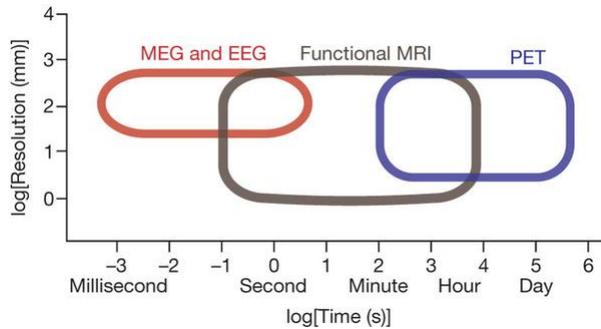


Une classification

→ Mesures **centrales** <> **périphériques**



→ Résolution **spatiale** <> **temporelle**: compromis !

Plan

3. Mesures quantitatives de variables physiologiques

1. Centrales

- 1.1 Imagerie anatomique
- 1.2 Imagerie fonctionnelle
- 1.3 Electrophysiologie

2. Périphériques

- 2.1 EMG
- 2.2 Dynamique
- 2.3 Cinématique
- 2.4 Mouvements oculaires

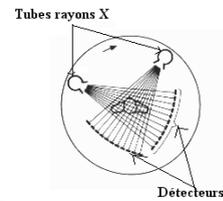
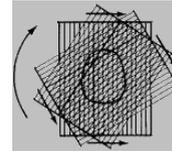
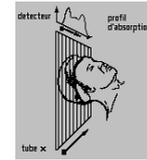
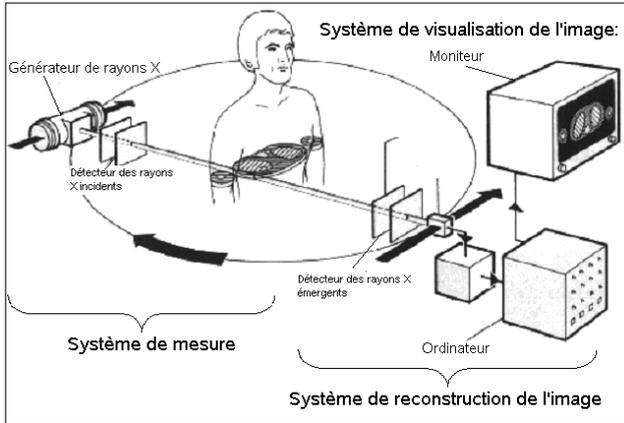
3. Un exemple de combinaison de méthodes

4. Traitement du signal

5. Un mot sur les questionnaires...

Imagerie anatomique : CT Scan

1. C(omputer) T(omography)-scan



- Contexte de lésions
- Rayons X
- Diagnostic de tumeurs, imagerie de l'os, ...

Imagerie anatomique : CT Scan

Avantages:

- Rapide: environ 5 min
- Prix: 1-3 k€
- Bon contraste pour tissus durs

Inconvénients:

- RX
- Peu précis
- Uniquement anatomique
- Bouger le patient

Mais nouveaux développements (windowing etc)

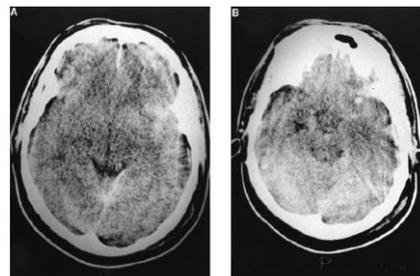


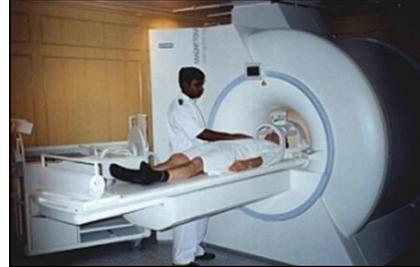
Fig. 1 (A) Enhanced CT scan image showing low density abnormalities bilaterally frontally. Orbitofrontal cortex was damaged on both sides. (B) Enhanced CT scan image showing low density abnormalities in the left temporal lobe. On the left side, the slices was of a slightly lower density and the left bones was not visible. This was taken to indicate that the left amygdala was also abnormal.

Imagerie anatomique: RMN

2. Résonance magnétique nucléaire

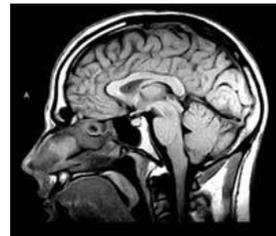
Avantages:

- Pas besoin de bouger le patient
- Pas d'effets néfastes de B
- Résolution en contraste
- Bon contraste pour tissus mous

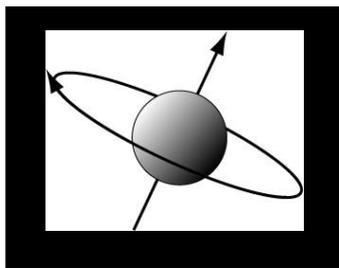


Inconvénients:

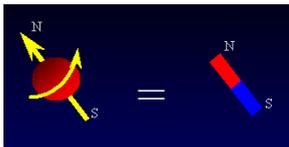
- Lent: enviro 30 min
- Prix: 1-4 k€
- Inconfort dû aux bruit et confinement
- Sécurité...



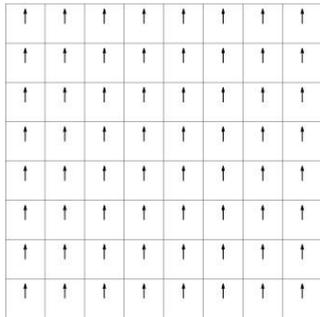
RMN: Spin nucléaire



- Les noyaux atomiques sont en rotation autour d'un axe
- Pour MRI classique, on prend des noyaux d' $H_2 = p^+$
- En MRI spectroscopique, on peut mesurer d'autres noyaux

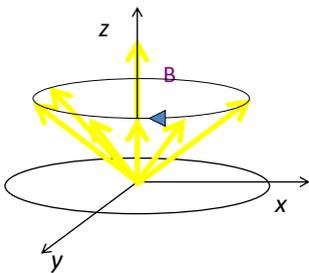


RMN: Spin nucléaire



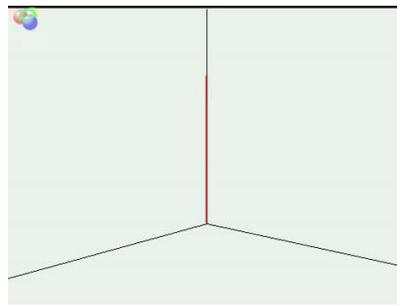
- Normalement, l'orientation des spins est aléatoire
- Dans un champ magnétique fort (B_0), les spins s'alignent
- En conséquence, il y a une magnétisation nette en moyennant sur un grand nombre de noyaux (10^6 !)

RMN: Fréquence de Larmor

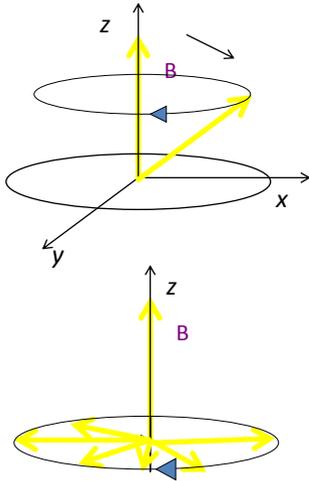


- Composante longitudinale et transverse
- Seule la composante transverse est en rotation, à la fréquence de Larmor : **précession**
- Fréquence de Larmor = $f(\text{propriétés physiques du noyau}, B_0)$

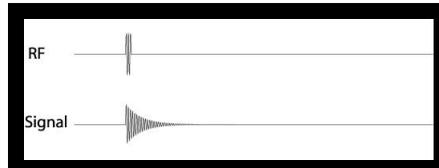
A 3T, les protons libres précessent à ~120 MHz



RMN: Free Induction Decay

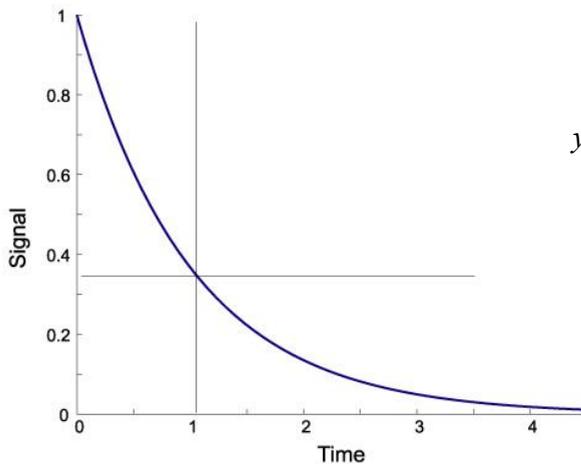


- Pour basculer le vecteur dans le plan XY, on applique un signal à la fréquence de Lamor
- Ce pulse doit être appliqué à 90deg pour maximiser le signal
- Le signal de précession peut être détecté par une antenne



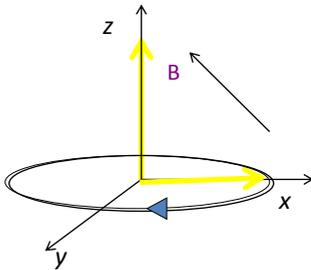
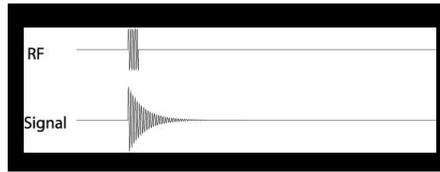
RMN: Décroissance exponentielle

Amplitude du signal décroît avec le temps.



$$y = e^{(-t/T)}$$

RMN: Temps de relaxation T1

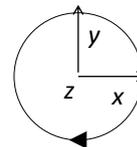
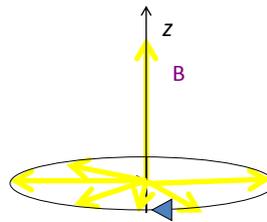
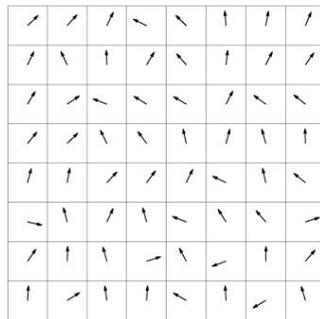
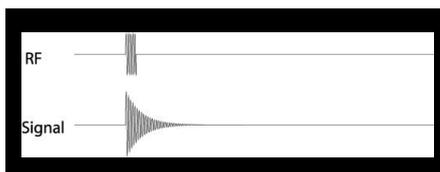


• T1: Combien de temps prend un noyau pour se réaligner ?

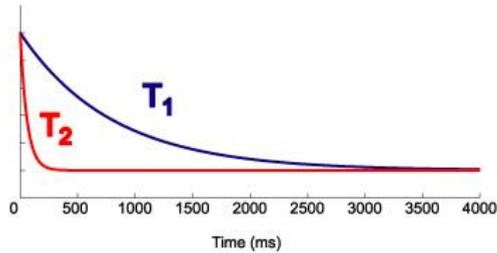
A 3T

- 5500 ms Water
- 1200 ms Gray Matter
- 860 ms White Matter

RMN: Temps de relaxation T2

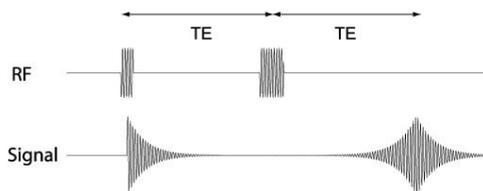


RMN: Temps de relaxation T2



- T2 relaxation dépend de la vitesse de déphasage des spins
- T2 est beaucoup plus court que T1 (80 ms vs. 800 ms)
- T2 a deux composantes:
 1. T2 "propre": fluctuations aléatoires autour de la fréquence de Larmor
 2. T2*: T2 + fluctuations systématiques dans la fréquence de Larmor dues à des inhomogénéités

RMN: Spin Echo



- D'abord appliquer un RF 90 deg
- Le signal se détériore (T2 et T2*)
- Refocaliser les magnétisations transverses par un train de RF à 180 deg
- ... jusqu'à un certain point
- TE: durée entre 2 pulses consécutifs (Time of Echo)
- TR: Time of Repetition

RMN: timing, timing, timing

Propriétés des matériaux

T1: Relaxation le long de B0

T2: Déphasage suite à des fluctuations aléatoires

T2*: Déphasage suite à des fluctuations systématiques

Constantes de temps du Scan

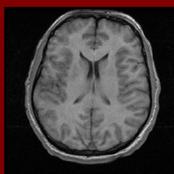
TR: Durée entre pulses d'excitation

TE: Durée entre pulse de 180 deg et l'écho mesuré

RMN: contrastes

	T1	T2
Air		
Mat grise		
Mat blanche		
Graisse		
CSF		

T_1 Weighted Image

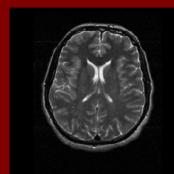


	T_1/s	R_1/s^{-1}
white matter	0.7	1.43
grey matter	1	1
CSF	4	0.25

1.5T

SPGR, TR=14ms, TE=5ms, flip=20°

T_2 Weighted Image



	T_2/ms
CSF	500
grey matter	80-90
white matter	70-80

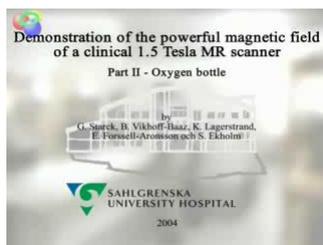
1.5T

SE, TR=4000ms, TE=100ms

Imagerie anatomique: RMN

Terre: 30 μ T
Aimant: 0.01 T
MRI: 1-7 T

→ 5 ordres de grandeur !



Plan

3. Mesures quantitatives de variables physiologiques

1. Centrales

- 1.1 Imagerie anatomique
- 1.2 Imagerie fonctionnelle
- 1.3 Electrophysiologie

2. Périphériques

- 2.1 EMG
- 2.2 Dynamique
- 2.3 Cinématique
- 2.4 Mouvements oculaires

3. Un exemple de combinaison de méthodes

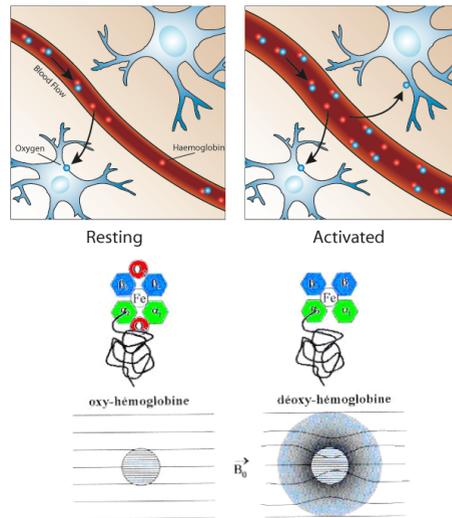
4. Traitement du signal

5. Questionnaires...

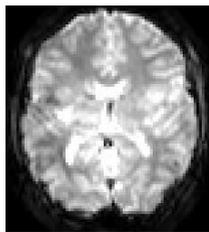
Imagerie fonctionnelle: fMRI

1. Functional Magnetic Resonance Imaging

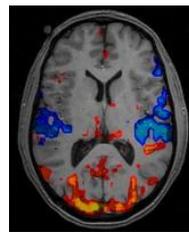
- Débit sanguin varie en fonction de l'activité cérébrale
- Hémoglobine amène l'oxygène aux neurones (dia-magnétique si O_2 , paramagnétique sinon)
- Changement local du champ magnétique
- BOLD: Blood Oxygenation Level Dependent



Imagerie fonctionnelle: fMRI

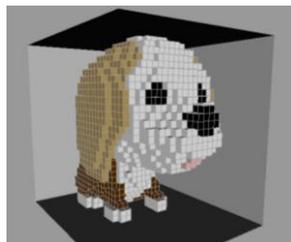


Voxel = 3D pixel



Condition A > Condition B

Condition B > Condition A



- Interaction sujet ↔ expérimentateur
- Stimuli et artefacts
- Moyennage

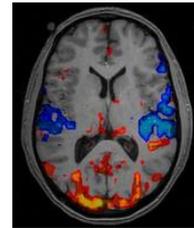
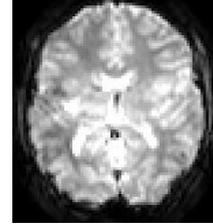
Imagerie fonctionnelle: fMRI

Avantages:

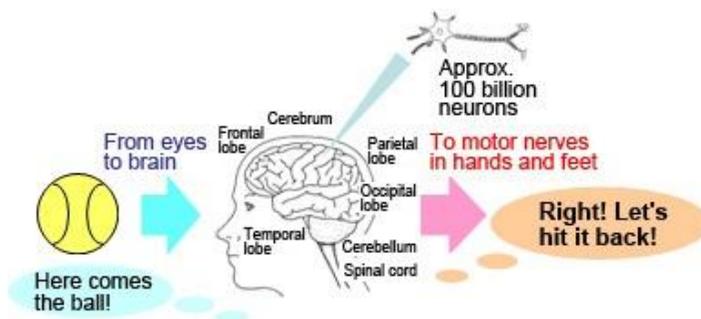
- Signal interne
- Bonne résolution spatiale (<1mm)

Inconvénients:

- Lent: env. 30 min
- Prix: 20 M€ par scanner
- Résolution temporelle
- Inconfort dû aux bruit et confinement
- Sécurité...

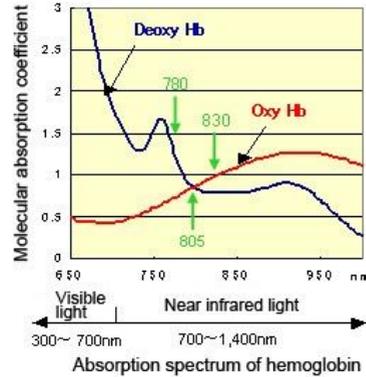
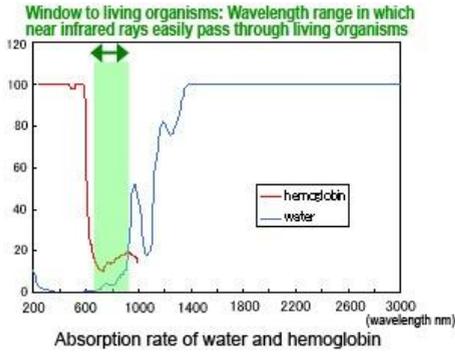


Imagerie fonctionnelle: fNIRS



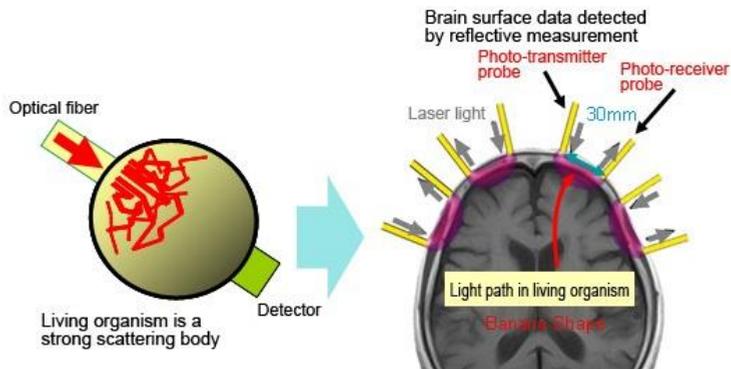
- Oxygenated hemoglobin (**oxyHb**) supplies oxygen via capillary vessels.
- NIRS can measure these reactions in RT.

Imagerie fonctionnelle: fNIRS



- Hemoglobin scatters light which can be caught by NIRS
- Light in these wavelength ranges cannot internally penetrate living organisms (low absorption rate).

Imagerie fonctionnelle: fNIRS



- Brain irradiated by NI light via optical fiber
- Light, after being absorbed and scattered at the cerebral cortex, is condensed by optical fiber again at a distance of 3cm from the surface of the head
- Scattered light reaches the optical fiber in the light receiving probe, and is then guided to a photomultiplier where it is converted to electrical signals

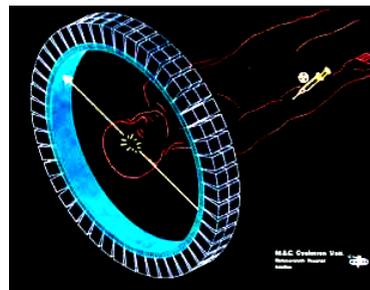
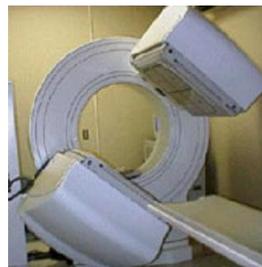
Imagerie fonctionnelle: fNIRS



Imagerie fonctionnelle: PET-Scan

2. Positron Emission Tomography

- Mesure de la radioactivité émise par des traceurs (F18, C11, O15 etc)
- Injection intra veineuse isotope choisi (ex. ^{15}O)
- ^{15}O diffuse dans le sang et atteint le cerveau
- Mesure indirecte du flux sanguin qui reflète l'activité cérébrale



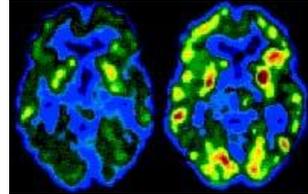
Imagerie fonctionnelle: PET-Scan

Avantages:

- Origine physiologique du signal connue
- Bonne résolution spatiale (<4mm)

Inconvénients:

- Cher: env 5 k€ par scan
- Résolution temporelle (1 min)
- Radiations
- Disponibilité des isotopes



Plan

3. Mesures quantitatives de variables physiologiques

1. Centrales

- 1.1 Imagerie anatomique
- 1.2 Imagerie fonctionnelle
- 1.3 *Electrophysiologie*

2. Périphériques

- 2.1 EMG
- 2.2 Dynamique
- 2.3 Cinématique
- 2.4 Mouvements oculaires

3. Un exemple de combinaison de méthodes

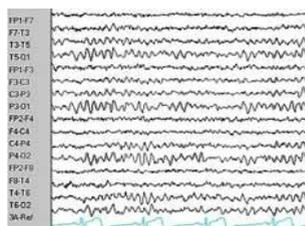
4. Traitement du signal

5. Questionnaires...

Electrophysiologie: EEG et ERP

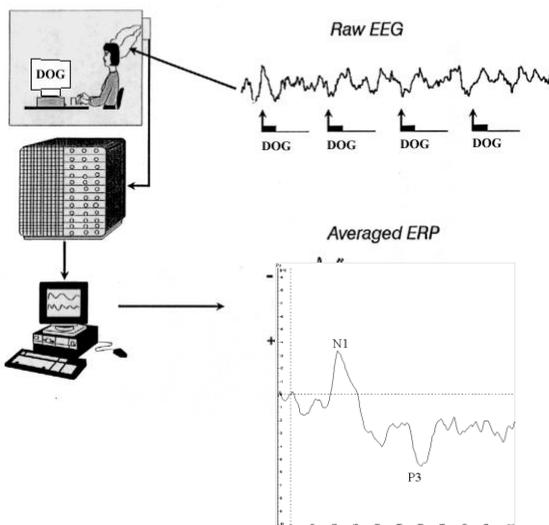
1. ElectroEncephaloGramme et Event Related Potentials

- Mesure du potentiel électrique (ordre de quelques microvolts)
- 1er EEG : 1929 Hans Berger
- Décours temporel de l'activité électrique en réponse à un stimulus spécifique (ERP) ou durant un état (ex: activité alpha)



Electrophysiologie: EEG et ERP

Event-Related Potential Technique



Electrophysiologie: EEG et ERP

Avantages:

- Mesure directe de l'activité neuronale
- Bonne résolution temporelle (<ms)
- Non invasif
- Facile à utiliser
- Pas cher

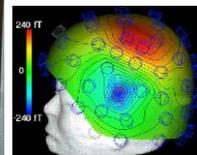
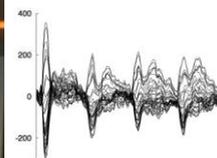
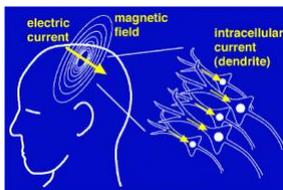
Inconvénients:

- Résolution spatiale

Electrophysiologie: MEG

2. MagnetoEncephaloGramme

- Mesure du signal magnétique généré par le cerveau (10-13 T)
- Courant induit par min 50000 neurones (même direction => cellules pyramidales)
- 1er MEG : 1968 Cohen MIT



Electrophysiologie: MEG

Avantages:

- Mesure directe de l'activité neuronale
- Bonne résolution temporelle (<ms)
- Non invasif
- Excellente résolution spatiale

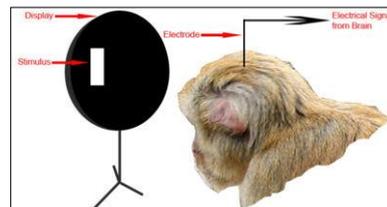
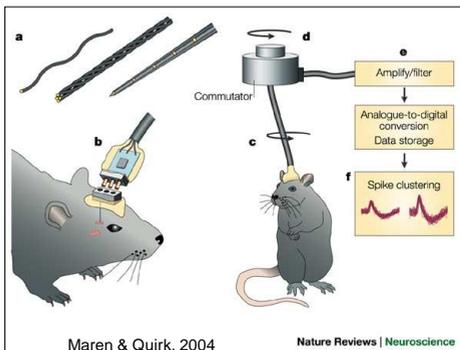
Inconvénients:

- Très cher
- Peu répandue



Electrophysiologie: activité neuronale

3. Single Unit Recording



Electrophysiologie: activité neuronale

Avantages:

- Enregistrement d'un neurone unique
- Bonne résolution temporelle (<ms)
- Synchronisation inter neuronale
- Excellente résolution spatiale
- Enregistrement durant expérience (éveil et actif)

Inconvénients:

- Invasif... non douloureux... analyse post mortem
- Entraînement très long

Plan

3. Mesures quantitatives de variables physiologiques

1. Centrales

- 1.1 Imagerie anatomique
- 1.2 Imagerie fonctionnelle
- 1.3 Electrophysiologie

2. Périphériques

- 2.1 EMG
- 2.2 Dynamique
- 2.3 Cinématique
- 2.4 Mouvements oculaires

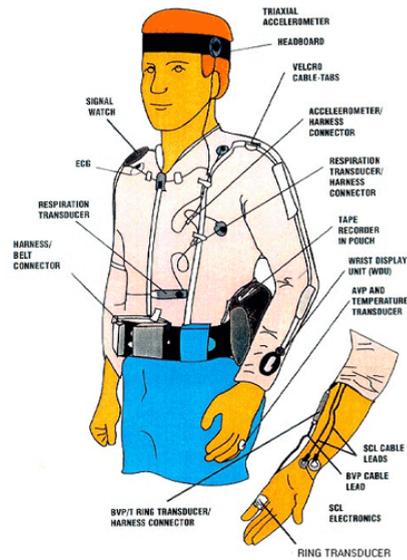
3. Un exemple de combinaison de méthodes

4. Traitement du signal

5. Questionnaires...

Mesures périphériques

- Electrocardiogramme
- Respiration
- Electromyogramme
- ...



39

Mesures périphériques

Avantages:

- Non-invasif (?)
- Facile à utiliser
- Prix variable en fonction des besoins
- Interprétation plus facile

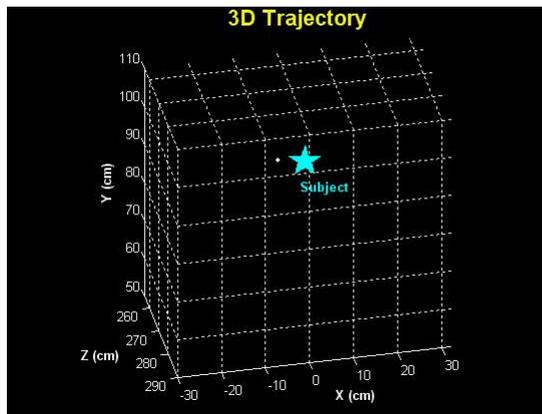
Inconvénients:

- Non spécifiques

Cinématique



- Systèmes passifs et actifs
- Interfaces avec PC
- Pre-traitements possibles



Dynamique

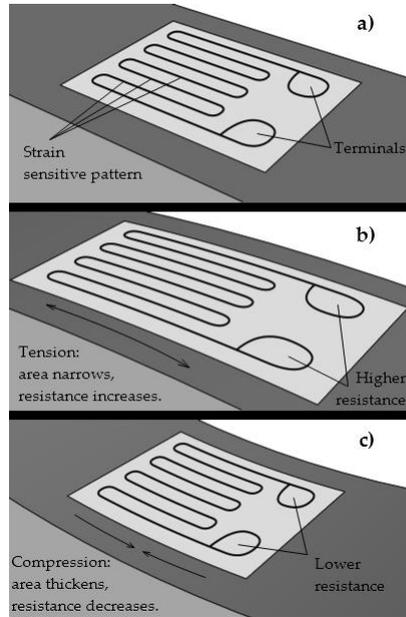
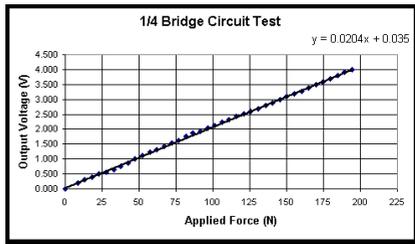
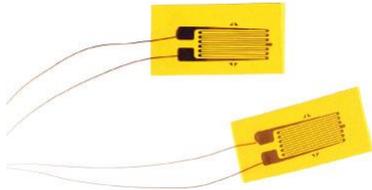
Capteurs multi-axiaux de forces et couples

- Très utilisé dans des études comportementales (*coordination GF/LF, locomotion, ...*)
- 3 axes mesurés: $F_x - F_y - F_z$ et $T_x - T_y - T_z$
- Résistance mécanique importante
- Précis
- Faible encombrement
- Thermistance
- Principe

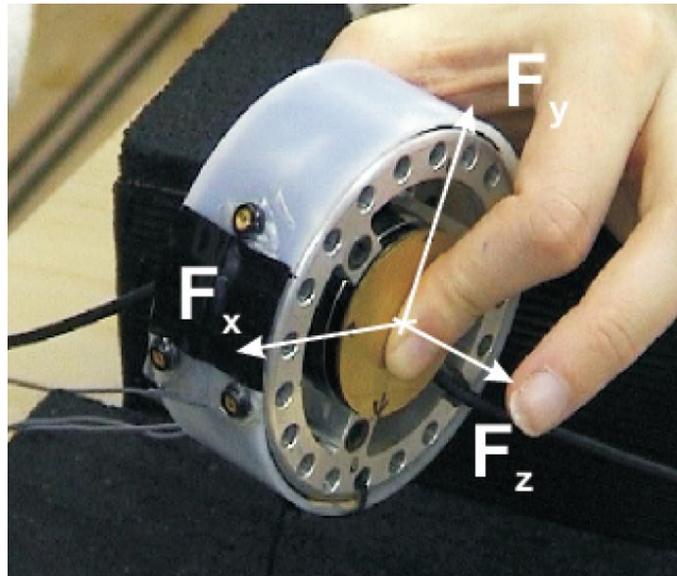


Dynamique

- Résistance est fonction de la géométrie du conducteur
- Jauges de contraintes

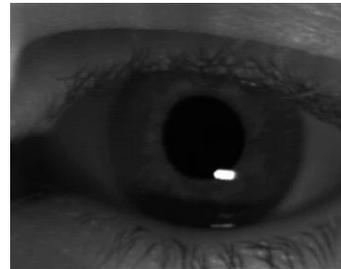
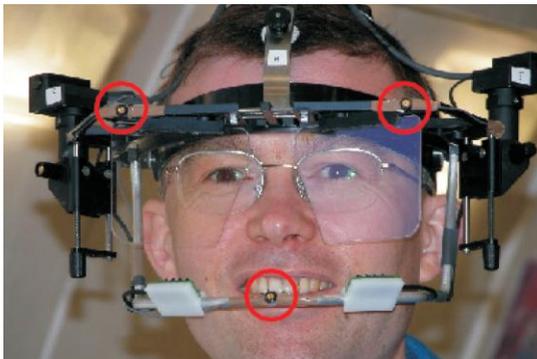


Dynamique



Mouvements oculaires

- 2 types de mouvements: saccades et poursuite
- Coils
- Vidéos: reconnaissance d'image
- Avantages et inconvénients des systèmes (freq d'acq, etc)



Plan

3. Mesures quantitatives de variables physiologiques

1. Centrales

- 1.1 Imagerie anatomique
- 1.2 Imagerie fonctionnelle
- 1.3 Electrophysiologie

2. Périphériques

- 2.1 EMG
- 2.2 Dynamique
- 2.3 Cinématique
- 2.4 Mouvements oculaires

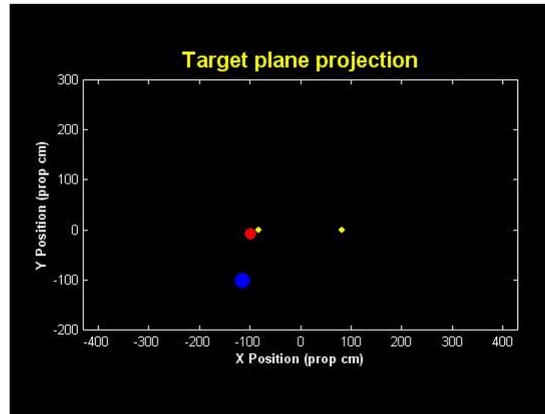
3. Un exemple de combinaison de méthodes

4. Traitement du signal

5. Questionnaires...

Combiner les méthodes

Cinématique et mouvements oculaires



Combiner les méthodes: TMS

- Des changements rapides du champ magnétique induisent des courants dans les tissus
- Conséquence: une population de neurones dépolairise et décharge un potentiel d'action
- Simule une lésion
- rTMS produit des effets plus long

