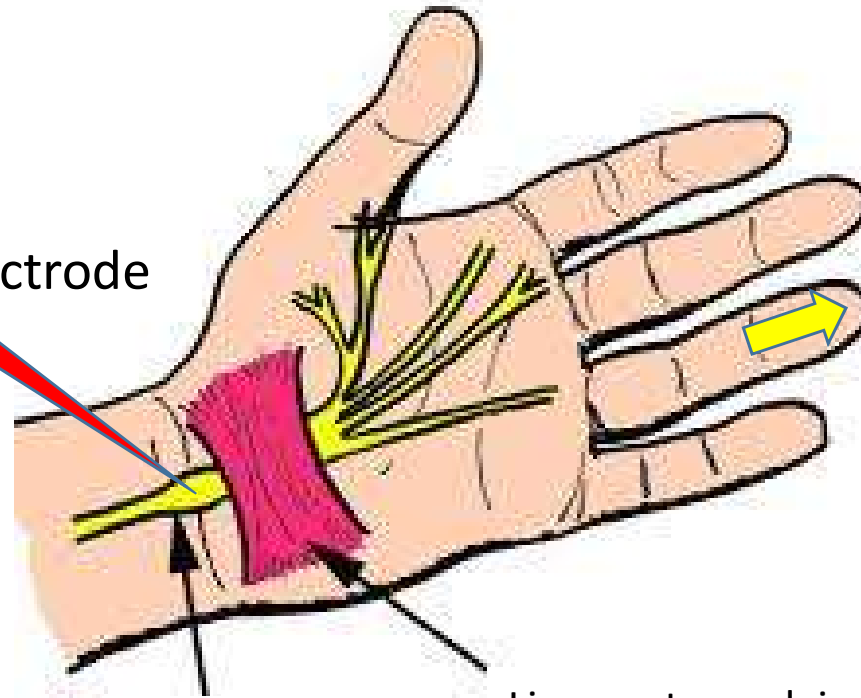
1: Le type de mécanorécepteur stimulé (Pacini, Meissner, etc.)

Autre que Ruffini



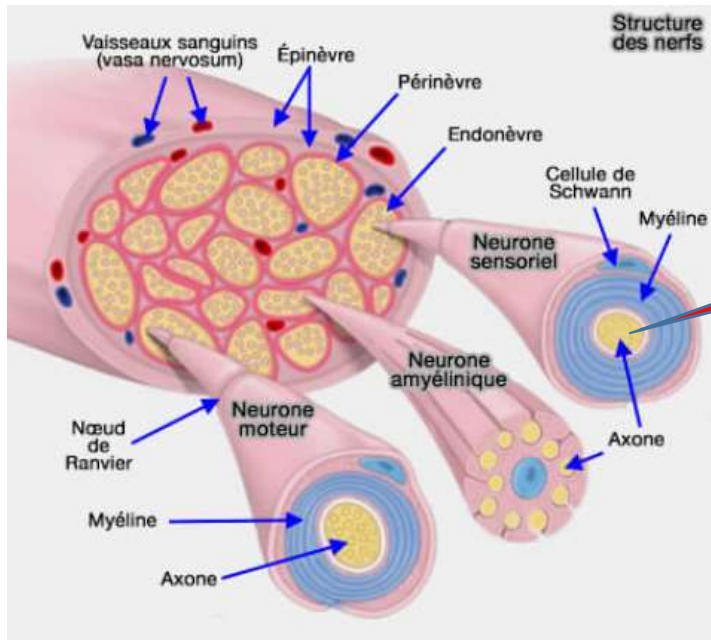
électrode

étirement peau



Nerf médian

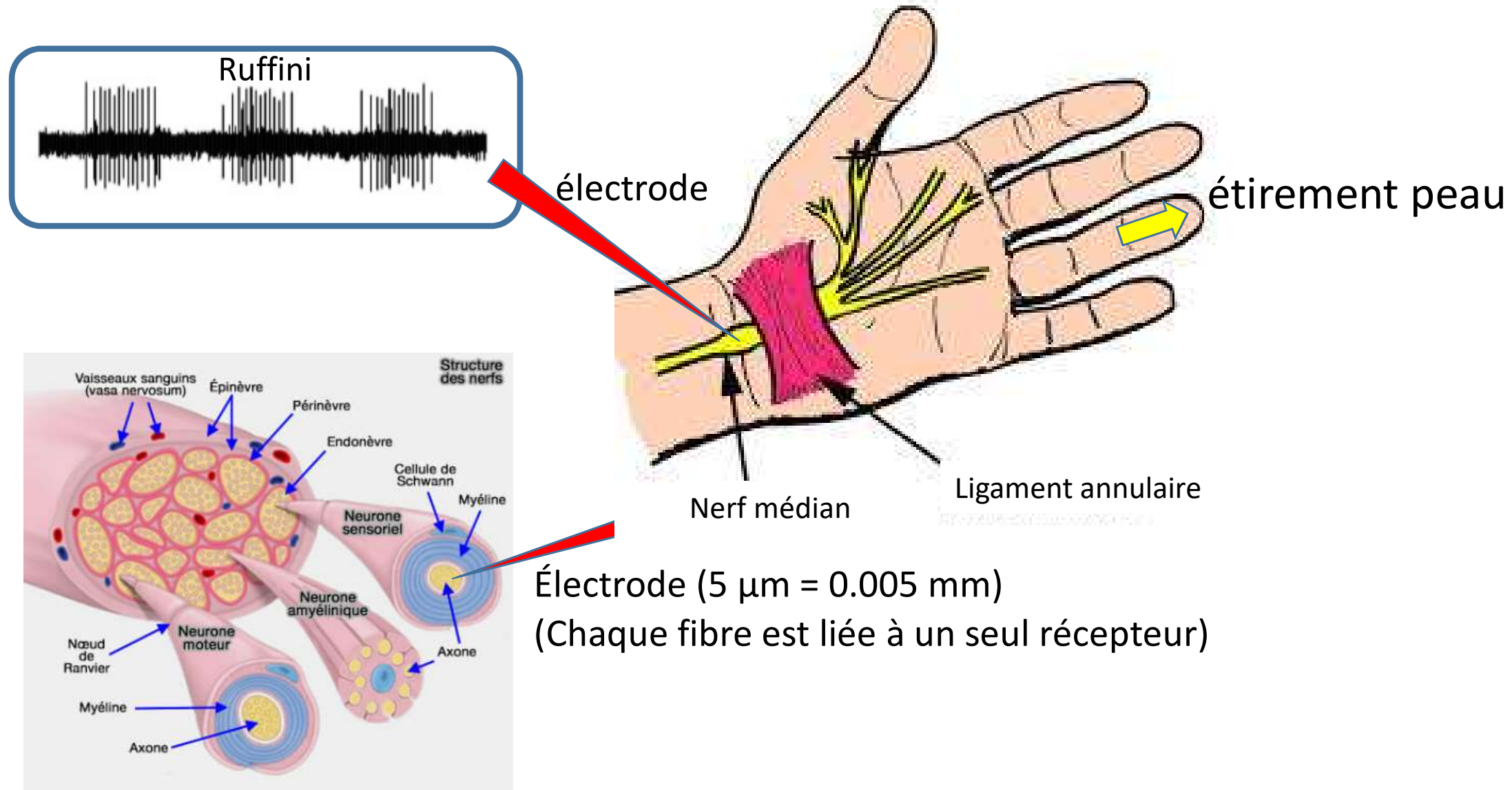
Ligament annulaire



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

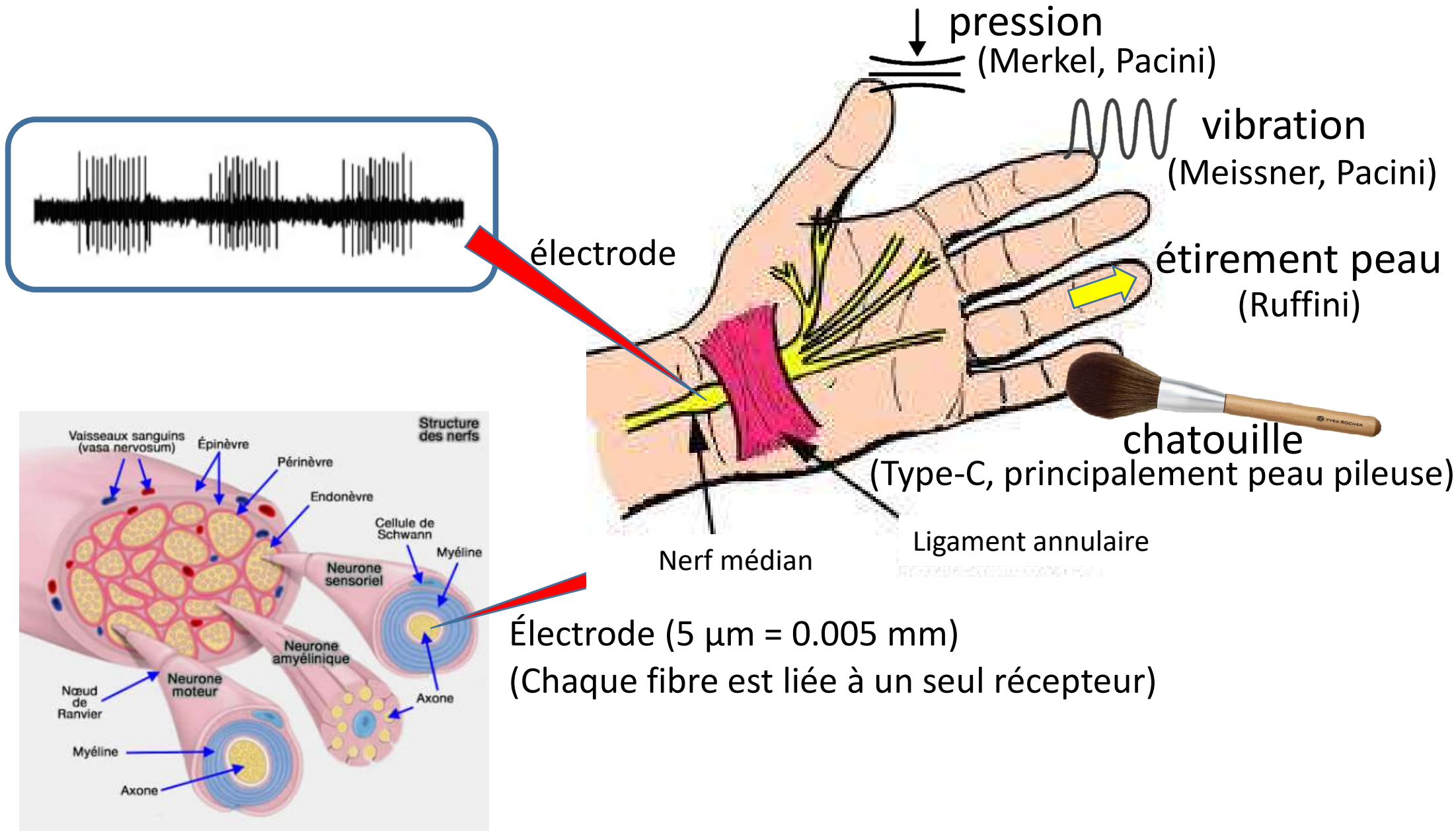
La microneurographie permet de déterminer:

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



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.)
- 2: Le champ récepteur des mécanorécepteurs
(zone de la peau qui, lorsque stimulée, active un mécanorécepteur)

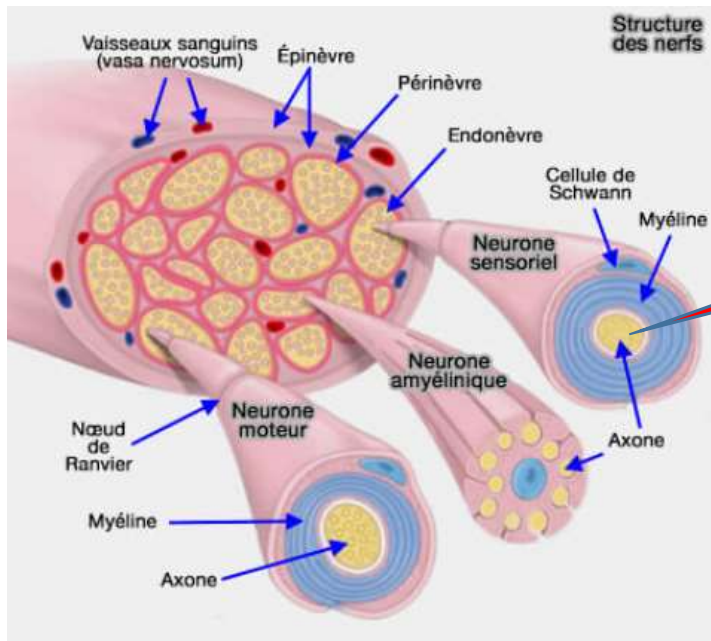
Ruffini

électrode

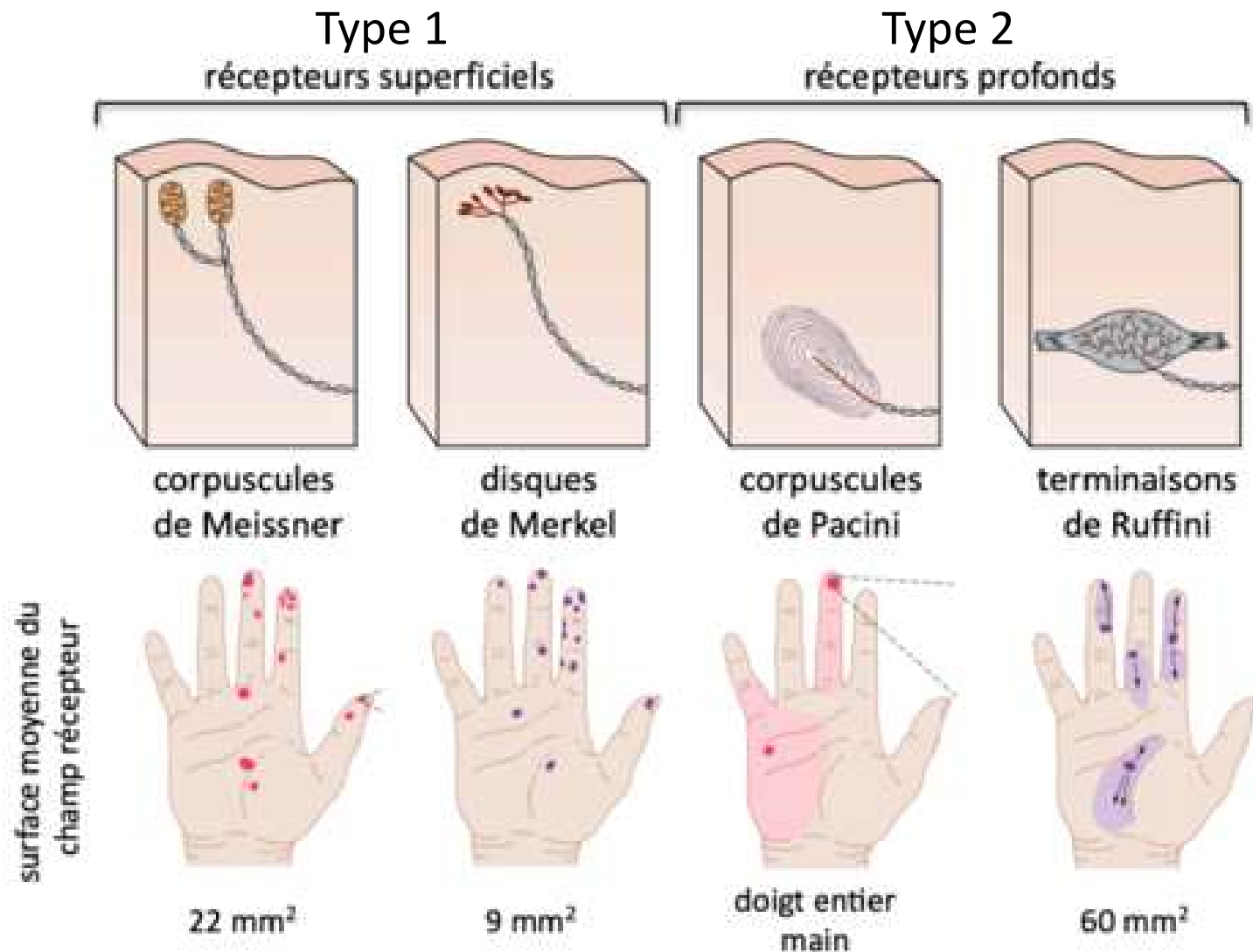
Nerf médian

Ligament annulaire

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



La taille des champs récepteurs varie selon le type de mécanorécepteur



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

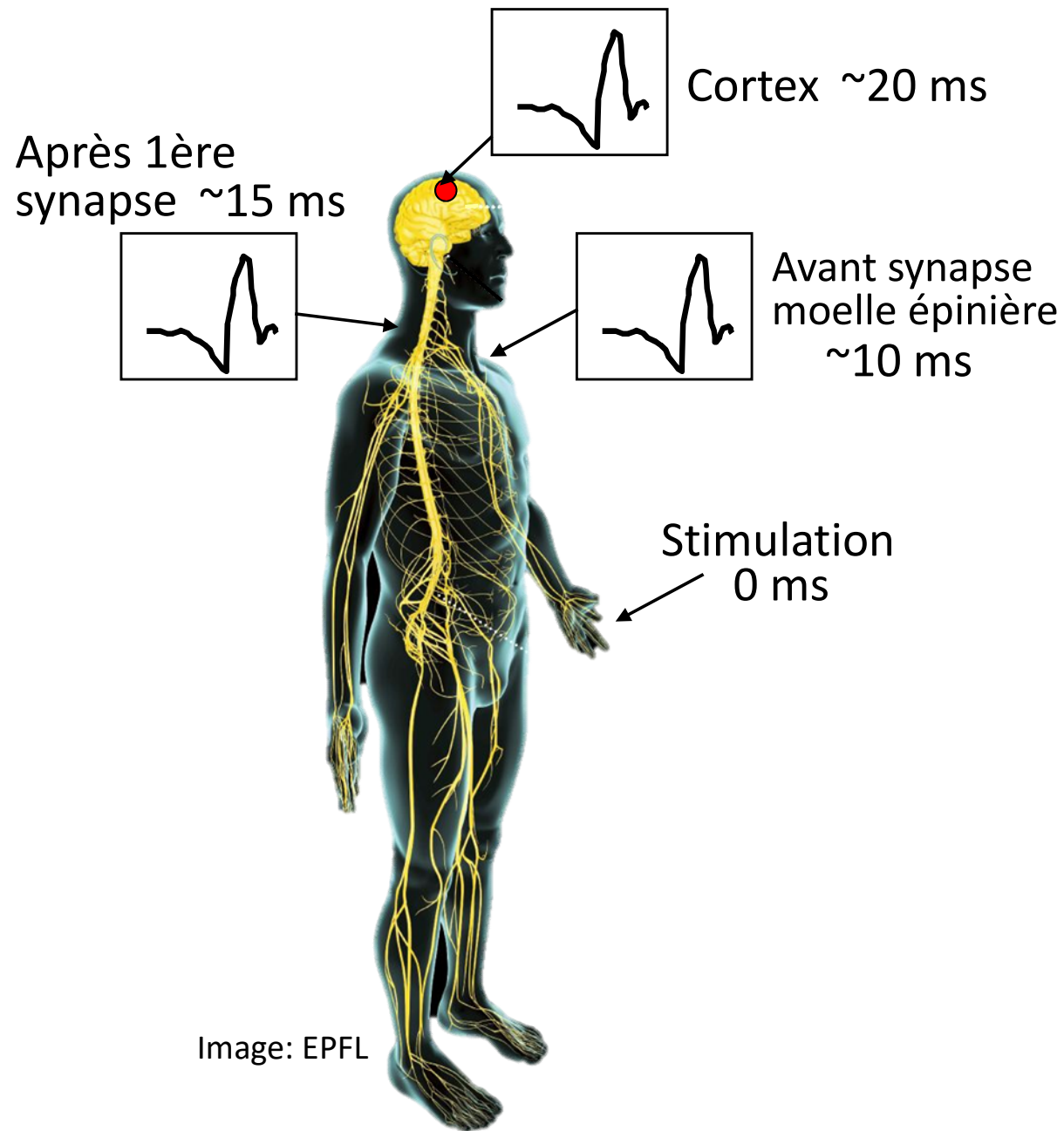
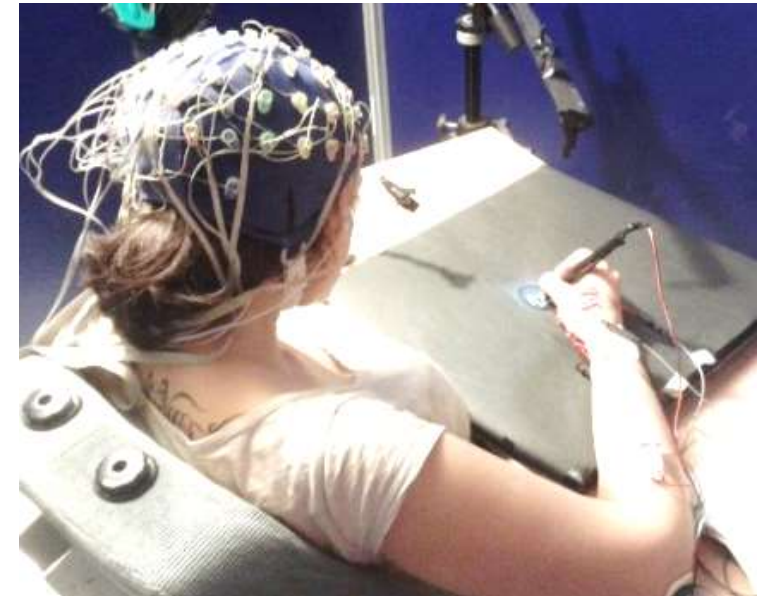


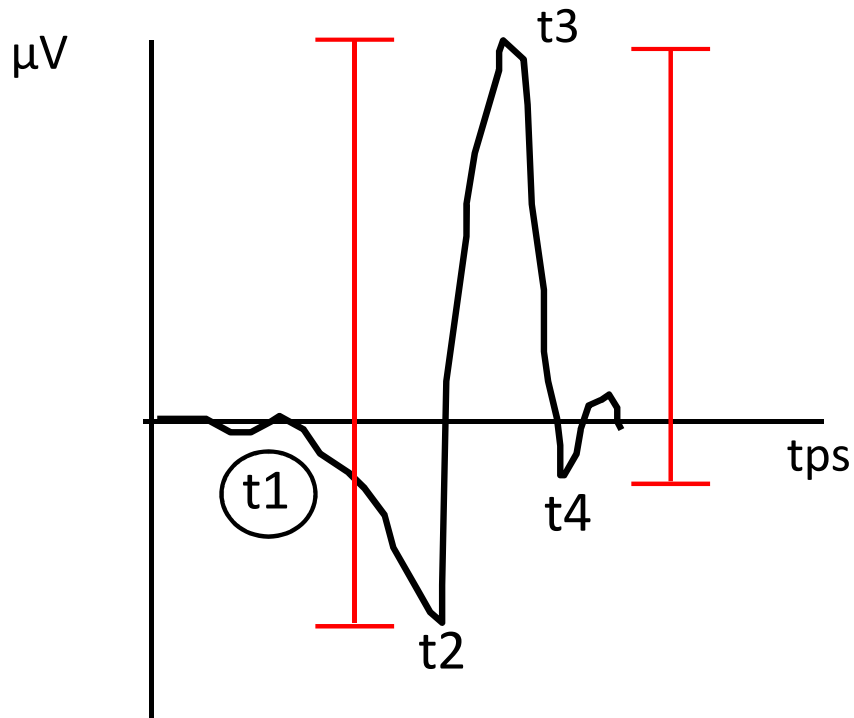
Image: EPFL

Electrodes de surface

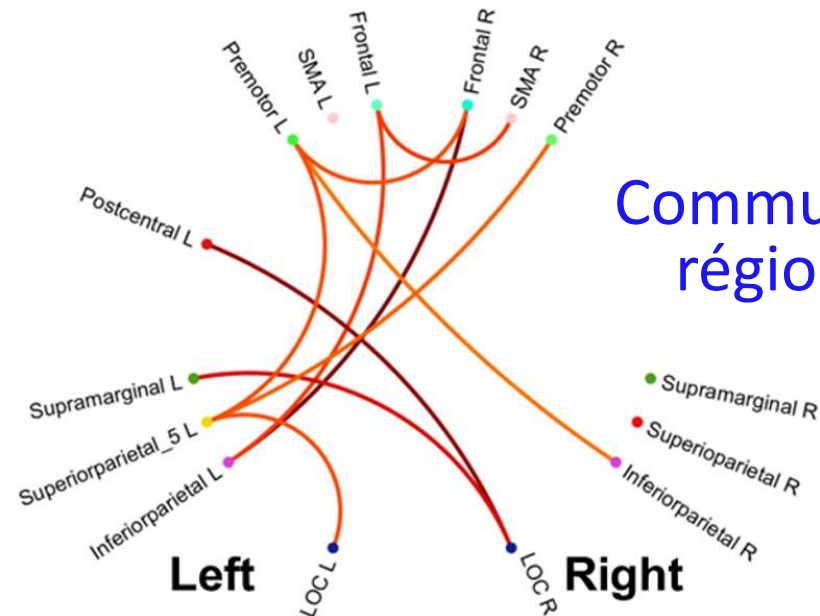
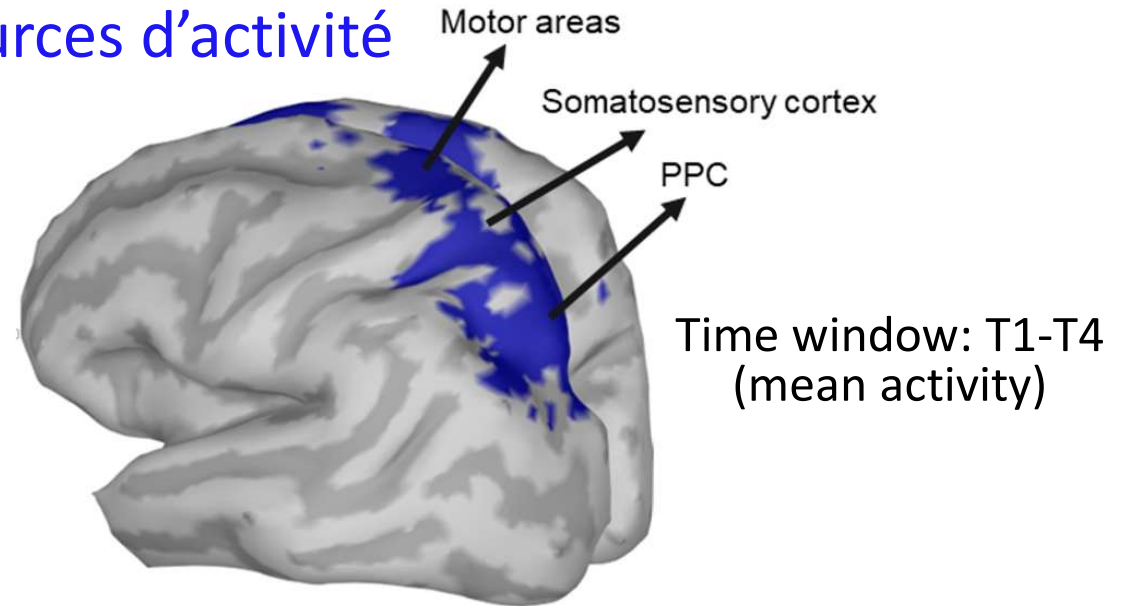


Exemples de variables d'intérêt

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)



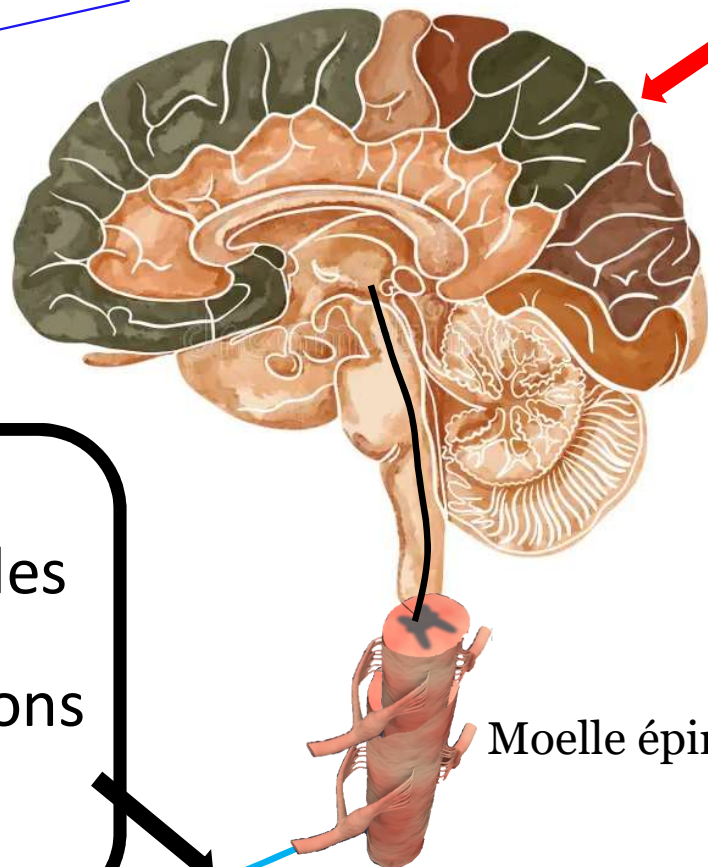
~30 000 €



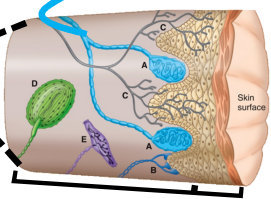
De manière générale

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

Nerf
Réponses proportionnelles aux fréquences et amplitudes des stimulations



Moelle épinière

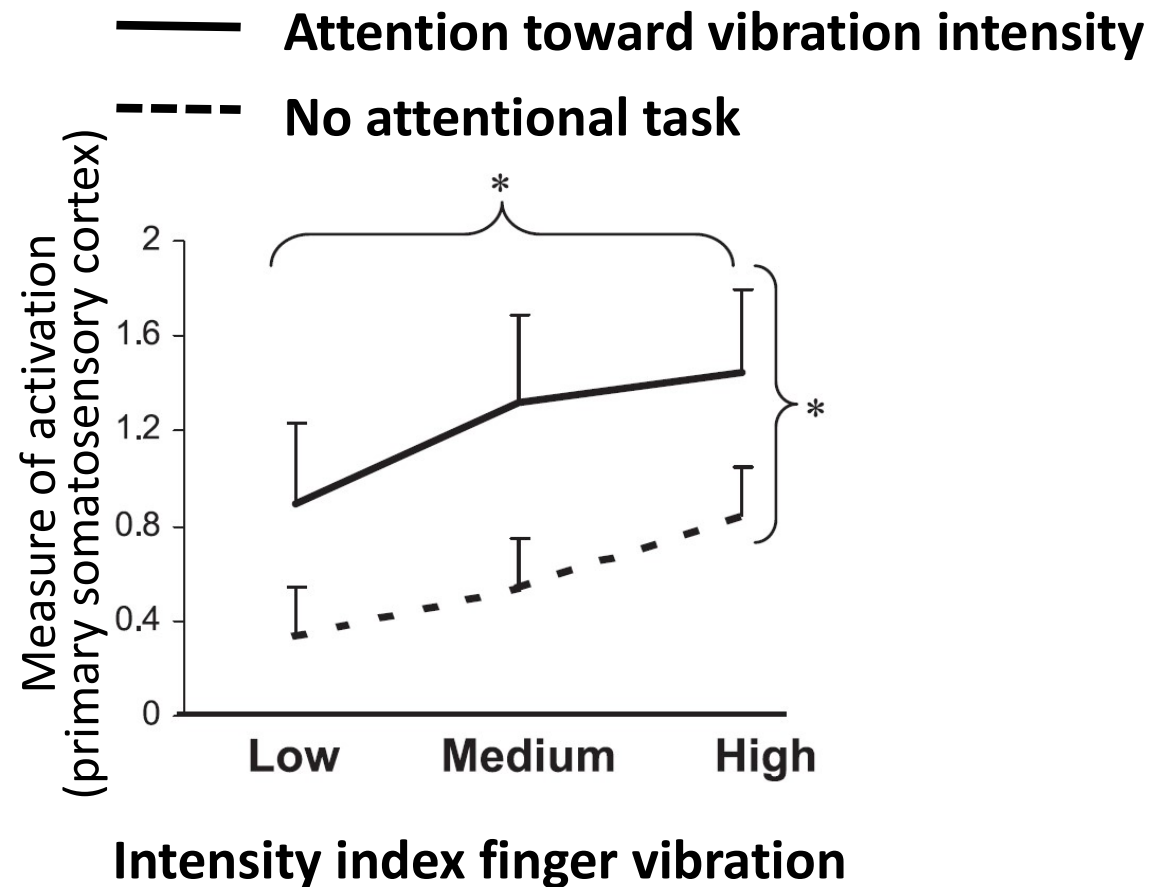
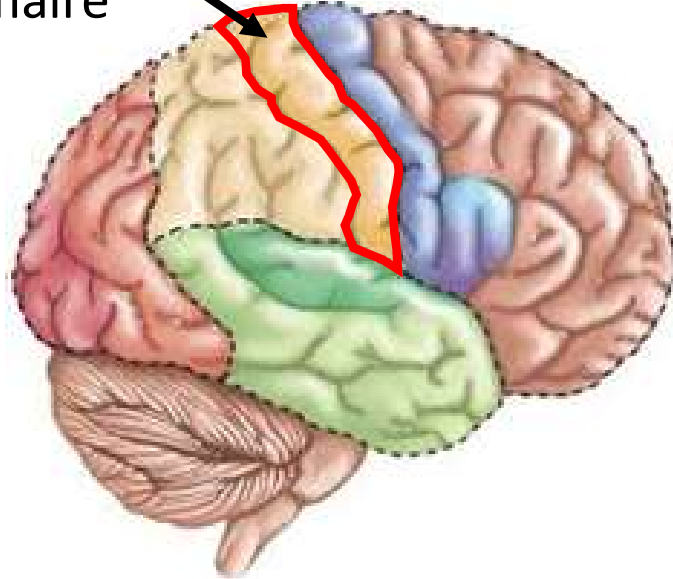


Mécanorécepteurs tactiles

1.5 mm

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

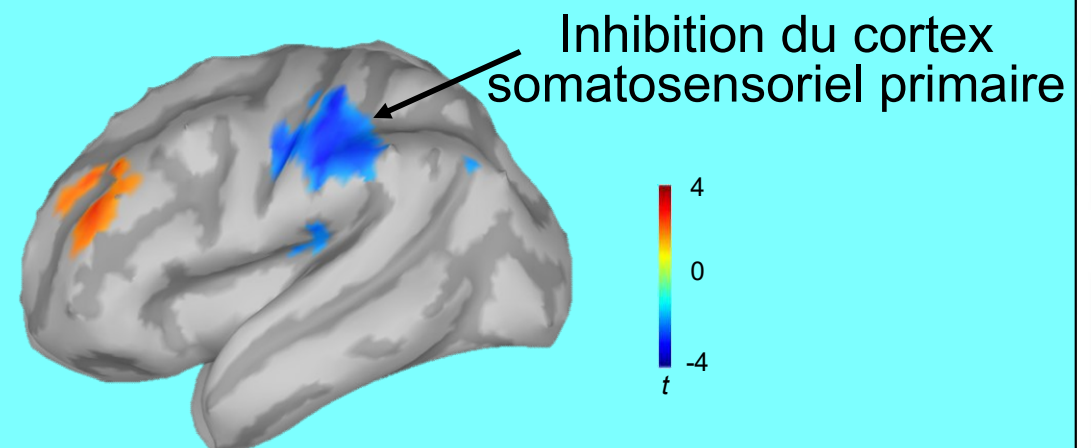
Cortex somatosensoriel primaire



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



Context: Conflit entre informations tactiles et visuelles

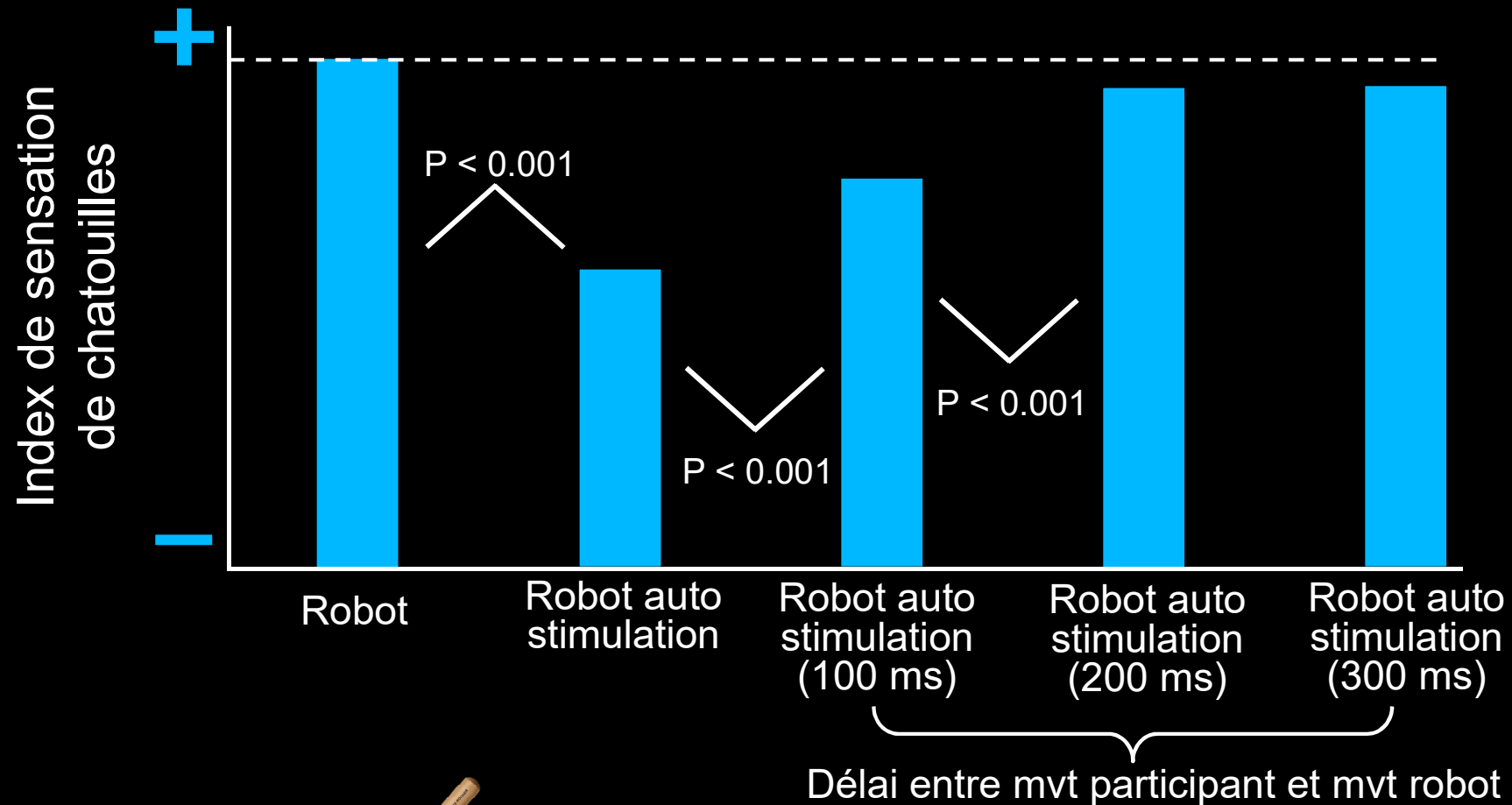


Vlachou et al. Scientific Reports 2025

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:**

La personne devant vous va appuyer sur
votre doigt. Vous devrez ensuite appuyer
sur son doigt avec la même force. Cette
personne fera de même, et ainsi de
suite...

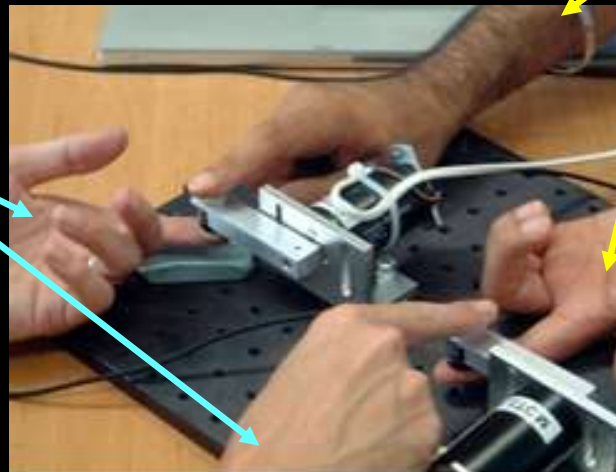


Expérimentateur 1

Participant 1

Participant 2

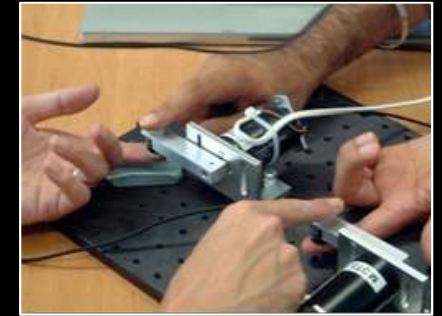
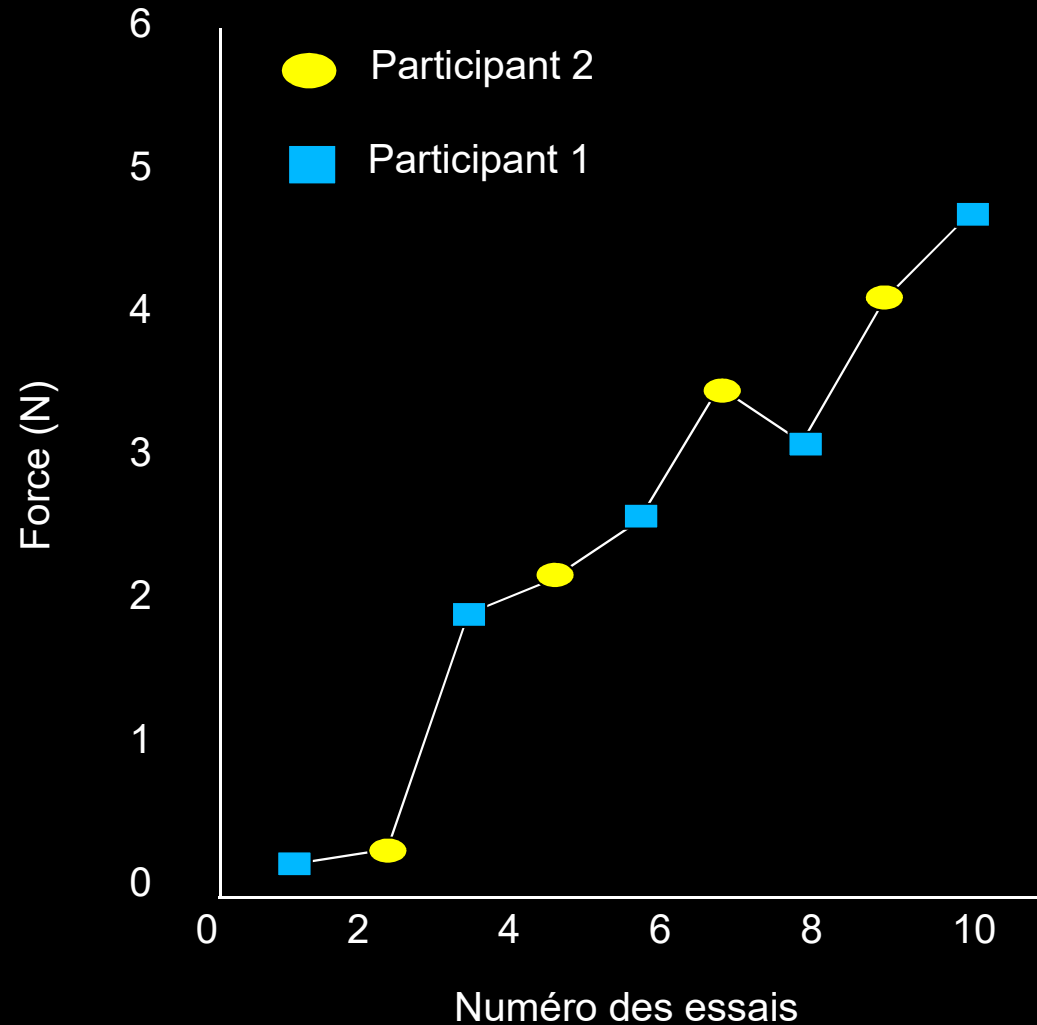
Expérimentateur 2



Prédiction
sensorielle



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



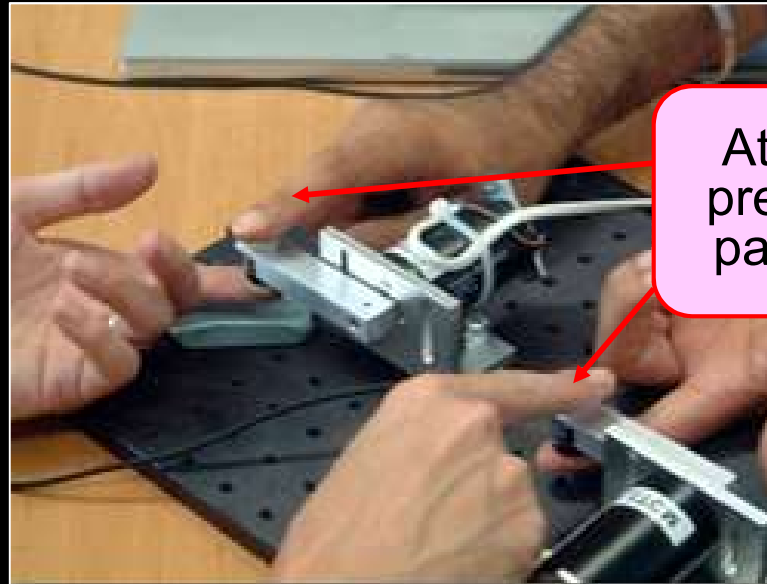
Prédiction
sensorielle



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

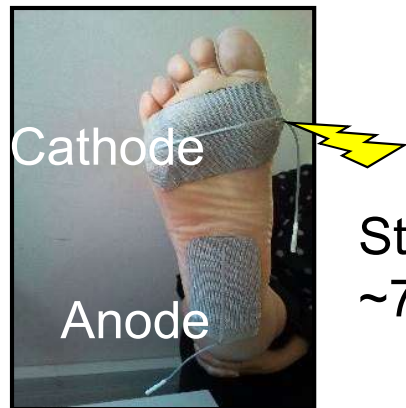
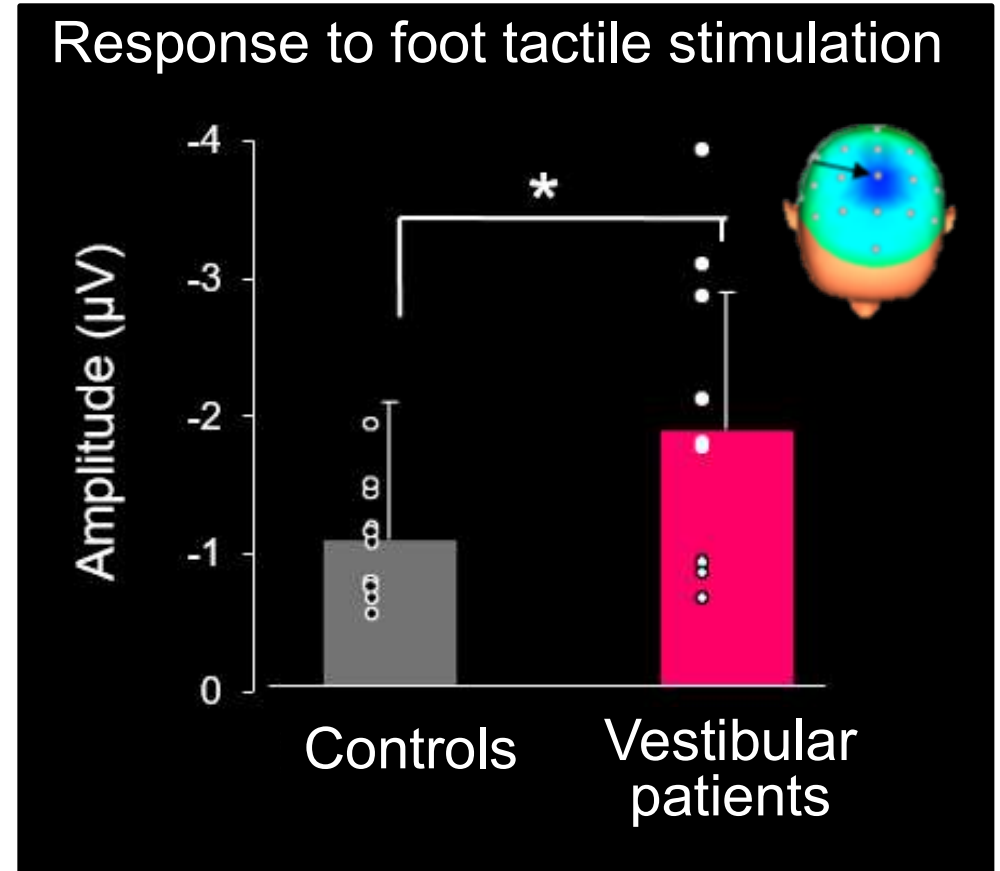
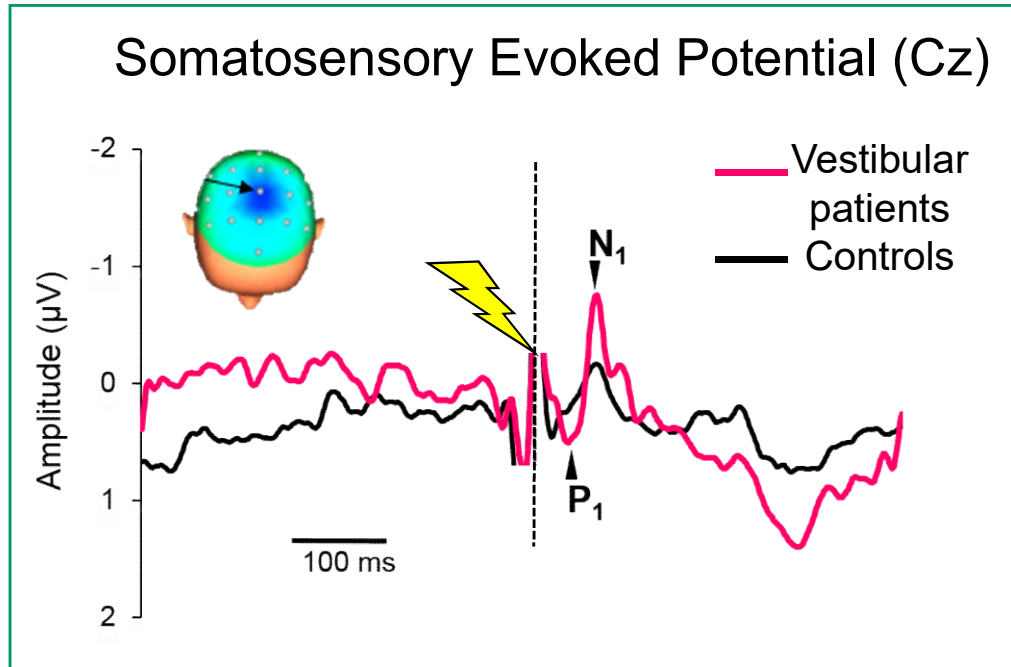


Nous avons l'impression de faire moins de bruit que ce que les autres entendent

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



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



Station debout, yeux ouverts
~7mA 10 ms pulse

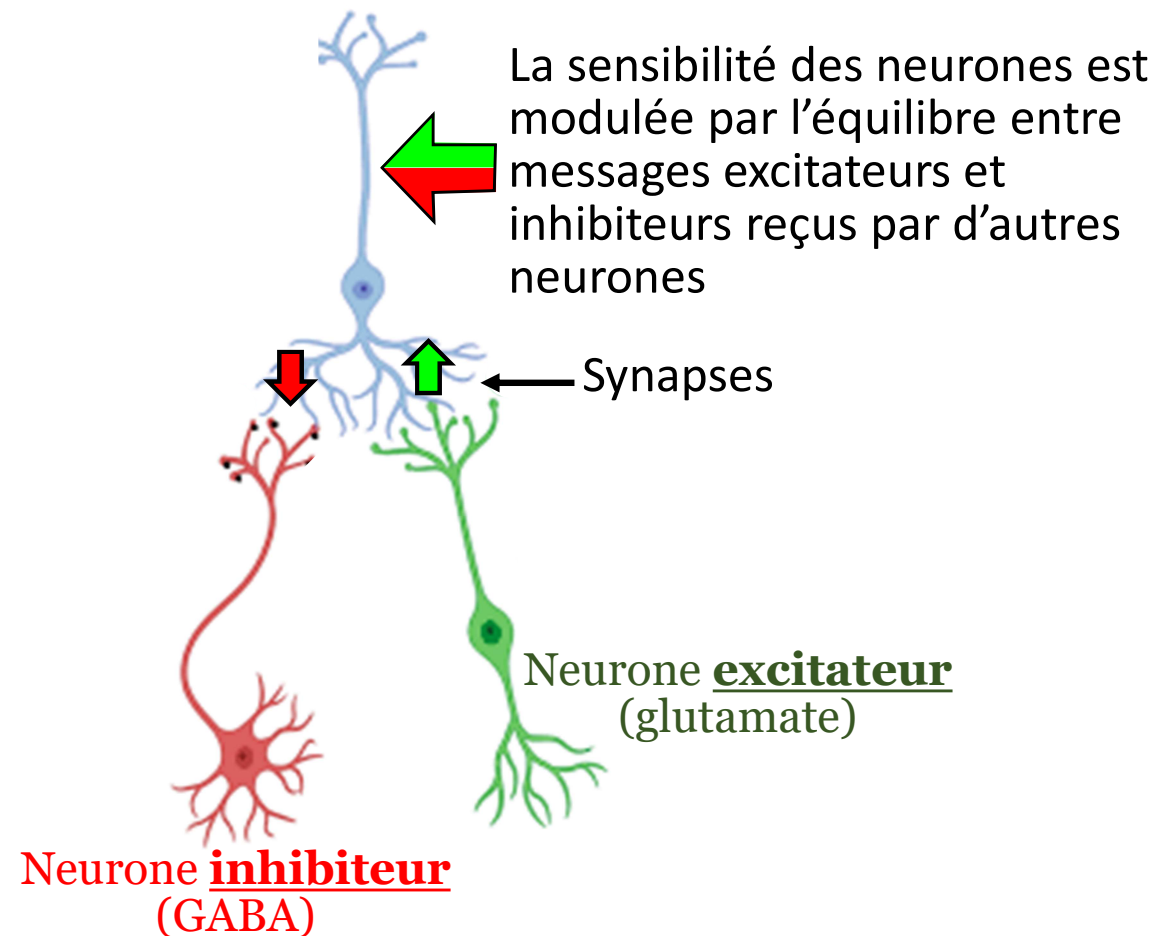
Mécanismes permettant de moduler les réponses tactiles



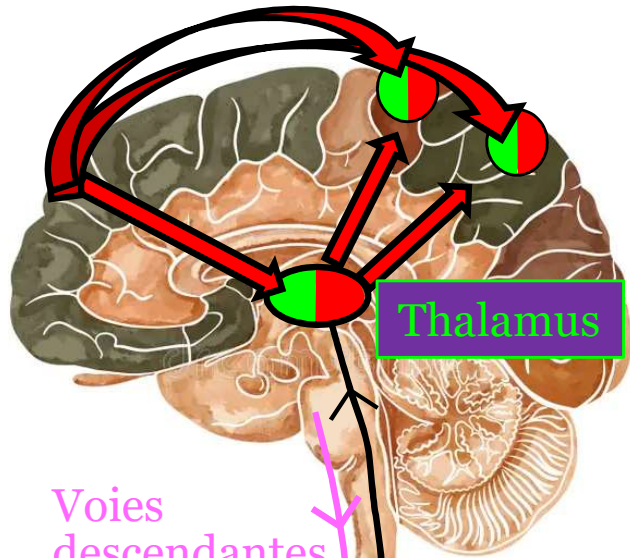
1. Inhibition neuronale
2. Facilitation neuronale
3. Substitution sensorielle
4. Suppression des informations prédites

1. INHIBITION NEURONALE

2. FACILITATION NEURONALE



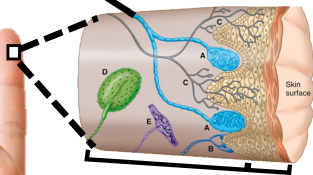
Le cortex frontal (attention, prise de décision, régulation des réponses motrices) module le traitement sensoriel d'autres régions cérébrales



Voies descendantes

Moelle épinière

Nerf

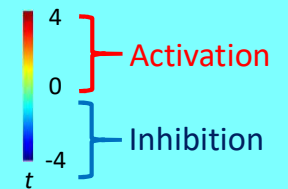
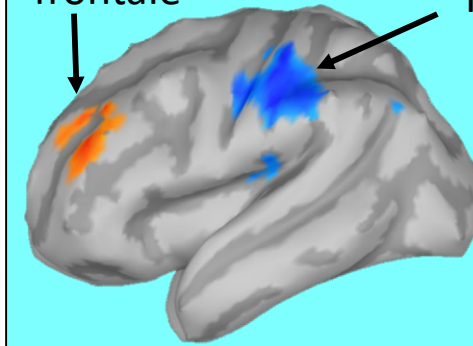


Mécanorécepteurs tactiles

Conflit entre les informations tactiles et visuelles

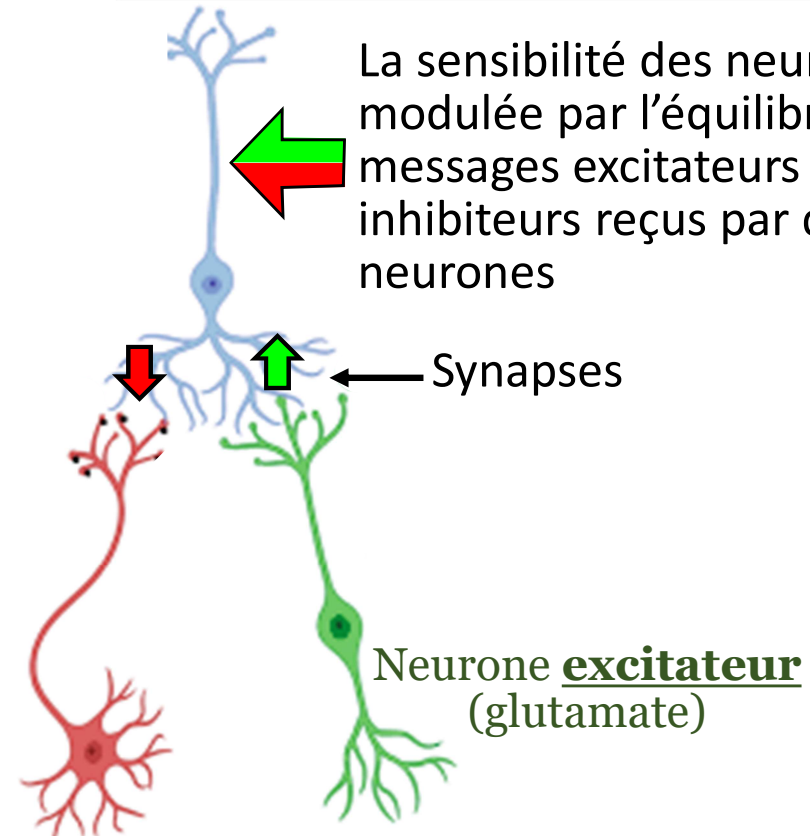
Activation frontale

Inhibition du cortex somatosensoriel primaire



Vlachou et al. Scientific Reports 2025

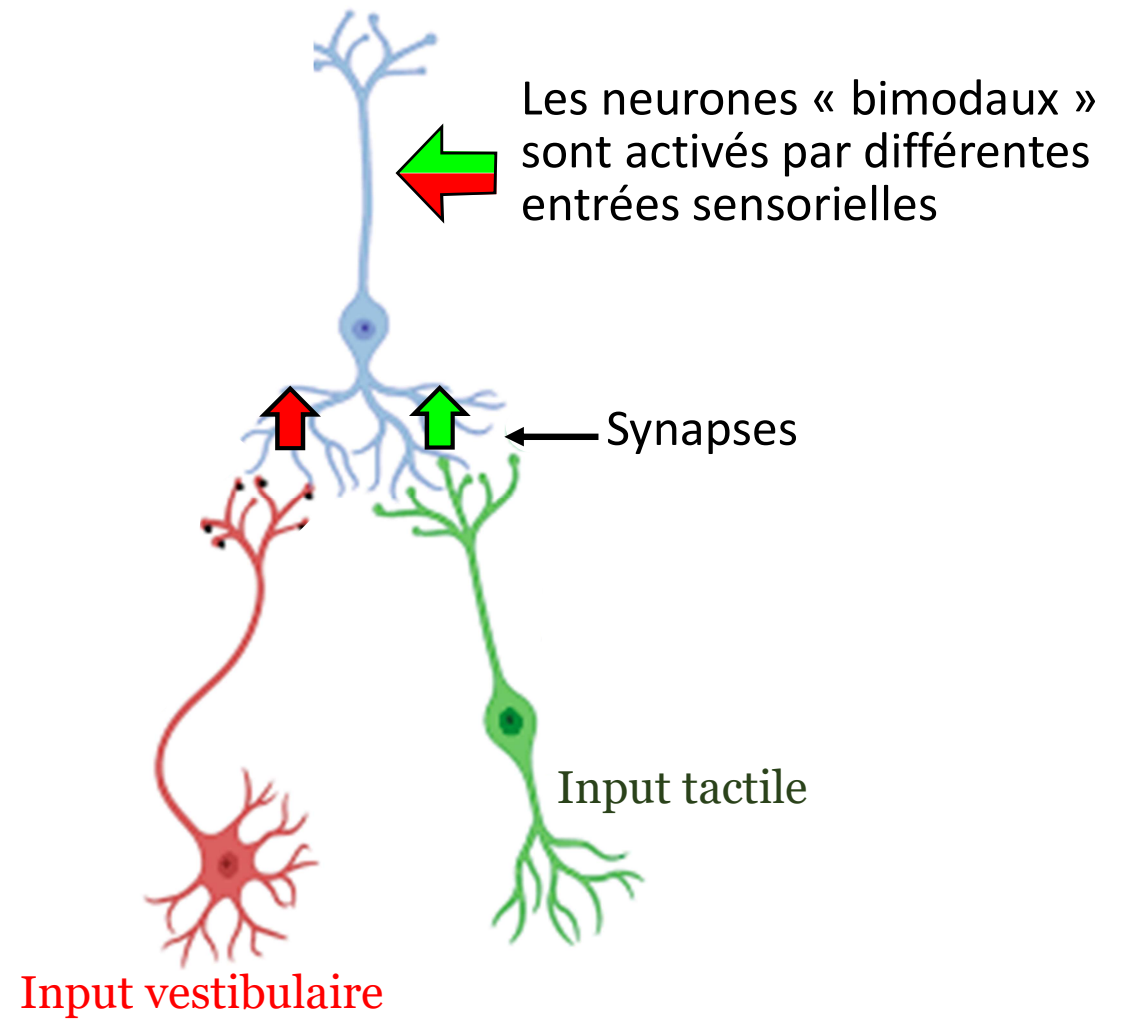
La sensibilité des neurones est modulée par l'équilibre entre messages excitateurs et inhibiteurs reçus par d'autres neurones



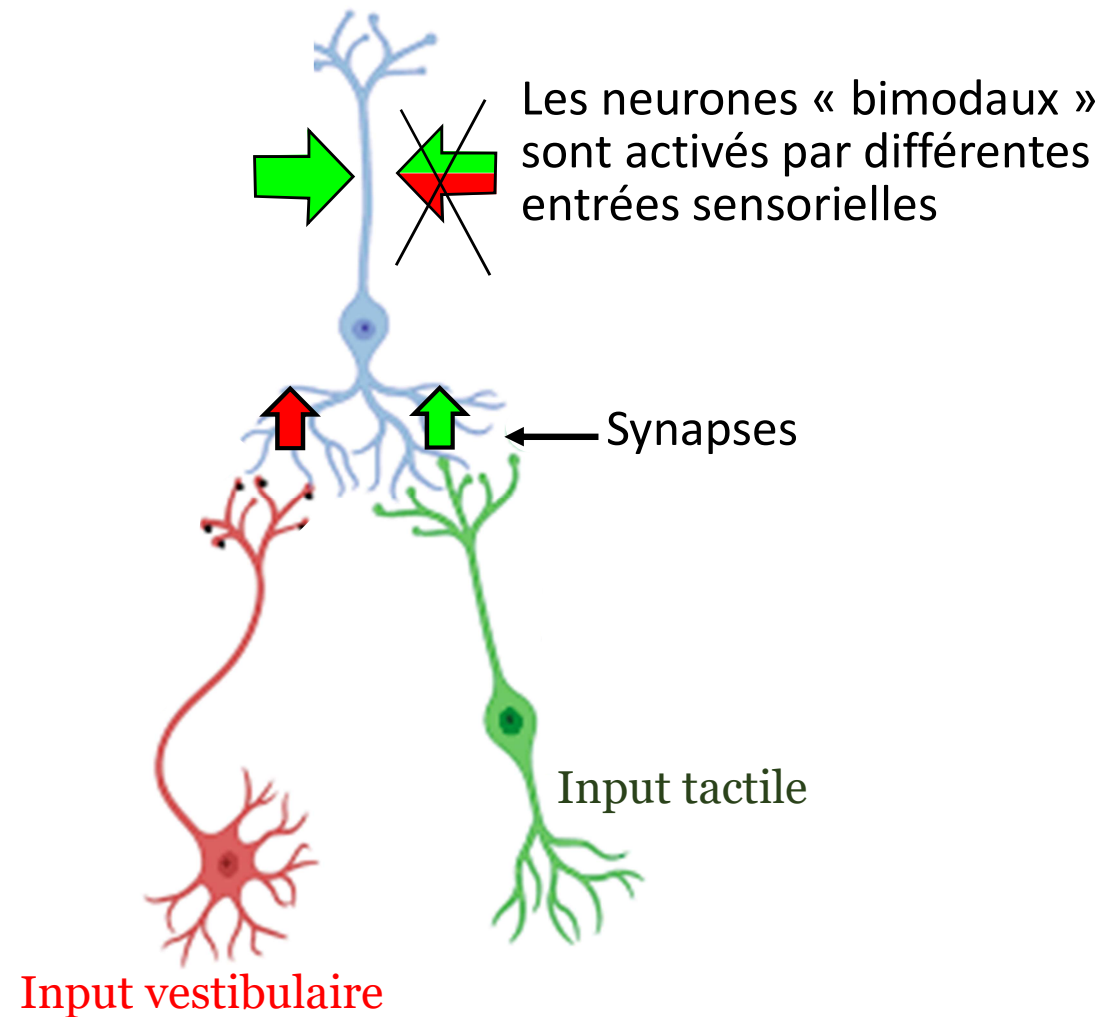
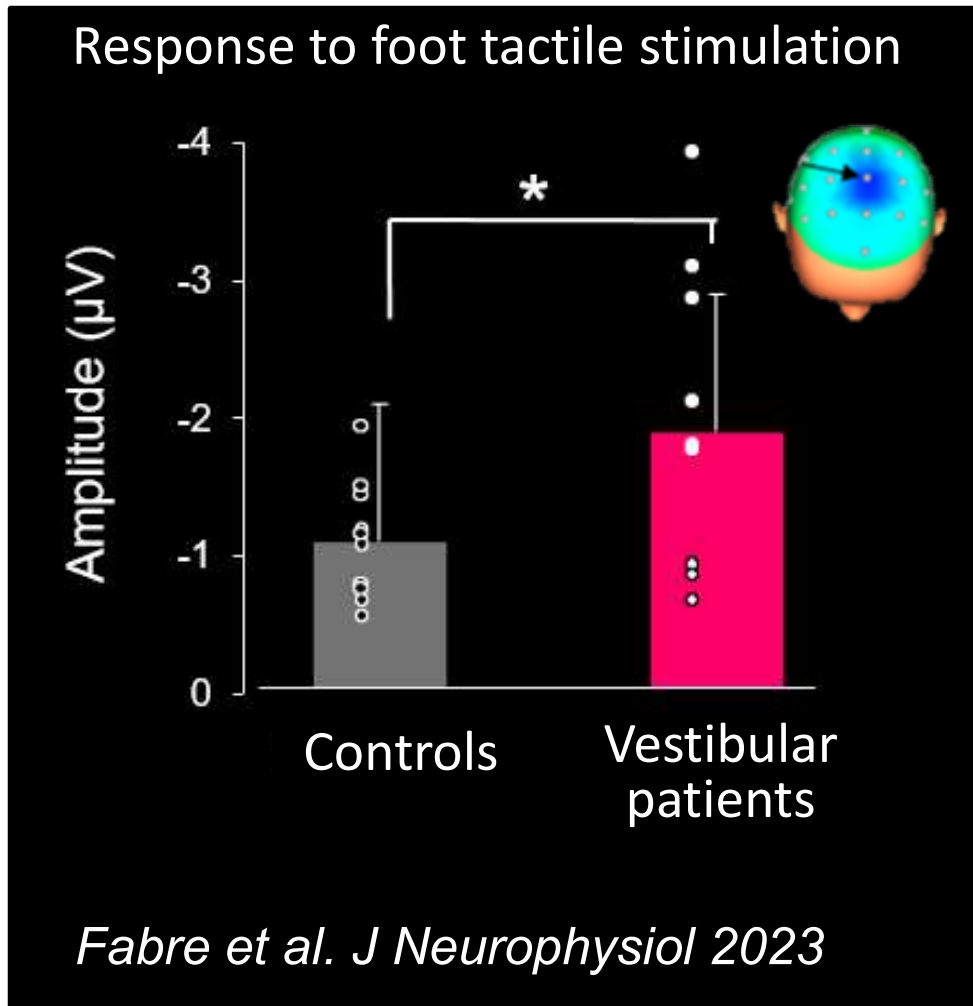
Neurone inhibiteur (GABA)

Neurone exciteur (glutamate)

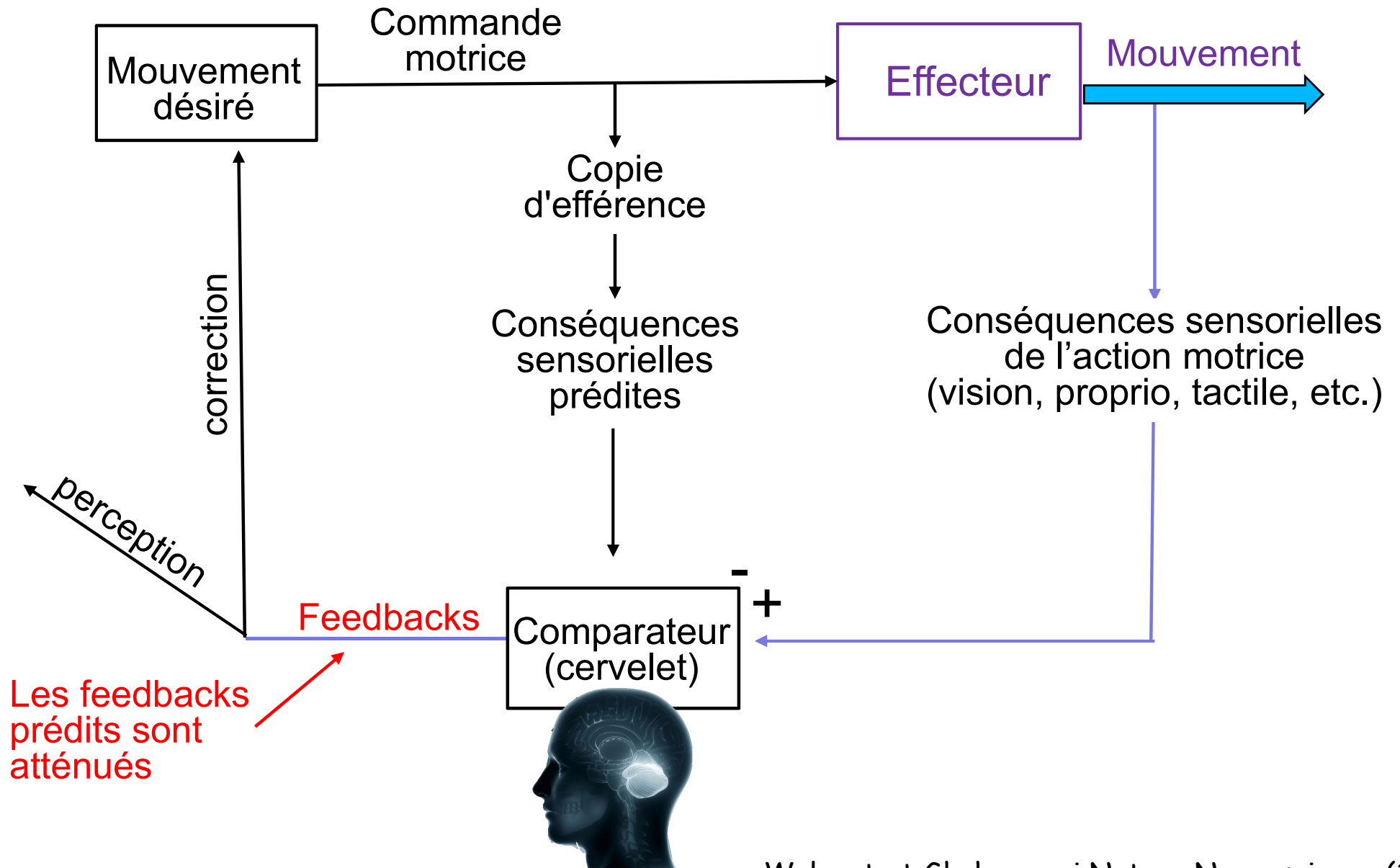
3. Substitution sensorielle



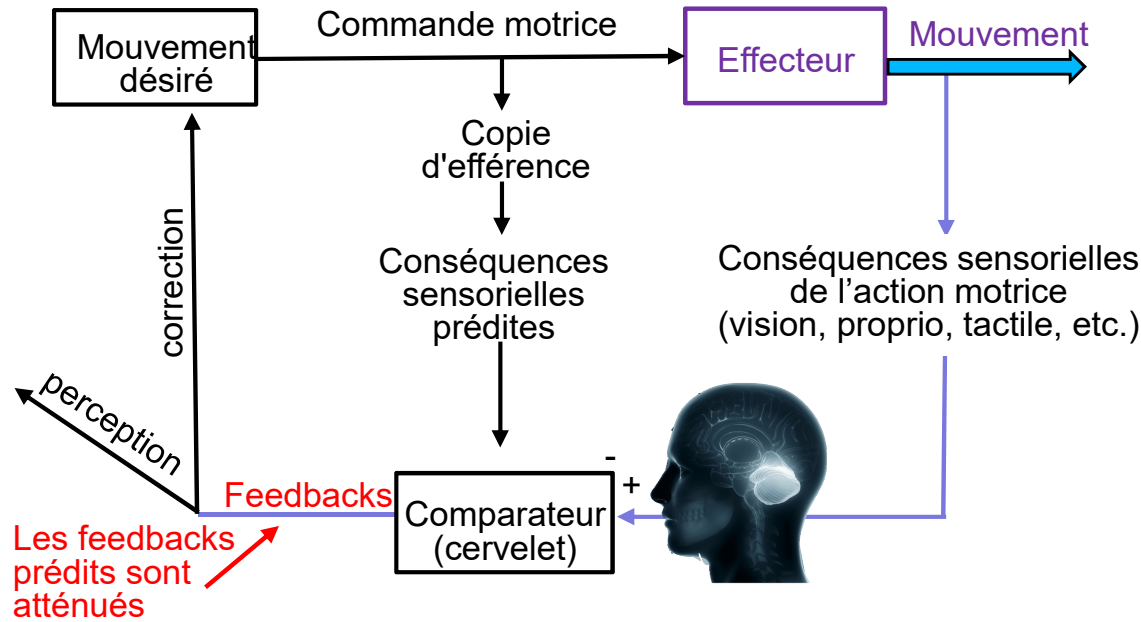
3. Substitution sensorielle



4. Suppression des informations tactiles prédites



4. Suppression des informations tactiles prédites



Blakemore et al. J Cognitive Neurosciences 1999

