Mécanismes neurophysiologiques et explorations

P Lozeron

Service de physiologie Clinique et Explorations fonctionnelles

Hôpital Lariboisière

PLAN

- Système nerveux central
  - Historique
  - Méthodes actuelles
- Système nerveux périphérique
  - Historique
  - Méthodes actuelles

ELECTROPHYSIOLOGIE

- Atteintes centrales
  - Electrencéphalogramme (EEG), magnéto encéphalographie (MEG)
  - Tomographie par emission de positons (TEP)
  - IRM fonctionnelle
- Atteintes périphériques et centrales
  - Potentiels Evoqués Somesthésiques (PES)
  - Potentiels Evoqués Moteurs (PEM)
- Atteintes périphériques
  - Electromyographie, Vitesses de conduction nerveuses (EMG-VCN)

Le système nerveux central

Antiquité

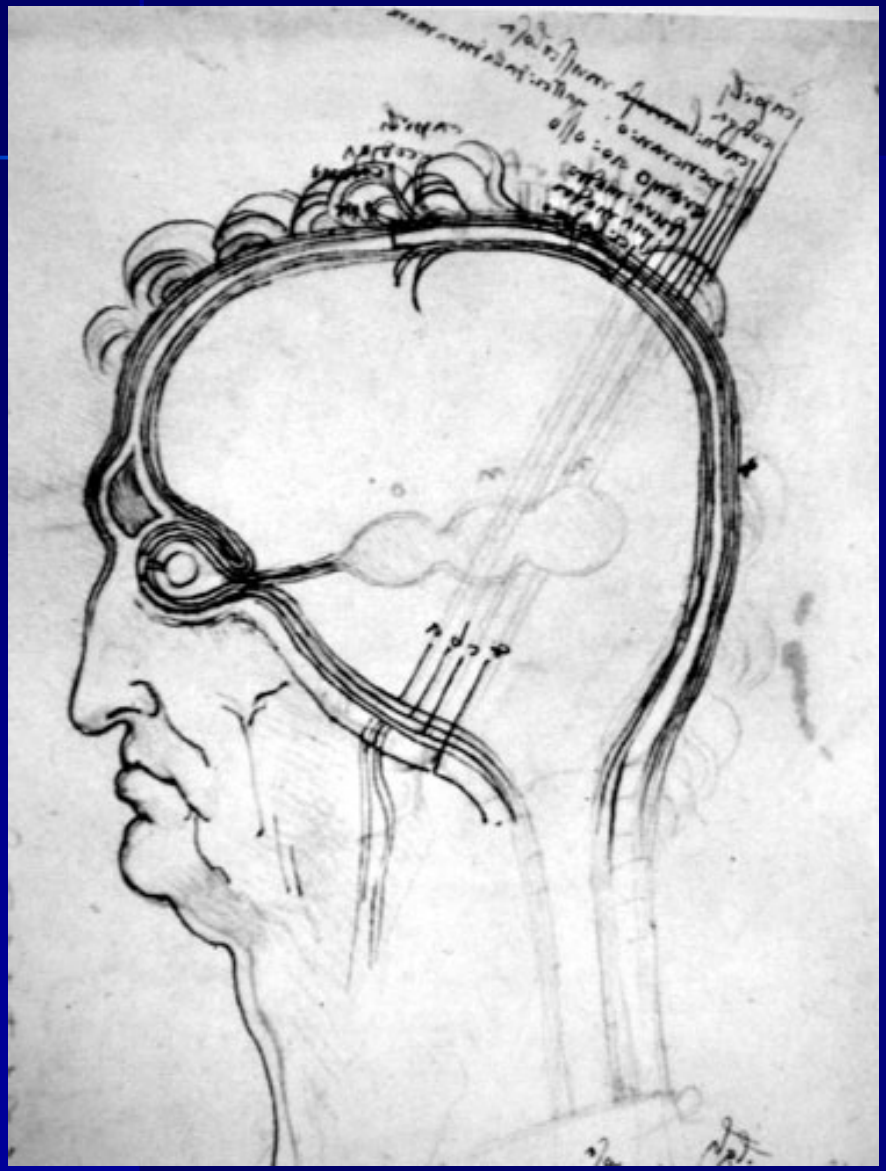
- **Alcmeon de Crotone** (VIe siècle avant JC)
  - « l'homme est le seul à disposer de la conscience alors que les autres ont des sensations sans avoir la conscience » (Du sens, 25-26).
  - Le cerveau gouverne le corps humain

Antiquité jusqu'au XVIII siècle:

- Théorie du Pneuma

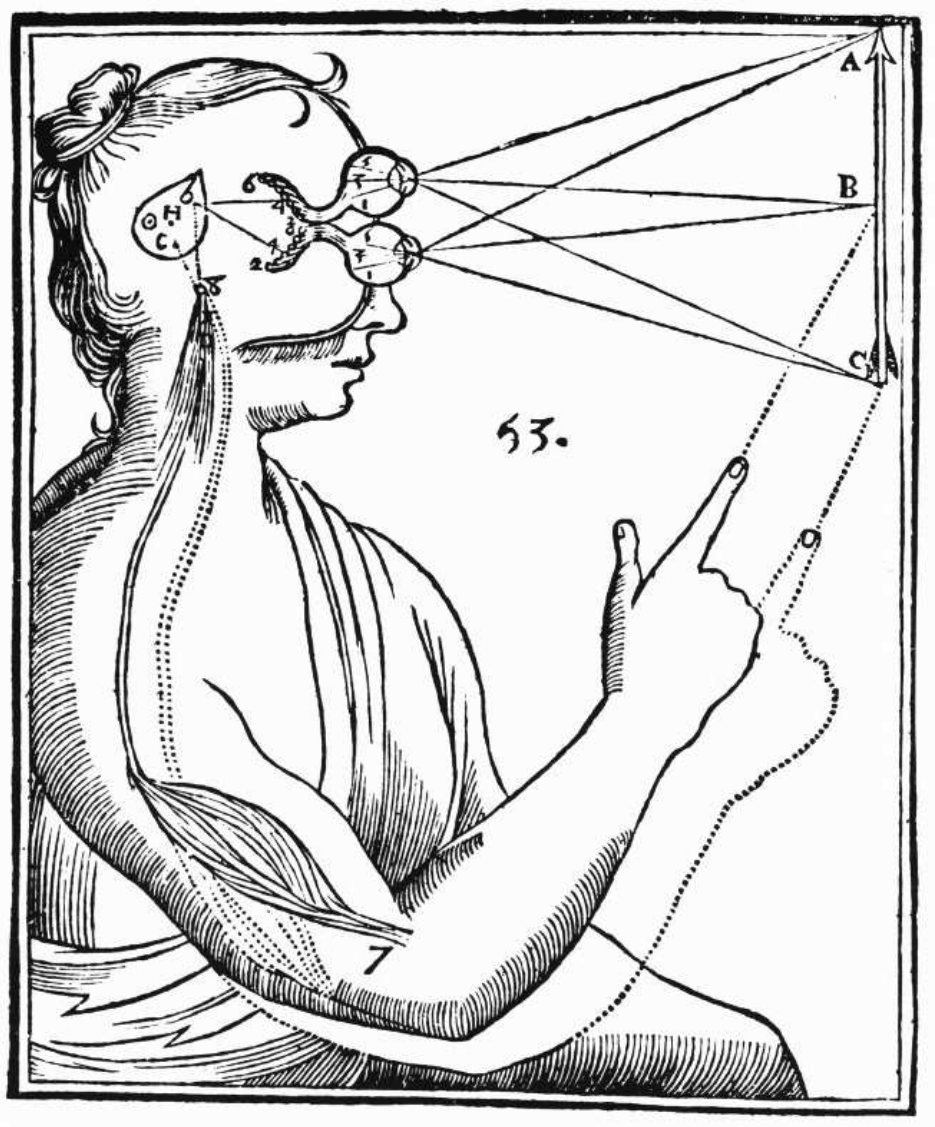
- Claude GALIEN (Pergame 131-201 après JC)
  - *Le pneuma (esprit vital) produit par le cœur*
    - *transporté jusqu'au crâne par les des artères carotides*
  - *Le sang pénètre, à la base du cerveau,*
    - *par le Rete Mirabile (réseau merveilleux)*
  - *Le pneuma est converti en «esprit animal»*
    - *puis stocké dans les ventricules cérébraux*
  - *Il se redistribue aux nerfs moteurs (que l'on croyait creux).*

XV siècle: Léonard de Vinci



- représentation du fonctionnement du système nerveux
- les trois ventricules reliés entre eux
- connectés avec la vision et l' audition par des canaux constitués par les nerfs optiques et auditifs.

XVII-XVIII siècles: Descartes



la lumière pénètre par les yeux pour former les images sur la rétine.

- Les nerfs rétiniens, (creux) se projettent dans les ventricules.
- L'épiphyse (H) libère alors « l'esprit animal » dans les nerfs moteurs à l'origine des mouvements.

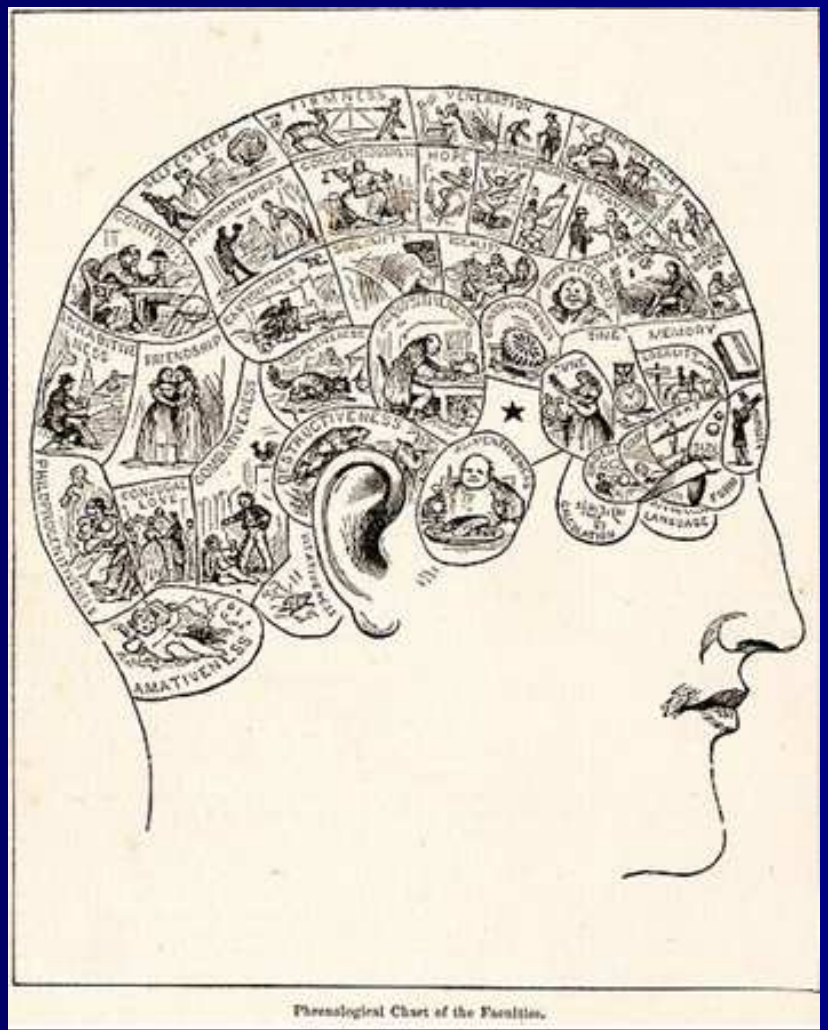
XIX ème siècle : Phrénologie

Franz Joseph Gall.

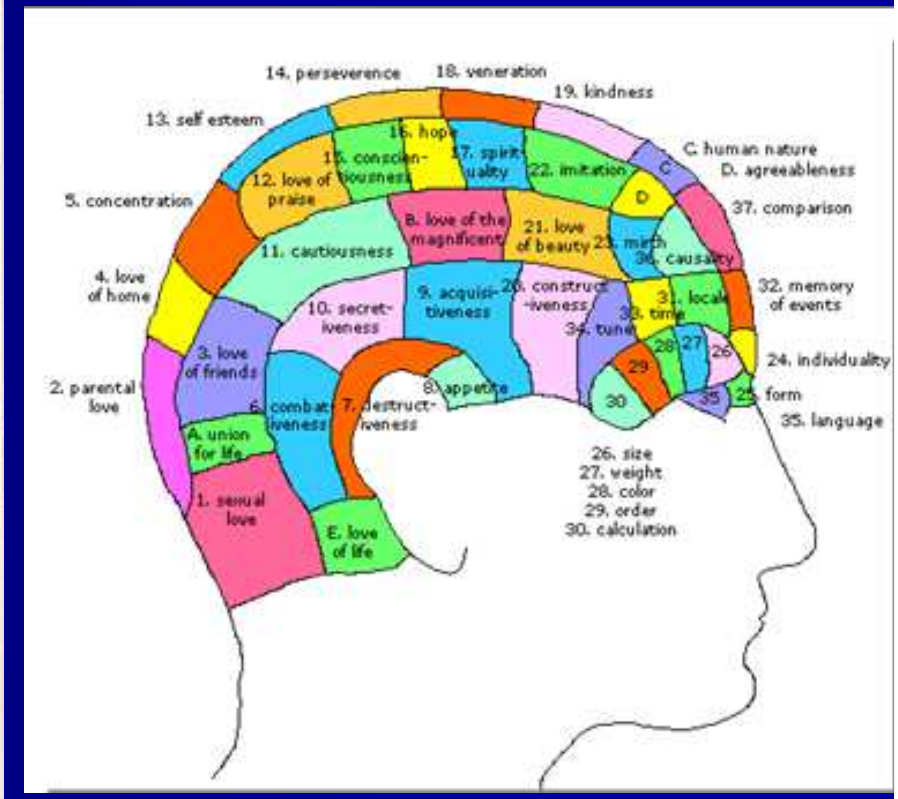
- à partir de 1810, théorie de la localisation sur le crâne des fonctions psychiques ou psychologiques (« organes ») où chaque fonction est matérialisée par une bosse crânienne.
- Sinon la bosse est remplacée par une dépression.
- Origine de « la bosse des maths… »

Franz Joseph Gall (1758-1828)

Phrénologie



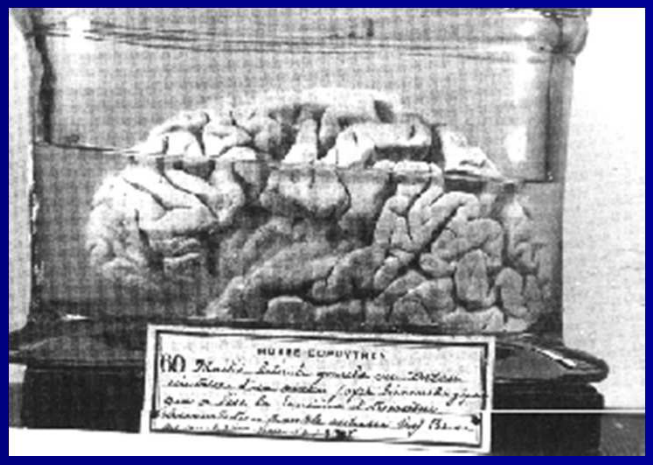
Phrenological Chart of the Faculties.



Fin du XIX ème siècle: neurologie localisationniste

Paul Broca (1824 -1880)

- 1861: lien entre langage et partie postérieure de la circonvolution frontale inférieure de l'hémisphère gauche (pied de F3).
- le concept d' hémisphère «dominant».
- Aphasie motrice



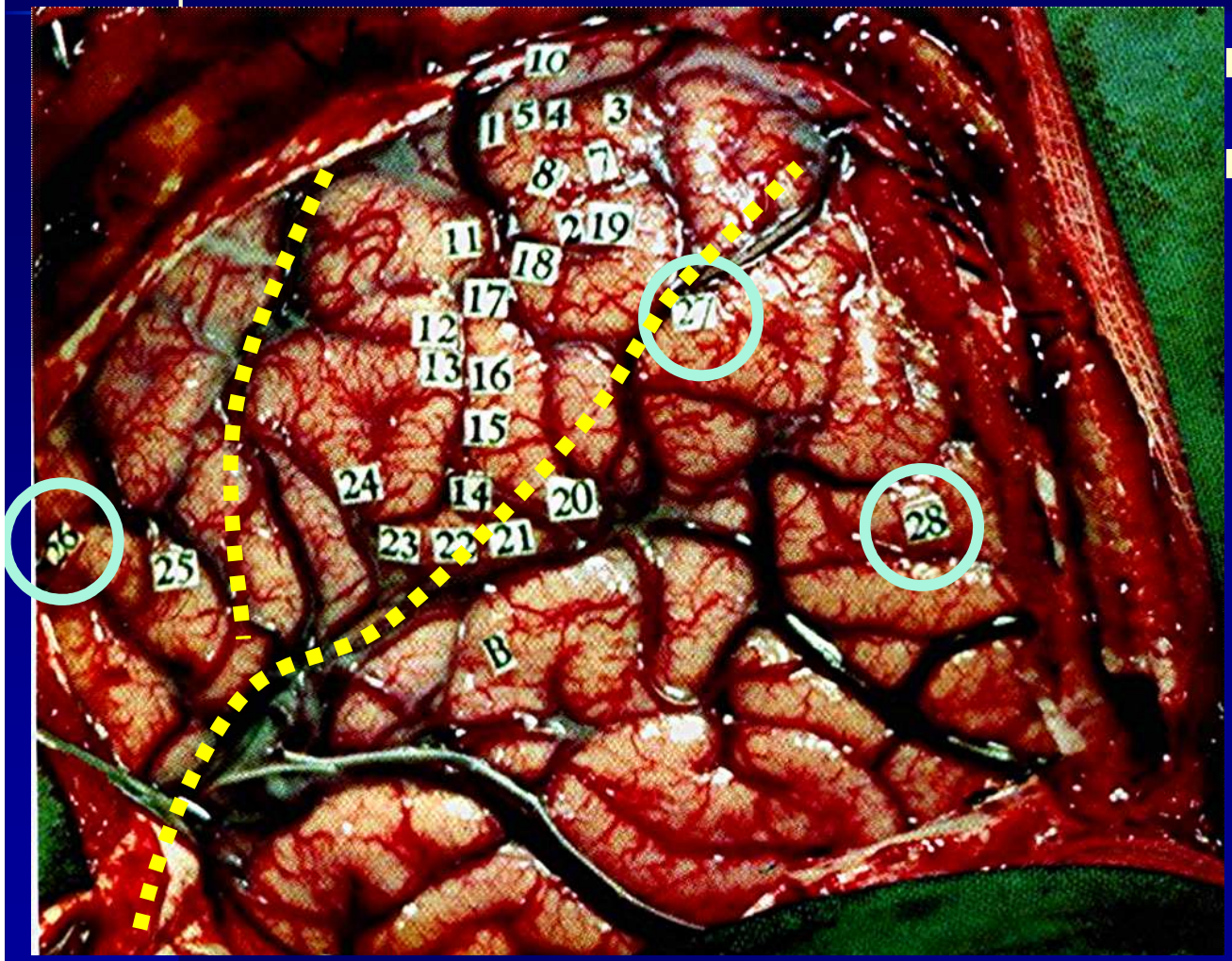
Carl Wernicke (1848-1904)

- Langage abondant mais confus (logorrhée)
- Lésion temporale supérieure gauche

- Déduit que les centres antérieurs et postérieurs communiquent entre eux

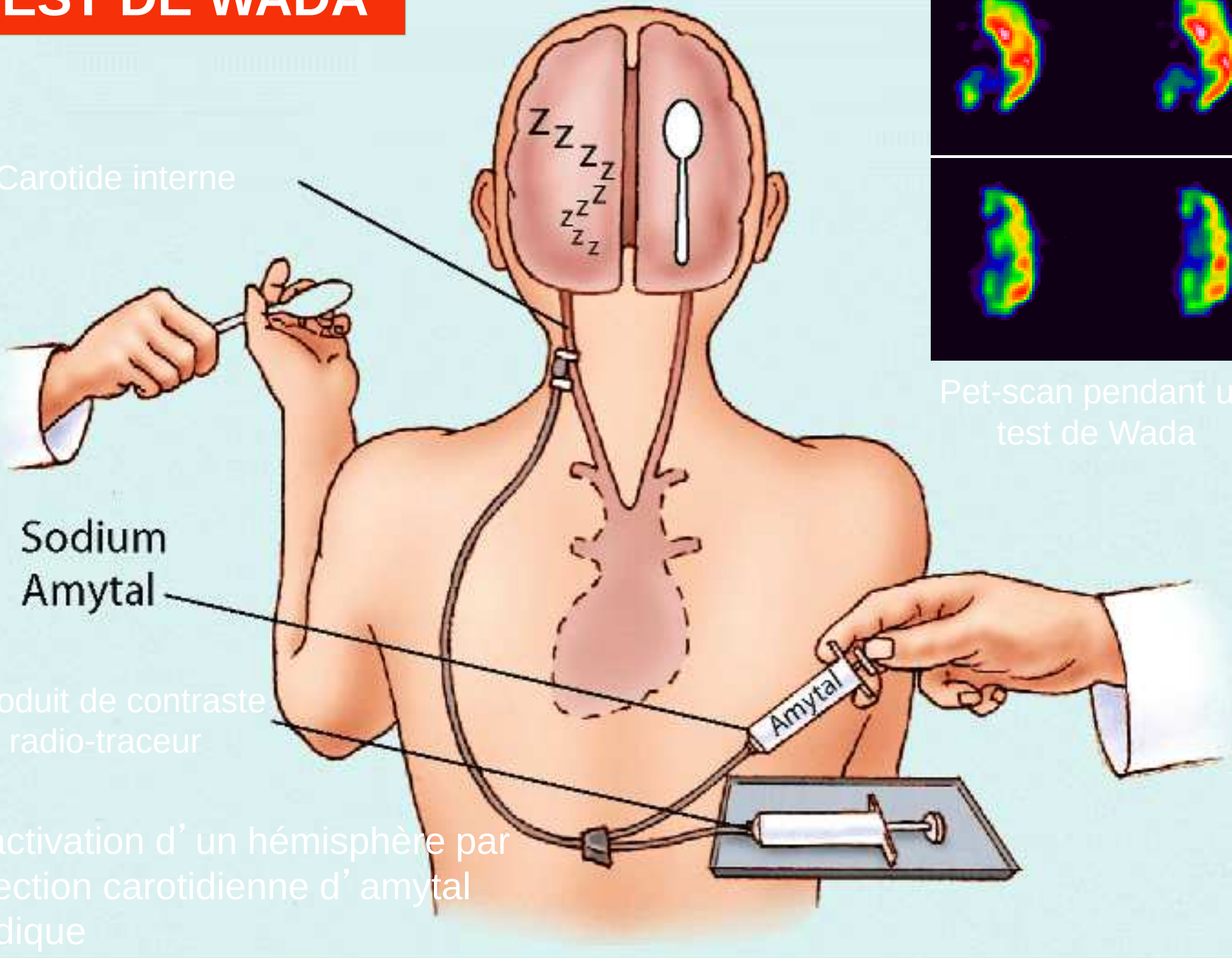
- Aphasie sensorielle

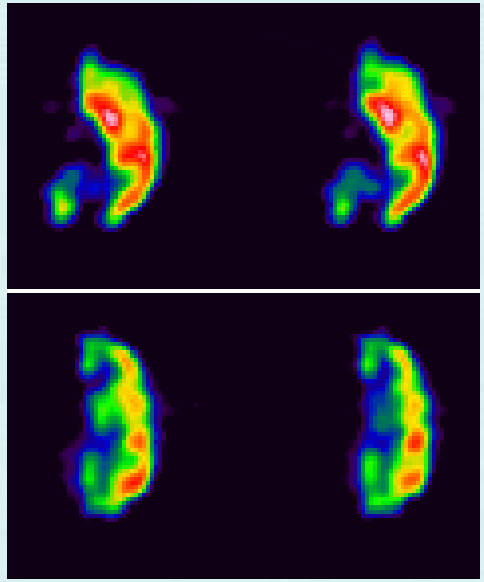
XXème siècle : exploration « in vivo »



- Penfield
- La stimulation per-opératoire des régions 26 (aire de Broca) , 27 et 28 (aire de Wernicke) provoque une aphasie

TEST DE WADA

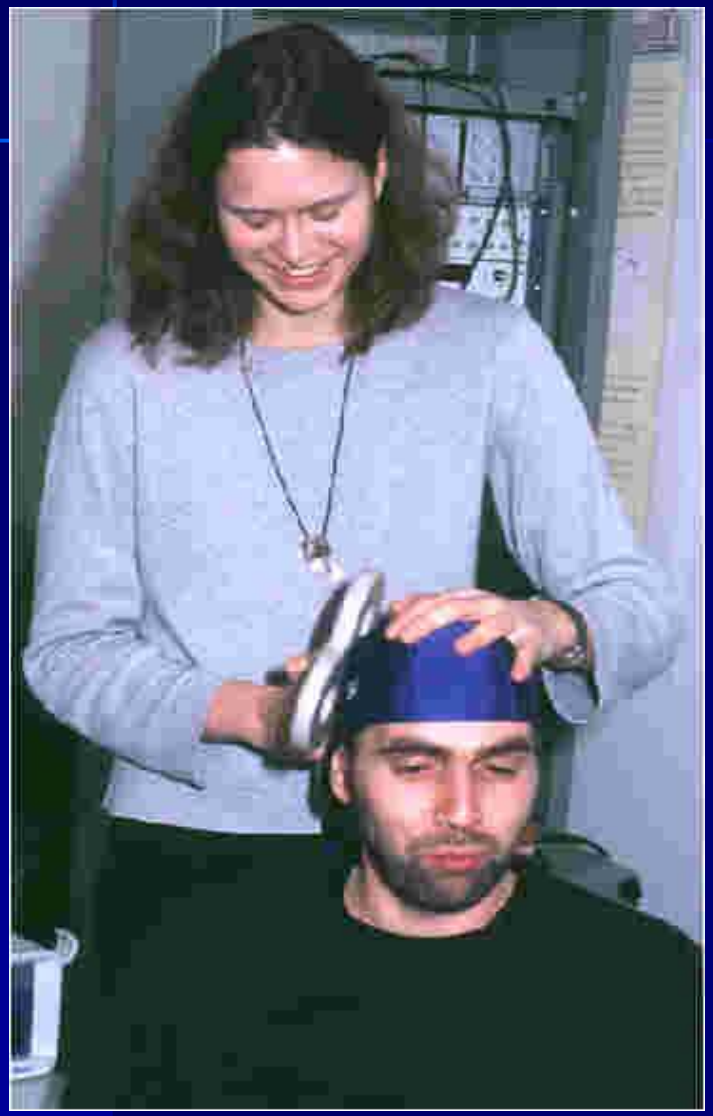




Pet-scan pendant un test de Wada

Inactivation d'un hémisphère par injection carotidienne d'amytal sodique

Stimulation magnétique transcrânienne



Possibilité d'inhiber les zones fonctionnelles du cerveau avec des décharges magnétiques répétitives de basses fréquences

Moitié et fin du XX siècle

- Exploration in vivo atraumatique de sujets sains
- Étude électrophysiologique
- Imagerie cérébrale en tomographie
  - Radio-éléments
  - Résonnance magnétique

Explorations fonctionnelles cérébrales

- **Activité électrique des neurones**
  - **PPSE**
  - **PPSI**
  - **Potentiels d'action**

→ **Électrophysiologie**
EEG, MEG

Conséquences métaboliques
↑ consommation de glucose
↑ consommation d'oxygène

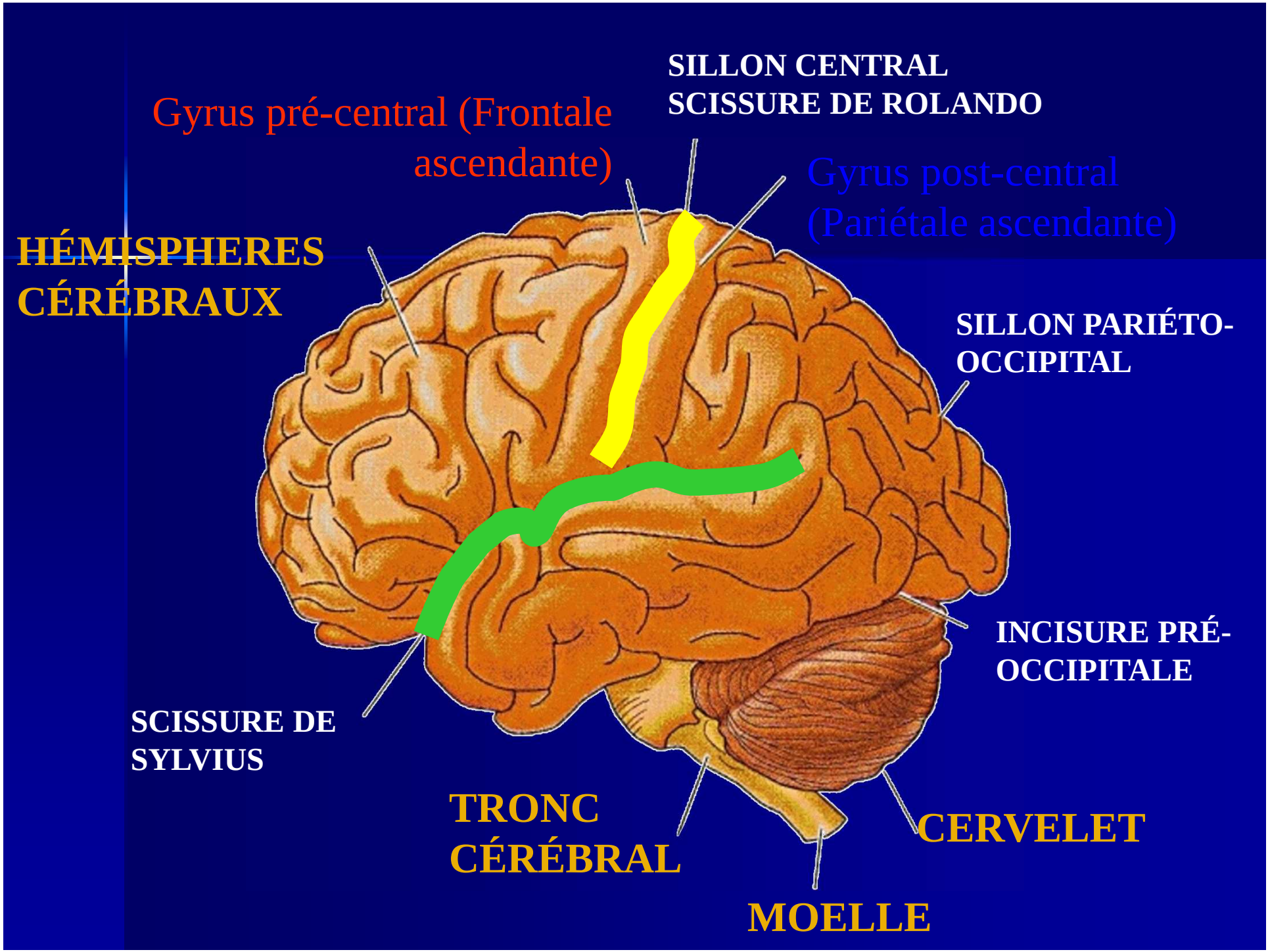
↓

*** autoradiographie**
*** FDG-PET**

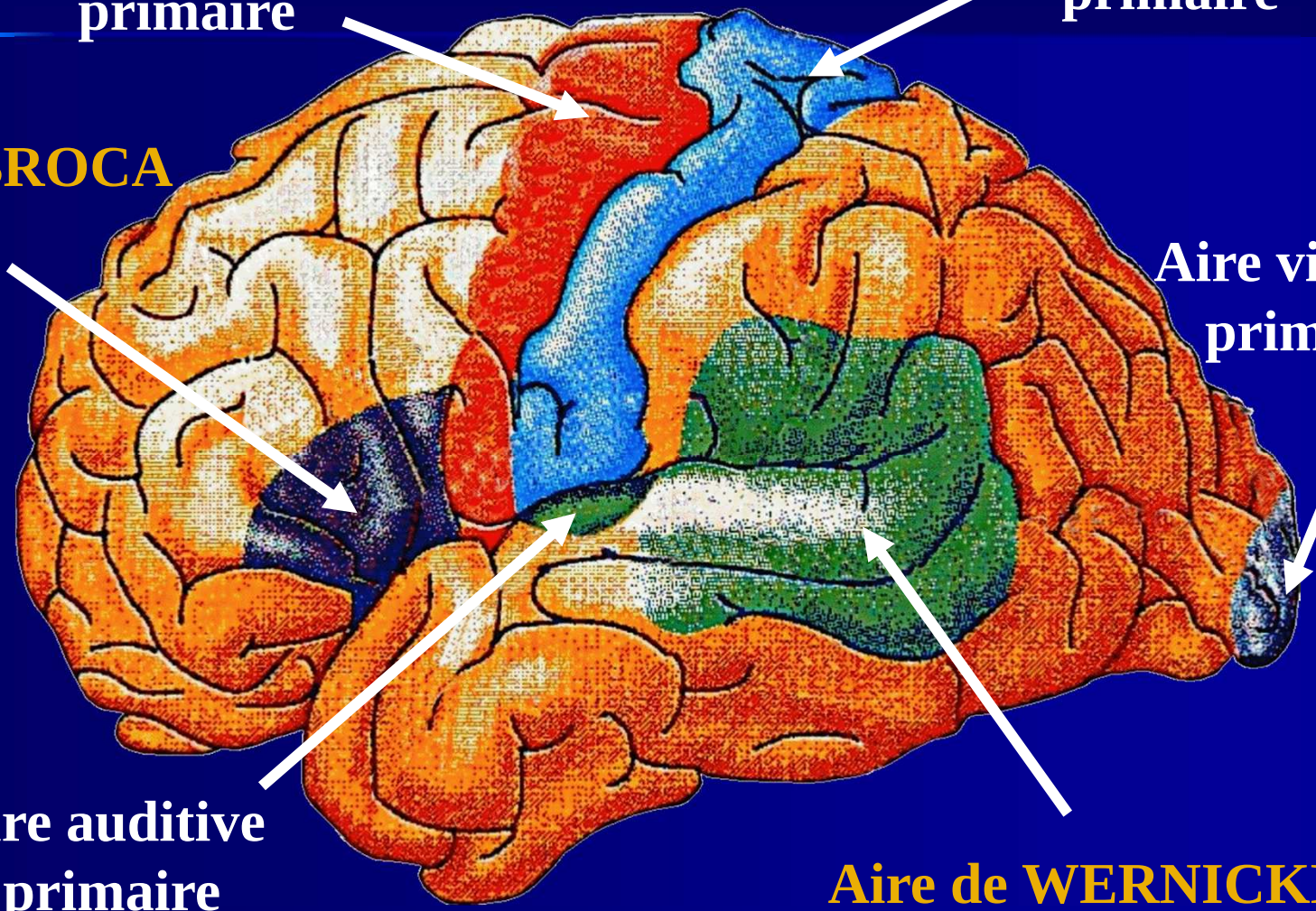
Conséquences hémodynamiques
↑ débit sanguin
↑ volume sanguin
↑ oxygénation sanguine

↓

*** $H_2\,^{15}O$ - PET**
*** Imagerie optique**
*** IRMf**

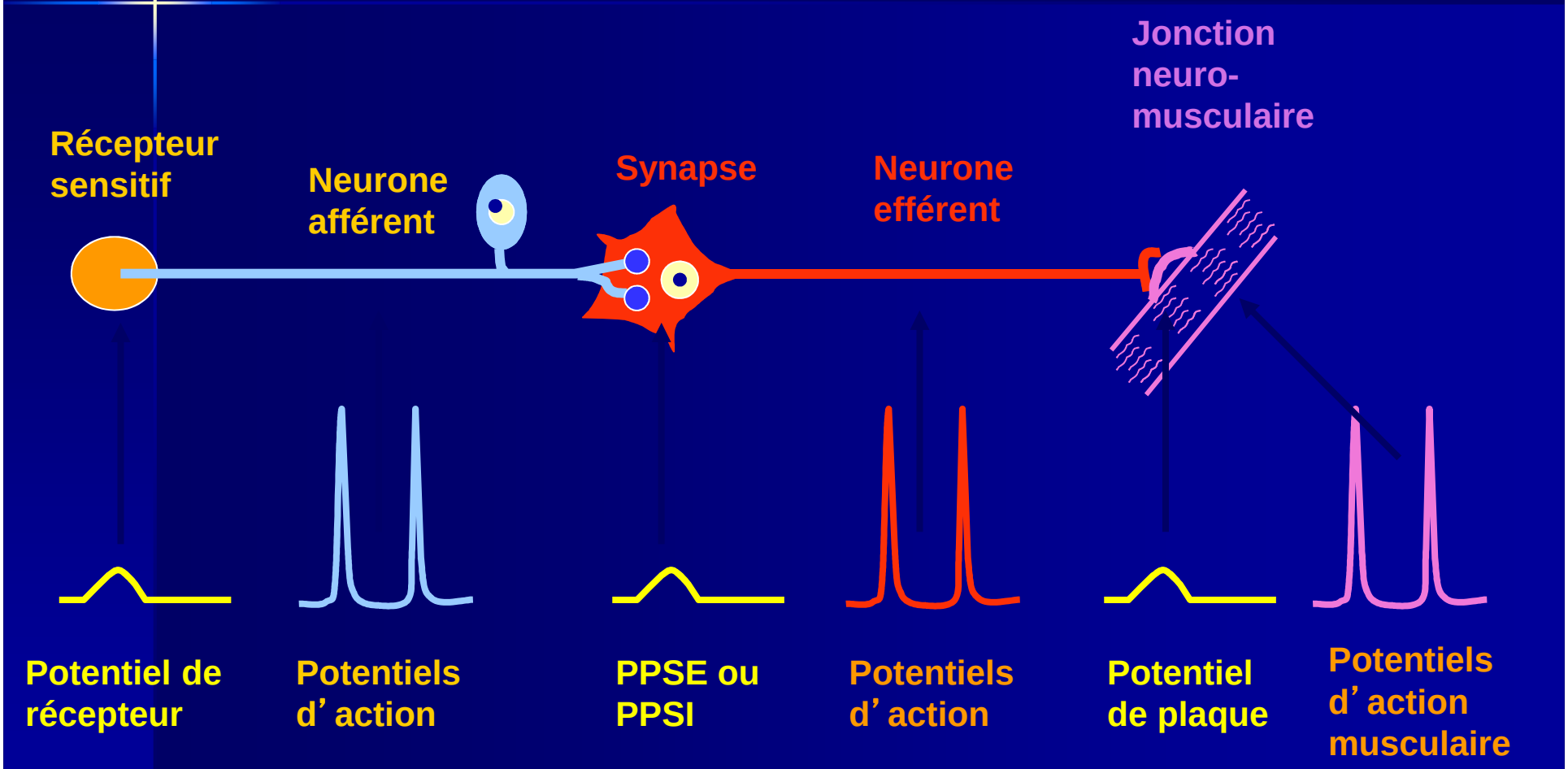

SILLON CENTRAL
SCISSURE DE ROLANDO
Gyrus pré-central (Frontale ascendante)
Gyrus post-central (Pariétale ascendante)
HÉMISPHERES CÉRÉBRAUX
SILLON PARIÉTO-OCCIPITAL
INCISURE PRÉ-OCCIPITALE
SCISSURE DE SYLVIUS
TRONC CÉRÉBRAL
CERVELET
MOELLE

Aires primaires du cerveau



Rappel de l’ électrophysiologie de la transmission nerveuse

ÉVÉNEMENTS ÉLECTRIQUES



Potentiel d'action/potentiel synaptique

- Le potentiel synaptique (gradué, local):
  1. faible (0.1-10 mV), décrémentiel
  2. progressif (~analogique)
  3. propagé de manière passive
  4. soit hyperpolarisant (PPSI), soit dépolarisant (PPSE)

- Le potentiel d'action :
  1. élevé (70-110 mV), stable en amplitude
  2. « tout ou rien » (~numérique)
  3. propagé de manière active
  4. dépolarisant

Événements synaptiques

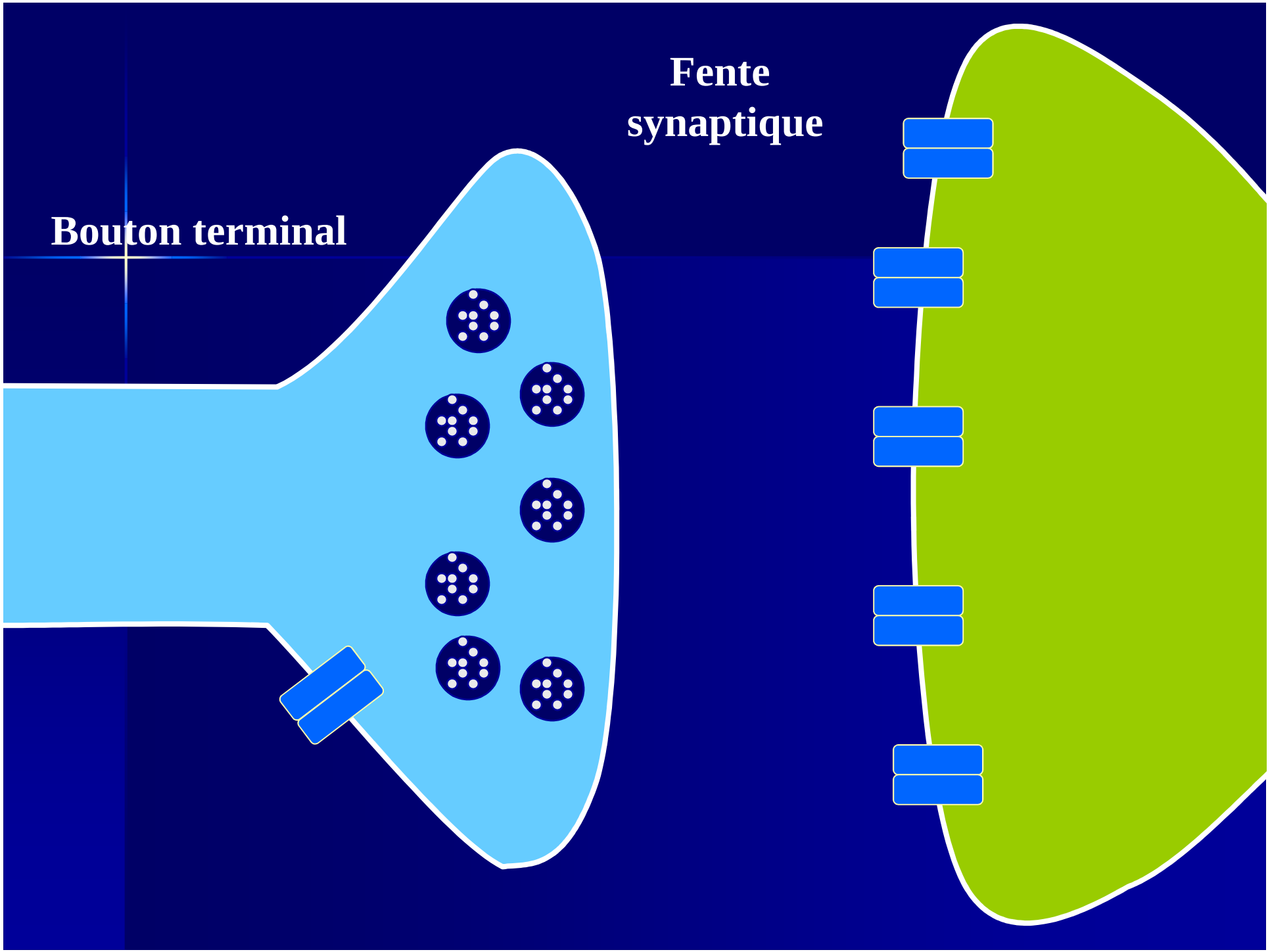
- À l'arrivée d'un P.A :

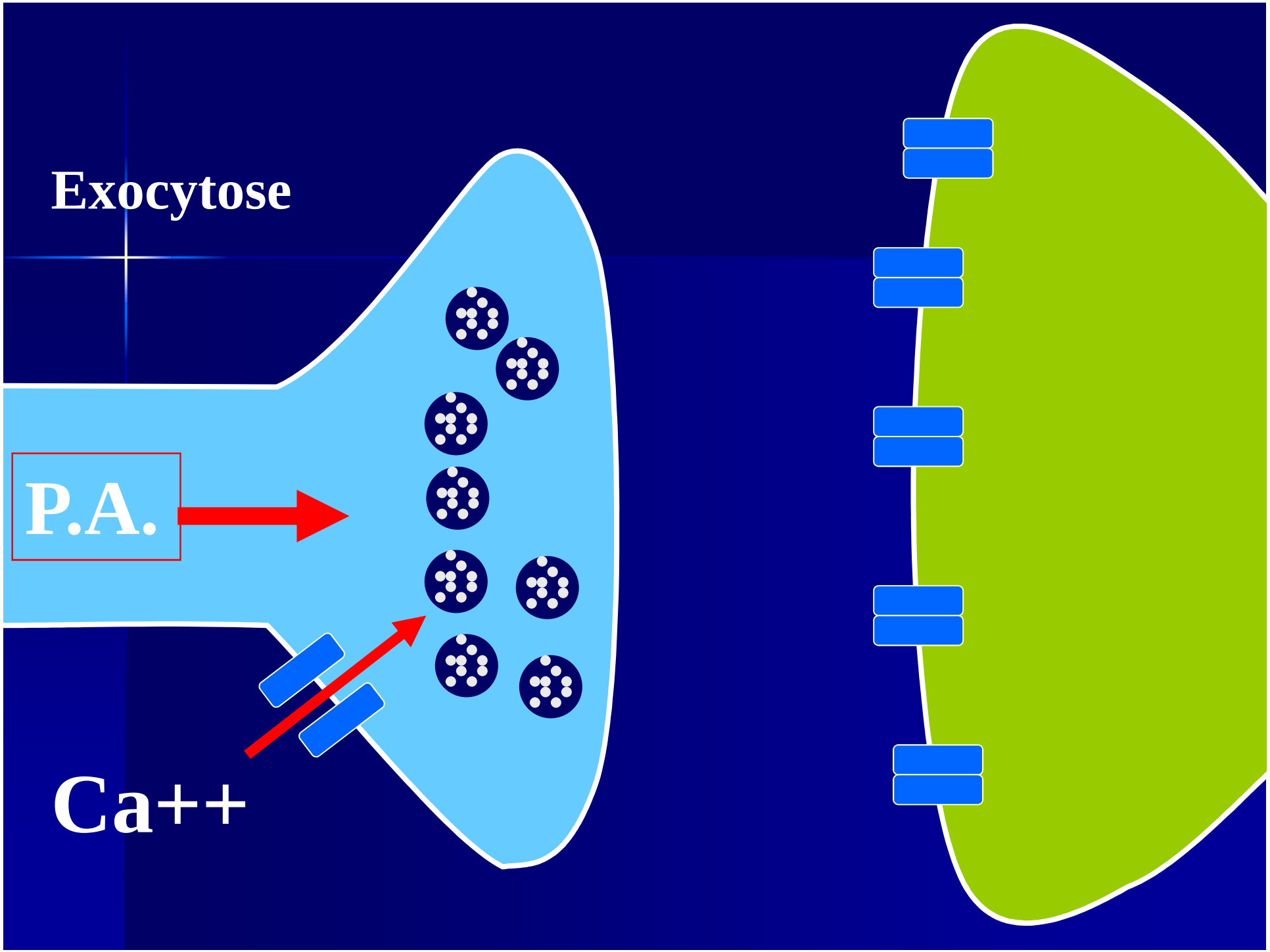
  1 ⇨ ouverture de canaux calciques voltage-dépendants

  2 ⇨ entrée du Ca++ dans le bouton synaptique

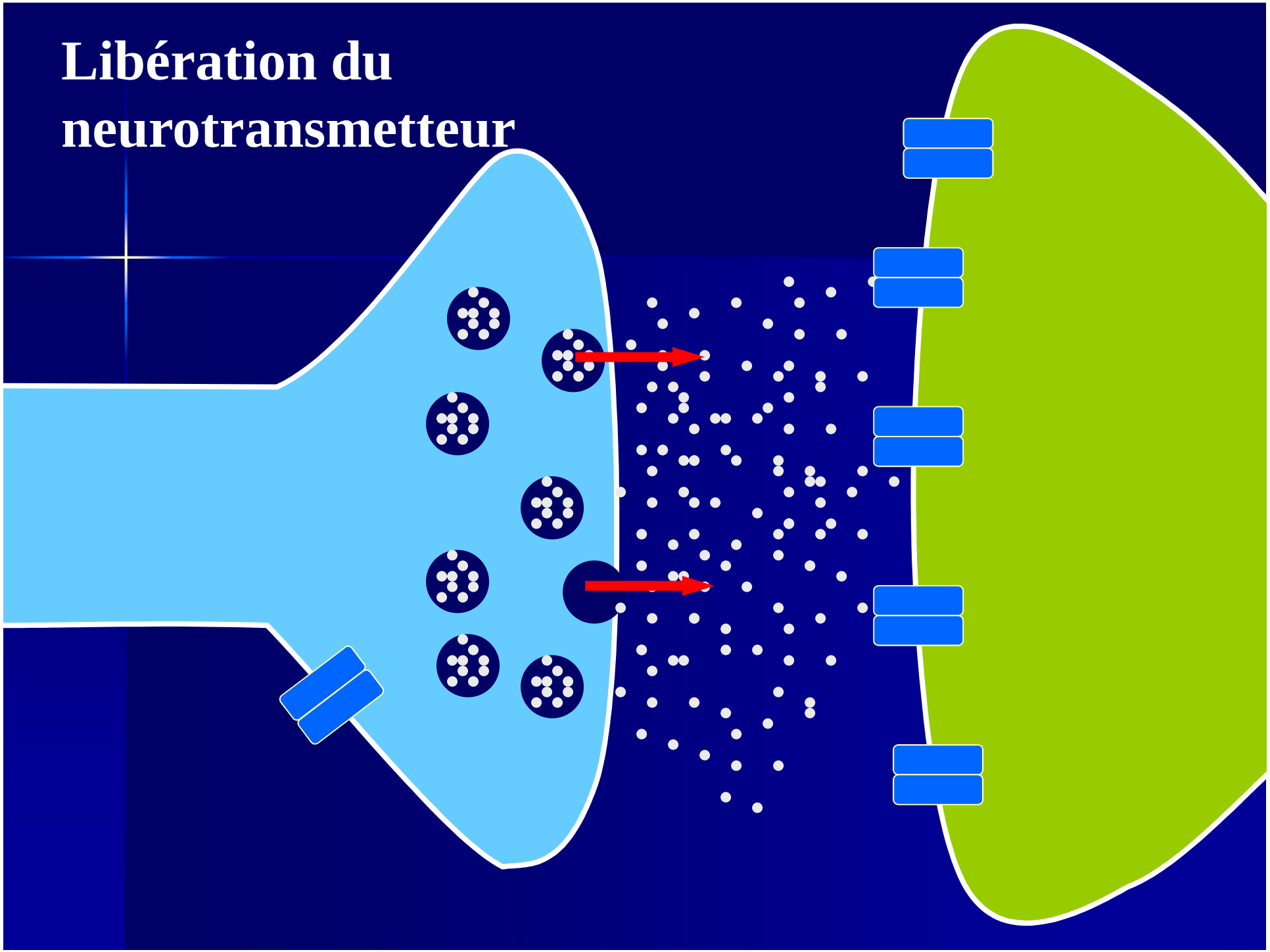
  3 ⇨ fusion de la paroi des vésicules synaptiques avec la membrane présynaptique

  4 ⇨ exocytose (ouverture des vésicules) et libération du neurotransmetteur


Fente
synaptique
Bouton terminal


Exocytose
P.A.
Ca++

Libération du neurotransmetteur



Activation du récepteur

- Après fixation du neurotransmetteur le récepteur spécifique :

1 Ouverture du canal ionique (lié à un ligand)

2 Entrée d'ions

3 Modifications du potentiel membranaire postsynaptique (potentiel local gradué)

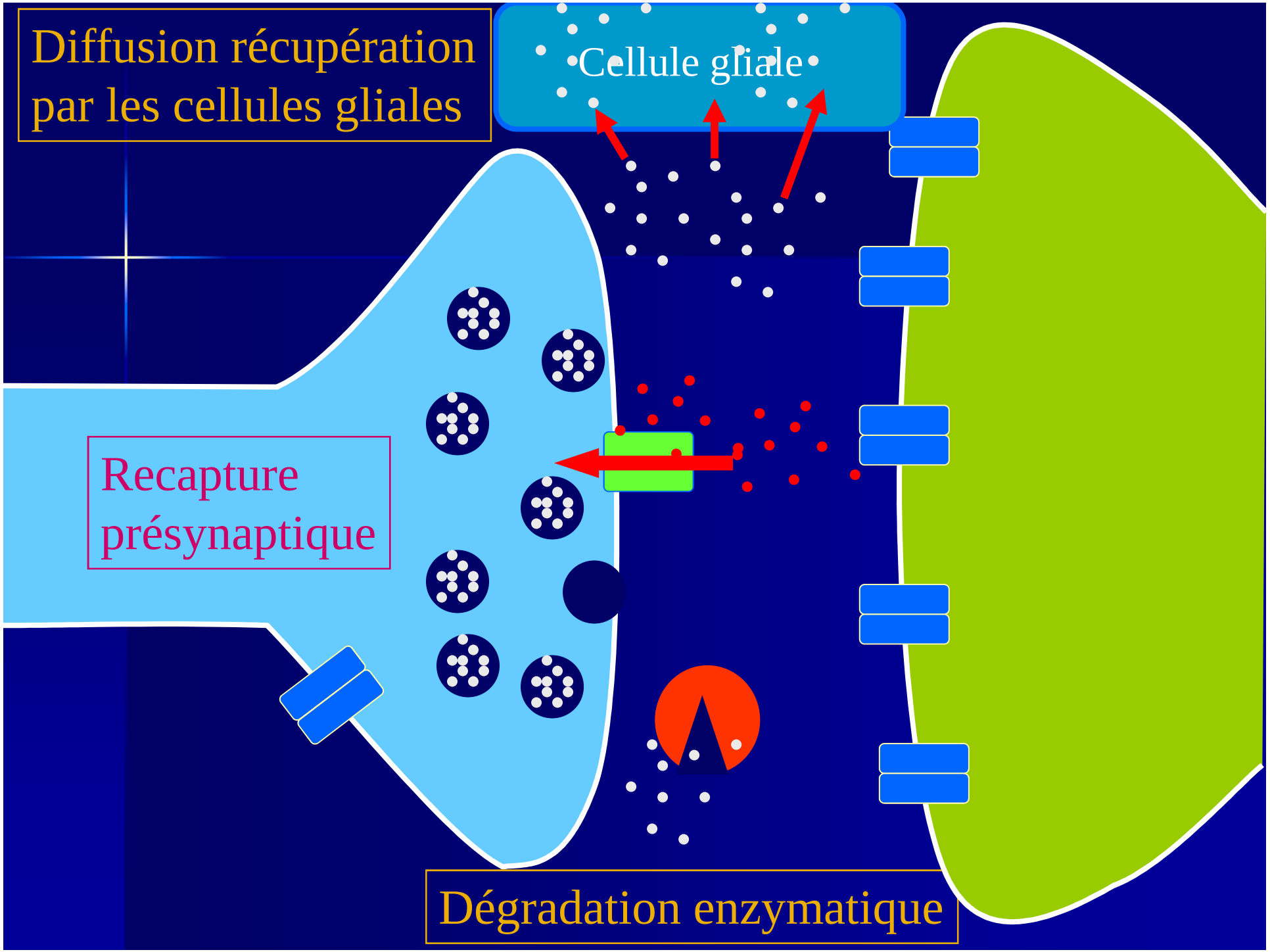
- excitateur (PPSE) si canal perméable au Na+
- inhibiteur (PPSI) si canal perméable au Cl-.

Fin de la neurotransmission

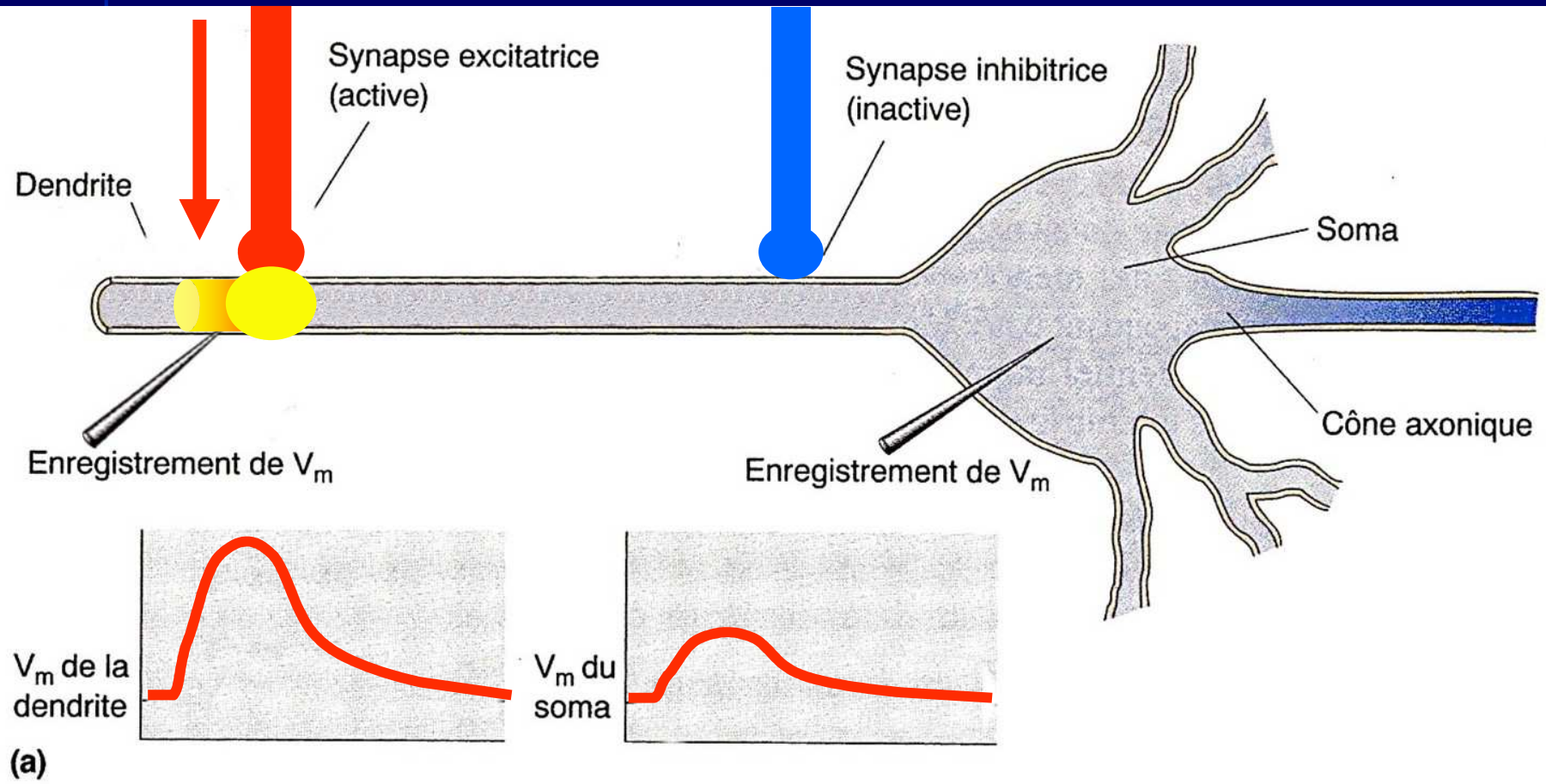
Devenir du neurotransmetteur

- Après liaison au récepteur postsynaptique
  - Inactivation du neurotranmetteur

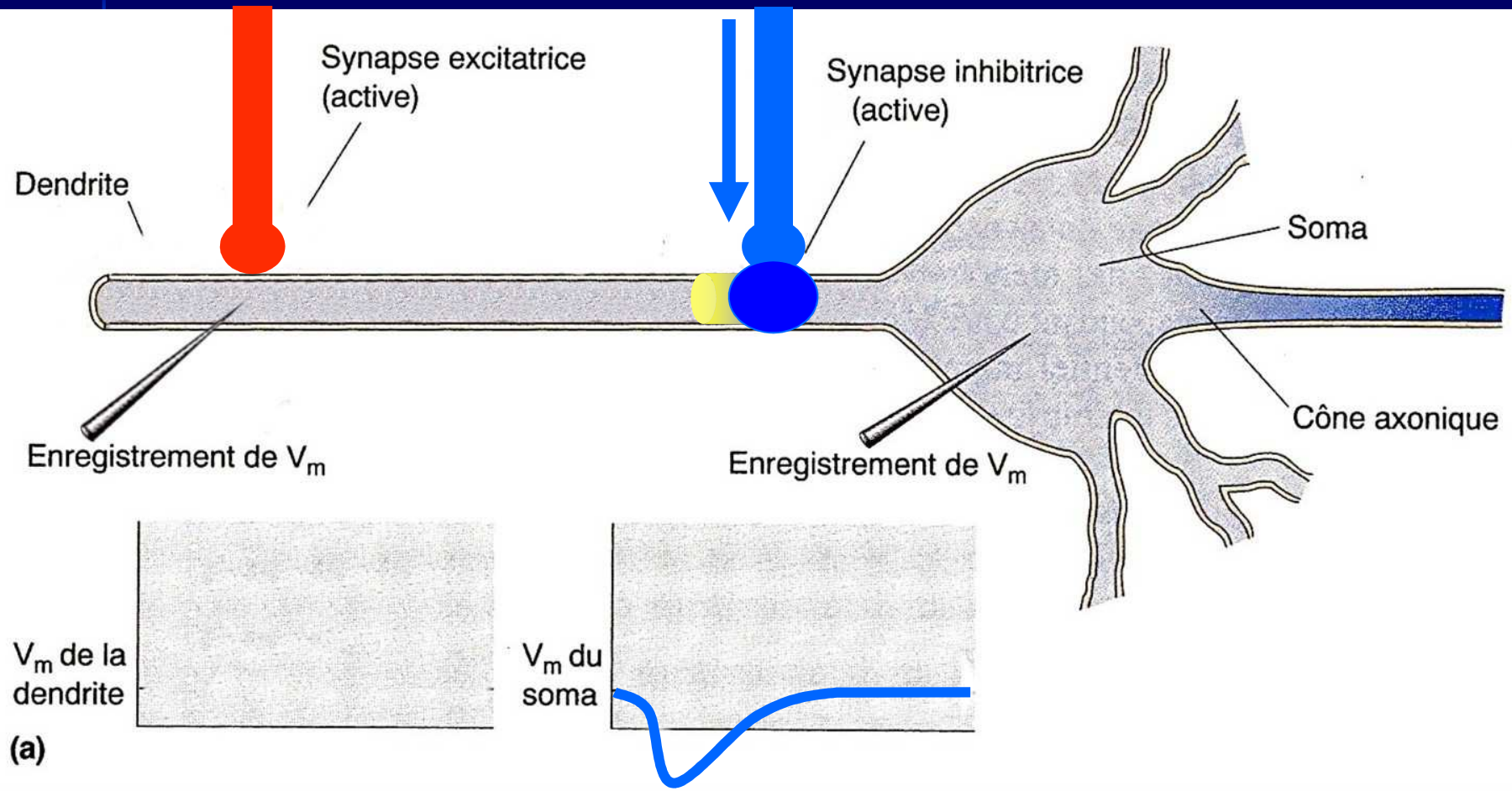
- Mécanismes :
  1. Dégradation enzymatique
  2. Recapture par la région présynaptique
  3. Diffusion puis recapture par cellules gliales


Diffusion récupération par les cellules gliales
Cellule gliale
Recapture présynaptique
Dégradation enzymatique

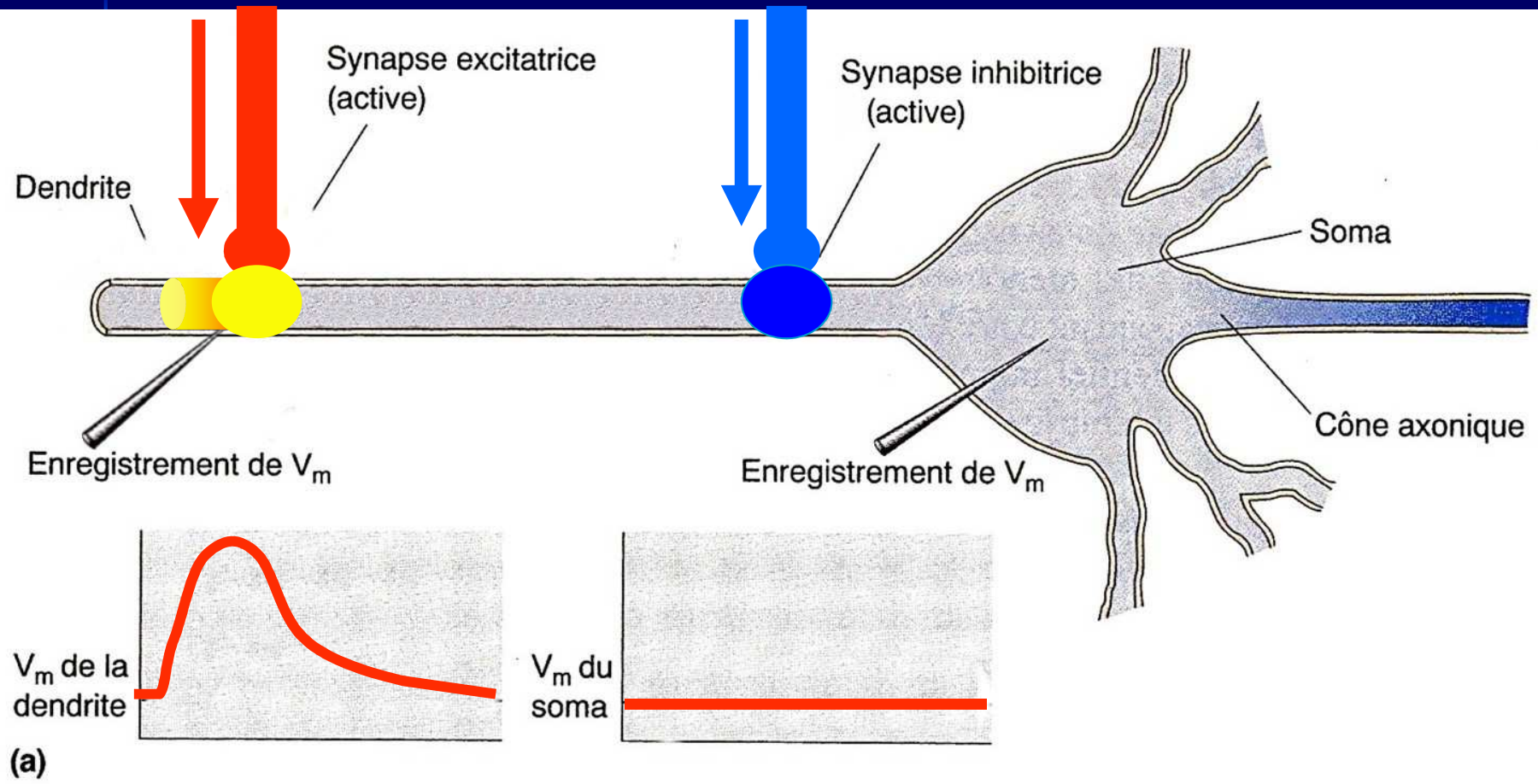
PPSE seul (a)


Synapse excitatrice
(active)
Synapse inhibitrice
(inactive)
Dendrite
Soma
Cône axonique
Enregistrement de V_m
Enregistrement de V_m
V_m de la
dendrite
V_m du
soma
(a)

PPSI seul (b)


Synapse excitatrice
(active)
Synapse inhibitrice
(active)
Dendrite
Soma
Cône axonique
Enregistrement de V_m
Enregistrement de V_m
V_m de la
dendrite
V_m du
soma
(a)

PPSE + PPSI (c)


Synapse excitatrice
(active)
Synapse inhibitrice
(active)
Dendrite
Soma
Cône axonique
Enregistrement de V_m
Enregistrement de V_m
V_m de la
dendrite
V_m du
soma
(a)

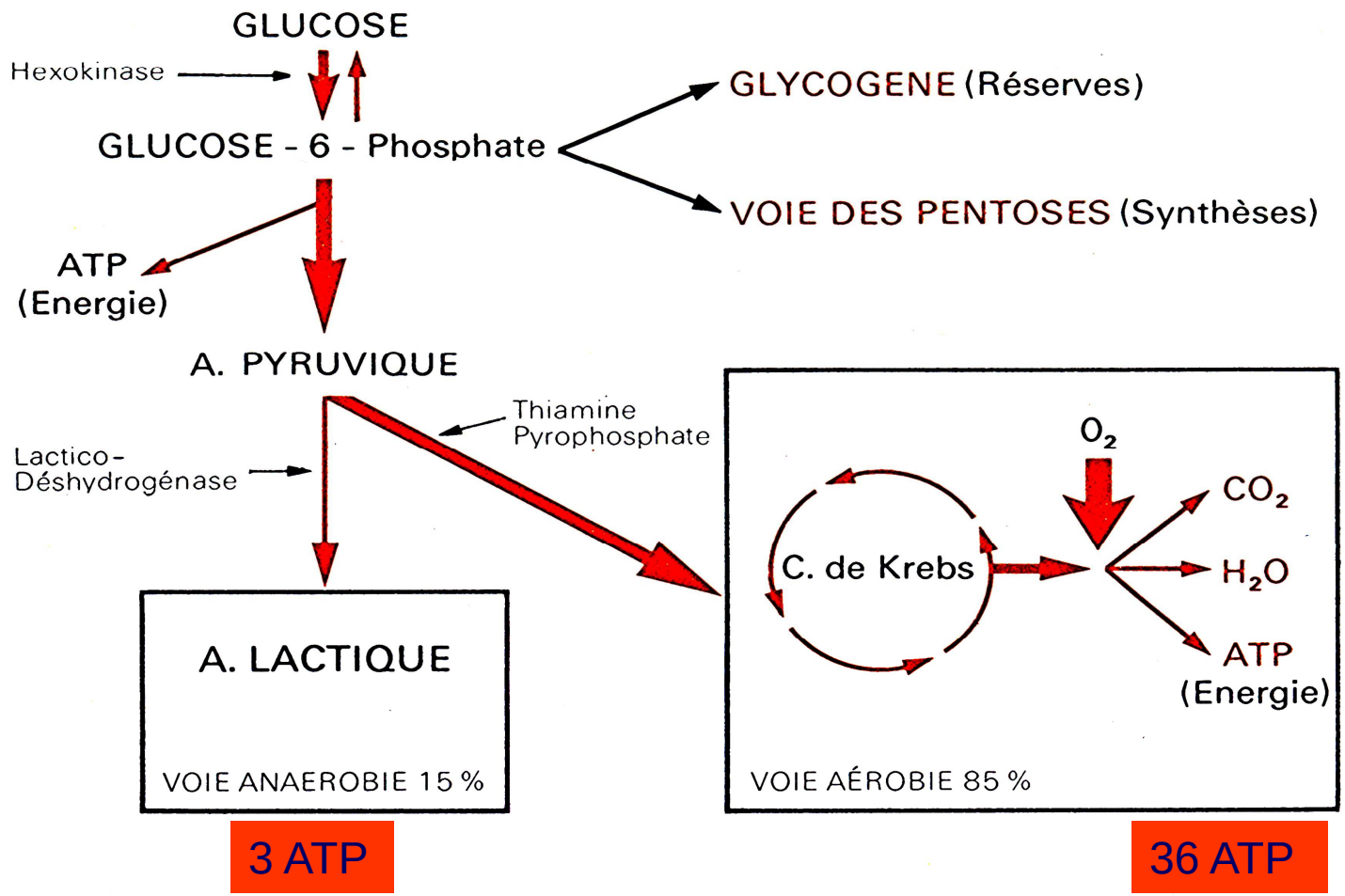
Métabolisme et circulation cérébrale

Métabolisme cérébral

- Cerveau métabolisme surtout aérobie (O2 et glucose). Voie énergétique

- Cerveau =
  - 2% de la masse corporelle
  - *15%* du débit cardiaque
  - *20%* de la consommation en oxygène : 3,35 ml/100g/mn, soit 50 ml/mn pour un cerveau moyen de 1400 g
  - Consomme 100 mg/mn de glucose

Métabolisme cérébral

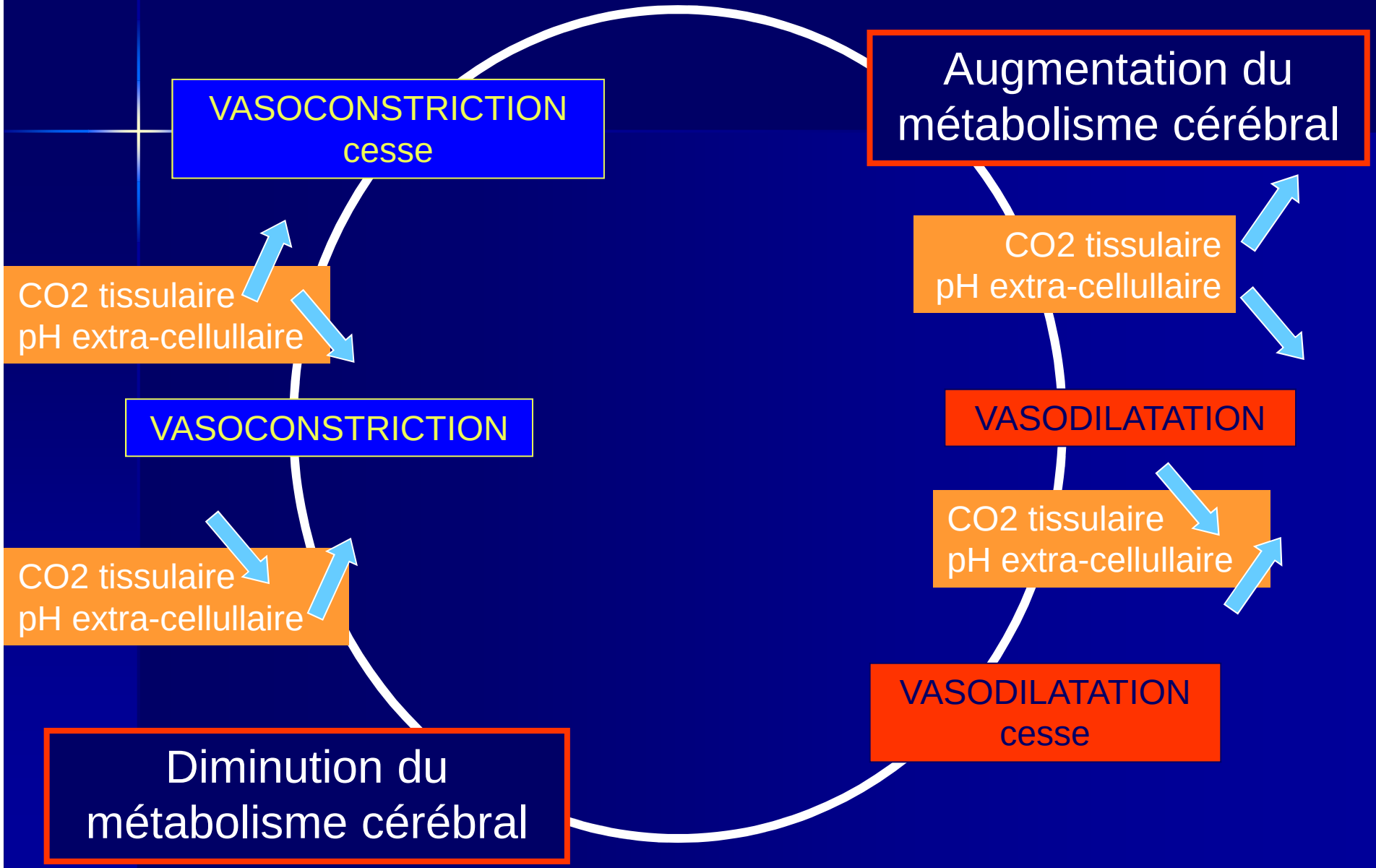


Représentation très schématisée du métabolisme du glucose au niveau du cerveau.

Couplage métabolisme/DSC

- *Roy & Sherrington (1890)* : adaptation locale du calibre des vaisseaux à l'activité neuronale locale.
- Principaux facteurs métaboliques du couplage:
  - CO_2 et pH.
  - Action très rapide sur la perfusion locale
- Méthodes d'imagerie fonctionnelle cérébrale basée sur ce concept
  - IRM fonctionnelle,
  - Pet-scan …

Régulation métabolique du DSC



Méthodes d’étude des fonctions cérébrales

Méthodes d' étude des fonctions cérébrales

(Méthodes anatomo-cliniques)

1. Méthodes électrophysiologiques

a) Électroencéphalographie (EEG)
b) Potentiel évoqués moteurs (PEM)
c) Magnéto-encéphalographie (MEG)

2. Méthode basées sur la circulation et métabolisme cérébral

a) Méthodes utilisant des traceurs radioactifs
   - PET-SCAN
b) Méthode basées sur la résonnance magnétique
   - IRM-fonctionnelle
   - IRM de diffusion

I - MÉTHODES ÉLECTROPHYSIOLOGIQUES

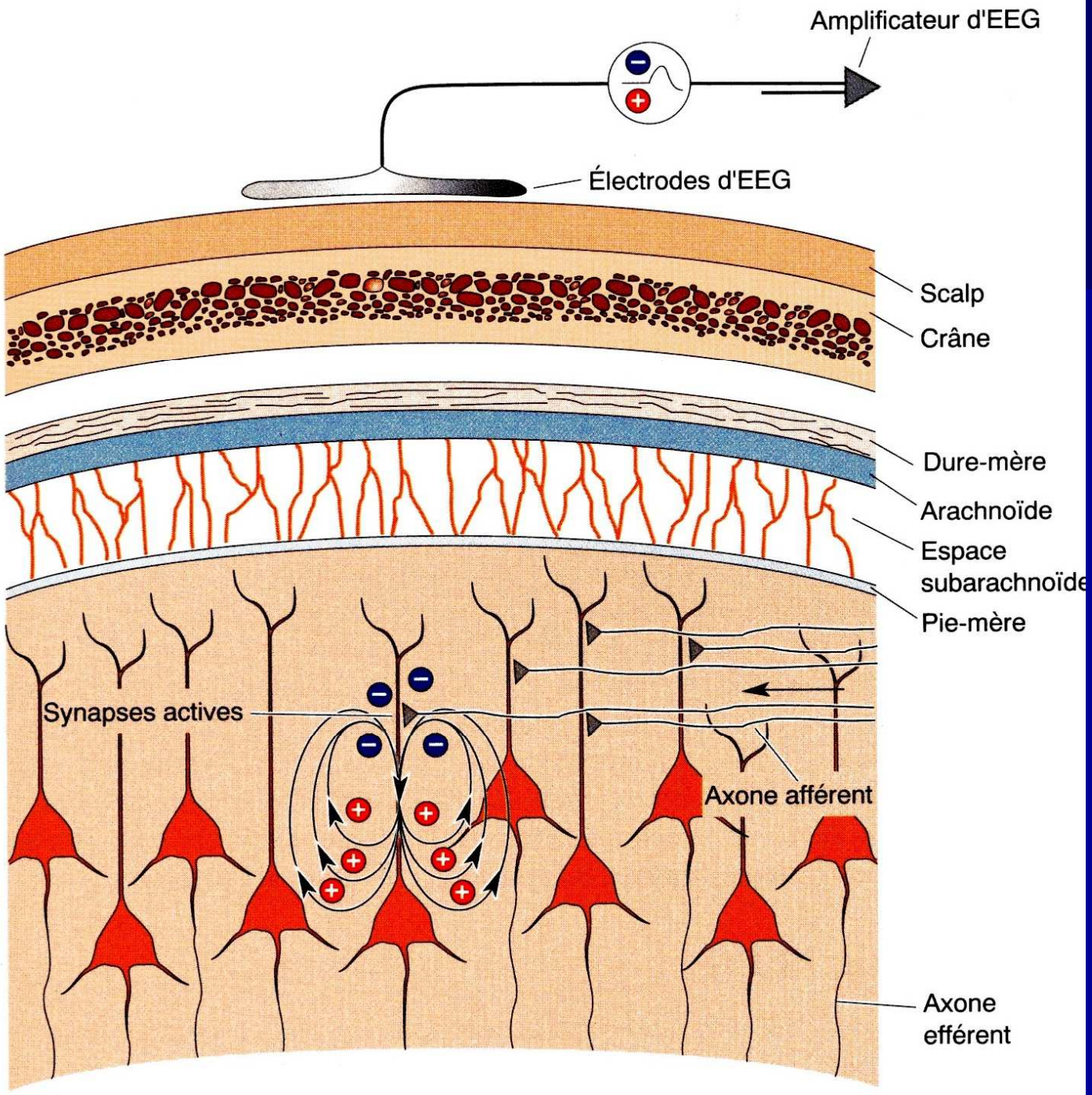
A – Électroencéphalographie (EEG)

B - Potentiel évoqués moteurs (PEM)

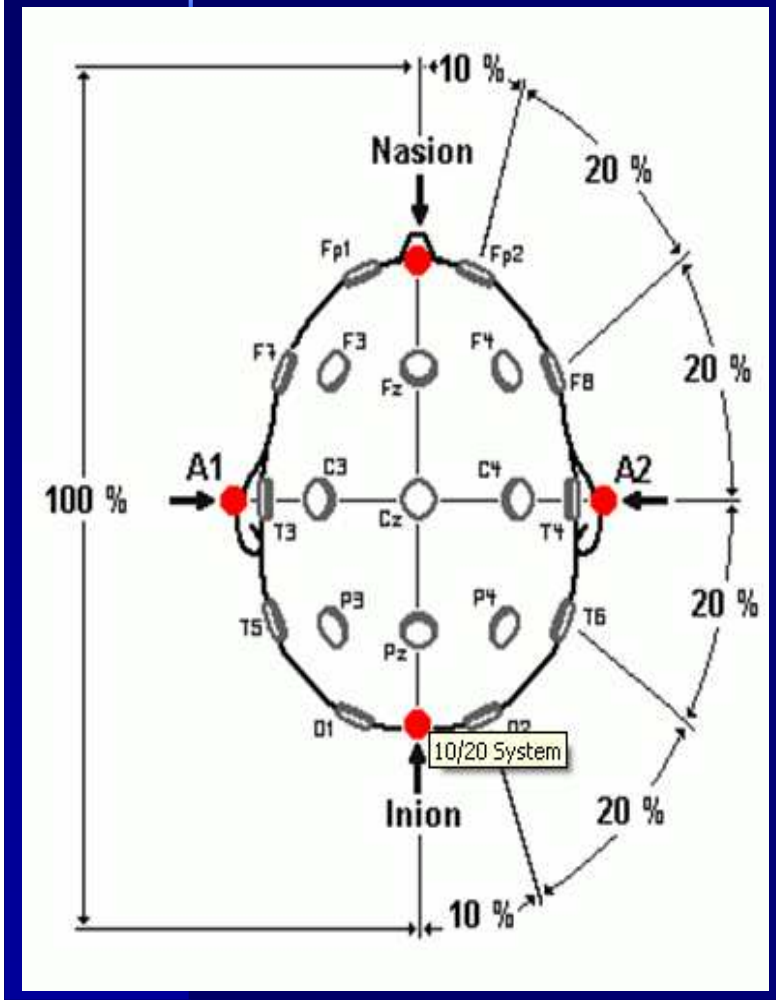
C - Magnéto-encéphalographie (MEG)

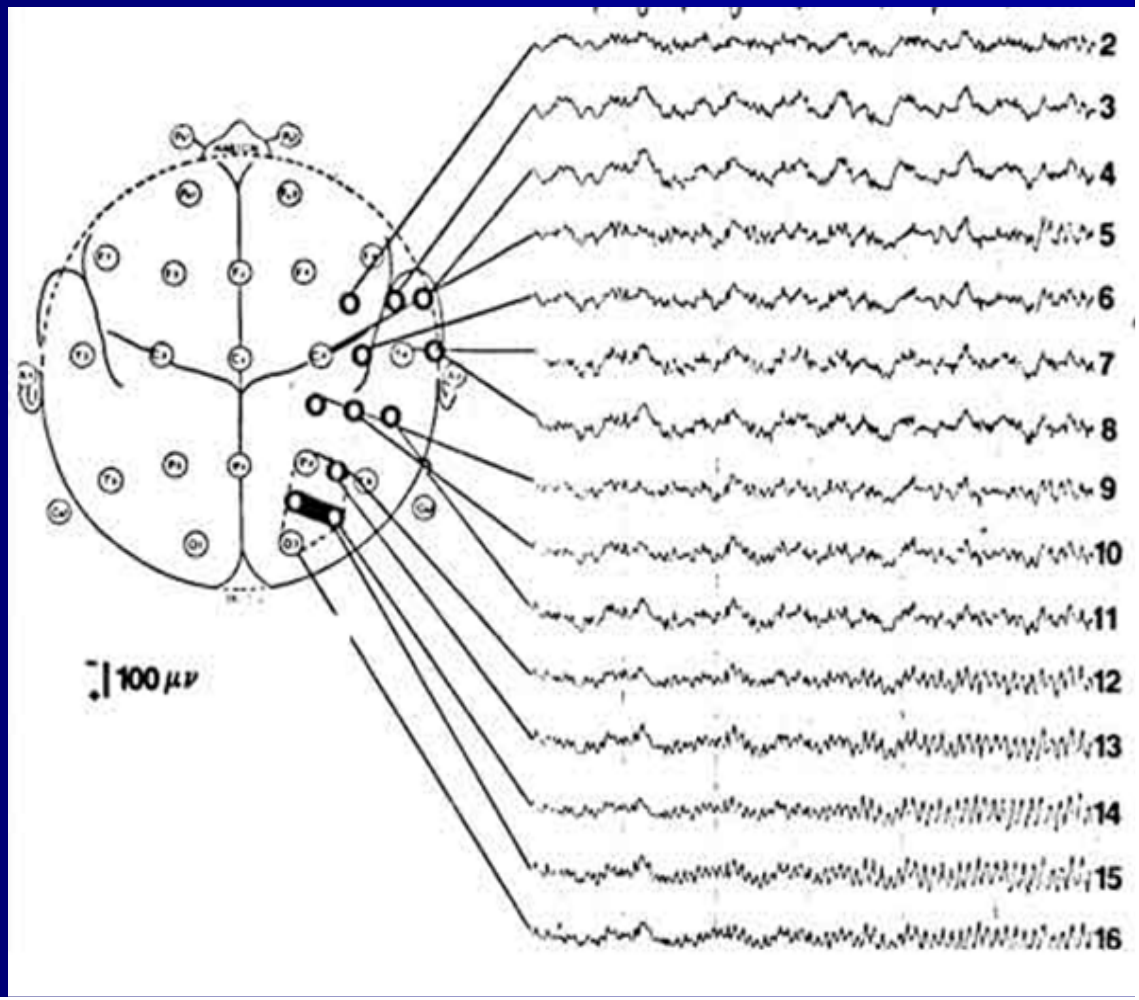
1 A - ÉLECTRO-ENCÉPHALOGRAPHIE (EEG)

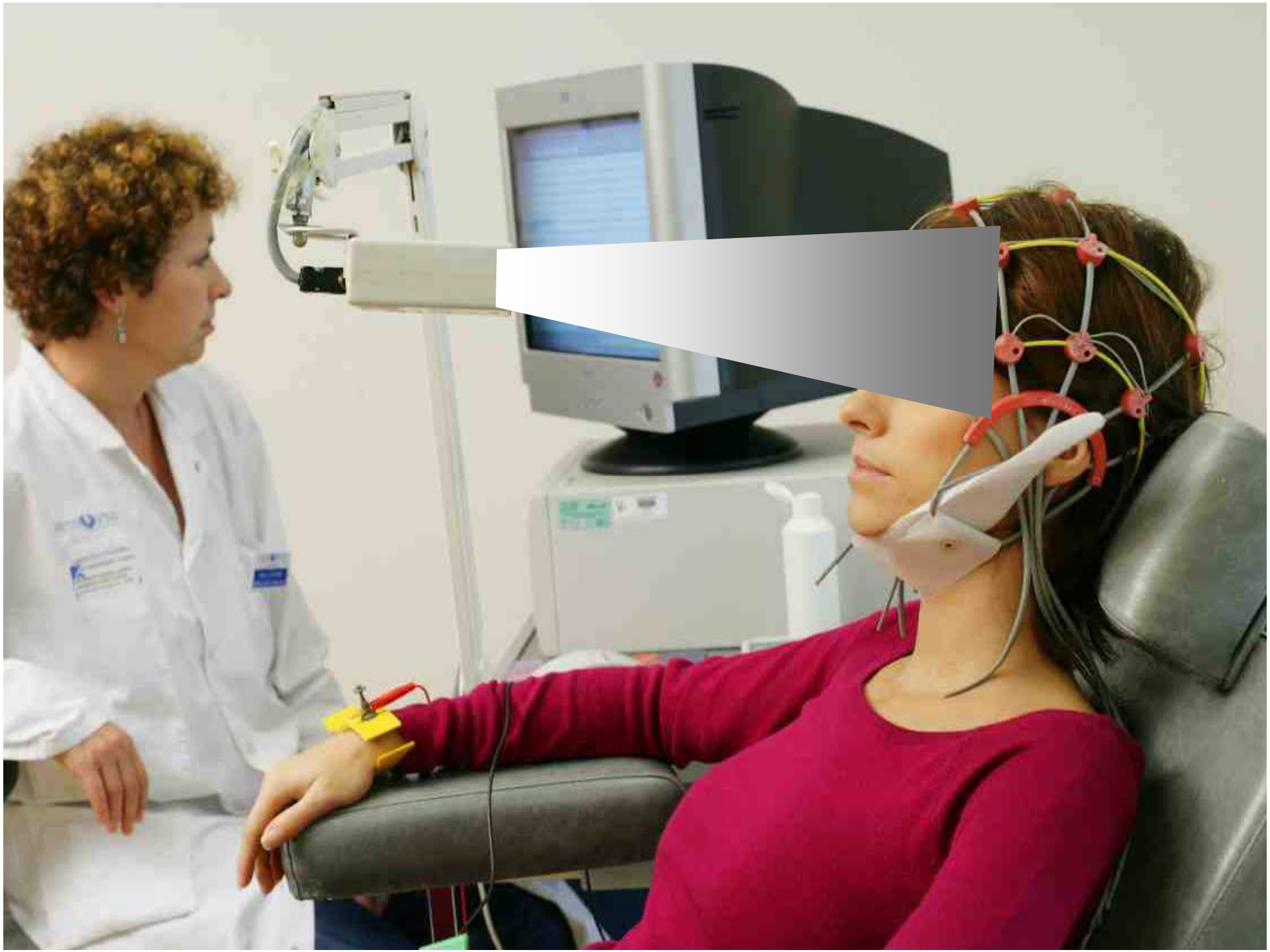
- Amplifier l' activité électrique générées par les neurones
  - à la surface du crâne
  - Mesure de la différence de potentiel électrique entre deux points (ou d' un point par rapport à un référence),
- Amplitude de 10 à 100 µV
- Résolution temporelle : ~ms: temps réel
- Distorsion du signal par les tissus biologiques traversés


Amplificateur d'EEG
Électrodes d'EEG
Scalp
Crâne
Dure-mère
Arachnoïde
Espace subarachnoïde
Pie-mère
Synapses actives
Axone afférent
Axone efférent

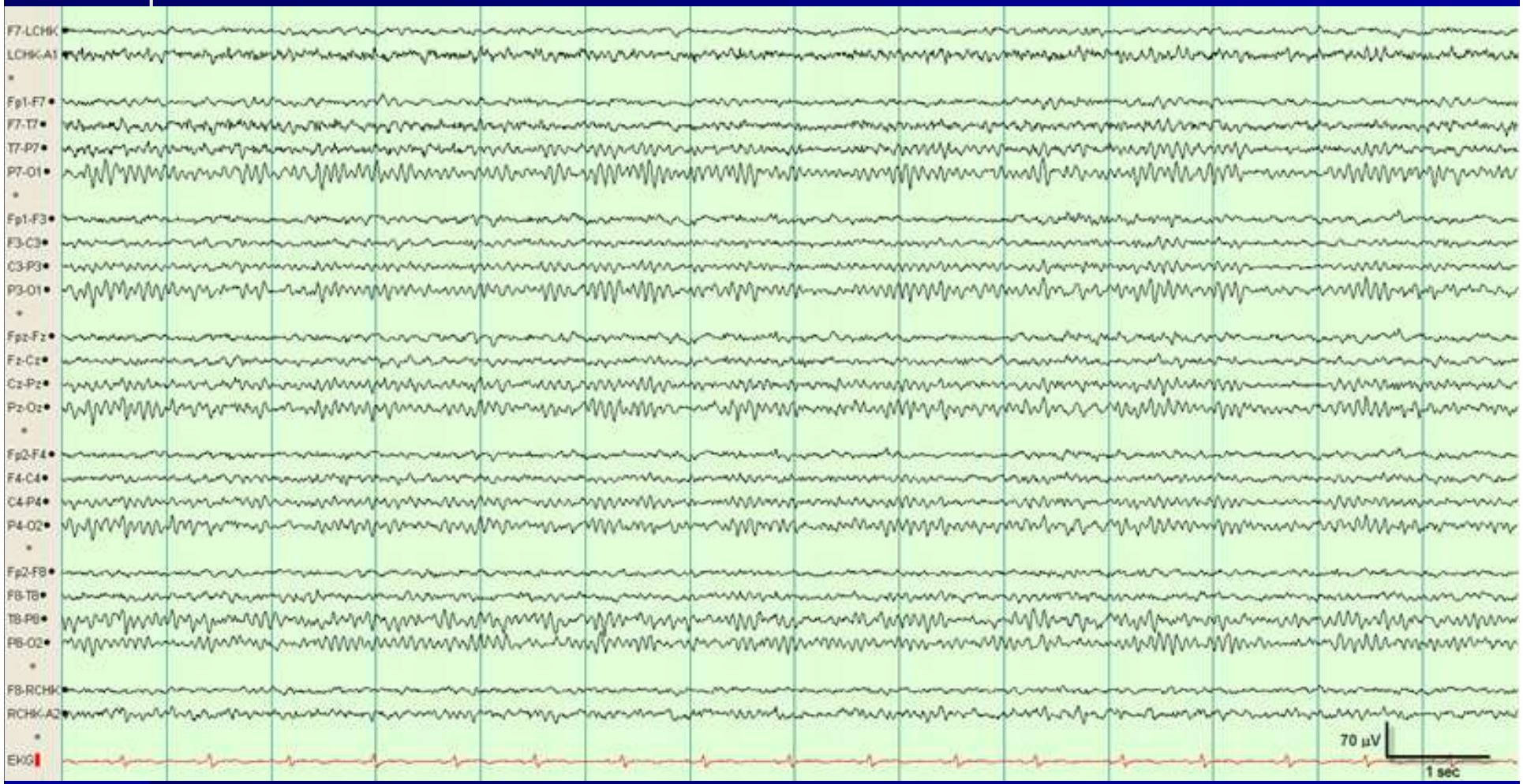
Montages: système 10-20



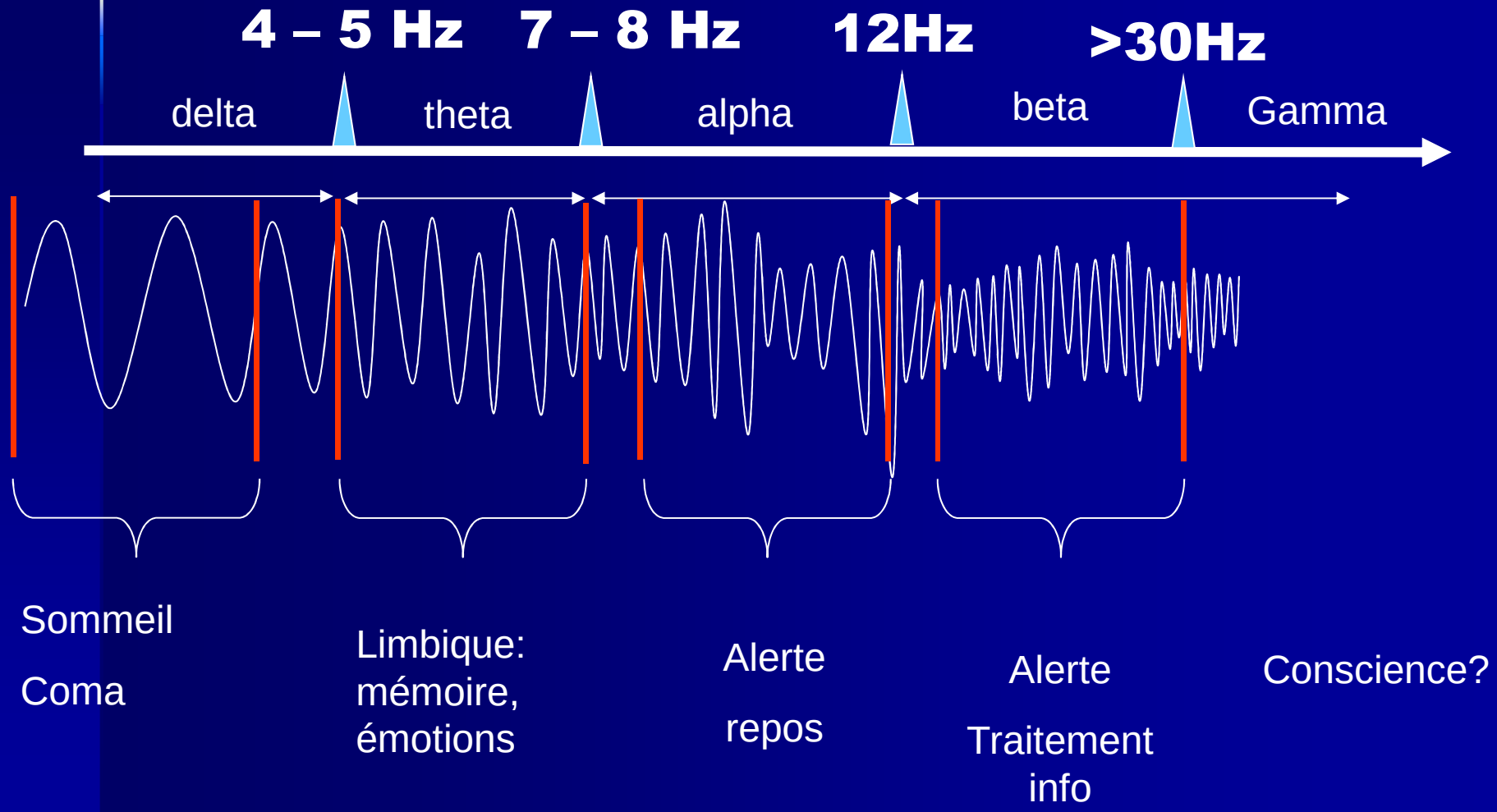




Tracés EEG


F7-LCHK
LCHK-A1
Fp1-F7
F7-T7
T7-P7
P7-O1
Fp1-F3
F3-C3
C3-P3
P3-O1
Fpz-Fz
Fz-Cz
Cz-Pz
Pz-Oz
Fp2-F4
F4-C4
C4-P4
P4-O2
Fp2-F8
F8-T8
T8-P8
P8-O2
F8-RCHK
RCHK-A2
EKG
70 µV
1 sec

Les rythmes EEG physiologiques



Intérets en pratique

- Peut montrer des anomalies en rapport avec
  - Épilepsie
  - Encéphalopathie
  - Certaines maladies
  - Sommeil

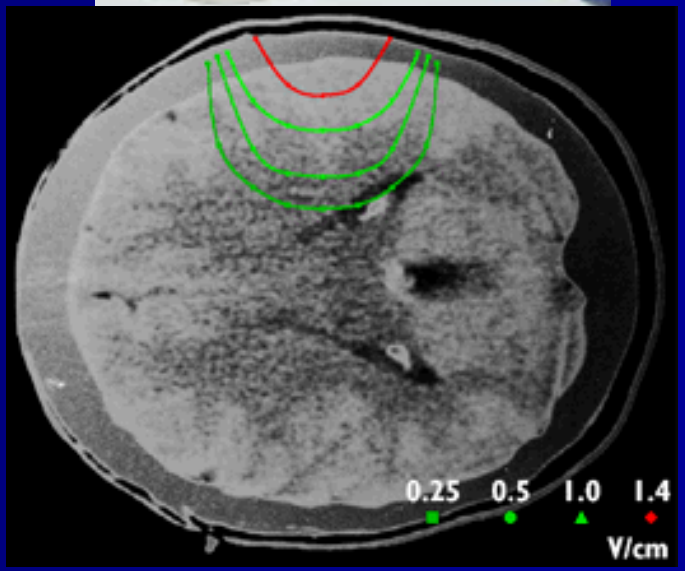
EEG: avantages et inconvénients

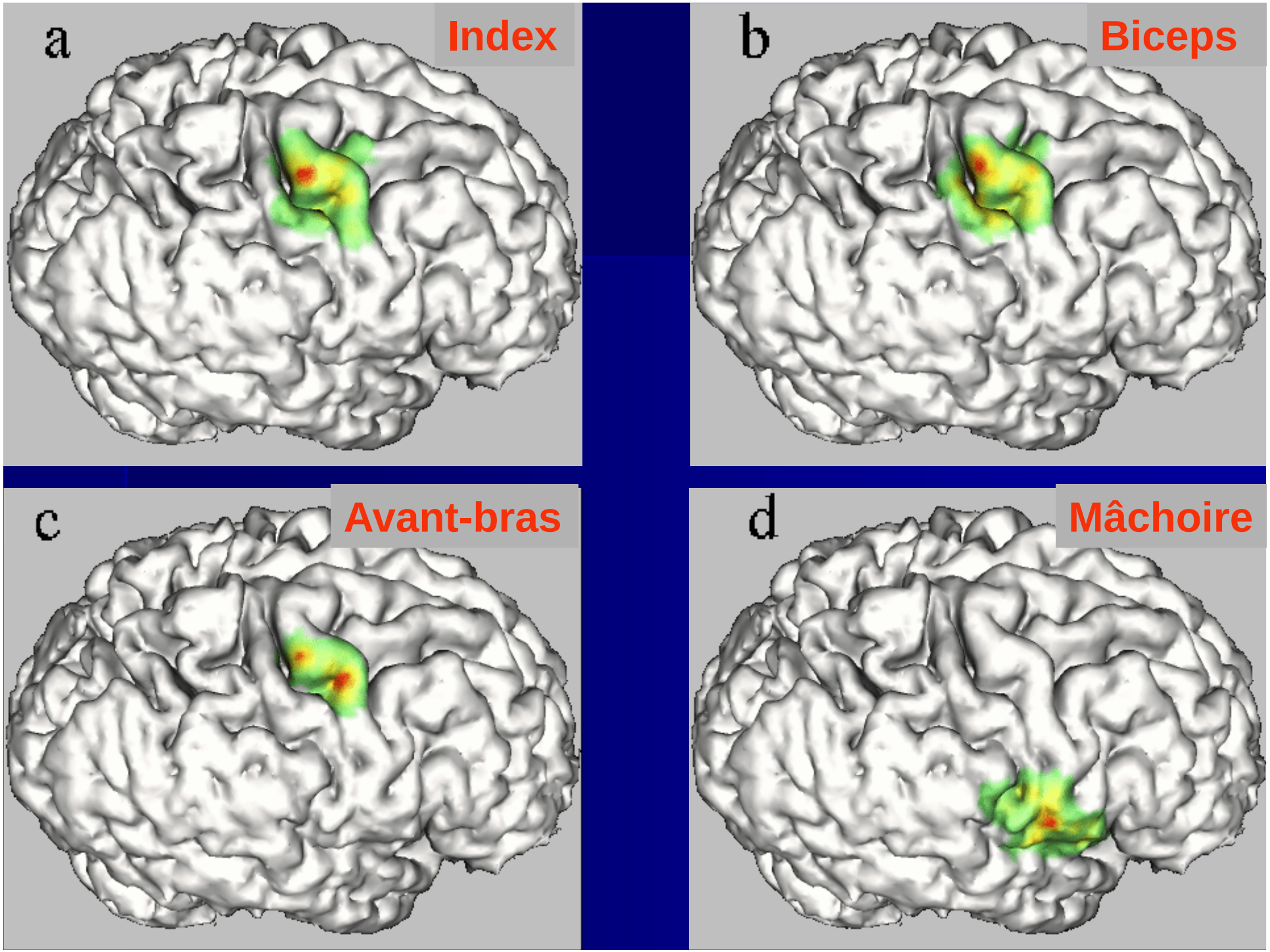
- Pour :
  - Excellente résolution temporelle (temps réel)
  - Technique non invasive
  - Utile pour étudier des variations globales (sommeil par exemple)
  - Appareillage peu onéreux
  - Simplicité de mise en oeuvre
- Contre :
  - Faible résolution spatiale (plusieurs cm autour de l'électrode)

Stimulation magnétique transcranienne (SMT)

- Le champ magnétique est généré par un courant qui circule à travers une bobine de fils de cuivre isolée dans une gaine de plastique
  - Ur le crâne, au-dessus de la région cérébrale à stimuler
  - passe directement à travers le crâne
  - Indolore
- La profondeur de la stimulation limitée à environ deux centimètres sous la surface du crâne (atténuation du champ magnétique avec la distance.
- Permet
  - Etudier voies motrices (cf PEM)
  - Lésion virtuelle temporaire
  - Traitement : hautes fréquences

1 B - STIMULATION MAGNÉTIQUE TRANSCORTICALE




a
Index
b
Biceps
c
Avant-bras
d
Mâchoire

1 C - MAGNÉTO-ENCÉPHALOGRAPHIE (MEG)

- Enregistrement du champ magnétique provenant de sources de courant électrique

- Un courant est toujours associé à un champ électrique perpendiculaire à sa direction: mouvements ioniques responsables de l'activité électrochimique des neurones

- Les lignes de champs magnétiques ne sont pas déformées par le cerveau qui ne leur présente pas de résistance. (≠EEG: meilleure localisation)

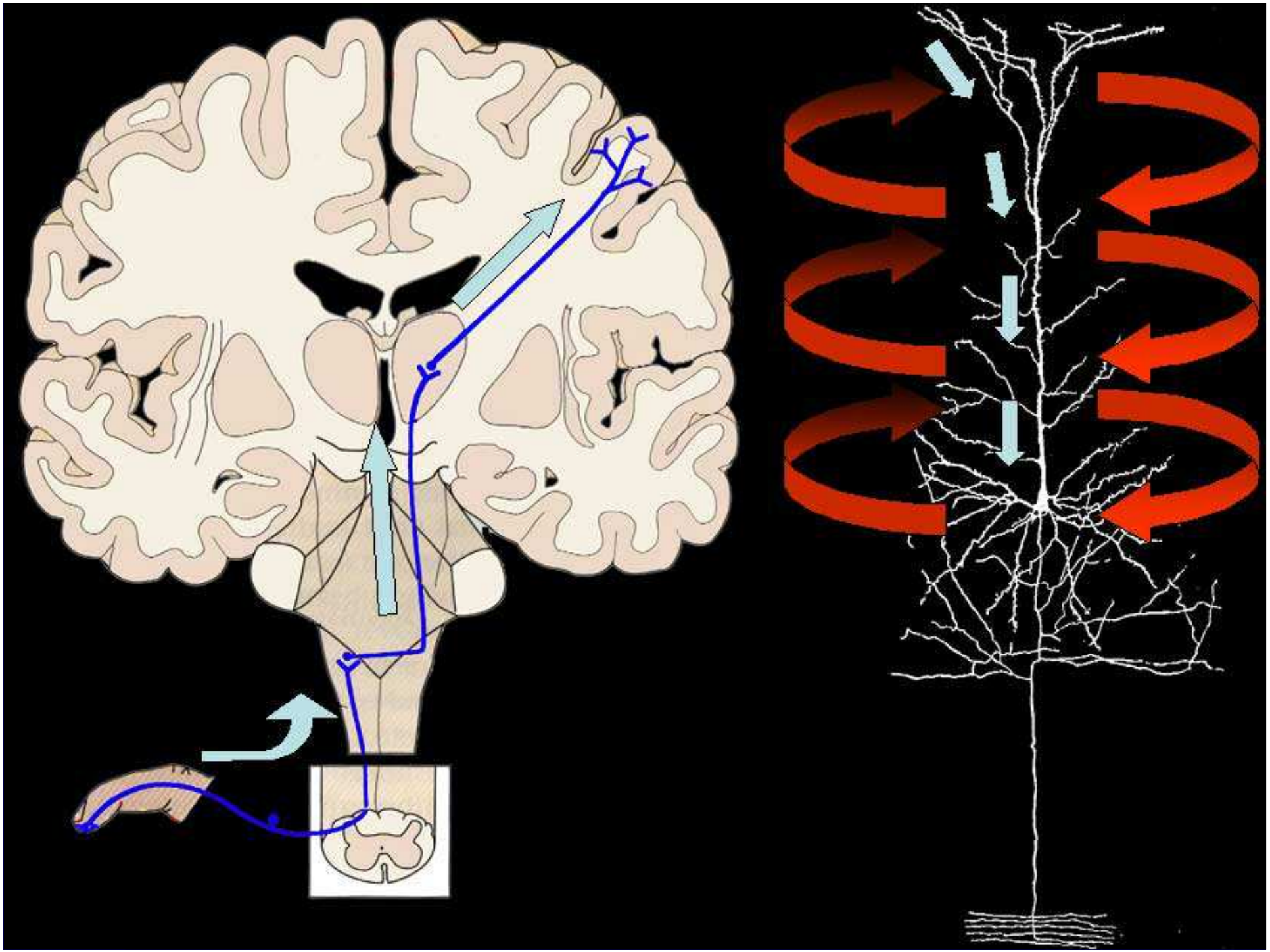
Enregistrement du champ magnétique

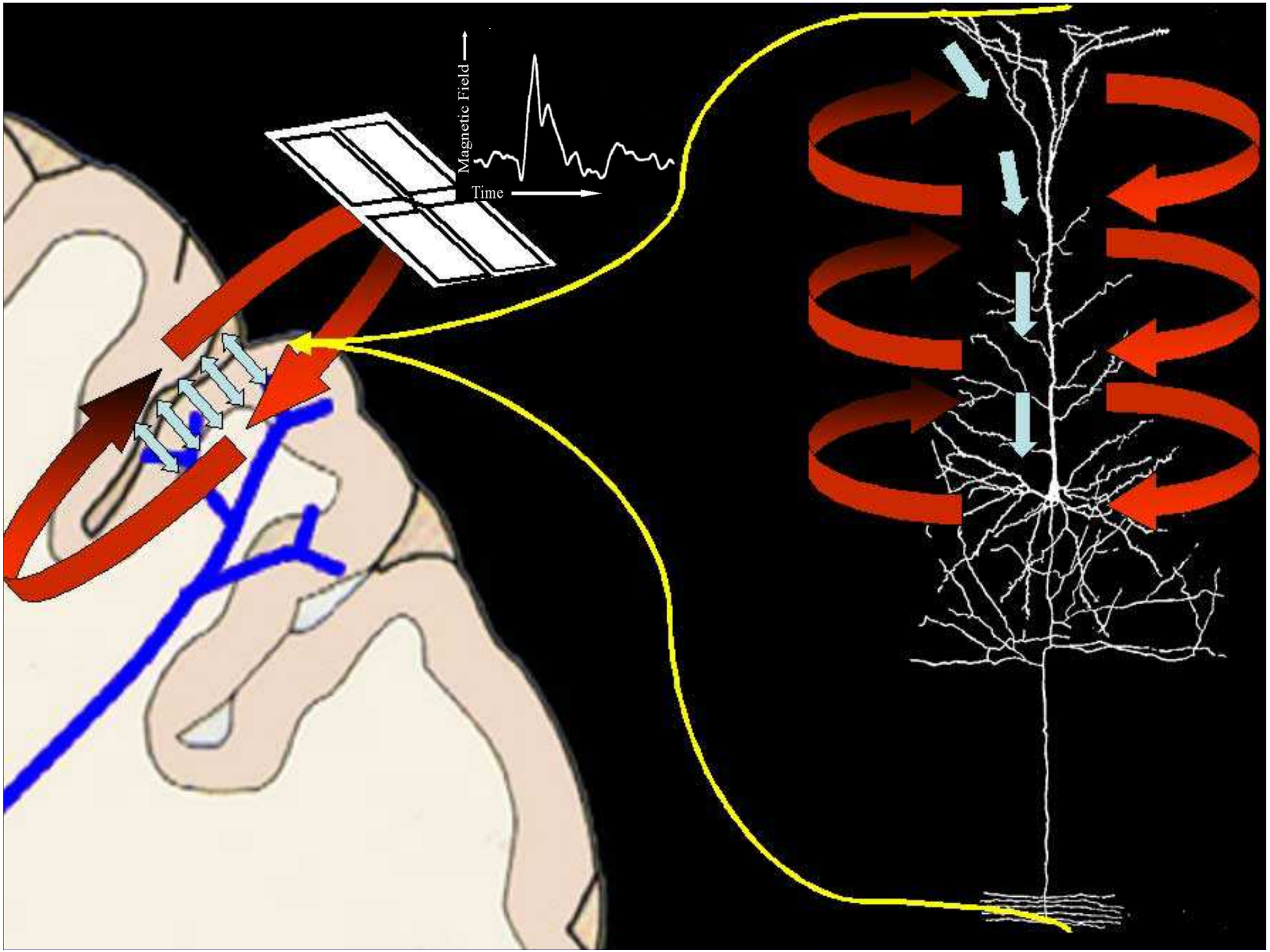
- Magnétomètre **:** détecteur unitaire fait d'un bobinage de fil métallique conducteur

- Variations de champ magnétique cérébral induisent un courant (de l'ordre du femto-tesla, soit 1milliard de fois plus faible que le champ magnétique terrestre !).

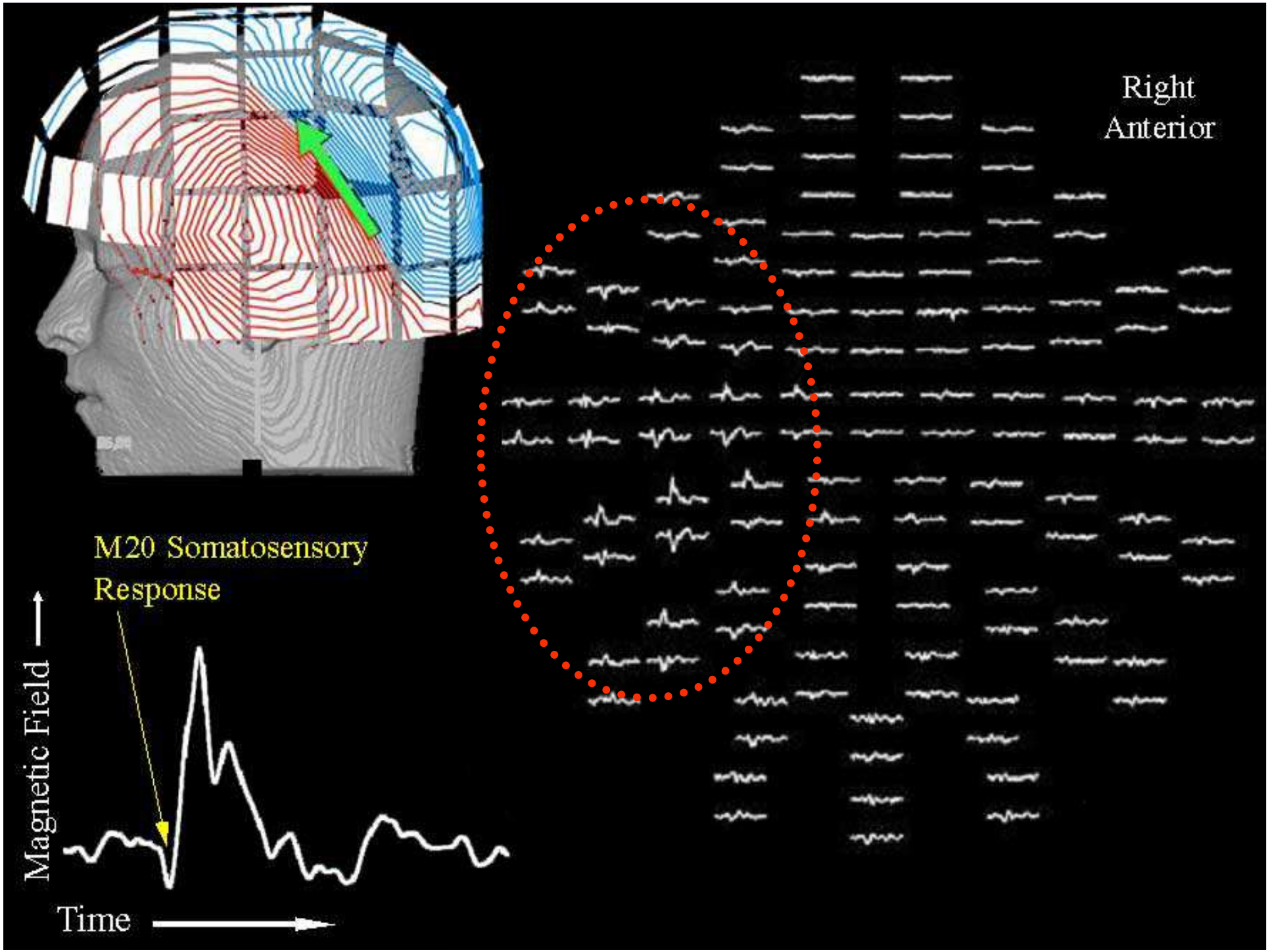
Contraintes physiques

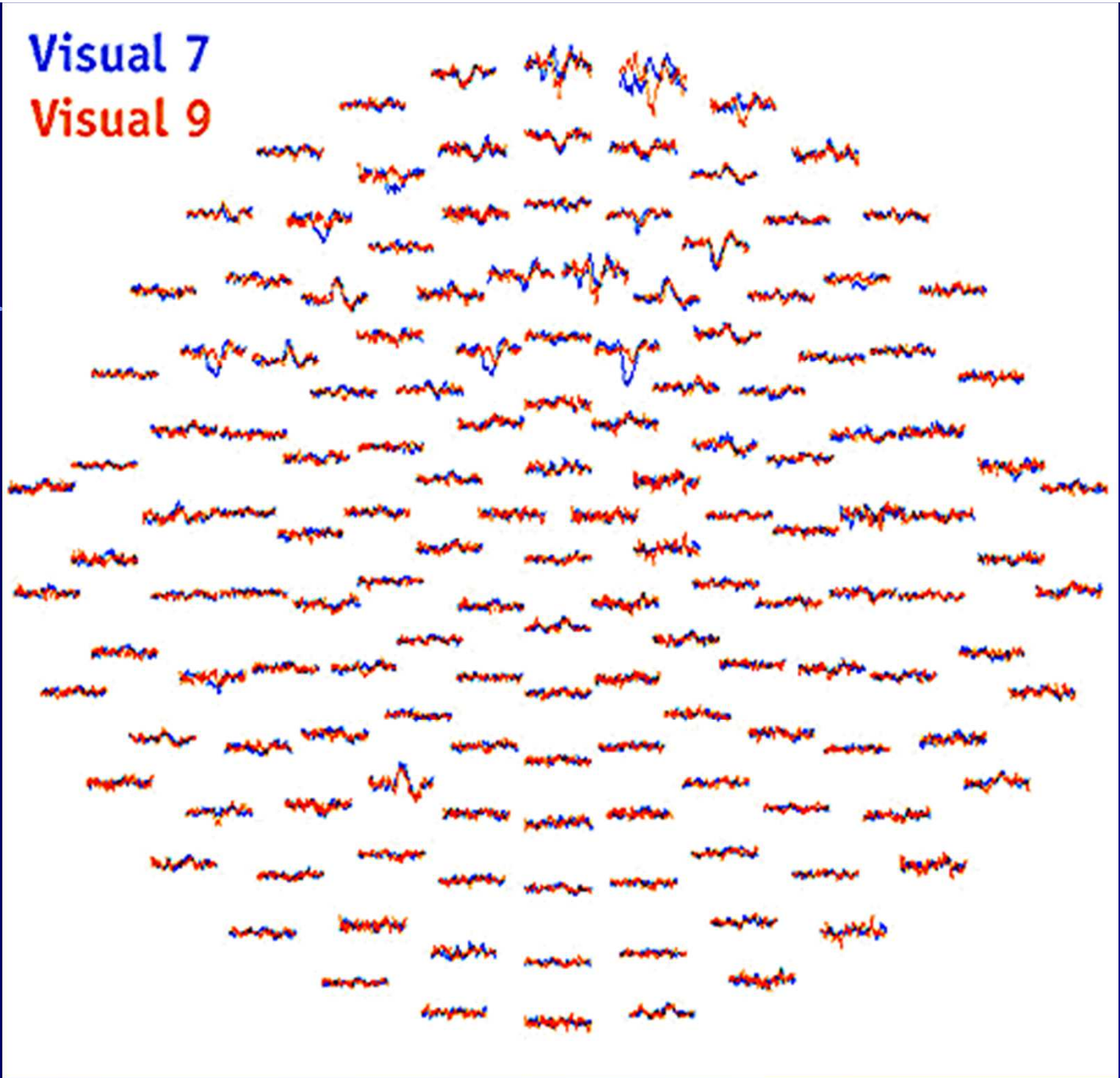
- Les mesures ne sont possibles que si le bobinage est refroidi à très basse température (supraconductivité): supprime la résistance
- L'appareillage avec le sujet doivent être isolés dans une chambre blindée: supprimer les interférences
- les cadences d'échantillonnage temporel sont de l'ordre de la milliseconde.




Magnetic Field
Time

Jusqu’à 300 points de mesure: résolution 2mm


Right
Anterior
M20 Somatosensory
Response
Magnetic Field
Time


Visual 7
Visual 9

MEG: avantages et inconvénients

- Pour :
  - Excellente résolution temporelle (aucun délai)
  - Technique non invasive
  - Simplicité de mise en oeuvre
  - Peut être associée à l'IRMf
- Contre :
  - Faible résolution spatiale, mais meilleure que EEG
  - Technique onéreuse
  - Contraintes techniques

MEG en pratique

- En clinique: détection de foyers épileptiques et les zones de cortex à épargner lors de chirurgies à cause de leur fonction

- En recherche: surimposition à des images d'IRM, ce qui permet de localiser avec précision les régions corticales subissant des modifications d'activité lors d'une tâche particulière.

II – MÉTHODES BASÉES SUR LA CIRCULATION ET LE MÉTABOLISME CÉRÉBRAL

A - Caméra à positons (TEP)

B - IRM fonctionnelle

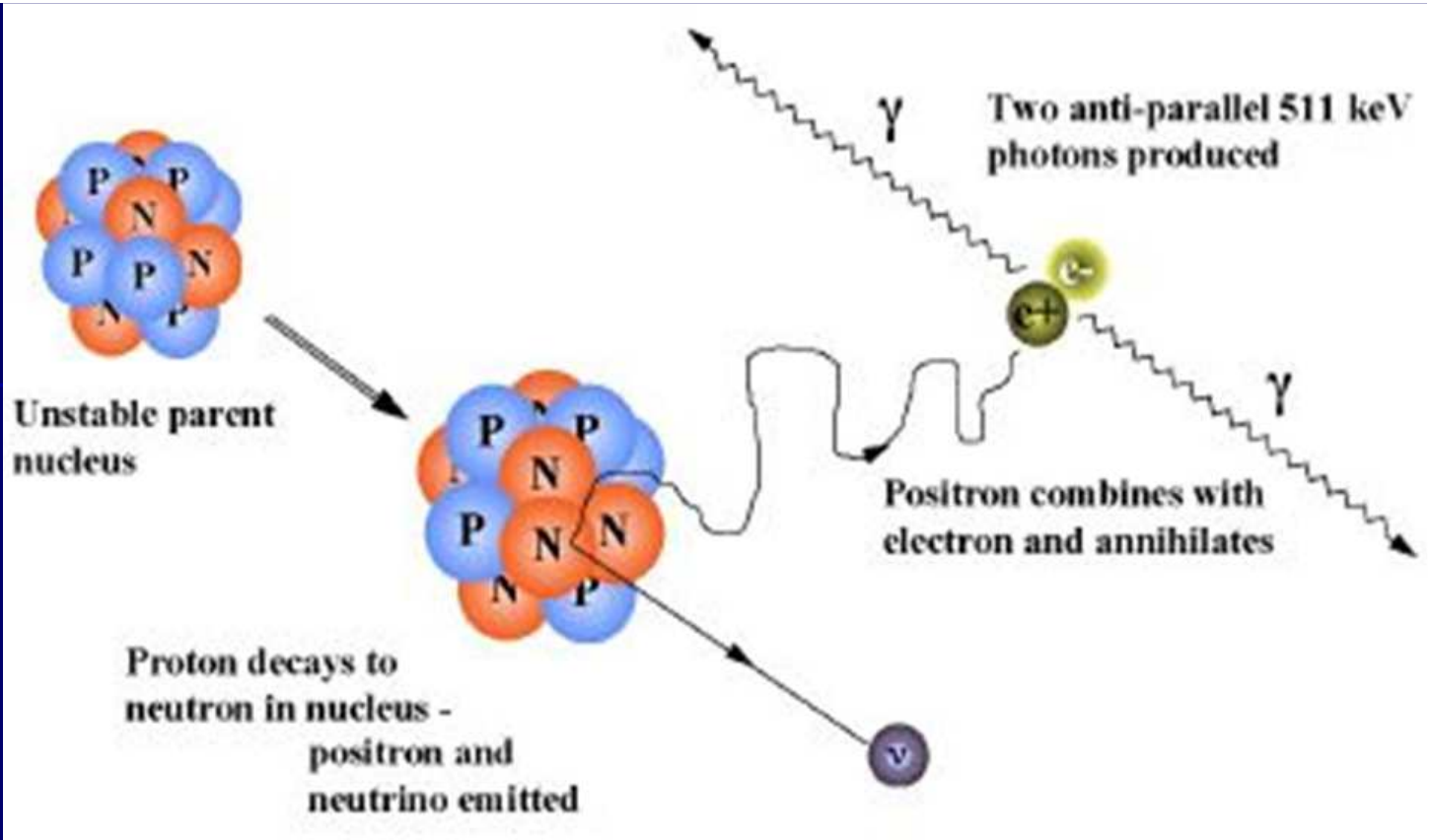
2 A - TOMOGRAPHIE PAR ÉMISSION DE POSITONS (TEP)

- Marquage radio-actifs de substances injectées à l' intérieur du corps
- Recueil des rayonnement émis (particules gamma et béta)
- Caméra statique ou rotative (tomographie).
- SPECT
- PET-SCAN

Tomographie par émission de positon (TEP) « PET scan »

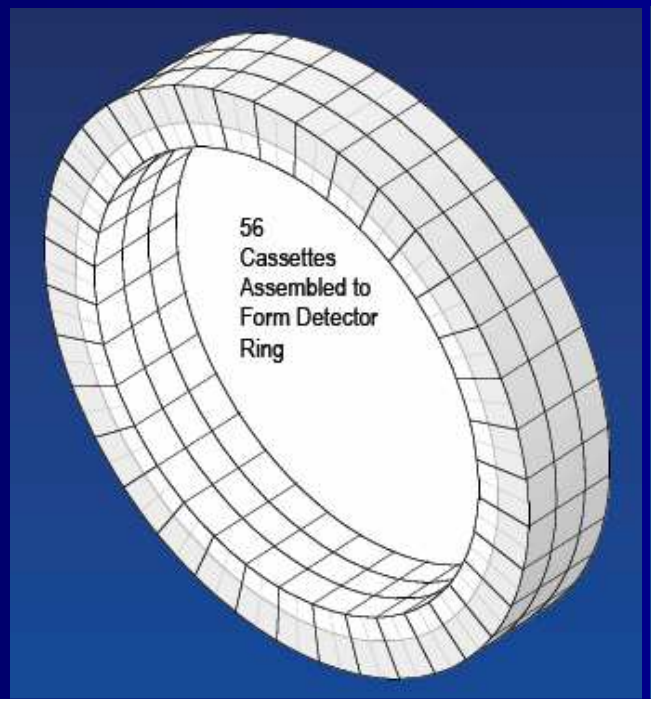
- Fonctions cognitives modifient localement la circulation sanguine cérébrale.
- Groupe de neurones plus actifs
  - Vasodilatation locale des capillaires sanguins cérébraux
- Principe du TEP
  - Injecter un traceur radioactif
  - Augmentation de la radioactivité dans les zones les plus actives (cf débit sanguin)

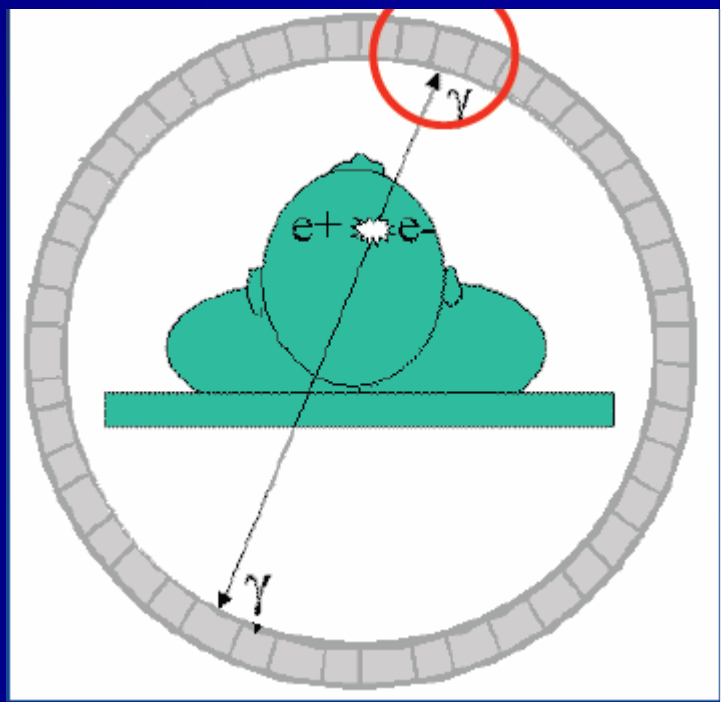
Théorie TEP



- Traceurs radioactifs: emetteurs de positons: excès de charges + dans noyau
- Désintégration par transformation β+:
  - P-→ n+e⁺+v
- e⁺ parcourt quelques mm dans les tissus et rencontre un électron: réaction d' annihilation
  - Émission de 2 photons dans directions opposées 180°

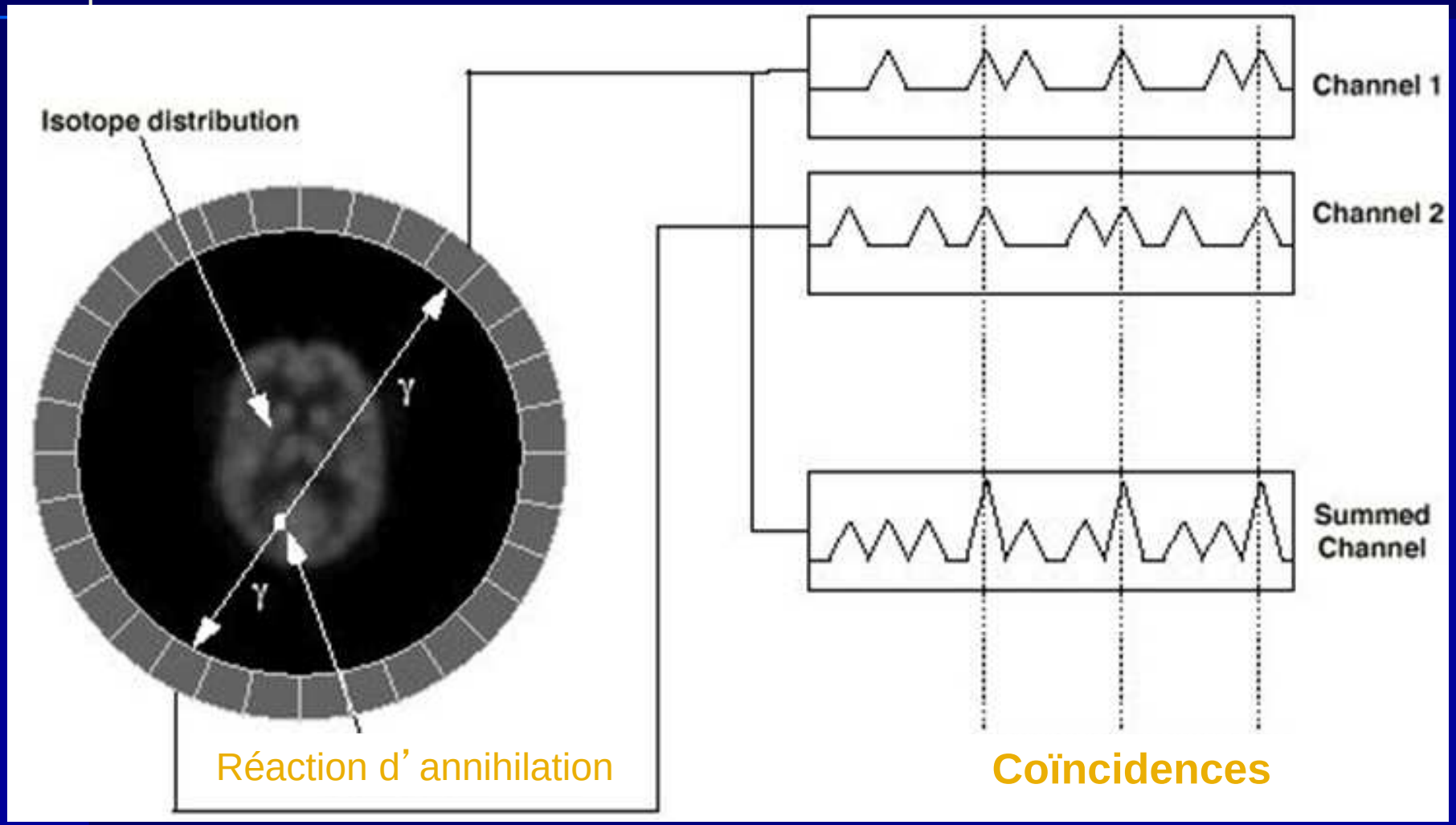
TEP





Détection en coïncidence des photons d’annihilation

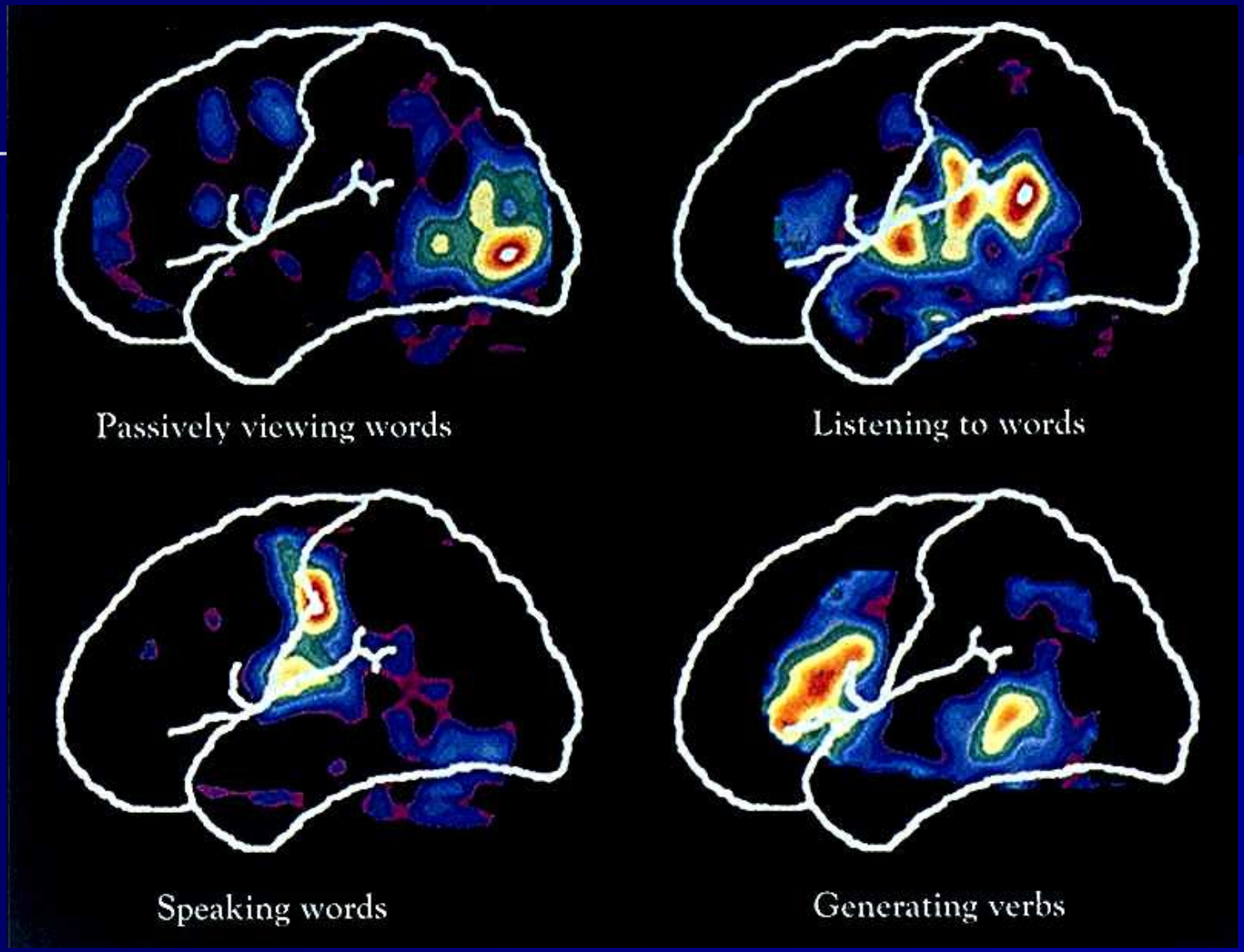
Détection en coïncidence



Les radio traceurs

- Émetteurs béta +
  - haute énergie, traverse le crâne,
  - détection extra crânienne
- Produits artificiellement par un cyclotron
- Liés à un traceur comme le glucose par des procédés radio-pharmaceutiques
- Doivent être utilisés très rapidement après la production car demi-vie très courte
  - 50% de perte en 2min ^{15}O pour et 2heures pour ^{18}F.
- Voie d'introduction: injection IV

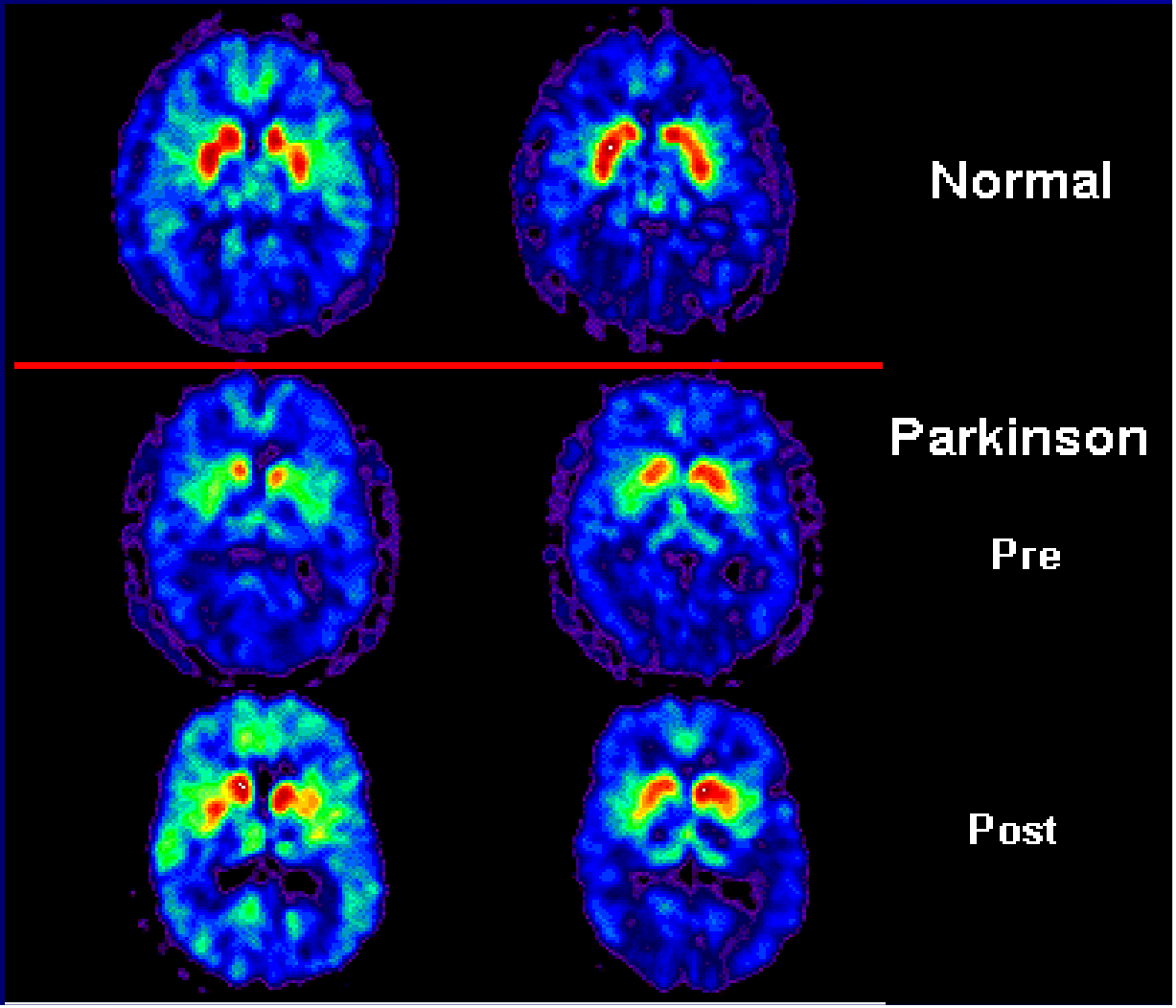
TEP = imagerie fonctionnelle



TEP: Imagerie de ligand

Inclusion l'isotope radioactif dans certaines substances dont on veut connaître l'utilisation métabolique par certaines régions cérébrales.

L'étude des neurotransmetteurs



TEP : avantages et inconvénients

Avantages :

- versatile, de nombreux marqueurs = de nombreuses fonctions
- imagerie quantitative

- Inconvénients :
  - Production de marqueurs → cyclotron
  - Demi-vie réduite → proximité du cyclotron
  - Invasif, et nombre très limité d'examens par patient.

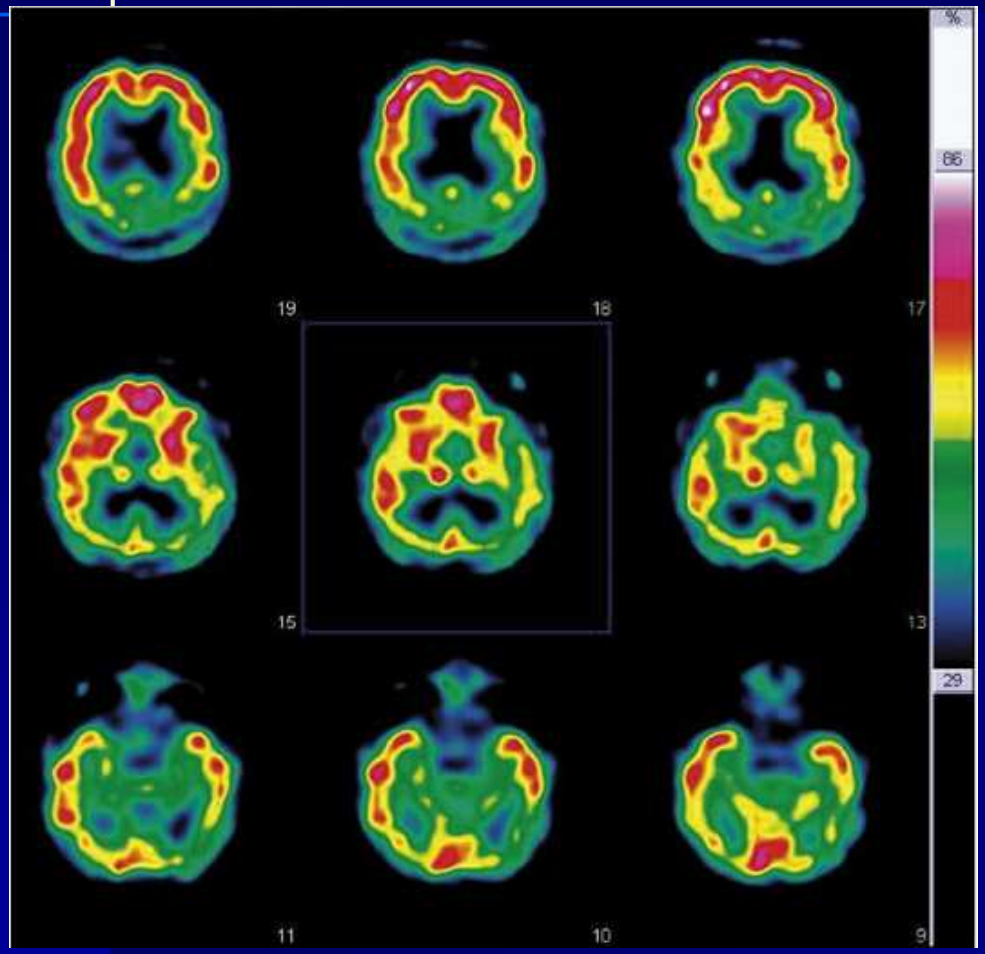
SPECT (*Single photon emission computed tomography*)

Tomographie par emission monophotonique (TEMP)

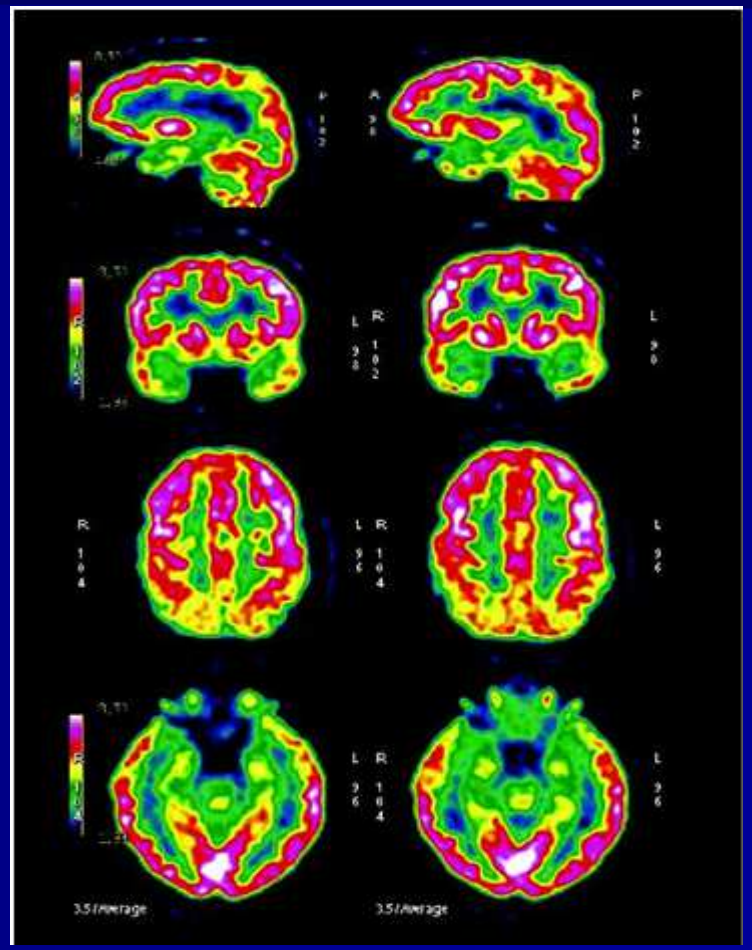
- Principe proche du TEP
- Emission de photons
- Gamme de radiotraceurs plus étendue
  - I123, T99, X133, Th 201, F18
- Plus simple à mettre en oeuvre

Comparaison SPECT/TEP

Maladie d'Alzheimer



SPECT T99

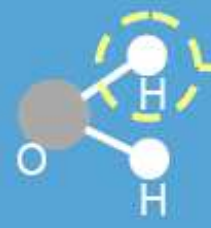


FDG TEP

IRM: principes 1

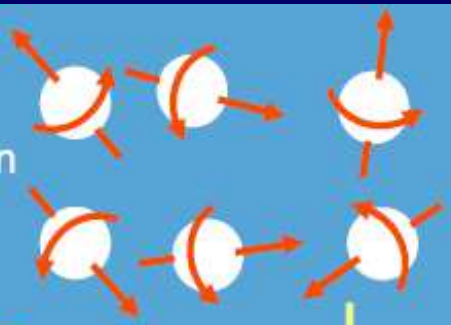
- Chaque atome à des de propriétés magnétiques intrinsèques:
  - caractérisées notamment par un vecteur de magnétisation (aiguille d'une boussole)
  - spontanément, orientation aléatoire de ce vecteur
- Dans un champ magnétique élevé atomes sont placés, ils s'orientent tous parallèlement au champ magnétique
- Lorsqu'ils sont excités par une onde radio à une fréquence particulière (onde de radio fréquence RF)
  - basculent leur vecteur d'aimantation d'un certain angle (phénomène de **résonance**)
- A l'arrêt de l'onde RF,
  - retour à la position d'équilibre (phénomène de **relaxation**):
  - Emission d' un signal

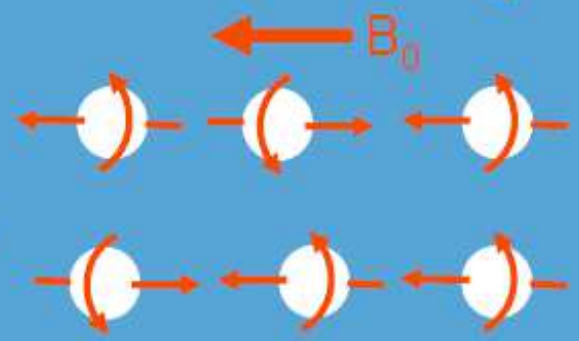
Principes de base



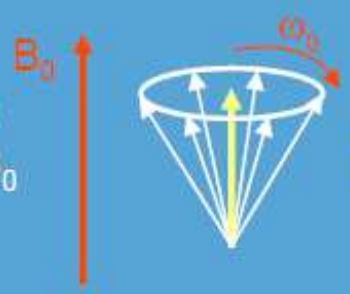
Spin des protons ⇒ moment magnétique microscopique

En l'absence de champ : orientation aléatoire



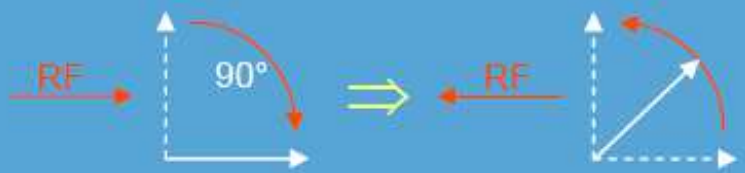


En présence de champ: polarisation



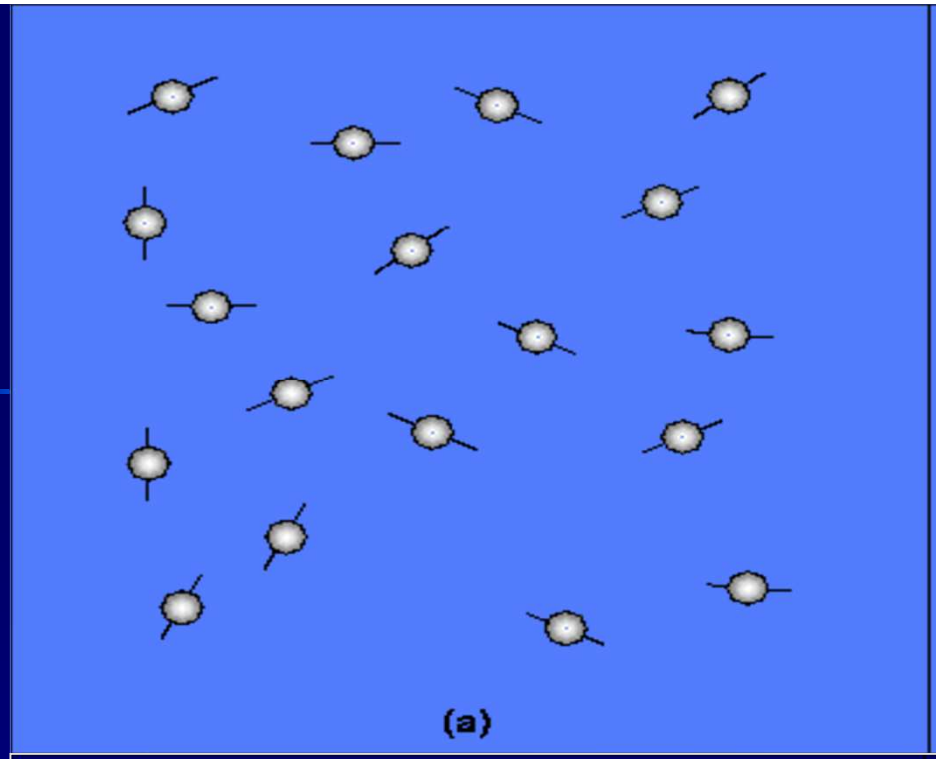
Polarisation = mouvement de précession autour de B_0

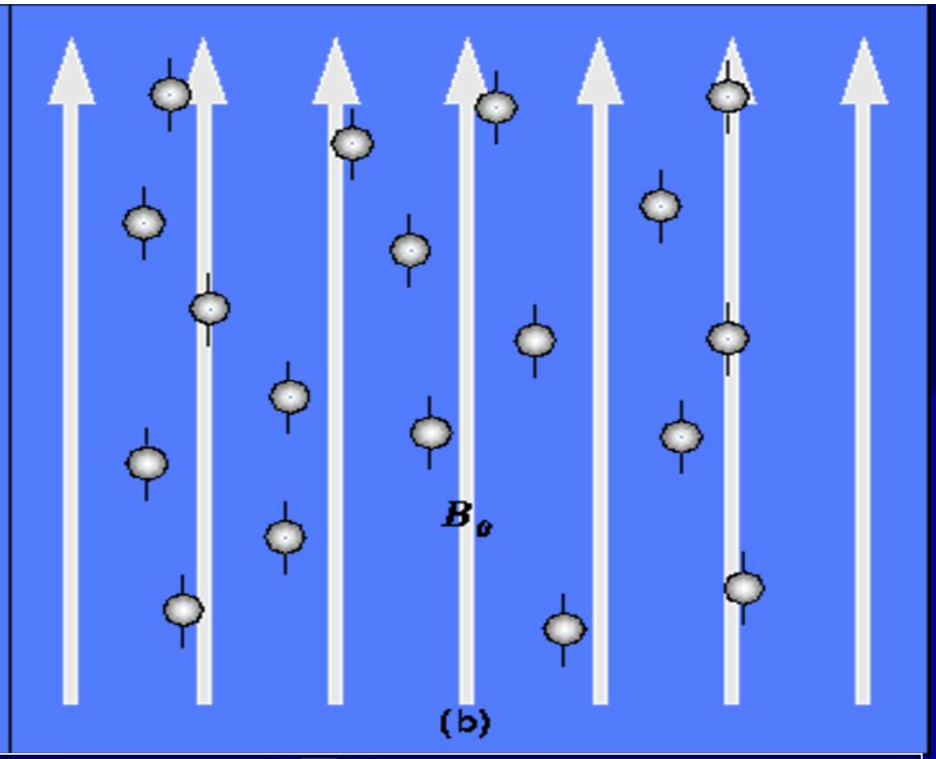
Envoi d'une impulsion radio-fréquence (ω_0) ⇒ dépolarisation
Après l'impulsion ⇒ repolarisation (*relaxation*) ⇒ émission d'une onde radio-fréquence.

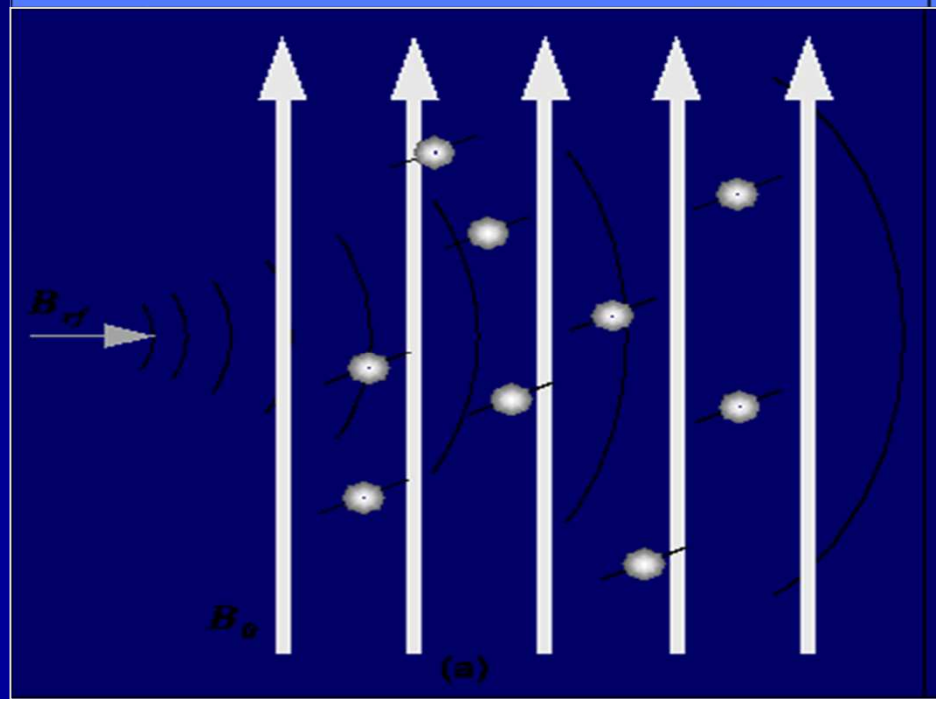


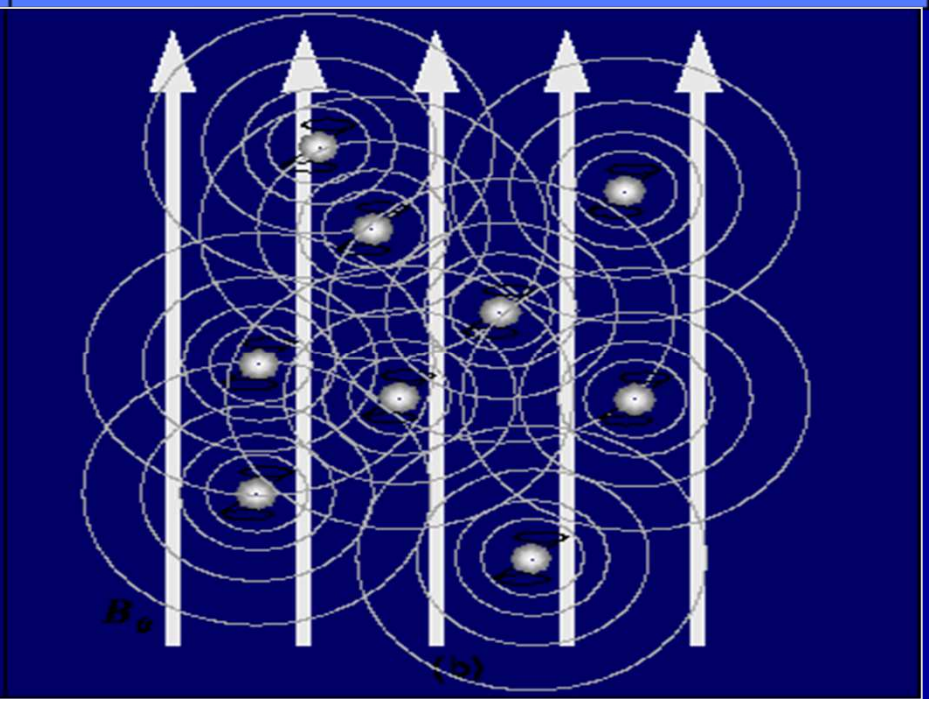
IRM: principes 2

- On utilise les propriétés magnétiques du noyau d'hydrogène (un des constituants majoritaires des tissus)
- L'excitation des protons se fait selon des séries successives d'impulsions RF appelées « séquences » d'excitation
- on mesure l'aimantation résultante en chaque point des tissus analysés

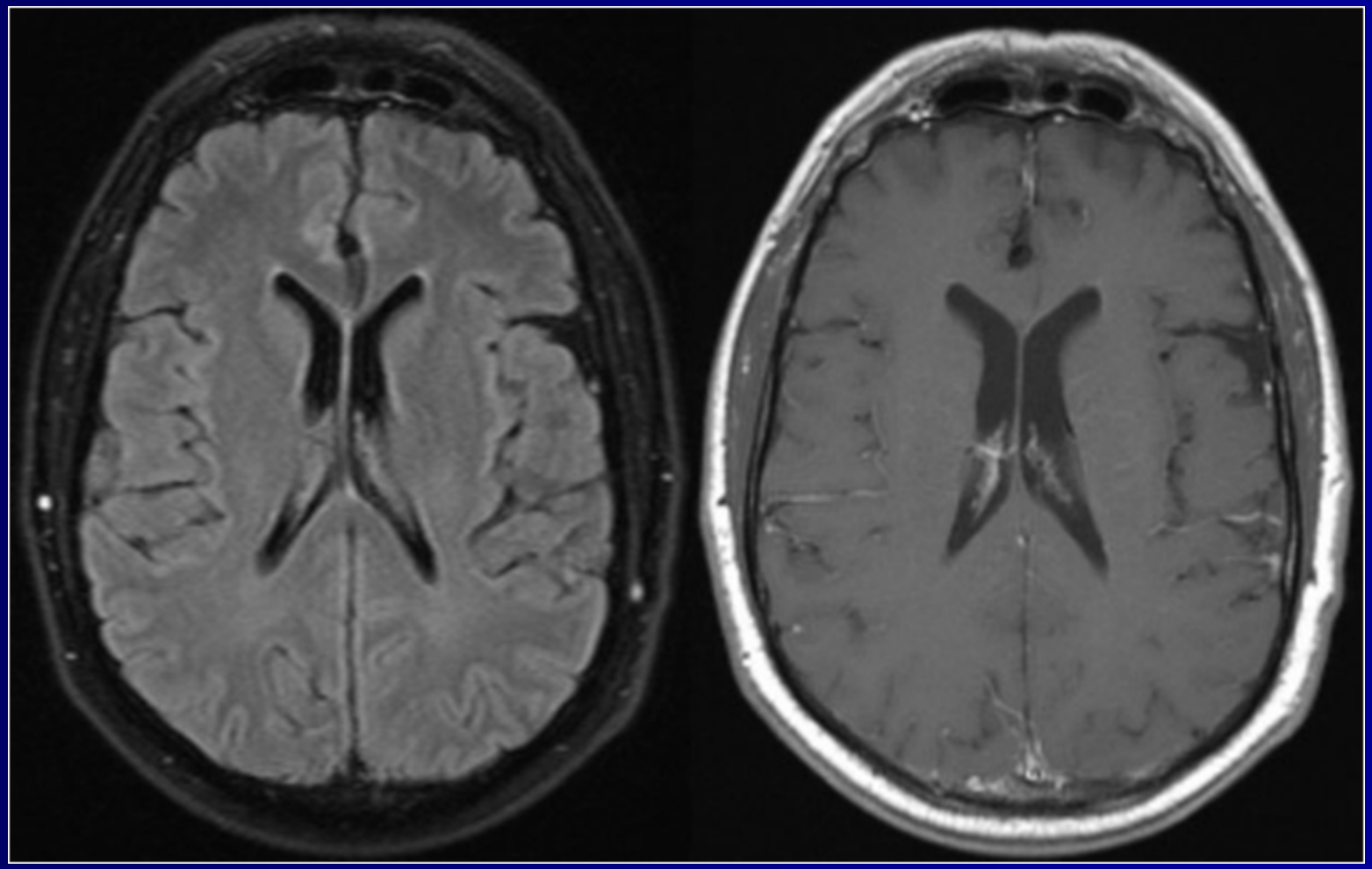

(a)


B_0
(b)


B_{rf}
B_0
(a)


B_0
(b)

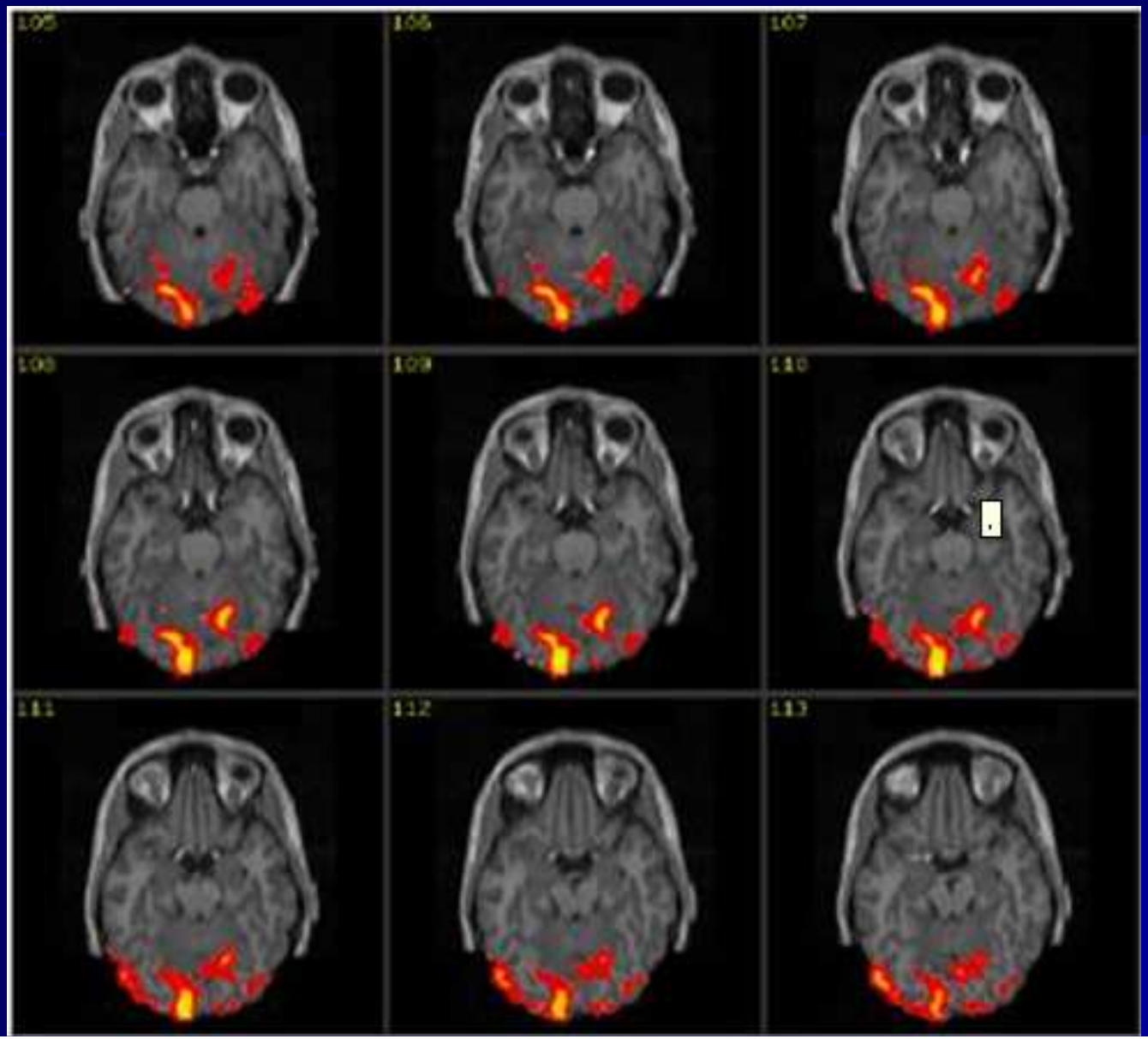
IRM morphologique



IRM fonctionnelle

- les fonctions cognitives modifient localement la circulation sanguine cérébrale.
  - quand un groupe de neurones devient plus actif,
    - une vasodilatation locale des capillaires sanguins cérébraux
      - pour amener plus de sang, et donc d'oxygène, vers ces régions plus actives.
- L'hémoglobine,
  - Protéine possédant un atome de fer qui transporte l'oxygène a des
  - propriétés magnétiques différentes selon qu'elle transporte de l'oxygène ou qu'elle en a été débarrassée par la consommation des neurones les plus actifs.
- IRMf détecte la concentration de désoxy-hémoglobine (l'hémoglobine débarrassée de son oxygène) que l'IMRf va détecter.
  - Cette molécule a la propriété d'être paramagnétique : elle engendre dans son voisinage une faible perturbation du champ magnétique.
- Soustractions images à celle enregistrées avant la tâche étudiée
  - certaines zones qui « s'allument » aux régions les plus irriguées et donc les plus actives au niveau de l'activité neuronale.

Variation du rapport HbO2/Hb



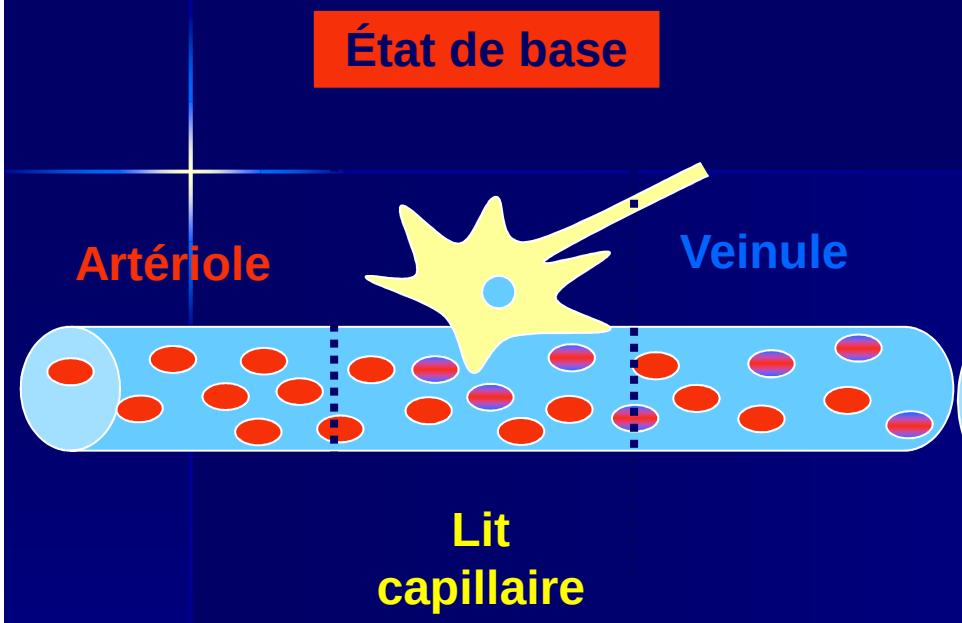
Phénomène BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent)

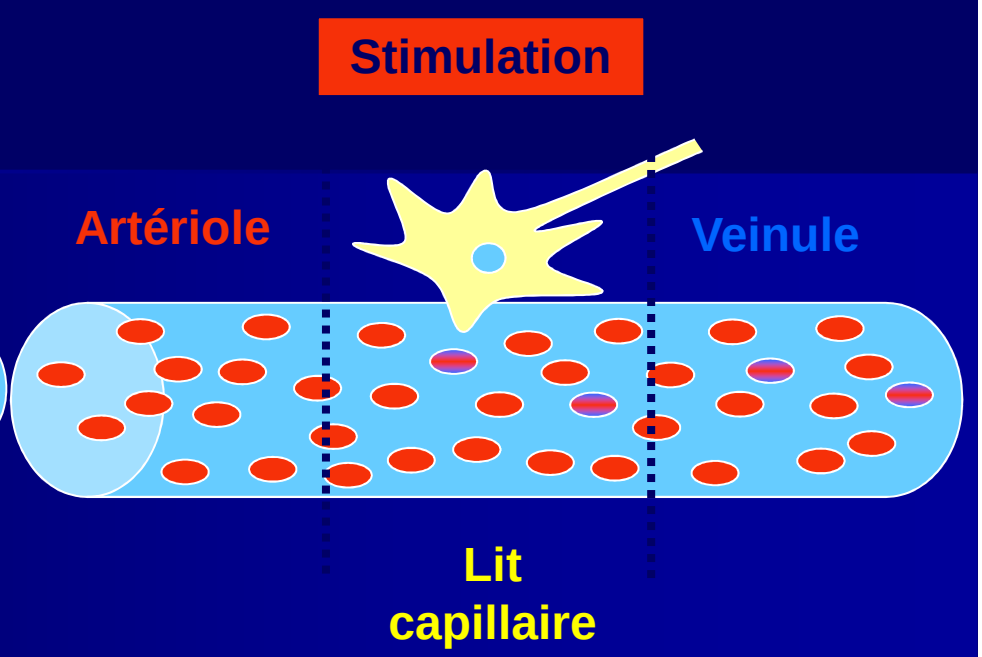
- Activation des neurones
  - Le sang oxygéné pénétrant dans une zone vasodilatée provoque une augmentation relative l'HbO2 et la dilution de la déxoy-Hb
  - Provoque une augmentation du signal en T2*
- Sang veineux :
  - Au repos: 60% HbO2 et 40% déoxy-Hb
  - Activation : 63% HbO2 et 37% déoxy-Hb
- Baisse de la déoxy-Hb :
  - Perceptible 2 secondes après le signal d'activation du neurone,
  - maximum au bout de 5 à 8 secondes
  - Signal BOLD retardé par rapport au décours réel de l'activation neuronale de plusieurs secondes

Effet Bold

Déoxy-Hb

HbO2





- Débit basal
- Déoxy-Hb de base
- Volume sanguin de base
- Champ de gradient périvasculaire résultant de la déoxy-Hb
- Signal normal

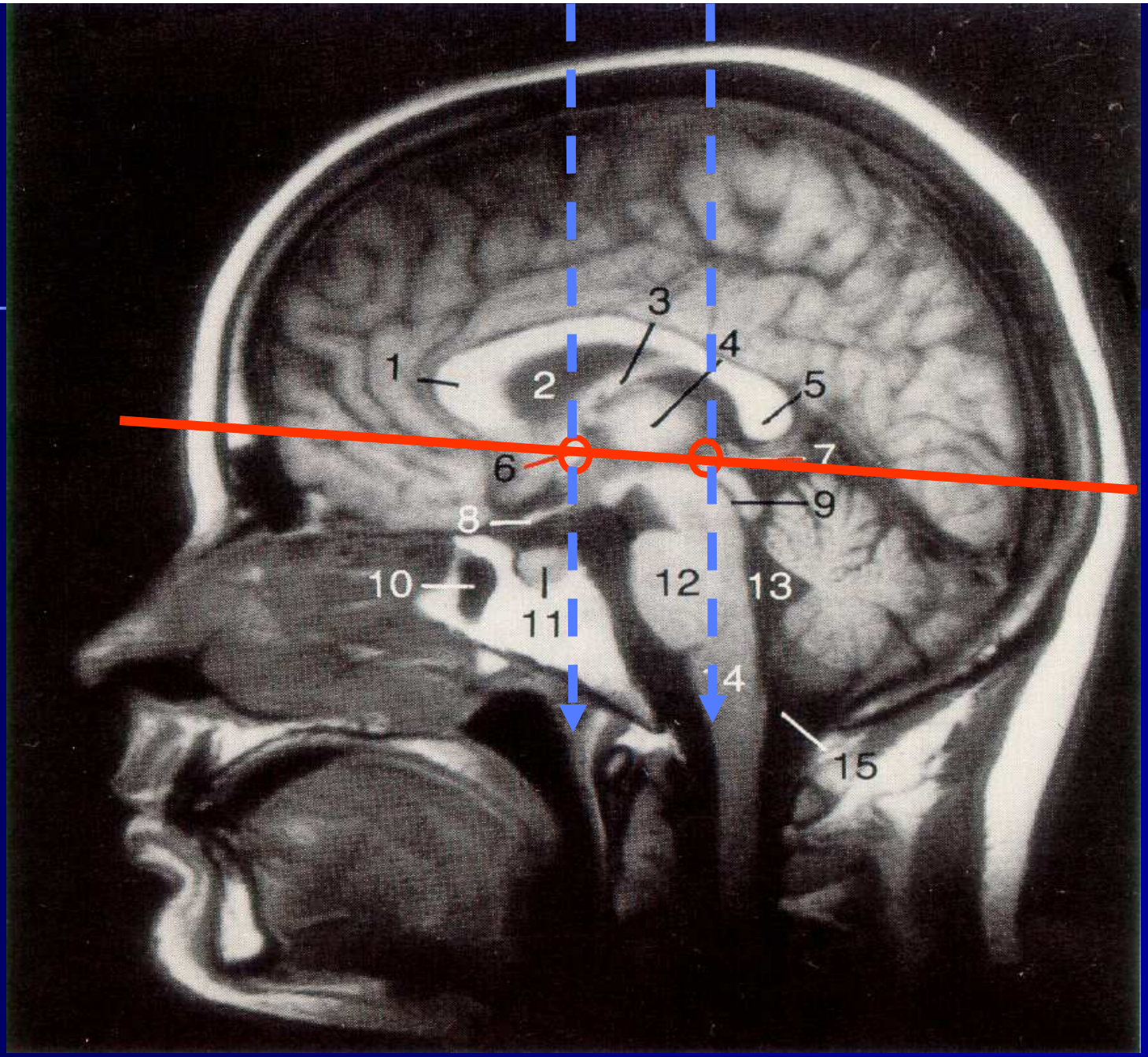
- Débit augmenté
- Déoxy-Hb diminuée
- Volume sanguin augmenté
- Champ de gradient périvasculaire diminué avec la déoxy-Hb
- Signal augmenté

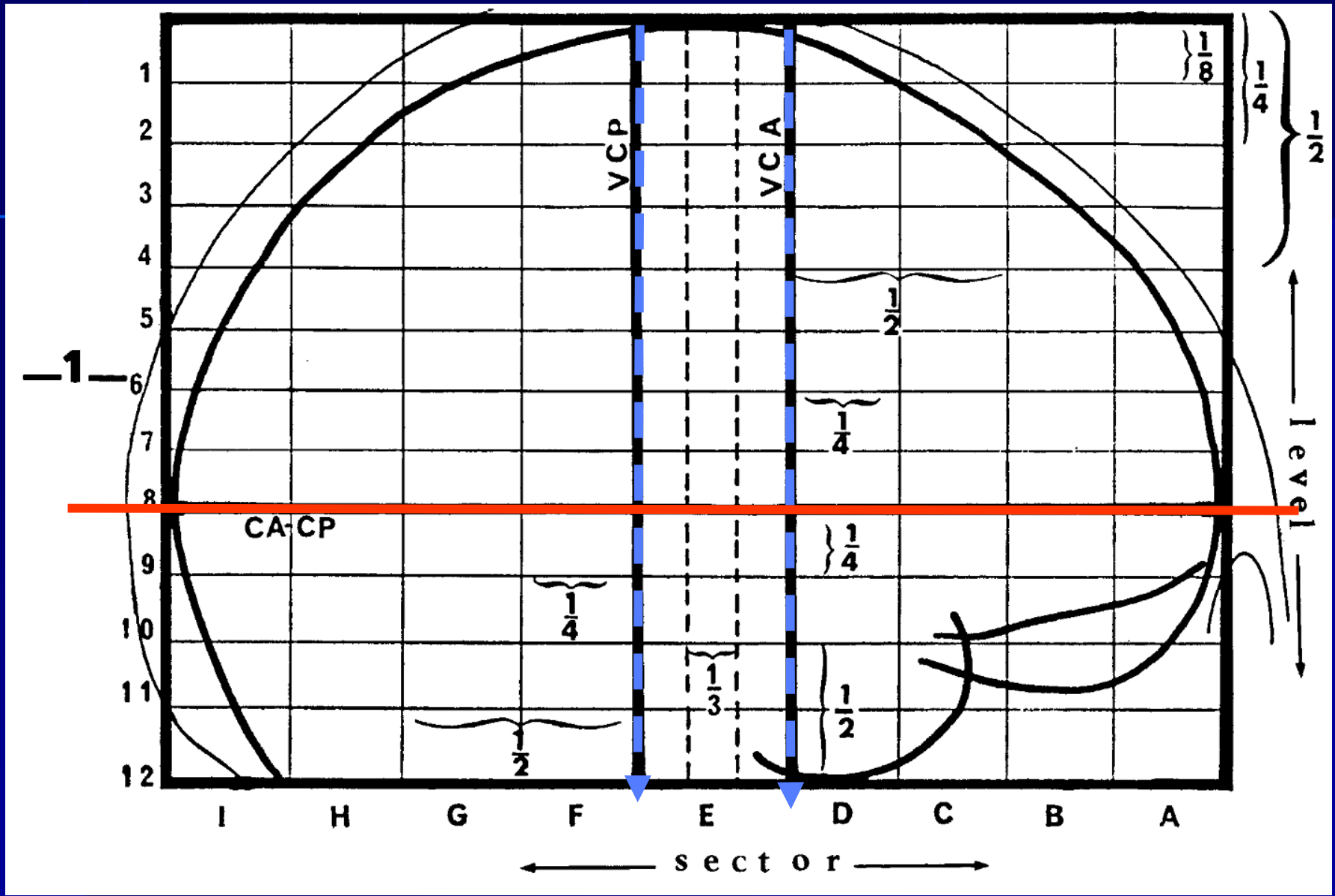
IRMf – Avantages & inconvénients

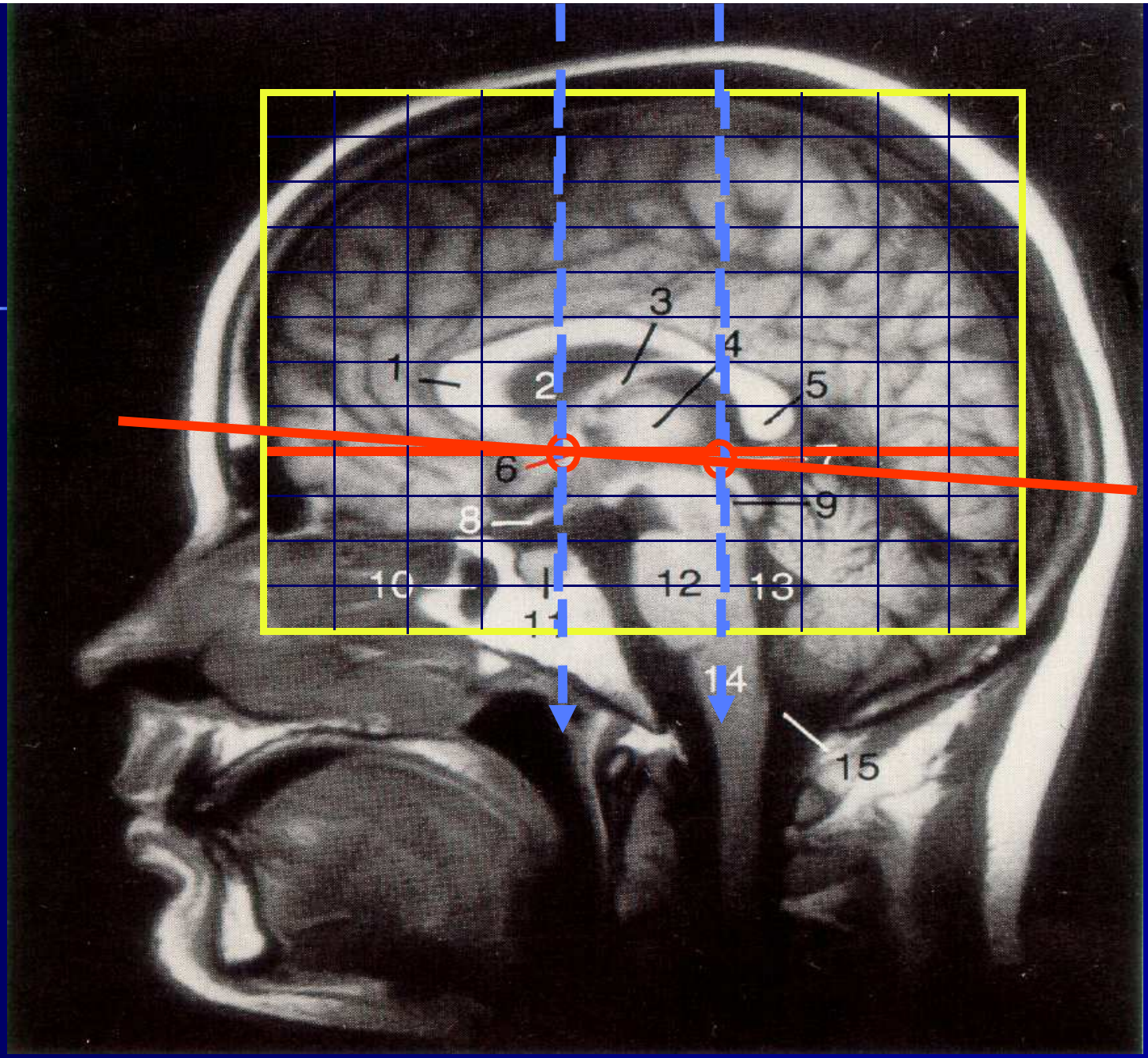
- Atraumatique
- Mesures répétées possibles chez le même sujet
- Bonne résolution spatiale (mesure l'activité dans un *voxel de* ~1mm^3)
- Résolution temporelle peu importante (le signal BOLD signal apparaît environ 3-6secs après l'activation)
- Signal veineux: manque de précision topographique

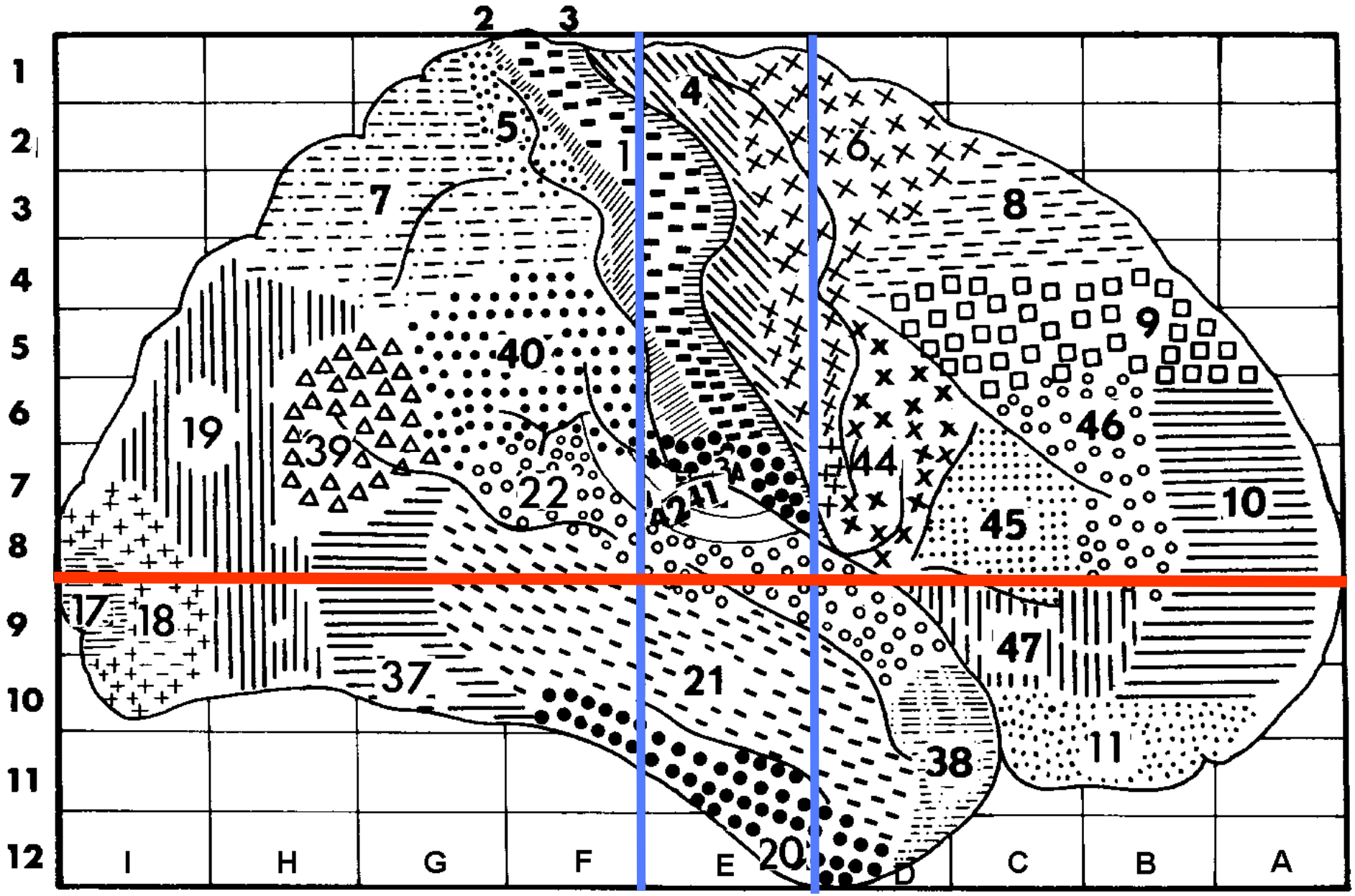
Difficultés d'interprétation

- Un processus cognitif n'est jamais « pur »
- On ne peut empêcher une activité « automatique » du cerveau
- Variabilité anatomique et repérage des structures

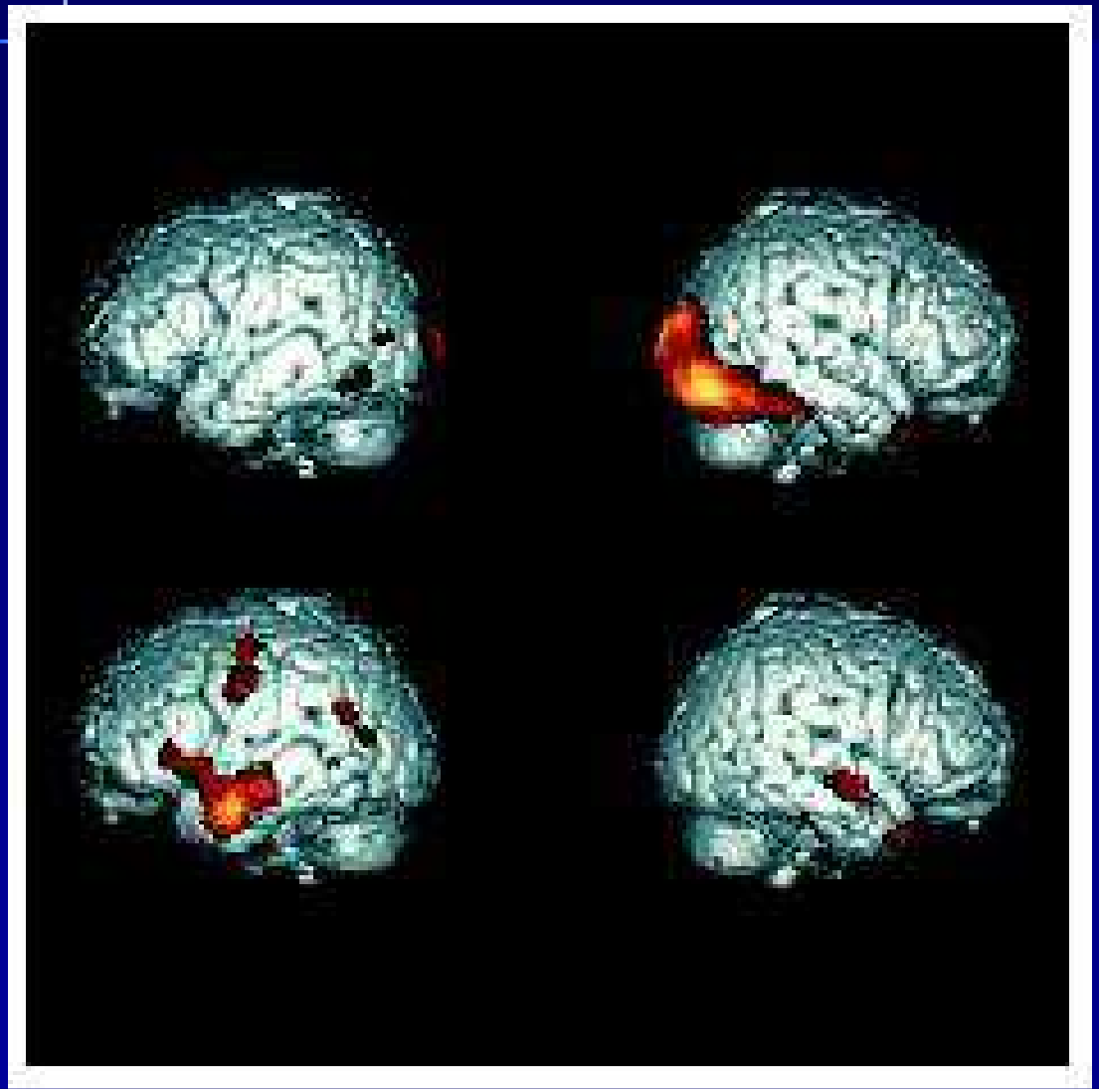

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
—1—
VCP
VCA
CA-CP
1/8
1/4
1/2
1/2
1/4
1/4
1/4
1/3
1/2
1/2
level
I
H
G
F
E
D
C
B
A
sector


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

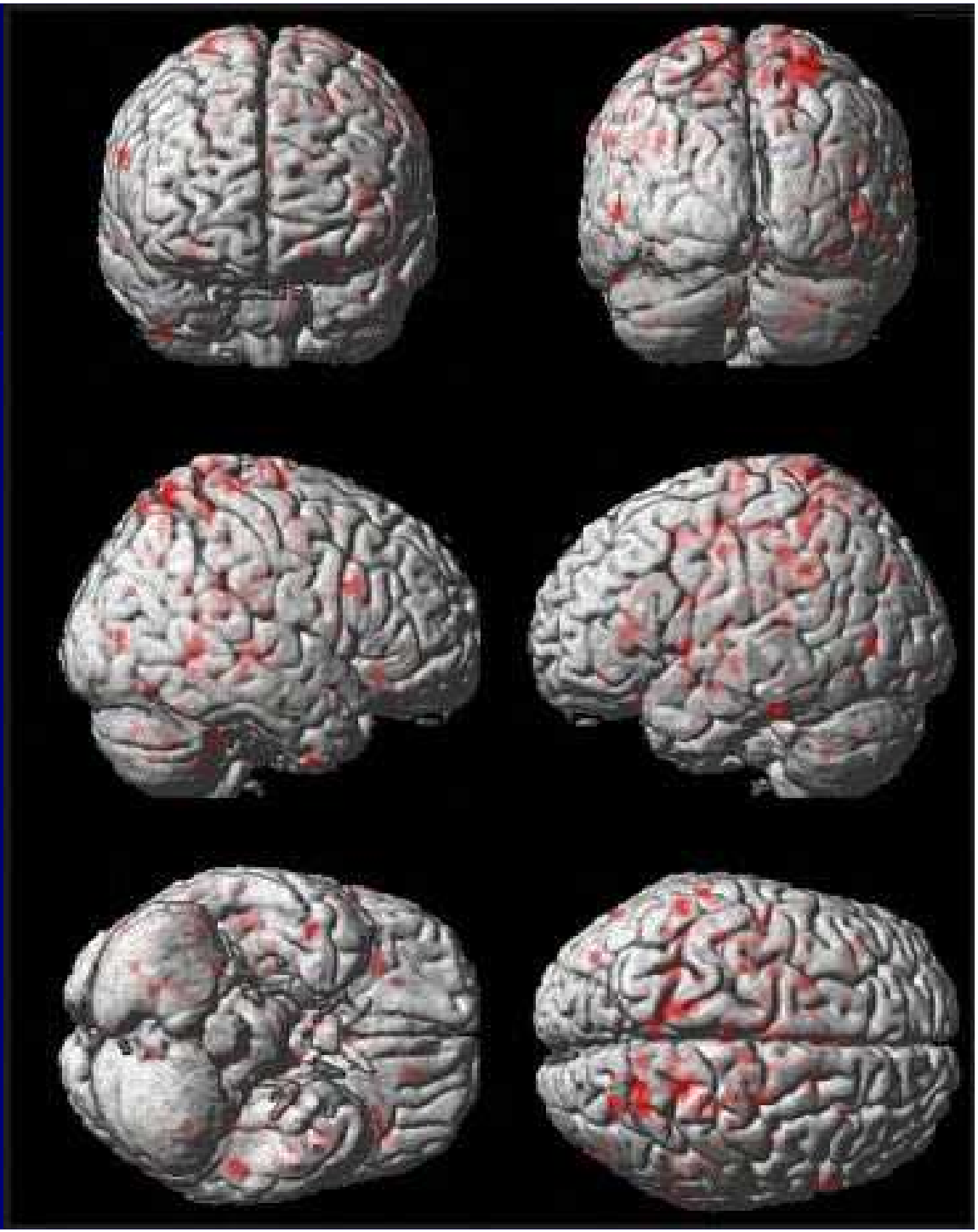

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
I
H
G
F
E
D
C
B
A
2
3
4
5
1
6
7
8
9
40
19
39
22
41
42
44
46
10
45
17
18
37
21
47
38
11
20

Couplage Morphologie-fonctionnel



- Imagerie fonctionnelle
- Superposition sur une imagerie morphologique à haute définition

Reconstructions 3D



En résumé…

Caractéristiques physiologiques microscopiques

	TEP	IRMf	MEG	EEG
Marqueur	Eau marquée O15	Désoxy-Hb	Potentiels post-synaptiques	Potentiels post-synaptiques
Paramètre mesuré	Perfusion Veineuse	Bruit (100dB)	-	-
Localisation anatomique	Capillaires artériels	Capillaires veineux, veinules	Dendrites	Dendrites

Caractéristiques temporelles et spatiales

	TEP	IRMf	MEG	EEG
Résolution spatiale	5 mm	3 mm	> 6 mm	> 6 mm
Intégration temporelle	90 s	1 à 6 s	1 ms	1 ms
Temps d'échantillonage	8 mn	1 à 6 s	1 ms	1 ms

Réalisation

	TEP	IRMf	MEG	EEG
Immobilisation de la tête	Stricte	Très stricte	Stricte	Non stricte
Stimulation parasite	Perfusion Veineuse	Bruit (100dB)	-	-
Anxiété/ Stress	Injection	Bruit-tunnel	-	-
Position	Couchée	Couchée	Assise	Assise

Exemple d'un paradigme au TEP

1 - Fixation visuelle d'une croix sur un écran

2 - Écoute passive Fixation passive D'un MOT

3 - Répétition à haute voix du MOT, après écoute ou vision

4 - Produire un verbe Sémantiquement lié au MOT

Aires de la perception des MOTS

Aires de la production des MOTS

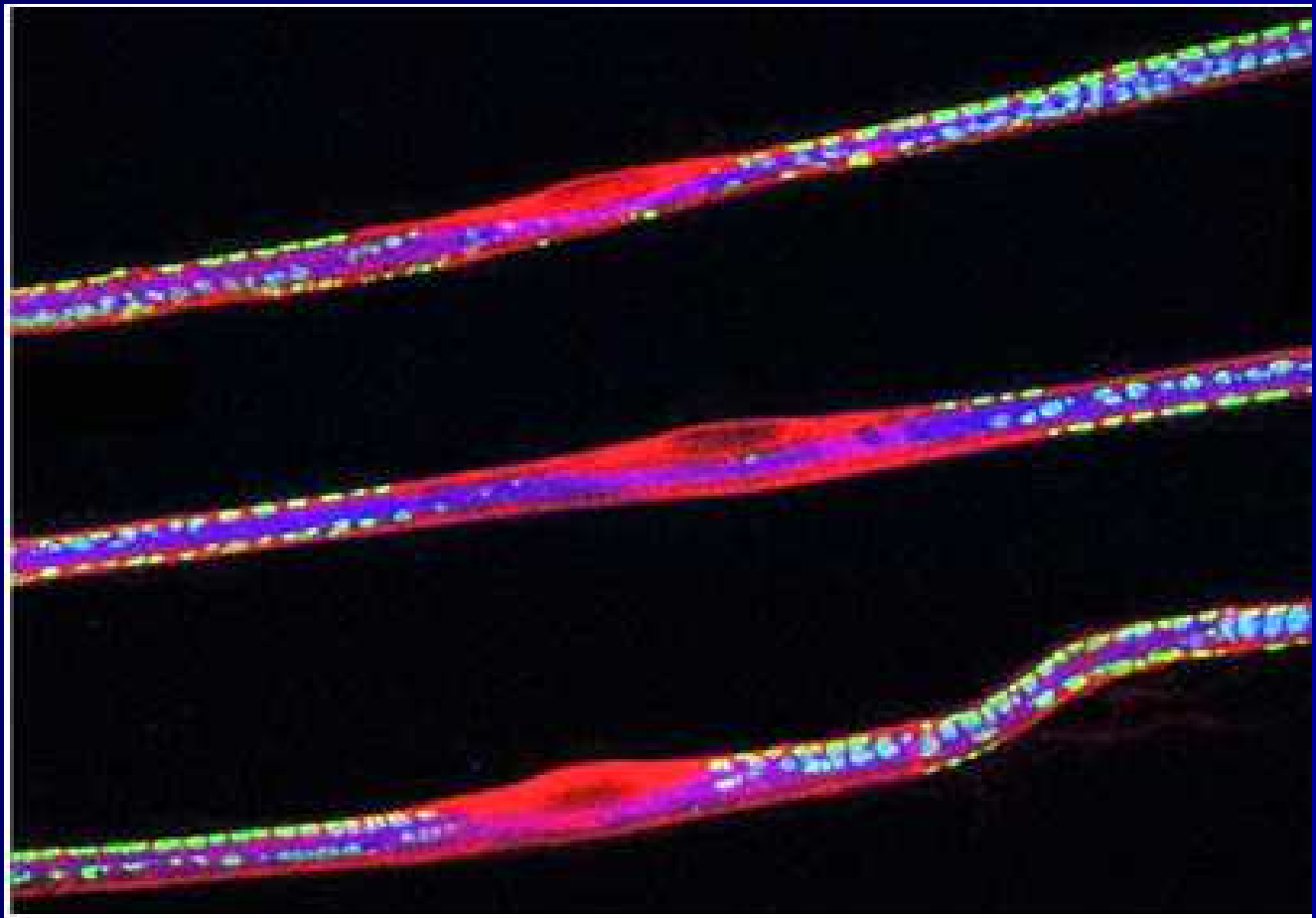
Aires de génération des verbes sémantiquement lié aux MOTS

Vision: aires visuelles extra-striées bilatérales
Écoute: aires temporales supérieures D et G et temporo-pariétale G

- Cortex primaires sensori-moteurs de la bouche
- Aire motrice supplémentaire
- Cortex préfrontal, cervelet

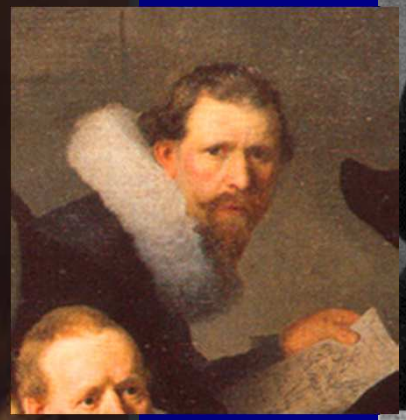
- Région frontale inférieure G
- Cortex cingulaire
- Cervelet inférieur latéral D

Système nerveux périphérique



Jan Swammerdam (1637-1680)

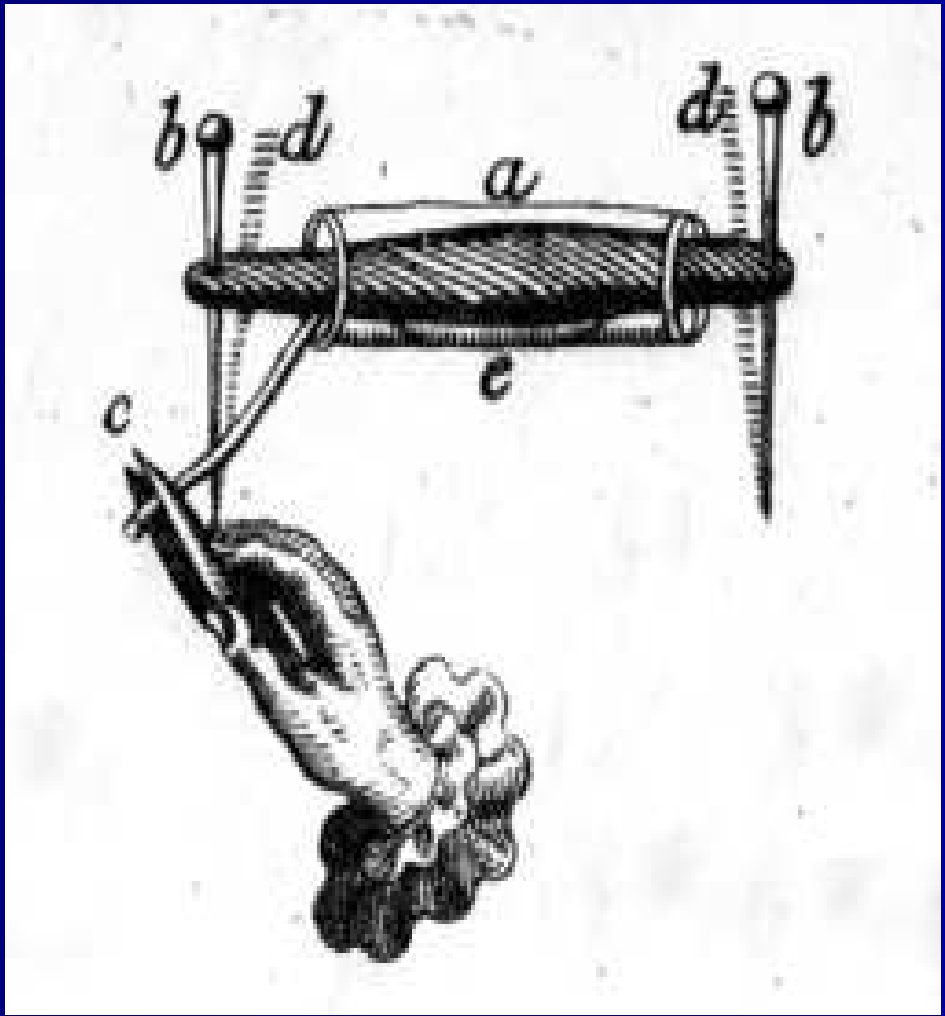
- Anatomiste et biologiste Hollandais
- L'unique portrait de lui: faux!



http://www.janswammerdam.net/

Jan Swammerdam

Découvre qu'une pression sur le nerf qui innerve le muscle gastrocnemius provoque une contraction (grenouille)



Francesco Redi (1626-1698)

- First to recognize connection between muscles and generation of electricity (1).
- 1666—documented that electric ray fish used a highly-specialized muscle (3).
- Most famous for establishing that maggots do not spontaneously generate from rotting meat.

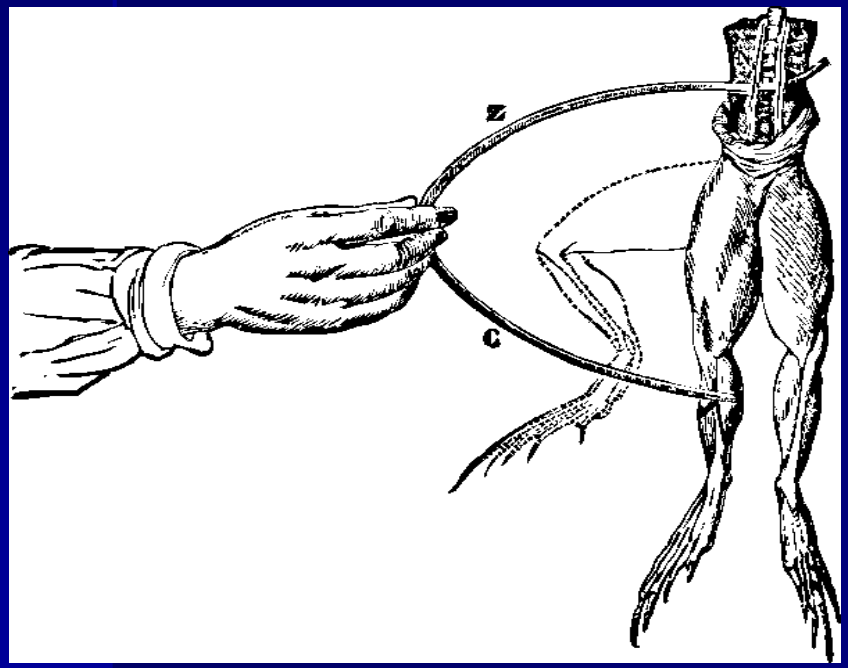
Alessandro Volta (1745-1827)

- Développe un appareil qui produit de l'électricité qui peut être utilisé pour stimulé les muscles.
-
- Invente la première batterie électrique
- A donné son nom a l'unité le Volt
- *Source: www.dictionary.com*

Picture Source: http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/physlist.html

Luigi Galvani (1737-1798)

Picture Source: http://info.uibk.ac.at/c/c7/c704/museum/en/physicists/galvani.html



Picture Source: http://butler.cc.tut.fi/~malmivuo/bem/bembook/01/01.htm

- Père de la neurophysiologie (travail sur la patte grenouille-1791)
- "Stimulation électrique d'un tissu musculaire produit une contraction et une force.
- Par manque d'instrumentation travail reconnu 40 ans plus tard

Emil Du Bois-Reymond (1818-1896)

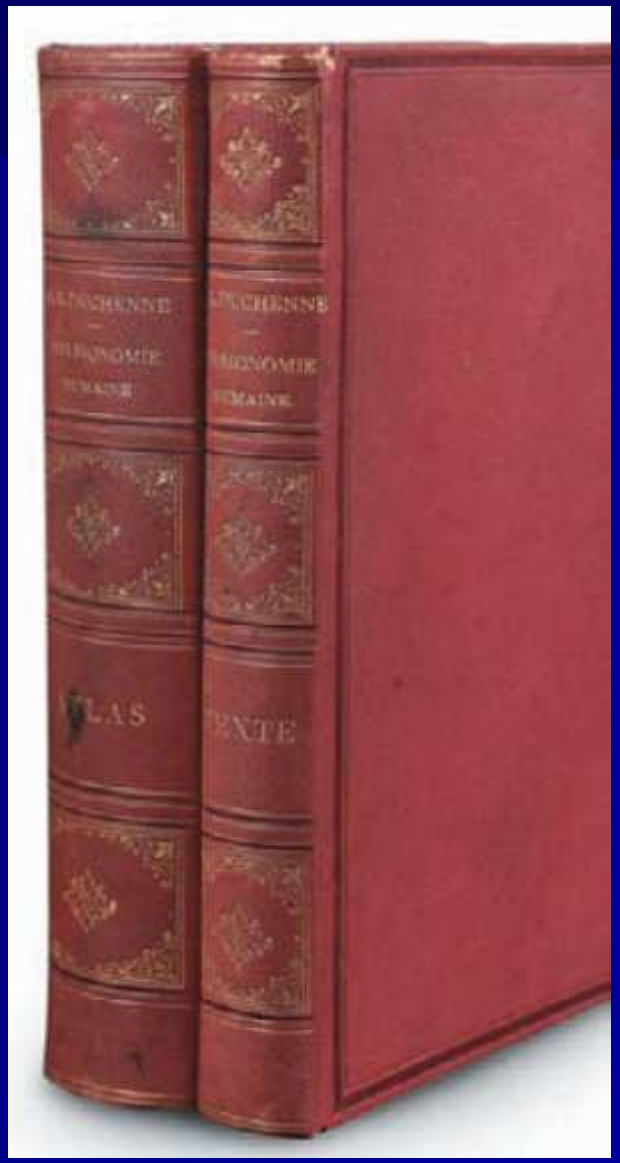
- 1848 – Premier à détecter une activité électrique au cours d'une contraction musculaire volontaire chez l'homme.

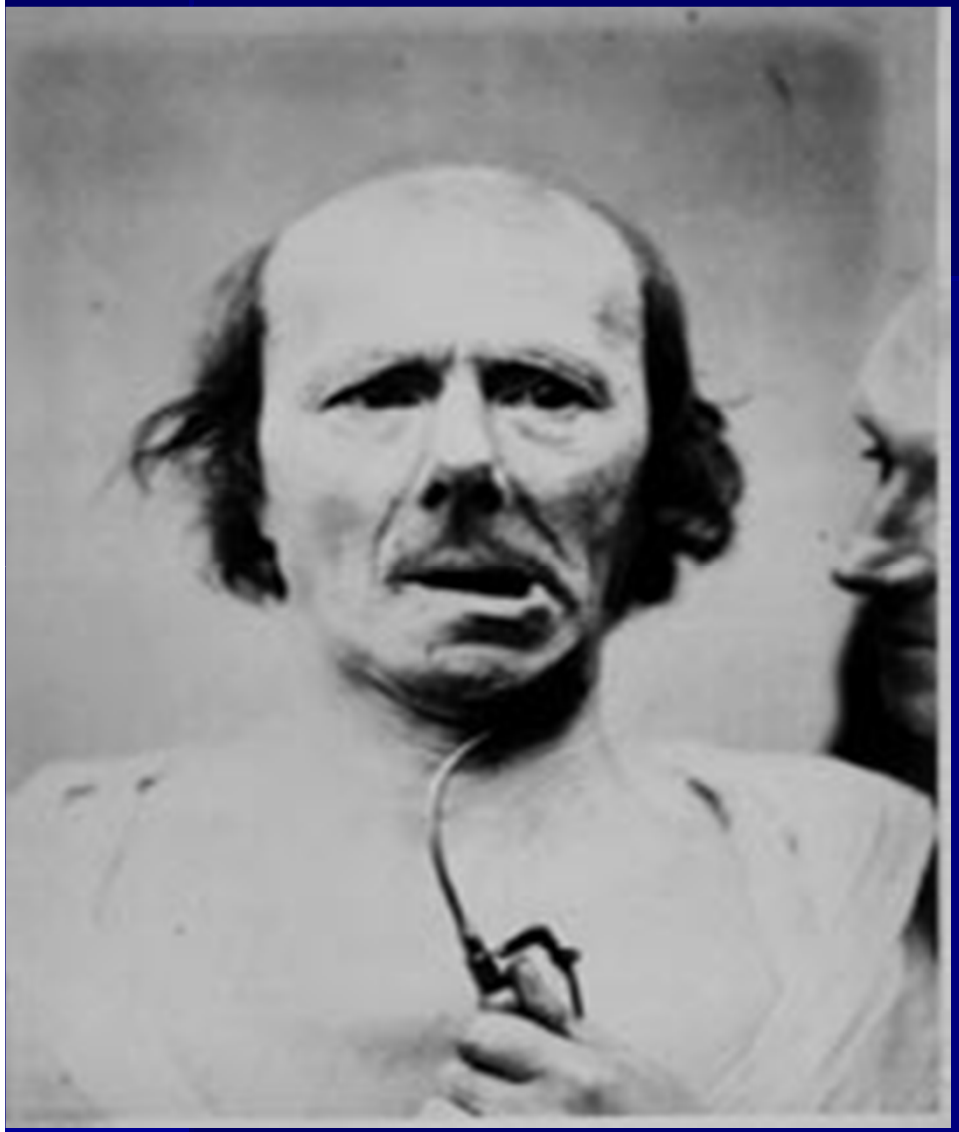
Guillaume Benjamin Duchenne (1806-1875)

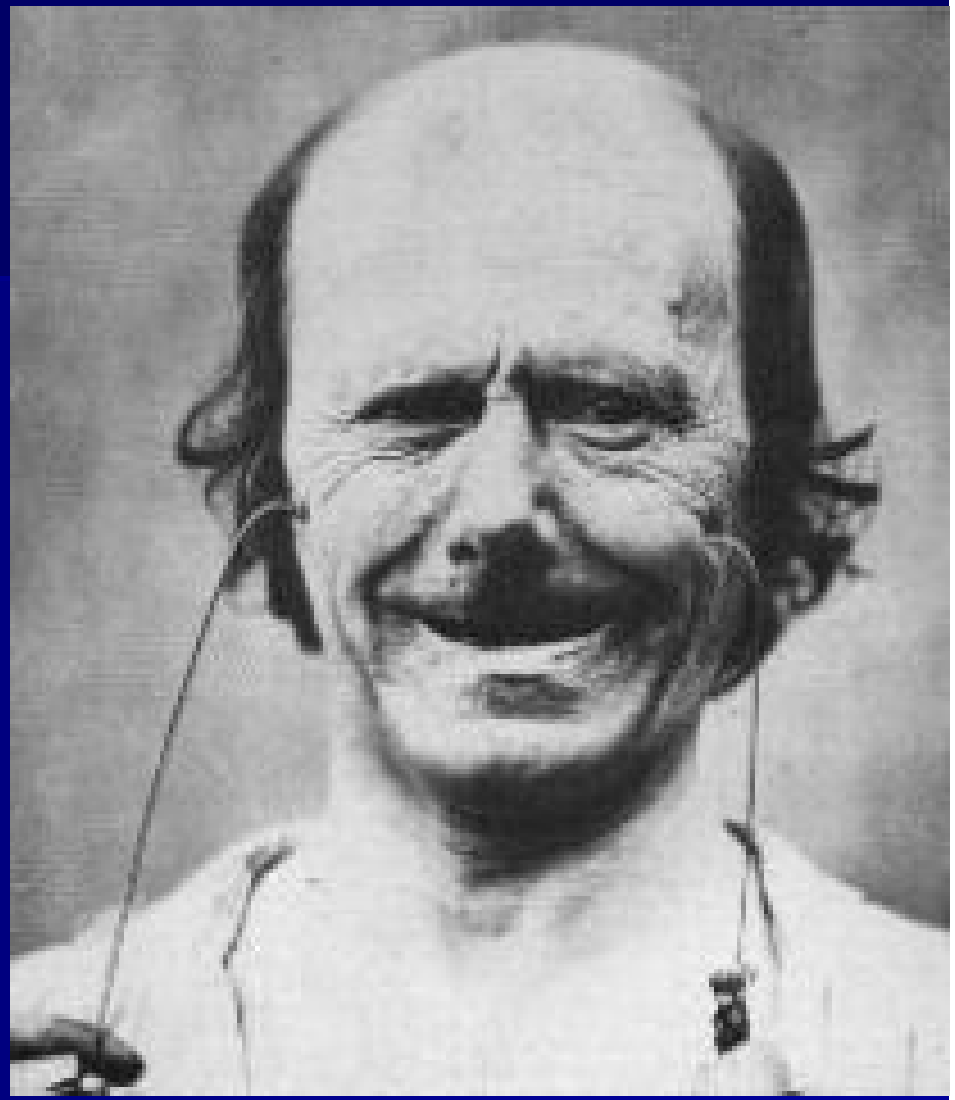
- 1850 – Stimulation électrique sur muscles intacts
- Cartographie des muscles de la face
- Sujets: six modèles humains des deux sexes dont "le vieillard" (hypoesthésie de la face)

Picture Source: http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/duchenne.html

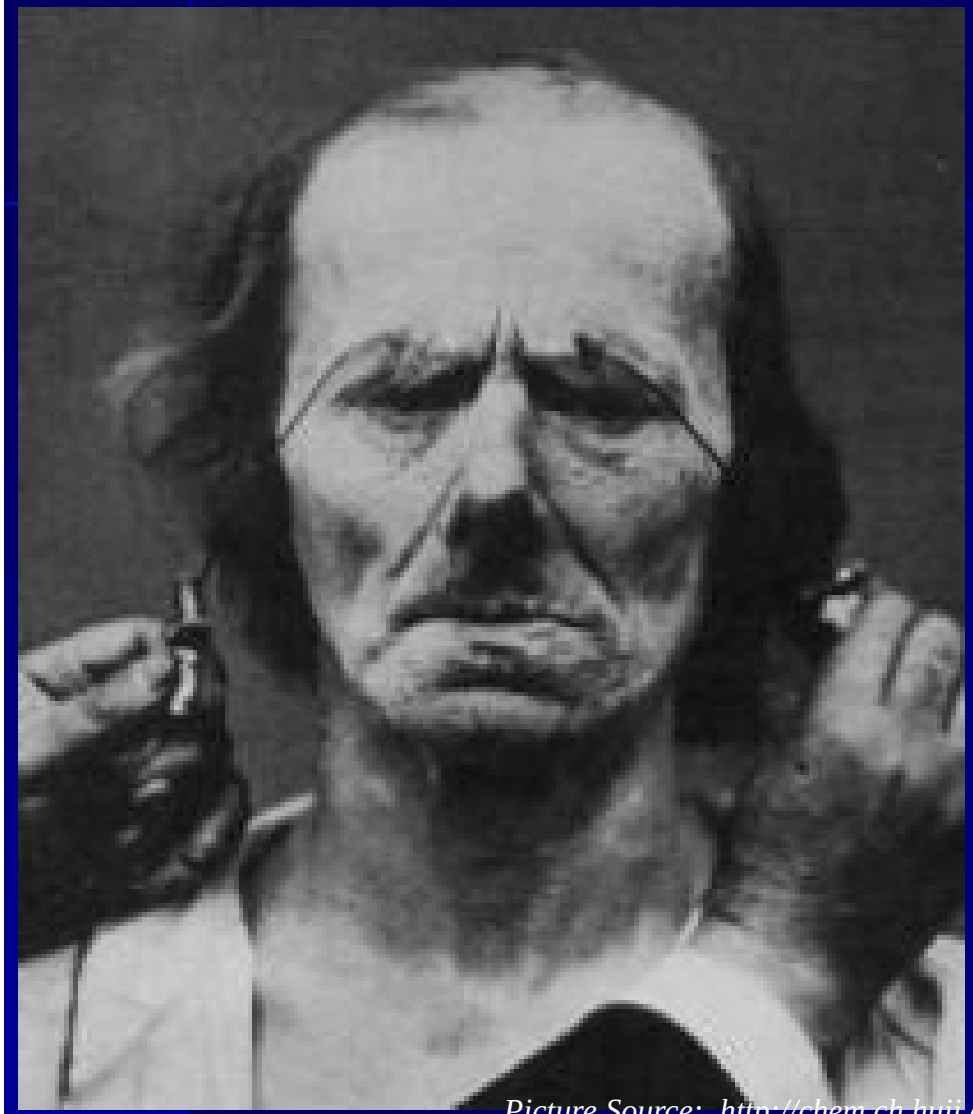
Mécanisme de la physionomie humaine
ou de l'analyse électro-physiologique de l'expression des passions.







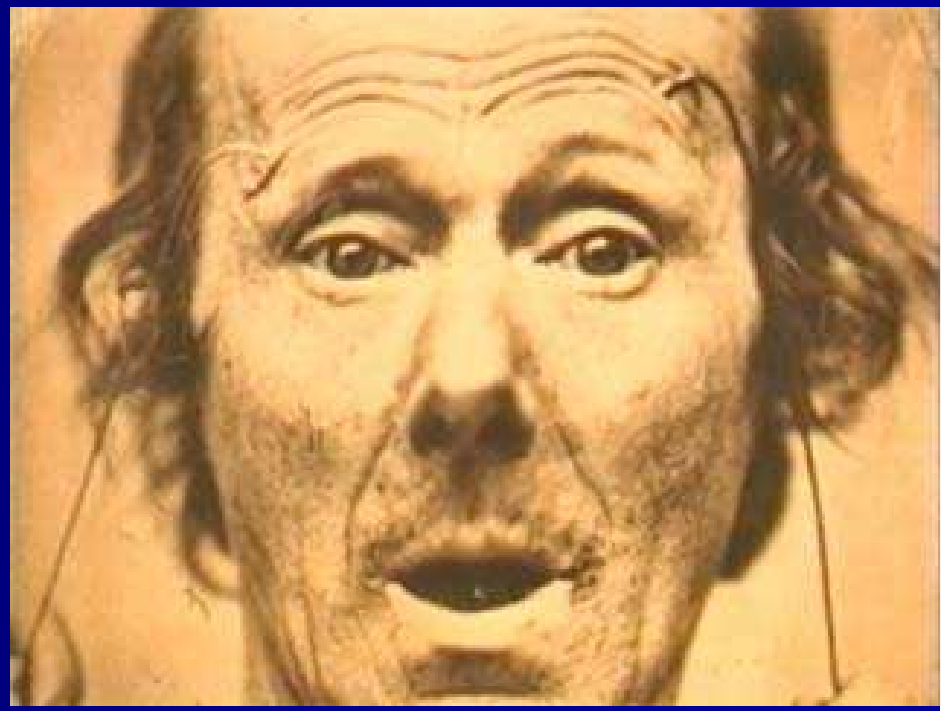
Picture Source: http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/duchenne.html



Picture Source: http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/duchenne.html

Découverte surprenante !

- Les muscles perioculaires ne sont contractés que lors d'un vrai sourire.
- Un faux sourire n'implique que les muscles de la bouche



ELECTROPHYSIOLOGIE PERIPHERIQUE

- ELECTROMYOGRAMME
  - Aiguille électrode dans le muscle
  - N'explore que les voies motrices
- VITESSES DE CONDUCTION NERVEUSES
  - Explore voies sensitives et motrices
  - Explore la conduction distale
    - Sensitive et motrice: VCN
  - Explore la conduction proximale
    - Motrice: Réflexe H et Ondes F

Electromyogramme
(EMG)
Vitesses de conduction nerveuse
(VCN)

Electromyographie

- Permet d'étudier nerf (moteur) ou le muscle
- Définir le caractère
  - Neurogène
  - Ou Myogène
- Localiser les muscles atteints

Vitesses de conduction nerveuses

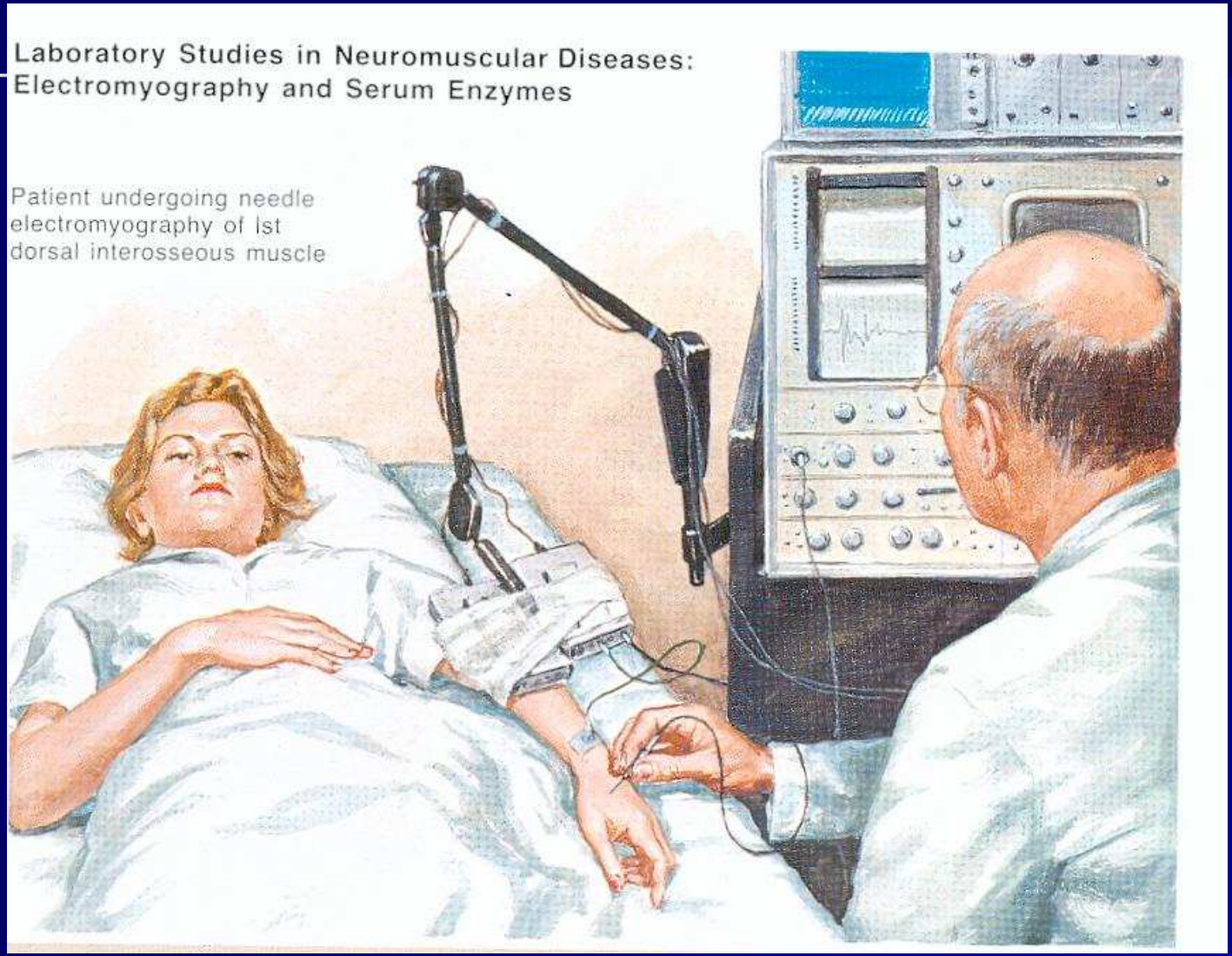
- Explore les nerfs sensitifs et moteurs
  - Dans les deux cas: grosses fibres myélinisées
- Moteur:
  - Stimulation d'un nerf
  - Enregistrement sur un muscle
- Sensitif:
  - Stimulation d'un nerf
  - Enregistrement d'un nerf

Electrophysiologie

- EMG:
  - Au repos: Recherche de signes de dénervation
  - Effort modéré: Recherche de signes de régénération
  - Effort maximum: Evaluation de la perte neuronale

- VCN:
  - Amplitude (évalue la perte axonale)
    - Proportionnelle au nombre de fibres: sensitif
    - +-Proportionnelle au nombre de fibres: Moteur
    - Diminuée dans les atteintes axonales
  - Vitesse de conduction nerveuse (évalue l'état de la myéline)
    - Maximale quand la myélinisation est correcte (50m/s aux MS; 40m/s aux MI)
    - Diminuée dans les atteintes:
      - Démyélinisantes
      - Compressions chroniques

EMG-VCN

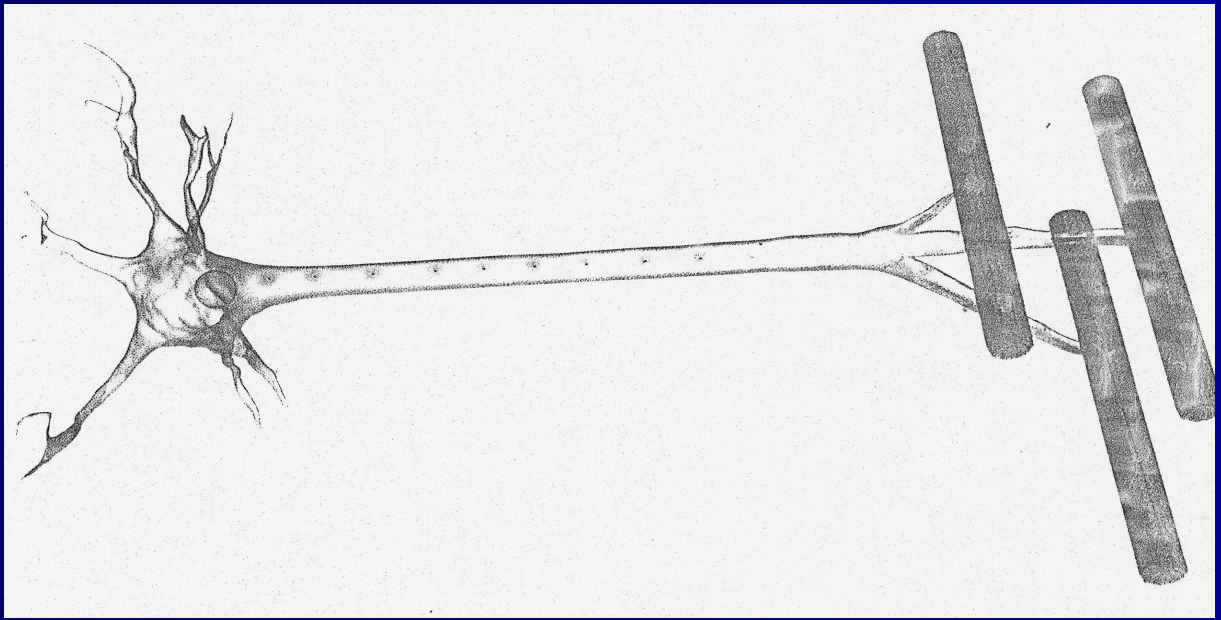

Laboratory Studies in Neuromuscular Diseases:
Electromyography and Serum Enzymes
Patient undergoing needle
electromyography of Ist
dorsal interosseous muscle

Electromyographie
Concept d' unité motrice

Corps cellulaire, l' axone et les fibres musculaires sous sa dépendance

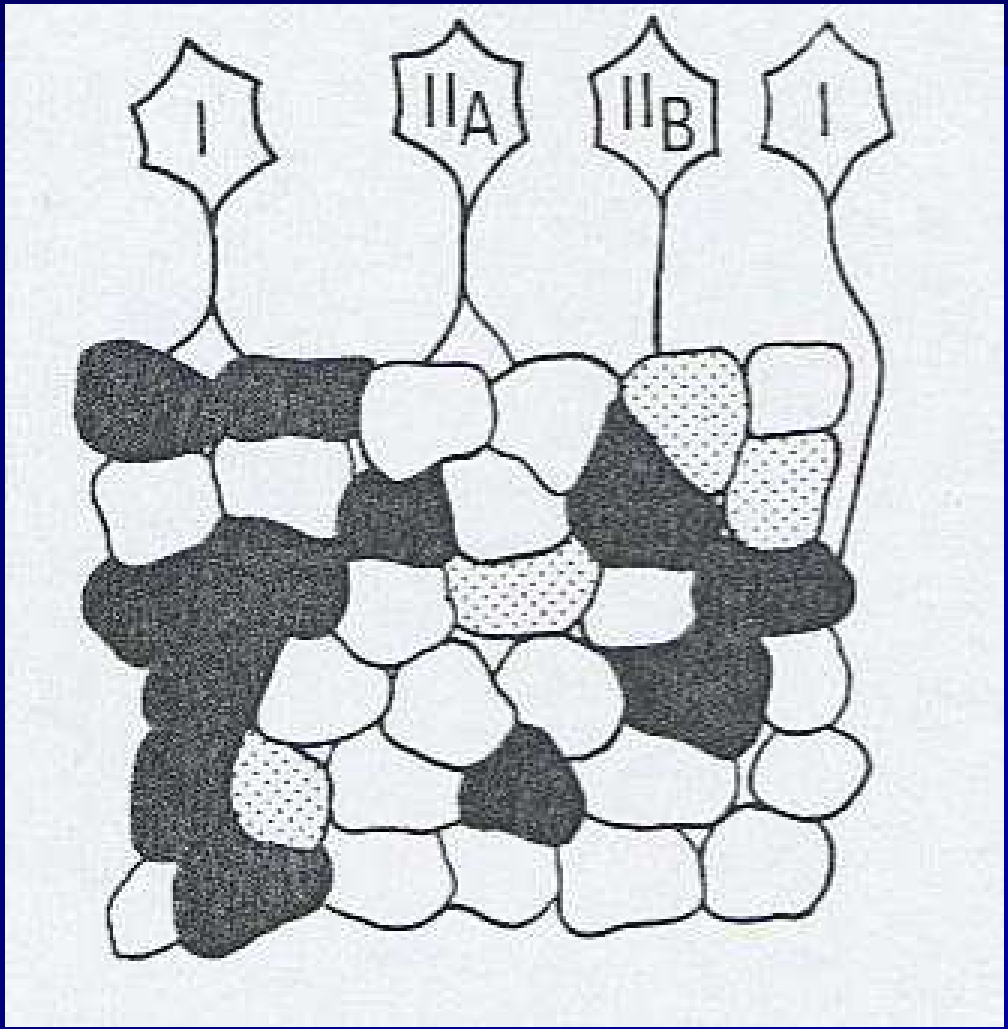
Un axone innerve plusieurs fibres musculaires

Une fibre musculaire n' est innervée que par une fibre nerveuse



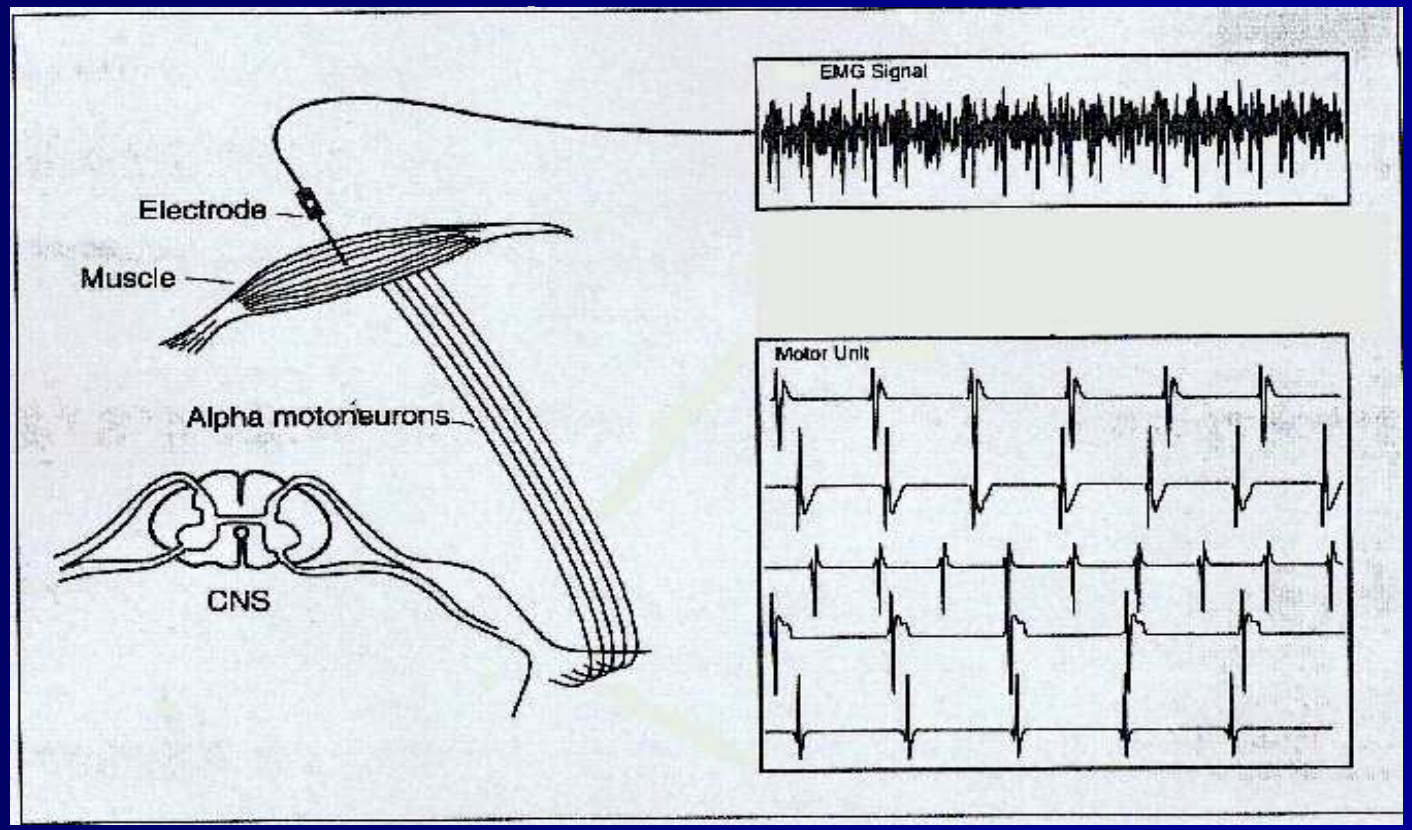
Au niveau du muscle

- Unité motrices voisines sont entremêlées
  - Exp. de déplétion en glycogène
- Deux fibres voisines sont innervées par deux axones différents
- Concentration de fibres plus importante au centre qu' a la périphérie
- Toutes fibres musculaires sous la dépendance d' un même axone ont les mêmes propriétés physico-chimiques



EMG

- Réalisé: Aiguille concentrique insérée dans le muscle



Permet d'enregistrer activité électrique

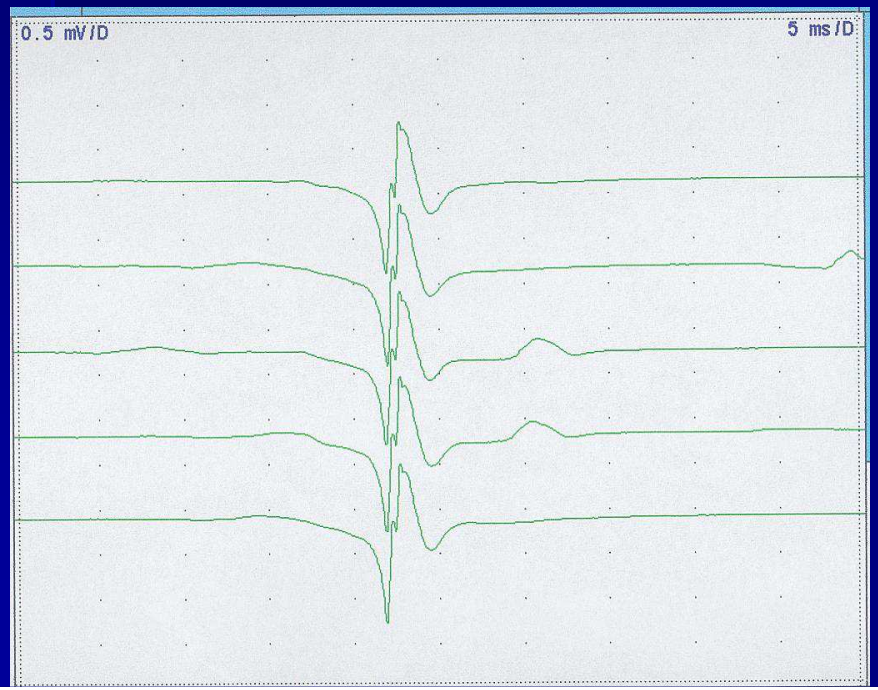
- Au repos
  - Recherche de signes de dénervation
- Au cours d'un effort: enregistrement des MUP
  - Effort <u>modéré</u>
    - (étude des MUP séparément)
  - Effort <u>maximum</u>
    - Evaluation semi quantitative du nombre d'UM

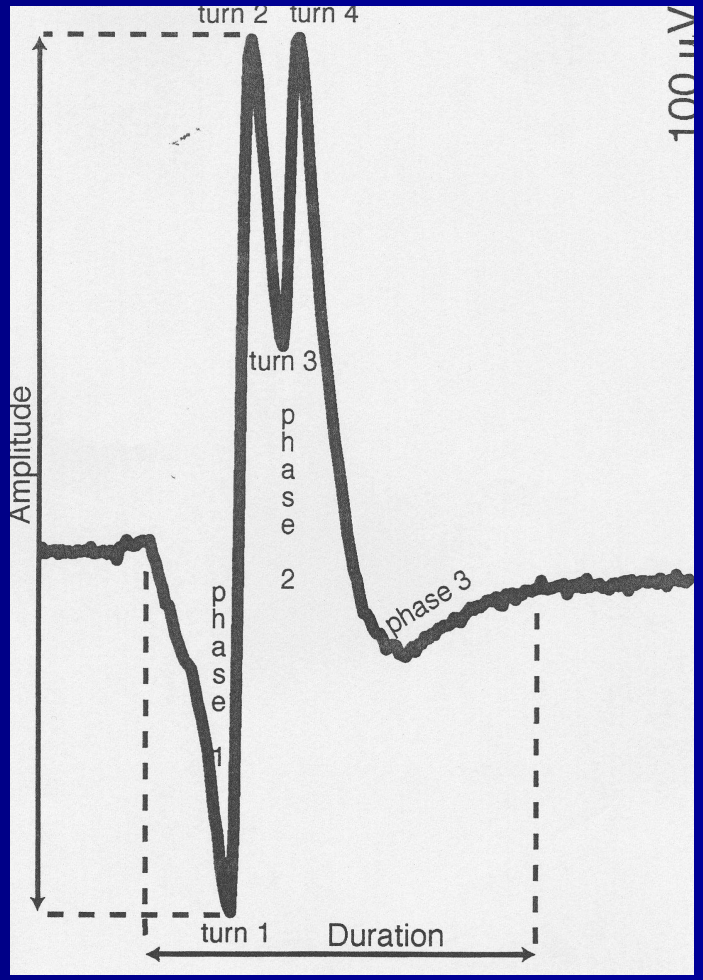
Au repos

- Normalement il n'y a pas d'activité électrique
- Peuvent êtres enregistrées au niveau de la plaque motrice: mEPP

Effort modéré (MUP)

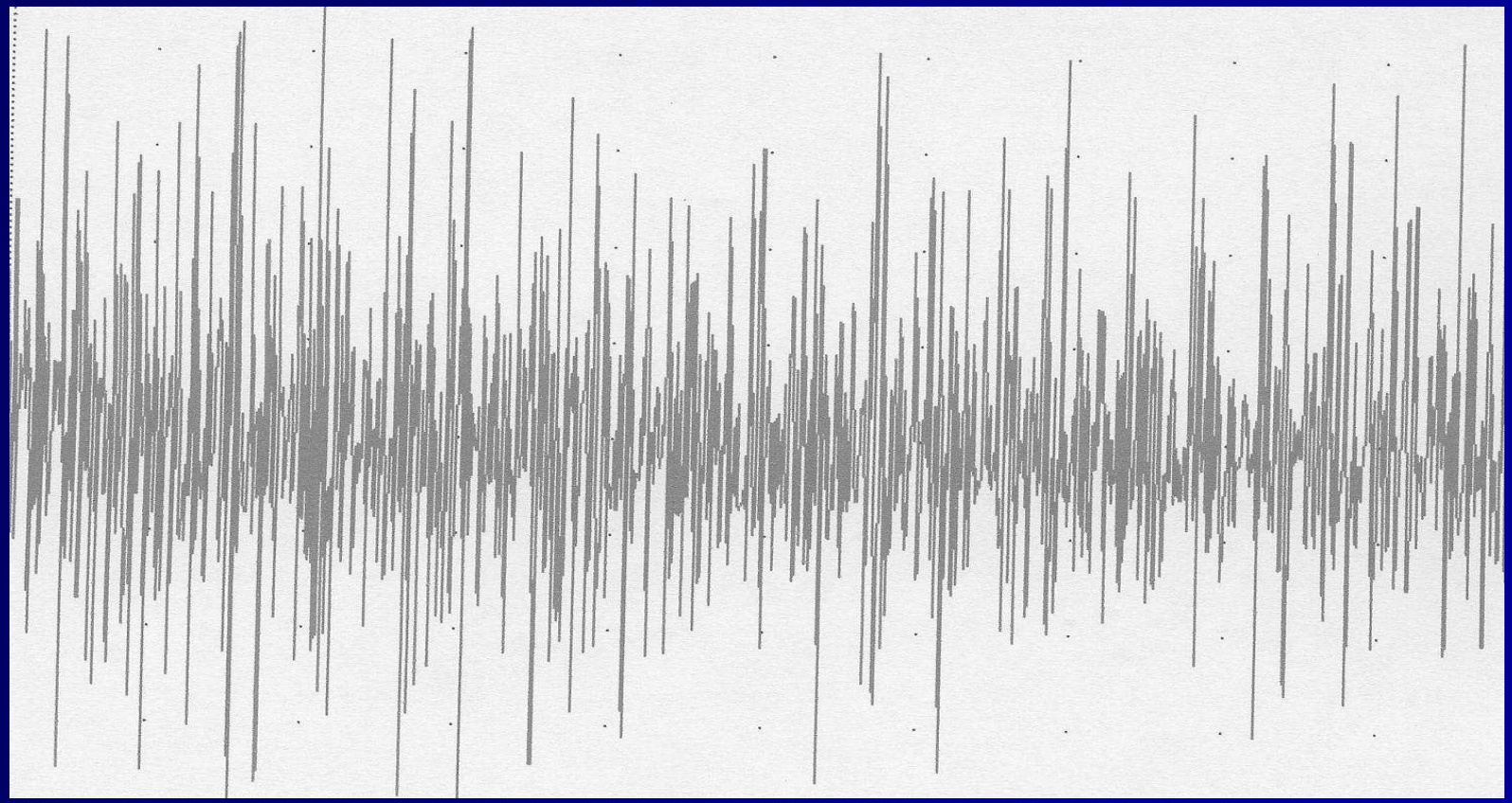
- Potentiels d' Unité Motrice
  - Durée
  - Amplitude
  - Nombre de phases





Effort maximum

Sommation temporelle et spatiale



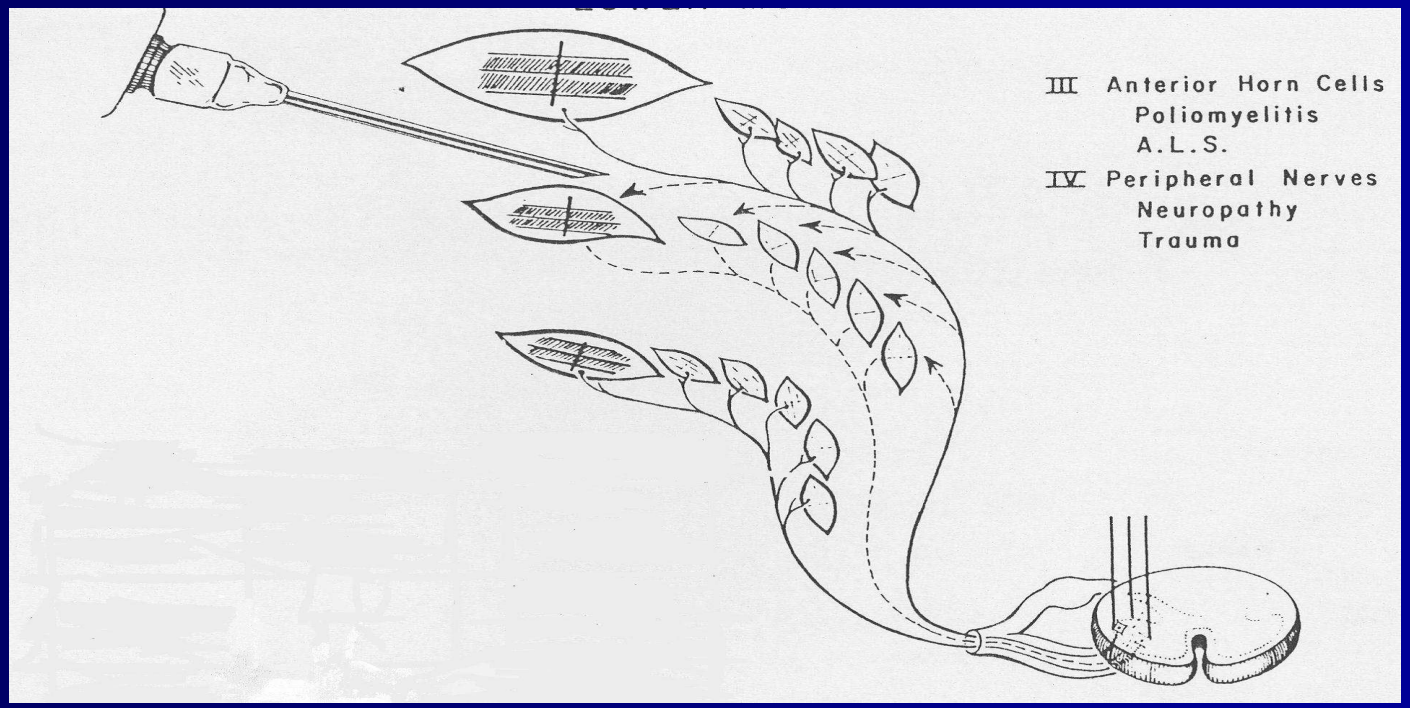
Objectif de l' EMG
Dans les atteintes neurogènes

- Evaluer la dénervation de façon semi-quant.
  - « perte en unités motrice » (ie UNIQ MOTEUR)
- Evaluer la topographie des lésions
- Evaluer la chronicité des lésions par l' évaluation du degré de réinnervation

Atteinte Neurogène

Réduction du nombre d' UM

- Evaluation de:
  - Dénervation
  - Réinnervation



Activité Spontanée

En dehors du point moteur: NON spécifique

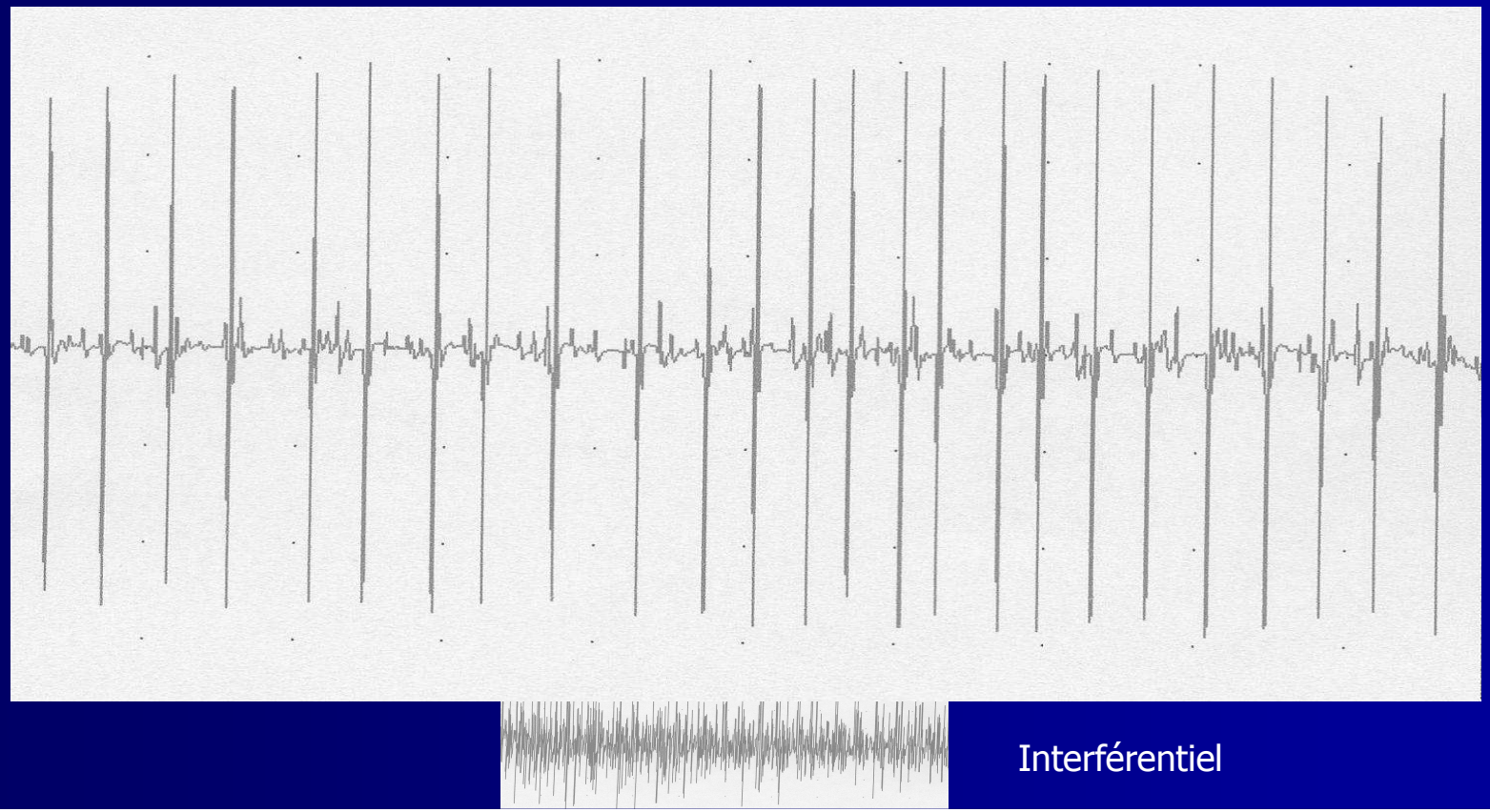
- Fibrillation/Potentiels Lents de Dénervation (PLD)
- Salves / Décharges répétitives

Effort modéré

- Réinnervation collatérale
  - Durée, amplitude et fréquence pot polyphasiques augmentée
  - ration

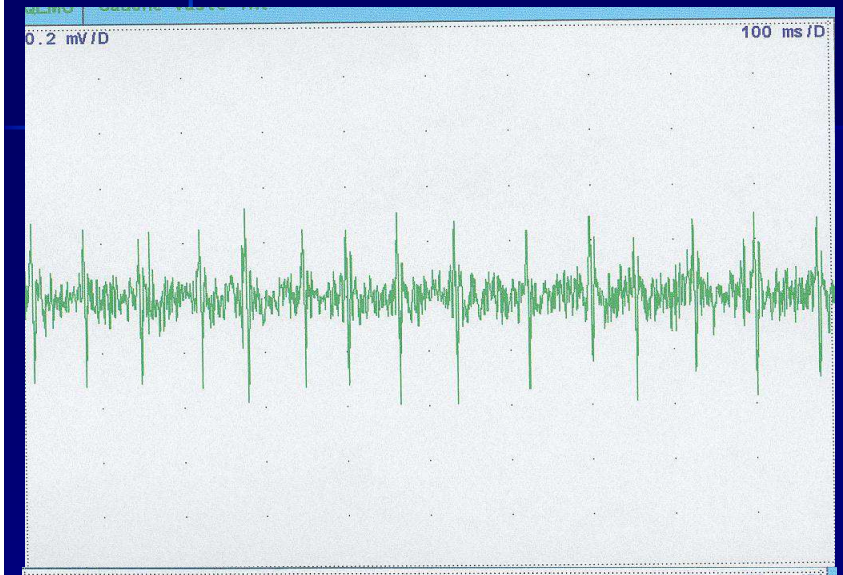
Effort maximum

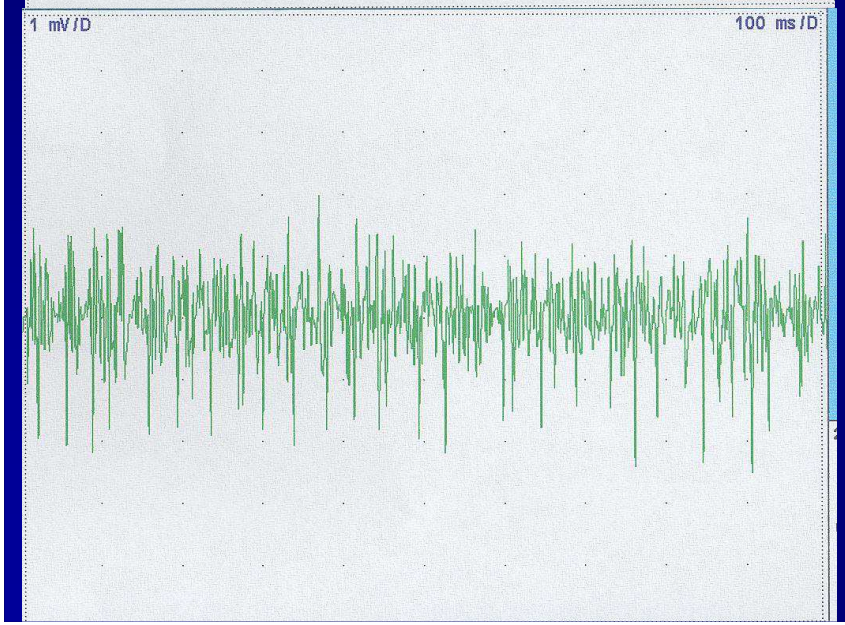
- Diminution du nombre unité motrices (simple accéléré)
- Fréquence de décharge des UM augmente
  (SOMMATION TEMPORELLE)

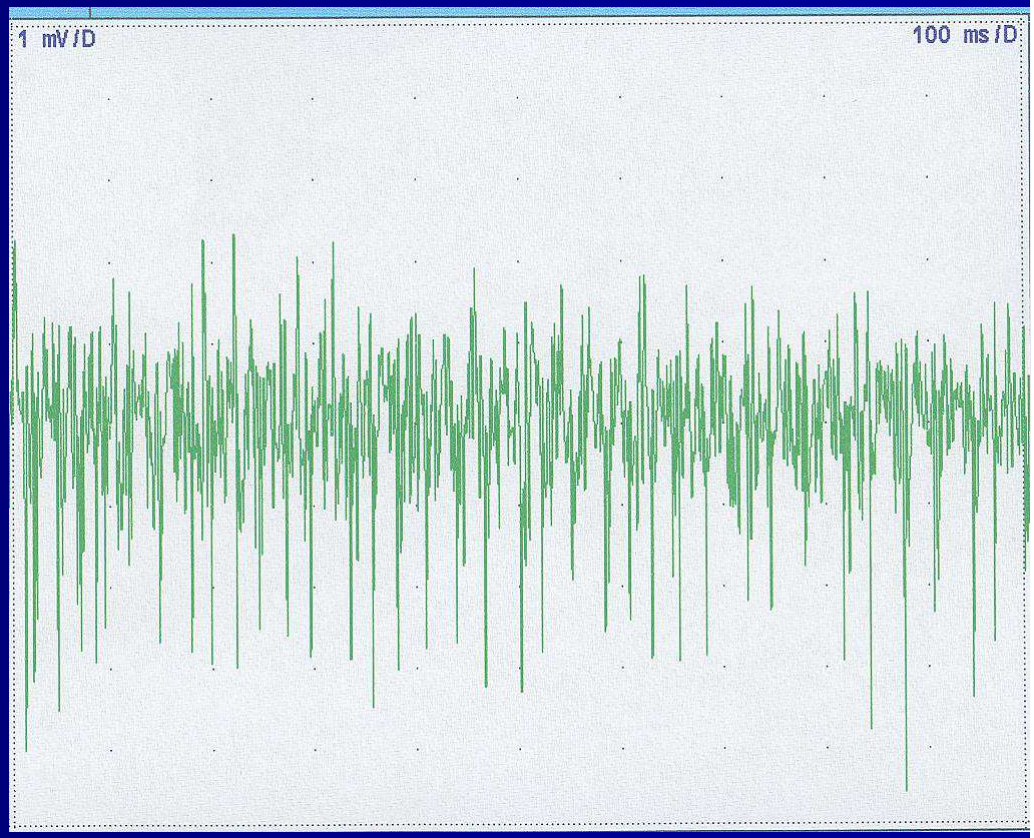


Interférentiel

Autres tracés d' effort

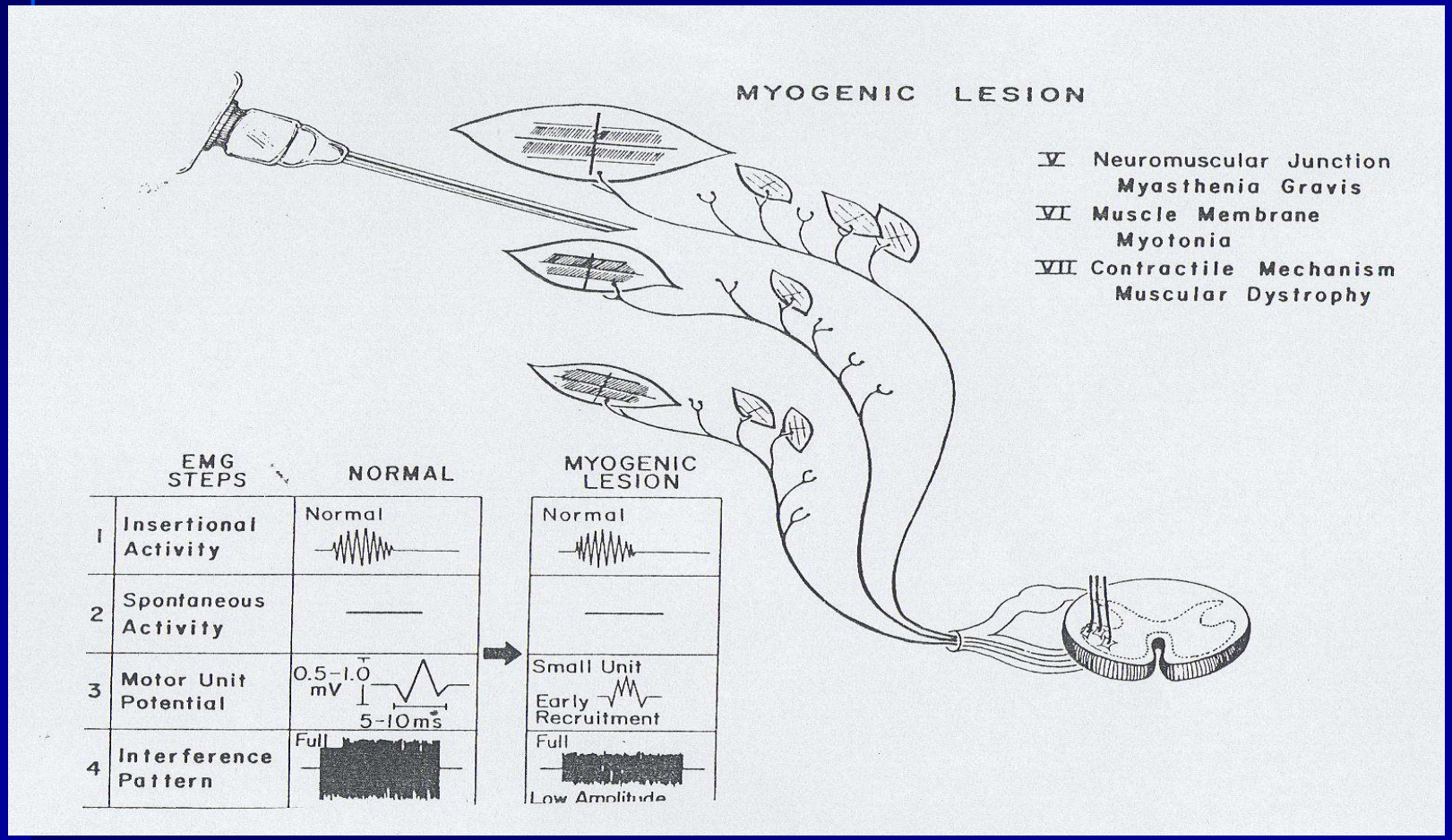






Syndrome Myogène

Perte en fibres musculaires

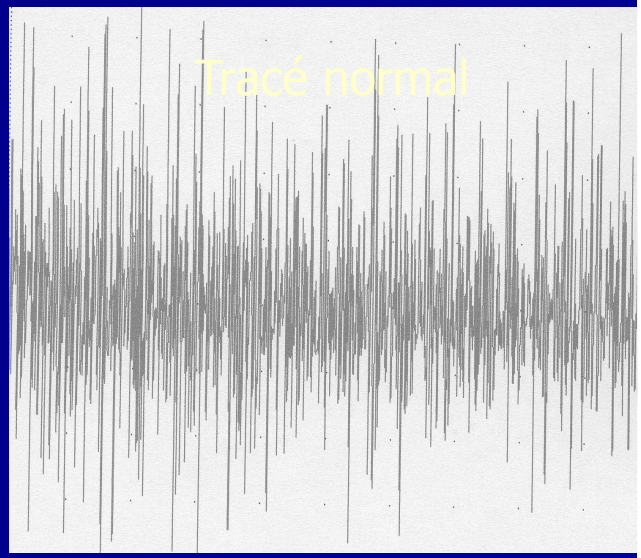


Syndrome Myogène
Activité spontanée

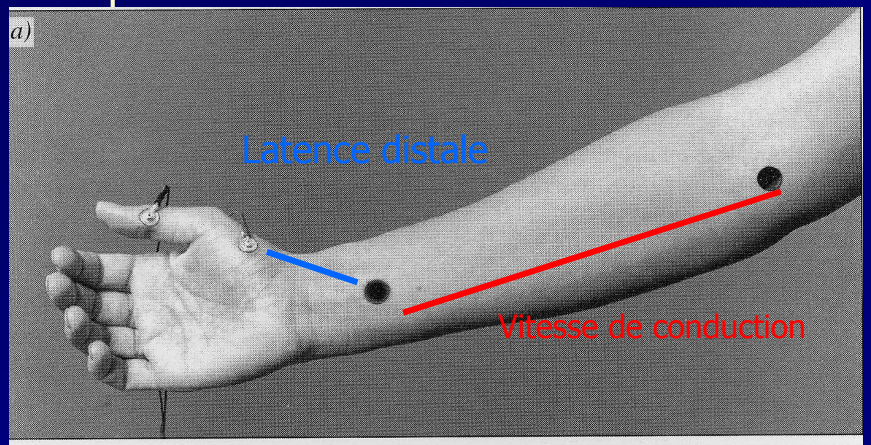
- Le plus souvent absente
- Peut être présente
  - Nécrose
  - Instabilité de la membrane des fibres musculaires (baisse du K+ intracellulaire)

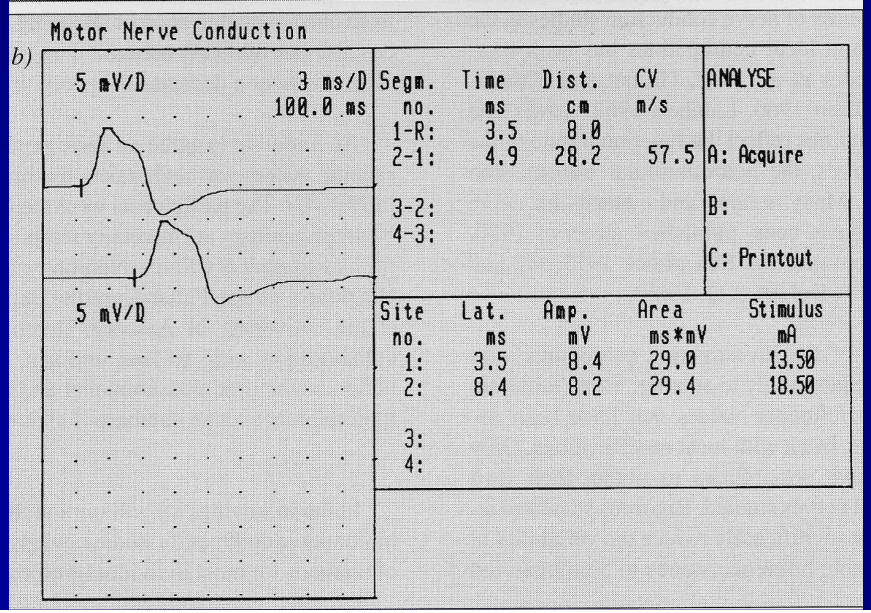
Syndrome Myogène
Effort maximum

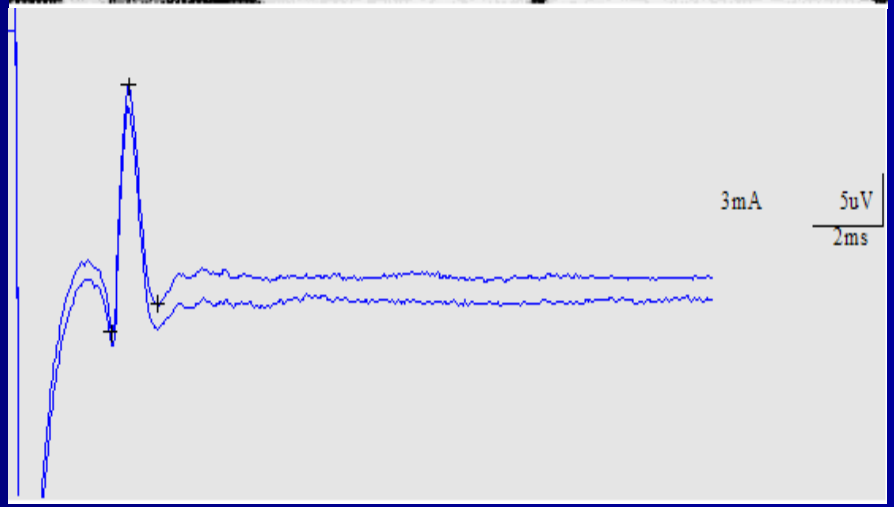
- INTERFERENTIEL: le nombre d'unité motrices reste normal
  - Recrutement d'autres UM (SOMMATION SPATIALE)
- Amplitude diminuée: perte en fibres
- Fréquence de décharge de UM augmente
  - (Sommation temporelle)



Vitesses de conduction nerveuses
Conduction distale

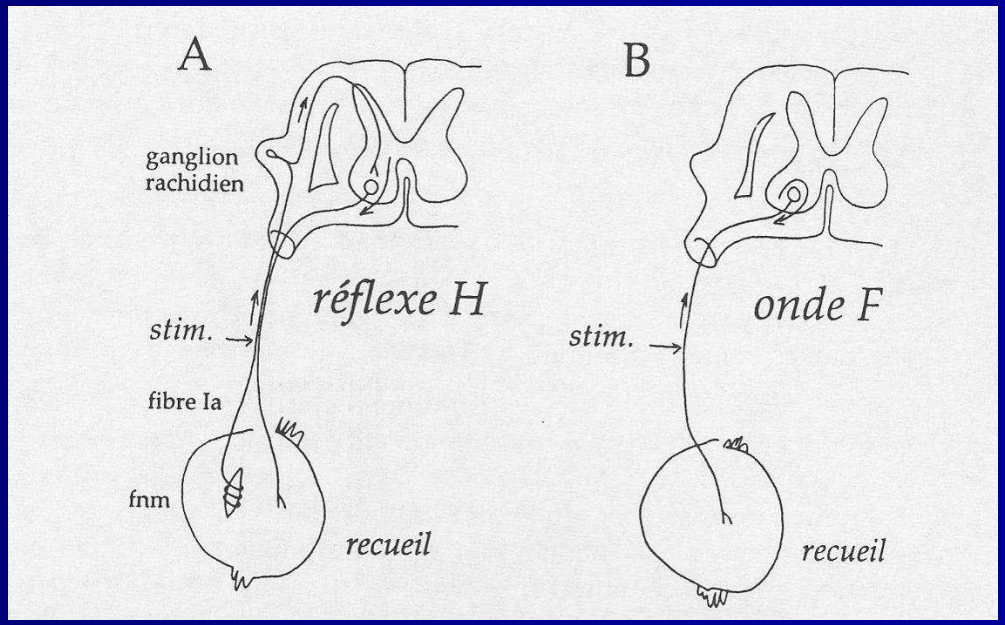




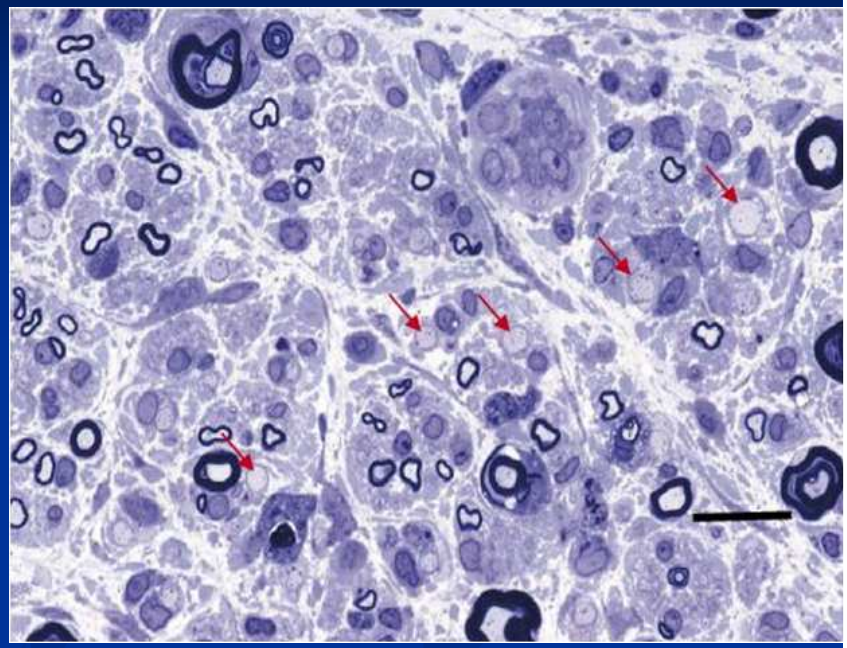


Vitesses de conduction nerveuses
Conduction proximale

- Enregistrement de la conduction du SNP entre la partie la plus proximale de stimulation et la moelle.
- Ondes tardives: Ondes F (latence F-M) et réflexe H

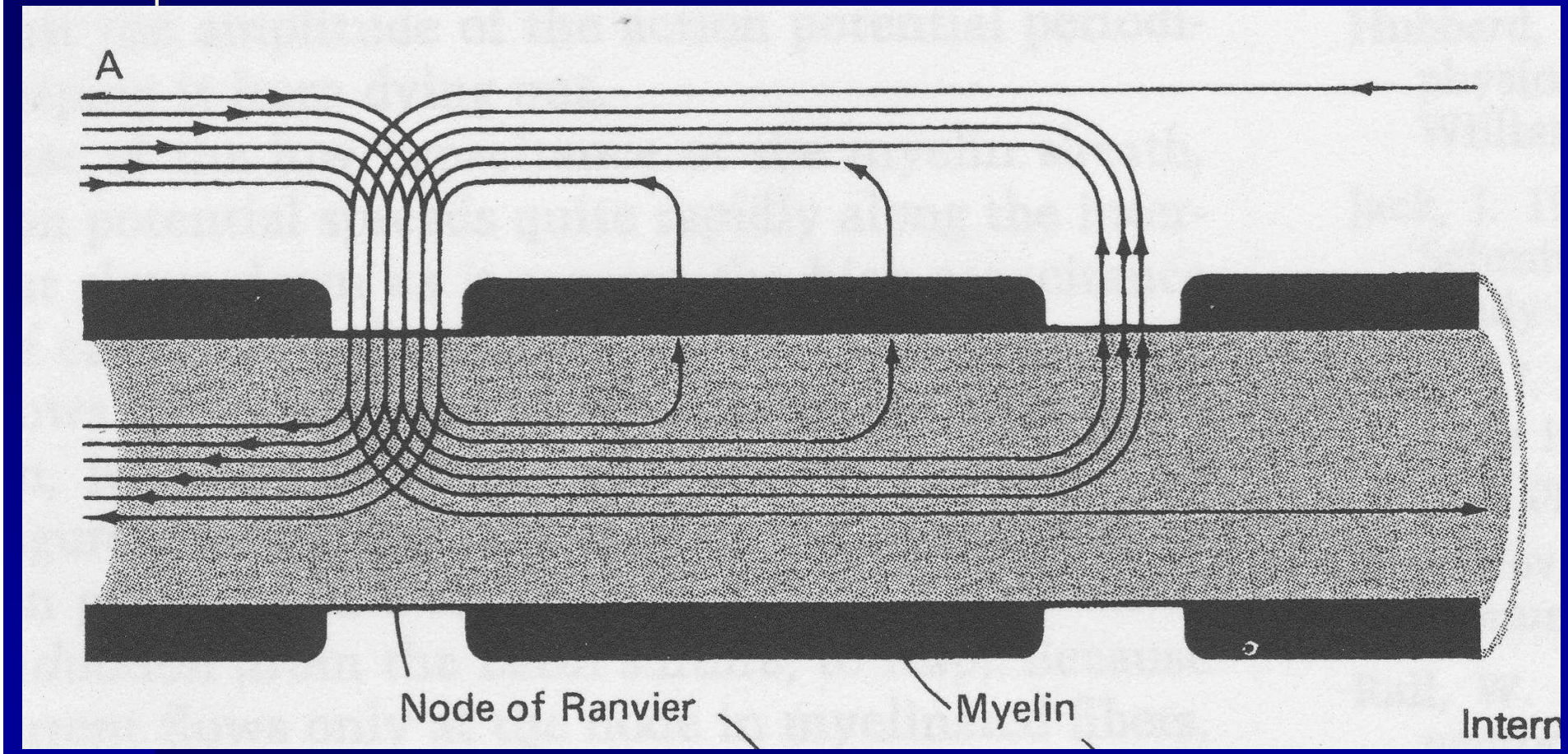


Type d'atteinte des nerfs



- Atteinte axonale
  - Perte en fibres nerveuses
    - SENSITIVE
      - Amplitude potentiel surtout
    - MOTEUR
      - +- Amplitude de la réponse
        - (problème de régénération axonale)
      - ELECTROMYOGRAPHIE: Tracé de repos, Effort maximum
- Atteinte démyélinisante
  - Diminution des vitesses de conduction
  - Autres

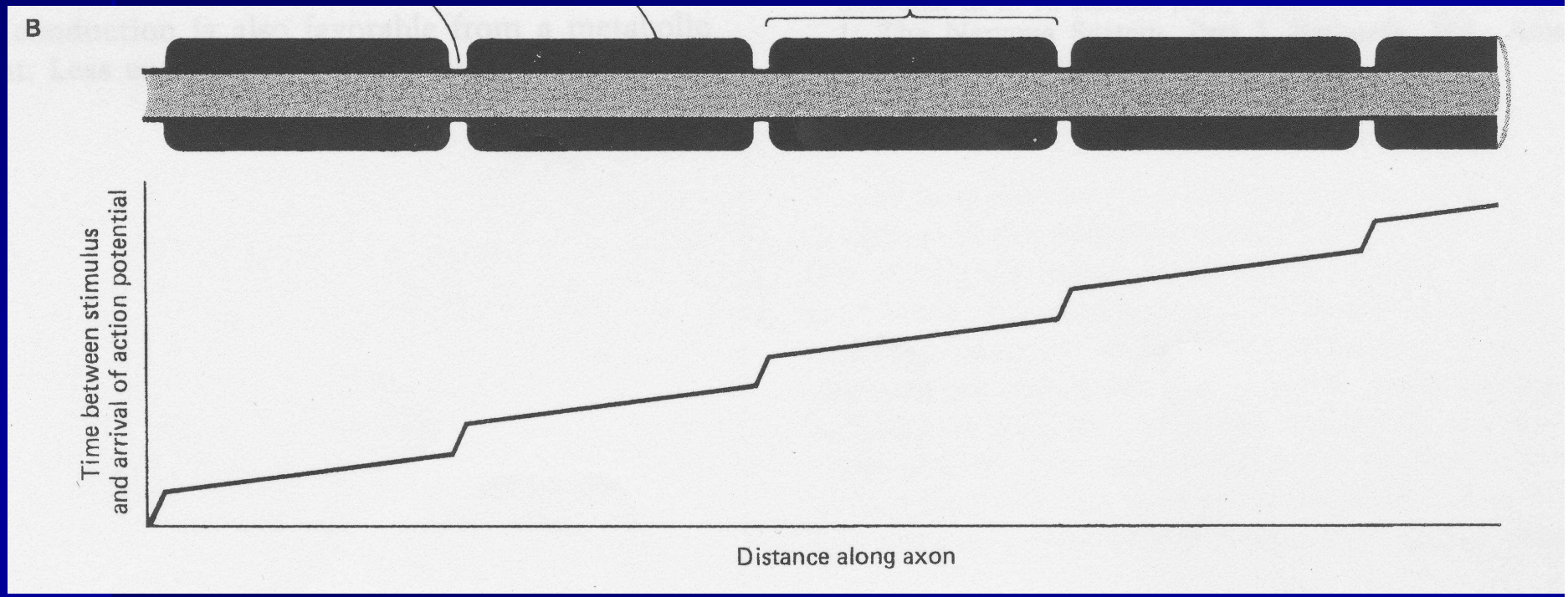
Conduction nerveuse



Vitesse de conduction

Myéline permet une conduction saltatoire

(impédance élevée et capacitance basse empêchant la perte de courant au travers de la membrane internodale)



TYPES D'ATTEINTES des nerfs

Schéma récapitulatif

	Ampli S	VCS S	Ampli M	VCM	EMG
Axonopathie (axone)	Basse	+-N	+-Basse	+-N	Neurogène
Myélinopathie (myeline)	+-Basse	Basse	+-N Blocs	Basse	+- Neurogène
Neuronopathie Sensitive (corps cellulaire)	Basse	+-N	N	N	N
Neuronopathie Motrice (corps cellulaire)	N	N	Basse	+-N	Neurogène

Explorations mixtes

PES PEM

Potentiels évoqués (PE)

Potentiels Evoqués Somesthésiques

- Stimulation-Enregistrement des voies sensitives
  - A différents niveaux du système nerveux
  - Pour:
    - Localisation d'une lésion
    - Diagnostic fonctionnel
- Stimulation d'un nerf périphérique
- Enregistrement à différents niveaux
  - Périphérique
  - Plexus
  - Moelle
  - Cortex

PES: Technique

- Les PES sont des signaux de faible amplitude (1µV) sur bruit de fond de grande ampli (EEG, EMG)
  - Moyennage d'au moins 200réponses à chaque site de recueil
  - Les signaux correspondent à l'activité des fibres myélinisées de gros diamètre
- Stimulation électrique>>mécanique ou magnétique NON douloureuse

PES: Principes

- A chaque niveau des voies sensitives
  - Il existe un neuro-générateur hypothétique
  - Chaque déflexion est définie par
    - Sa polarité: N ou P
    - Sa latence spécifique
      - N9….
- Le problème principal est l'identification des générateurs

Deux types de potentiels

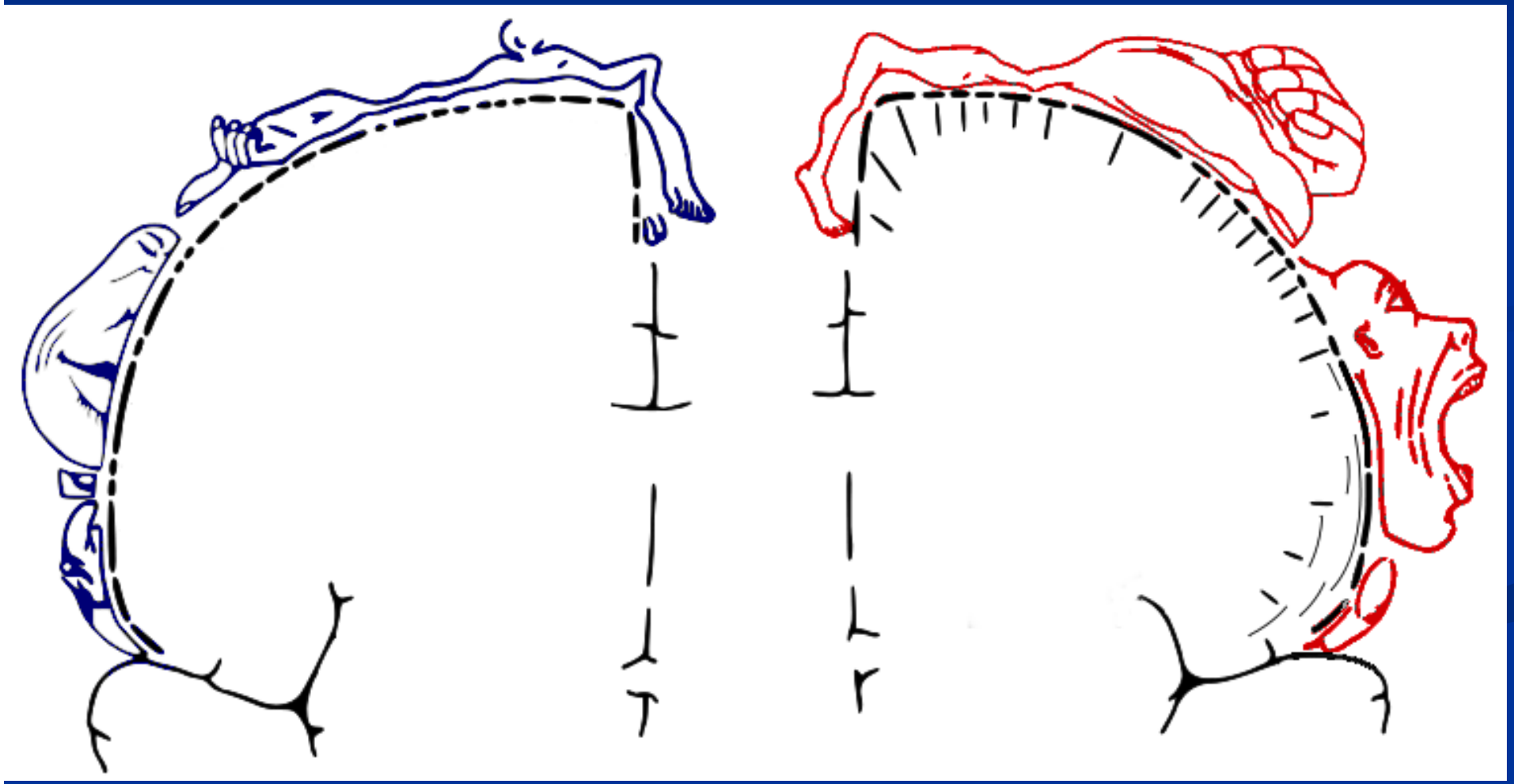
- Potentiels de champ proche
  - Recueillis au niveau ou ils sont générés
    - Nerf périphérique
    - Aire corticale sous jacente
- Potentiels de champ lointain
  - Enregistrés sur le scalp
  - Reflet du déplacement de la volée de potentiel d'action le long d'un trajet nerveux

PES générateurs Nerf médian

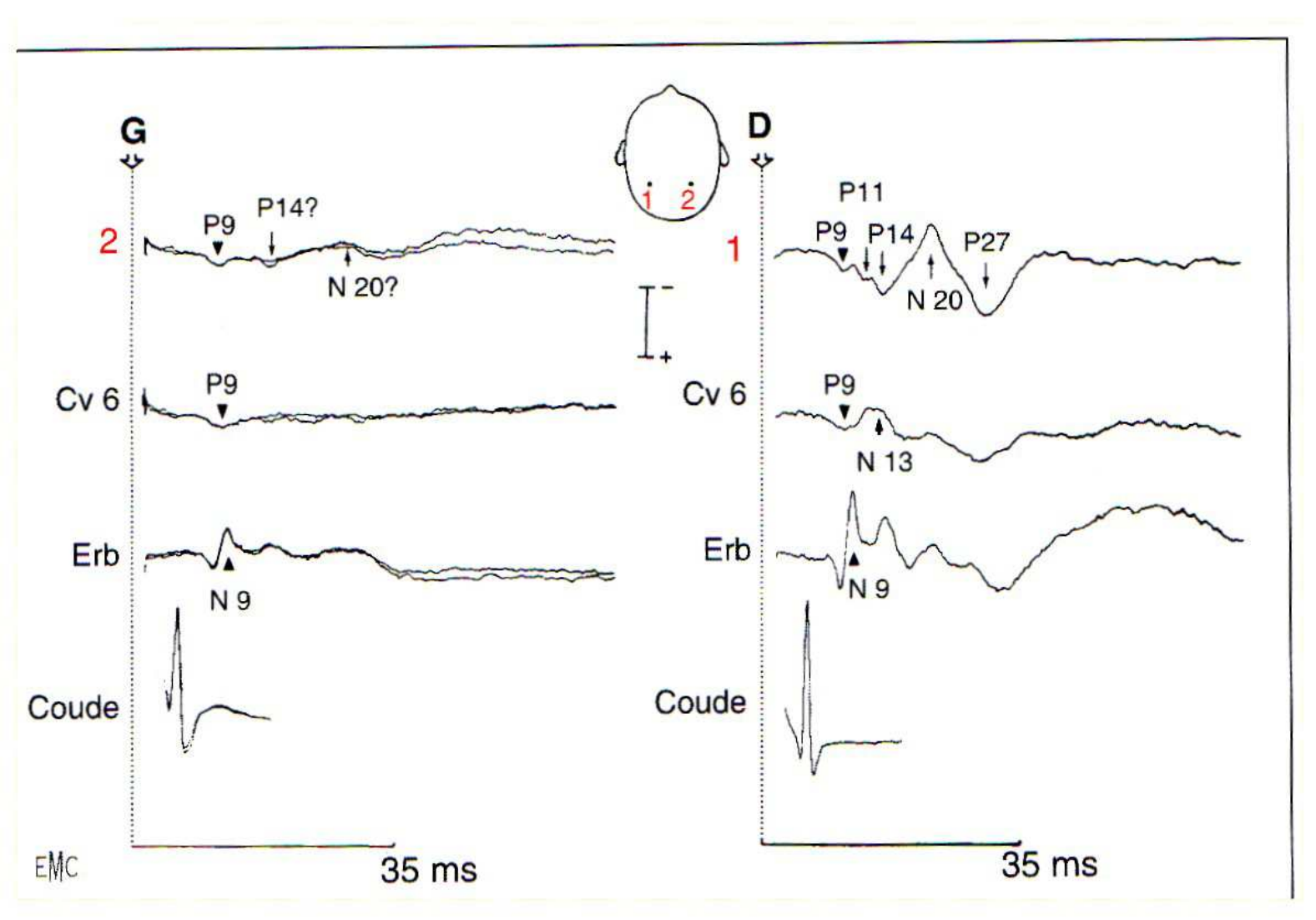
- En périphérie
  - N9: (au point Erb): nerf médian au creux sus claviculaire
- Au niveau spinal
  - N11 (C7 et C2): volée asc dans colonne post
  - N13 activ post synaptiques des neurones de la corne post
- Sur le scalp
  - P14: PCL volée ascendante du lemnisque médian
  - N20:PCP réponse post syn des neurones de aire somesthésique primaire

Homonculus

Pariétale et frontale ascendantes



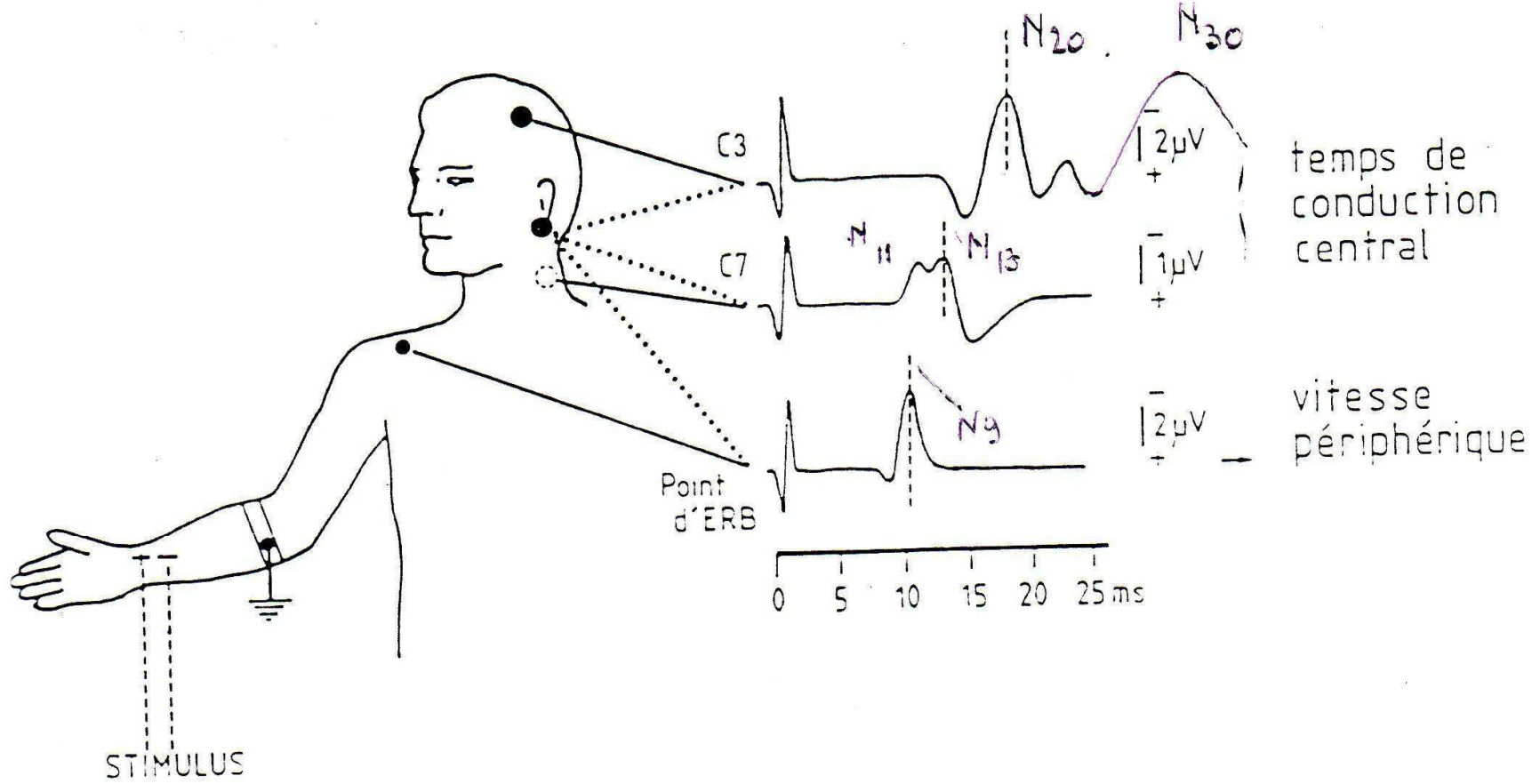
PES exemple nerf médian



PES: diagnostic topographique MS

Siège du dysfonctionnement	N9/P9	N13	P14	N18	N20
Périphérique : distal/ganglion	A	A	A	A	A
Périphérique : proximal/ganglion	Pr	A	A	A	A
Moelle cervicale basse (C6 - D1)	N	Ab	±	±	±
Moelle cervicale haute et bulbe	N	N	A	A	A
Tronc cérébral, noyau ventro-postéro-latéral, fibres thalamocorticales	N	N	N	N	A

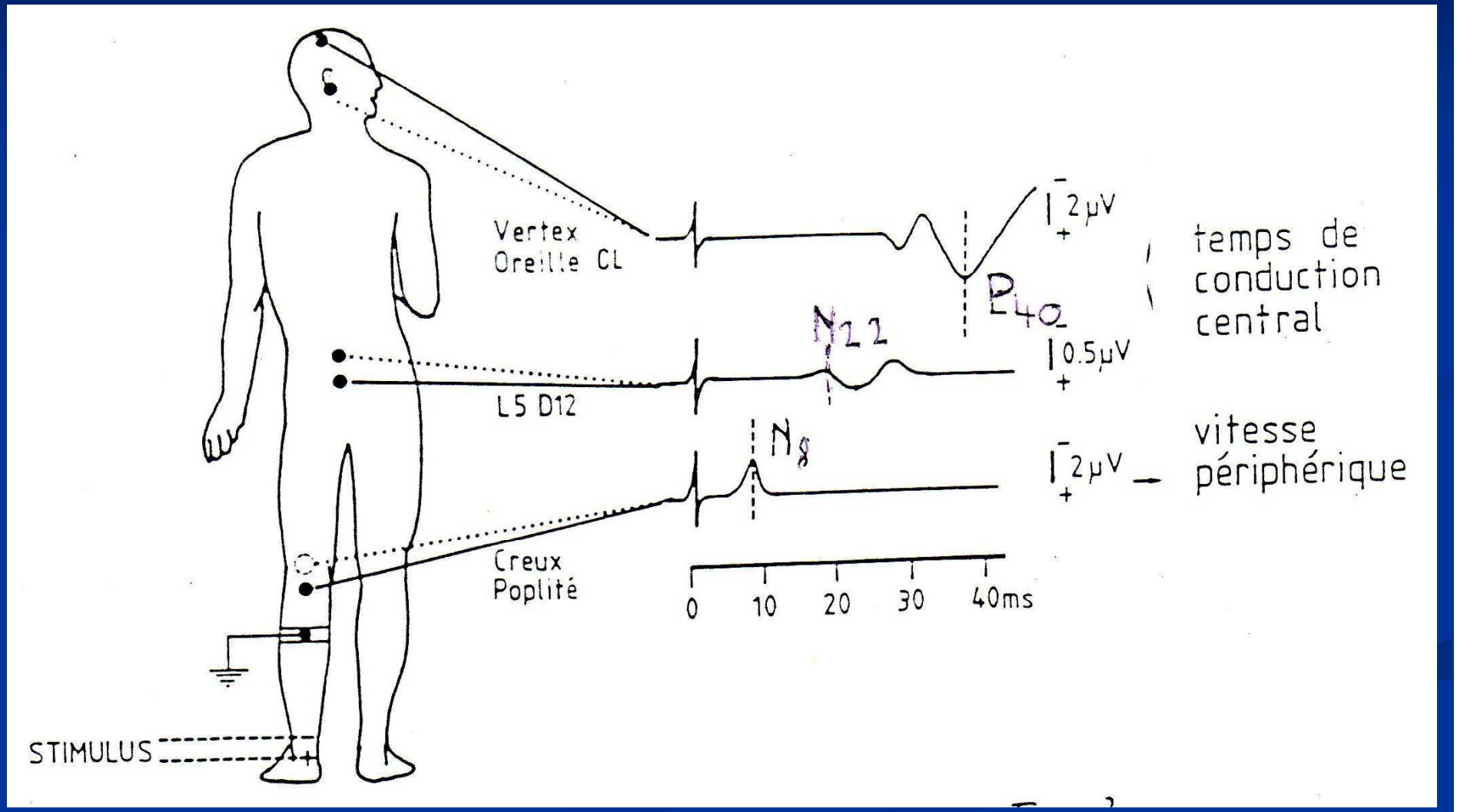
PES: calcul des vitesses de conduction MS



PES: diagnostic topographique MI

Siège du dysfonctionnement	N7	N22	P30	P39
Périphérique : distal/ganglion	A	A	A	A
Périphérique : proximal/ganglion	Pr	A	A	A
Moelle lombosacrée	N	A	±	±
Moelle cervicale et dorsale	N	N	A	A
Intracrânien	N	N	N	A

PES: calcul des vitesses de conduction MI



Potentiels évoqués moteurs

(PEM)

Contre indications

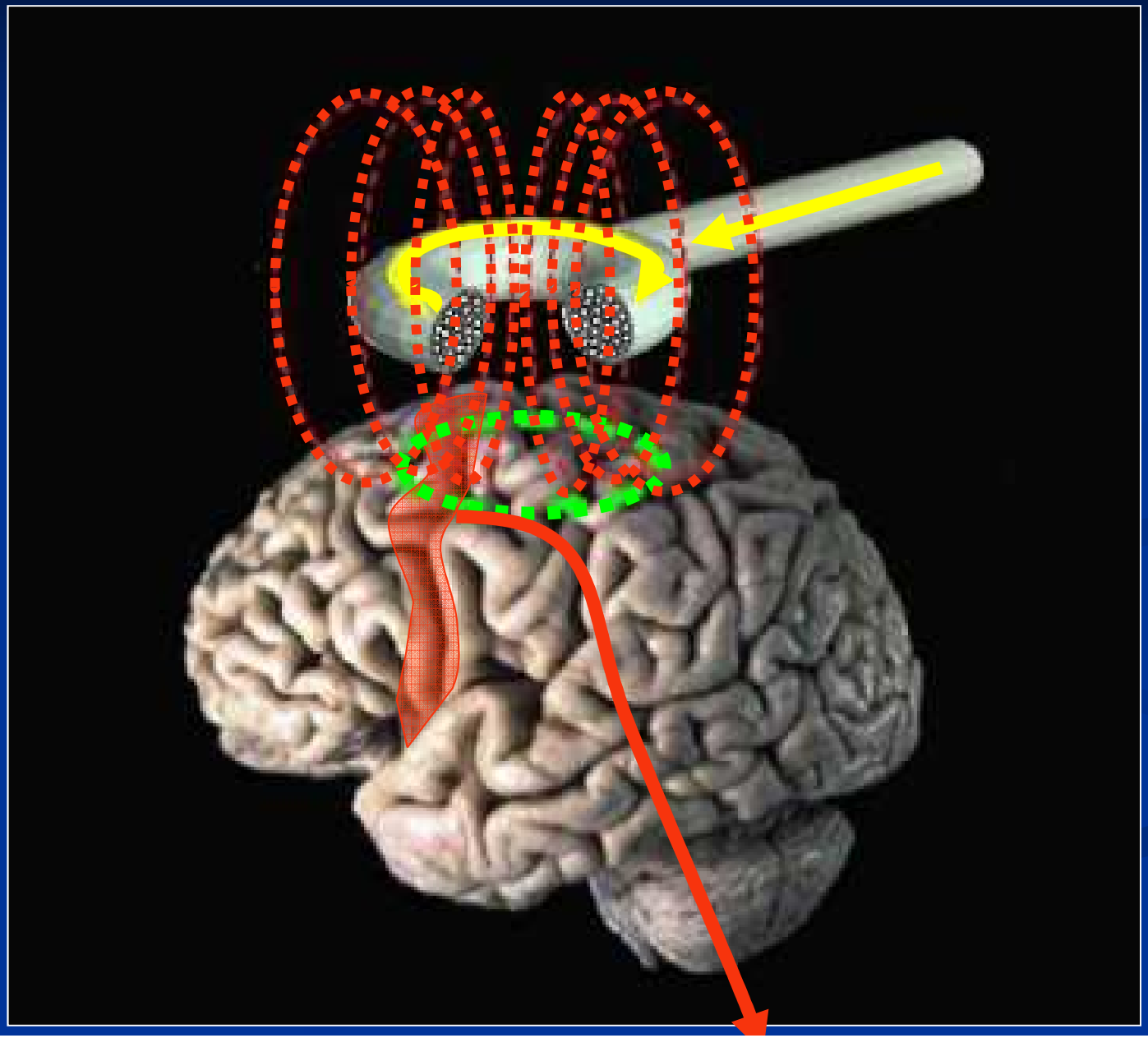
Pace maker

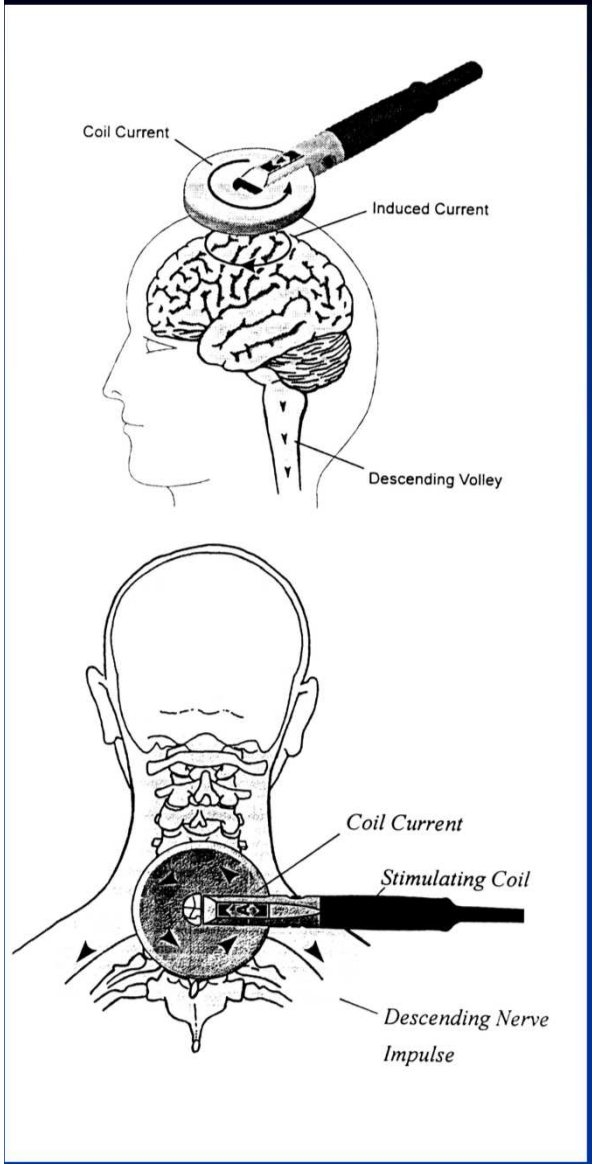
Clip intracrânien ferromagnétique

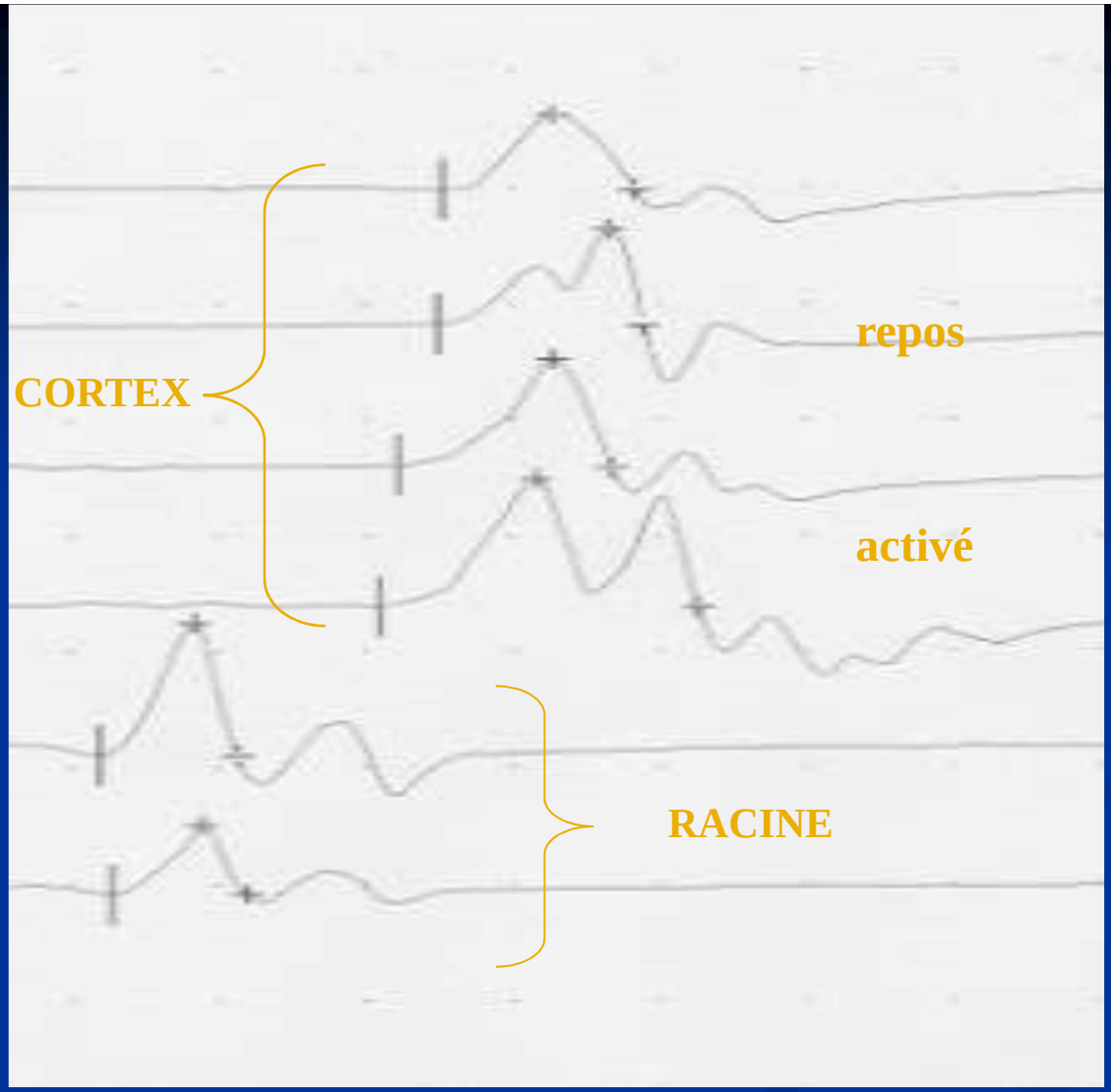
Implant cochléaire

Epilepsie

Bobine de stimulation



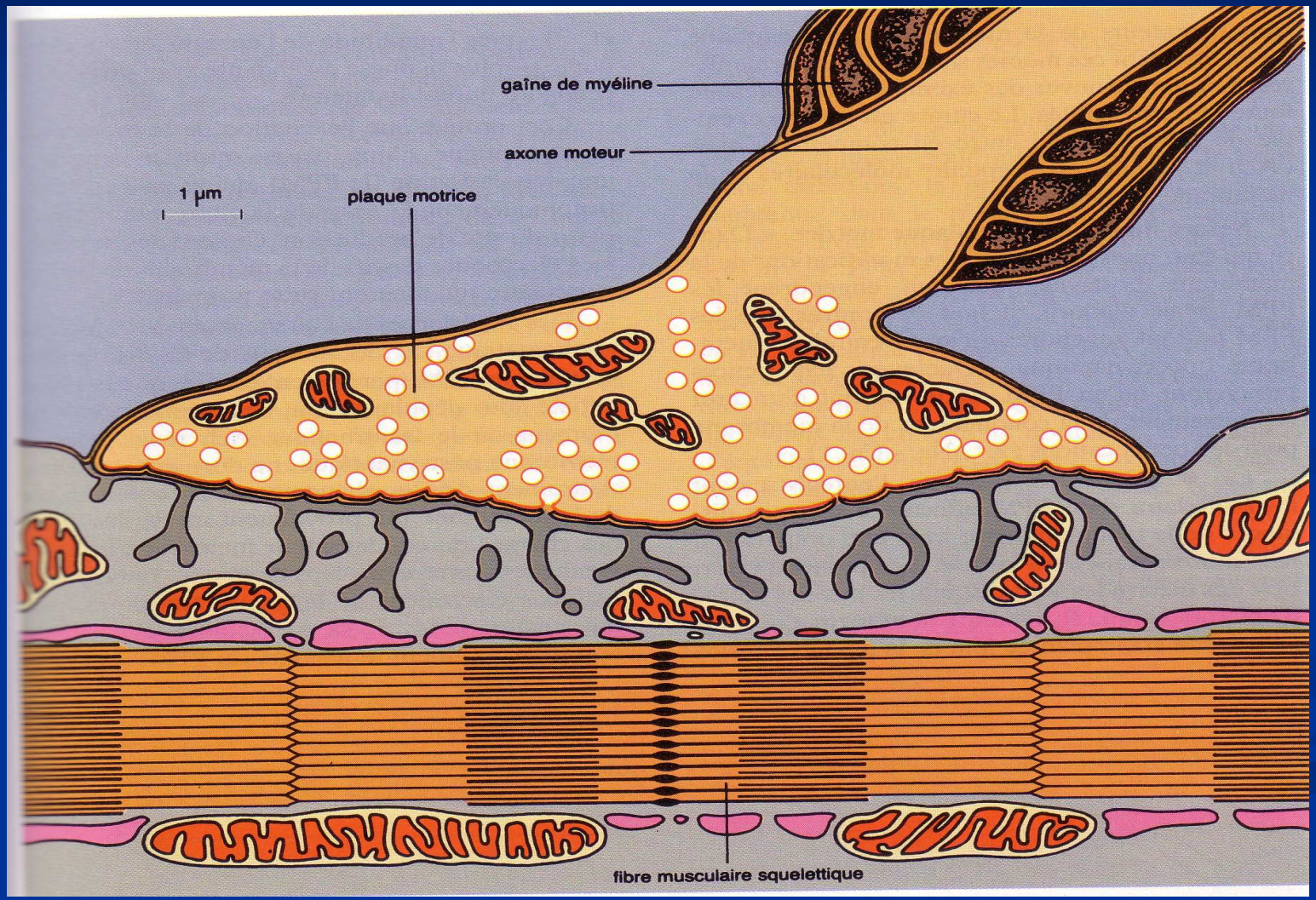

Coil Current
Induced Current
Descending Volley
Coil Current
Stimulating Coil
Descending Nerve
Impulse


CORTEX
repos
activé
RACINE

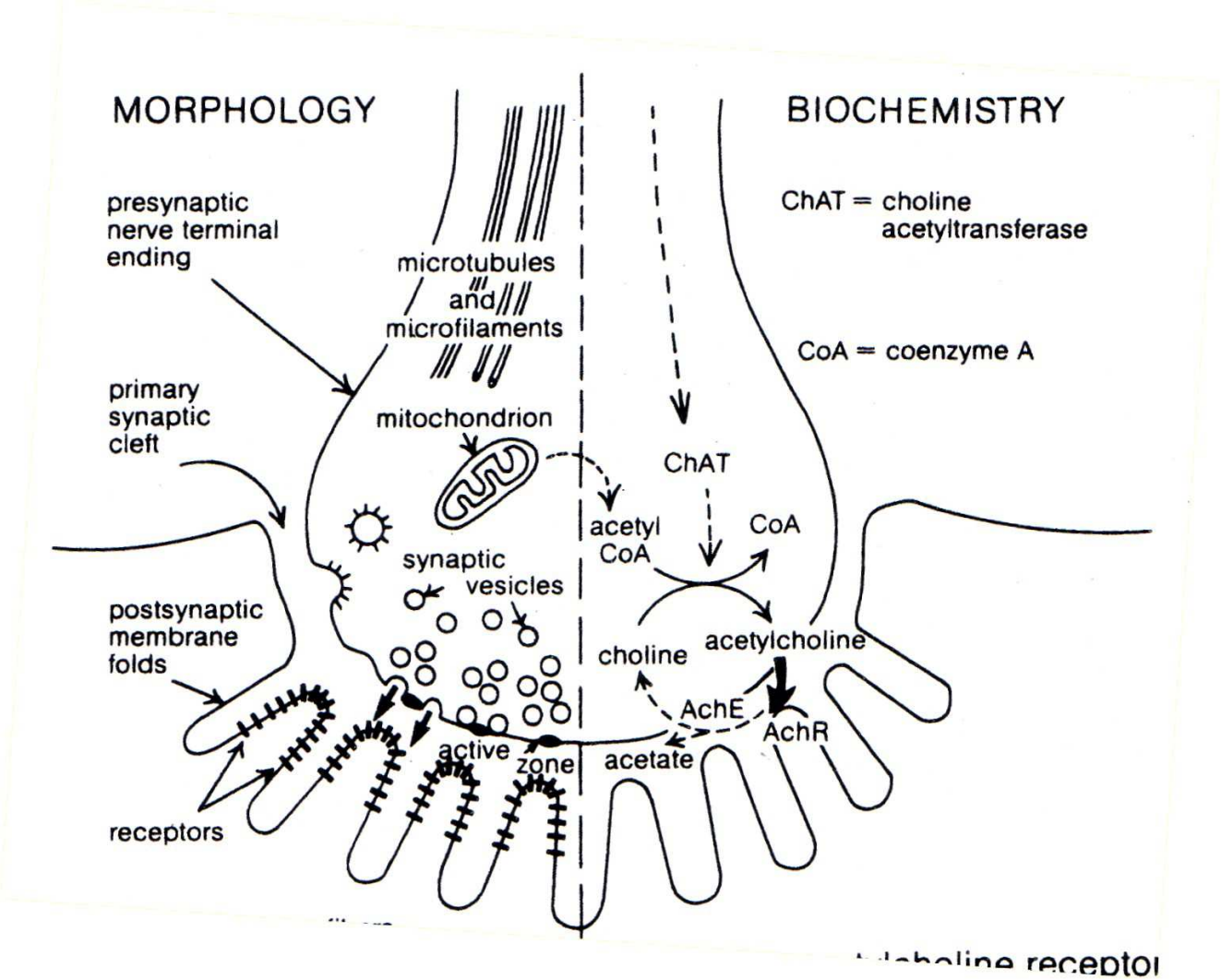
I
I
D
facilitation

ALTERATIONS DE LA JCT NM

Plaque motrice: morphologie



Jonction neuromusculaire normale

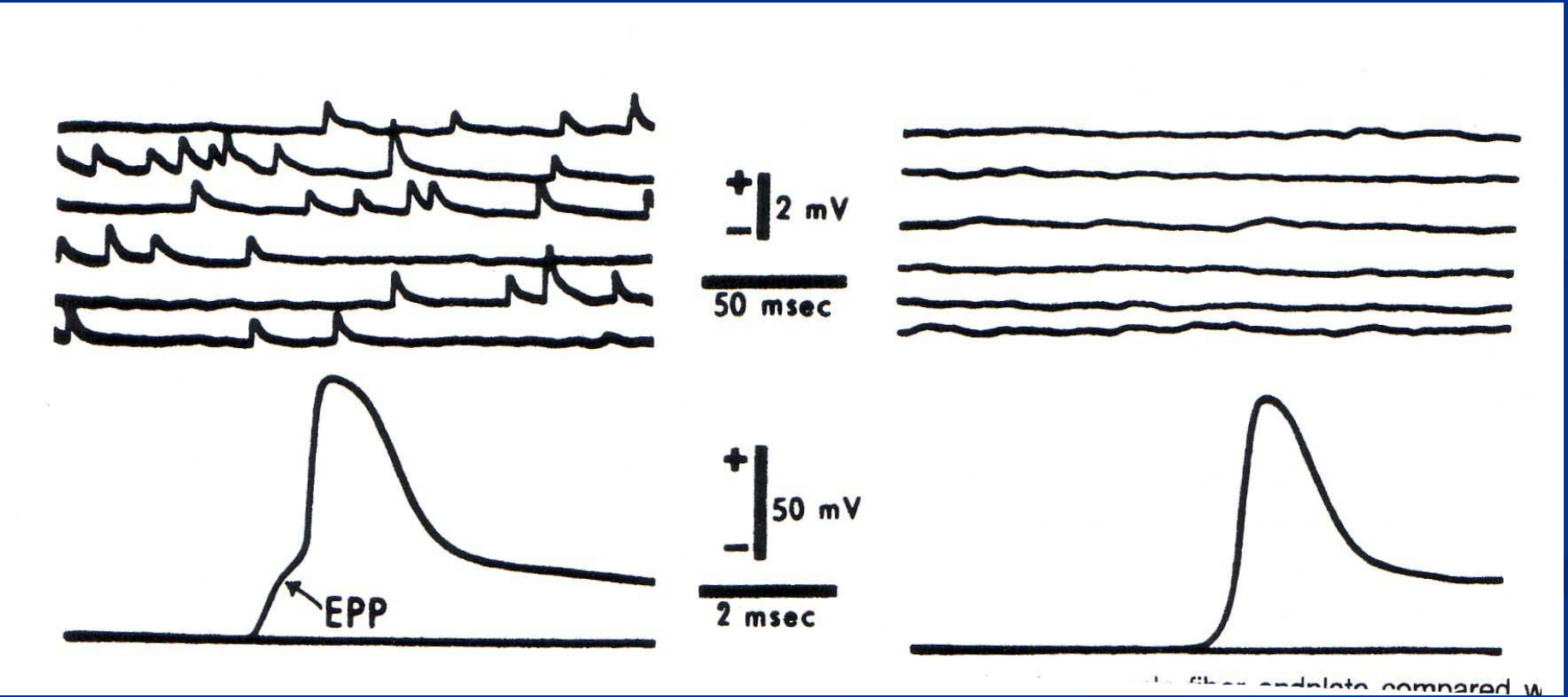


Jonction Neuromusculaire
Réponse à la stimulation nerveuse

1. Influx nerveux présynaptique: entrée de Ca++
2. Libération de plus de 100 quanta Ach
3. Liaison Ach à 100 000 AchR
4. Création d'un PPM non propagé
5. PPM est un multiple de mPPM (théorie des quanta)
6. Si PPM atteint le seuil: Potentiel d'Action (PA)
   (Tout ou rien)

mPPM et PPM

Potentiels miniatures de plaque, potentiels de plaque



Réponse à la stimulation nerveuse

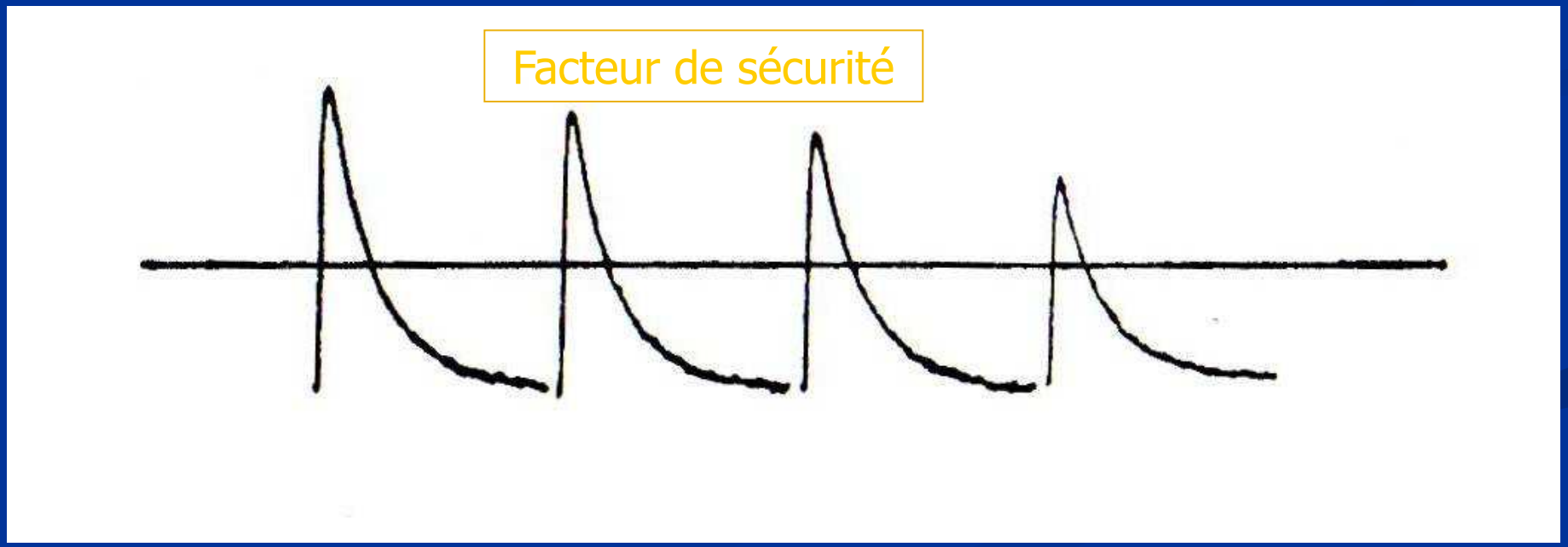
- Chez sujet normal
  - Libération d'un excès Ach
  - Plusieurs fois le nombre nécessaire de AchR pour qu'un PPM passe le seuil du PA est activé

Facteur de Sécurité

- Si le facteur de sécurité est réduit
  - Blocage de la transmission neuro-musculaire

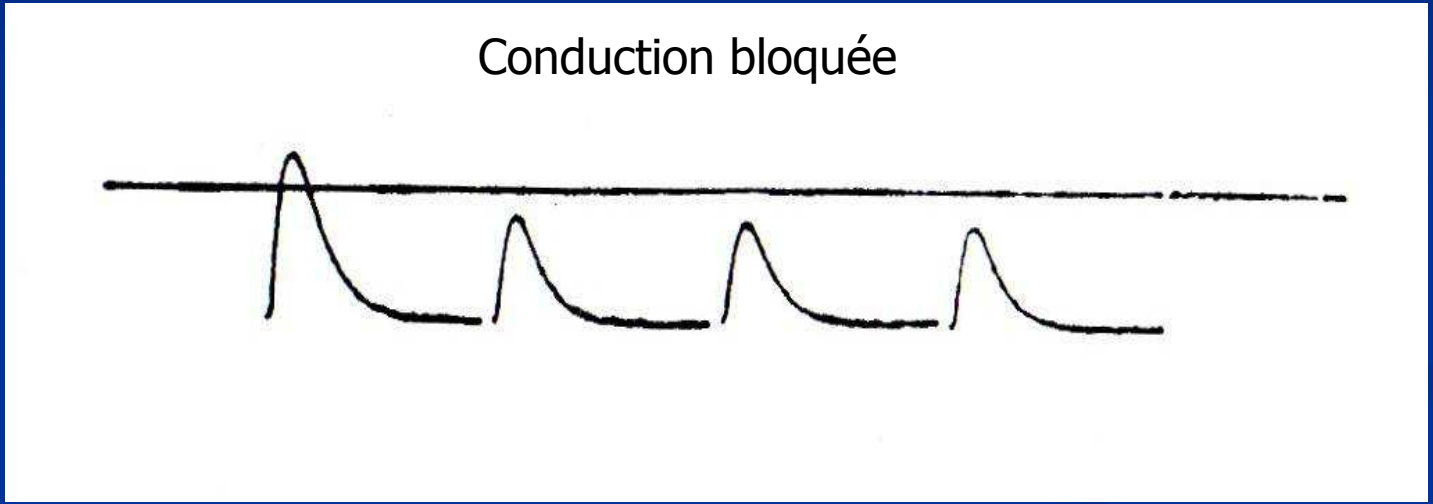
Réponse à la Stimulation Répétitive

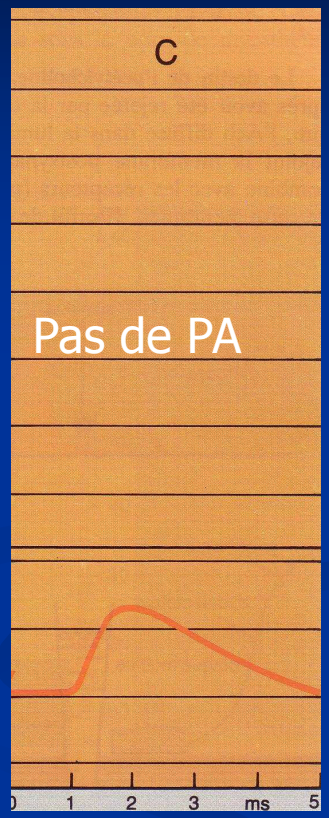
- Stimulation répétitive
  - Diminution progressive de l'amplitude PPM
  - Chez sujet normal et en cas de patho Jct NM



Mise en évidence d'un défaut de la Jct NM

Stimulation Répétitive

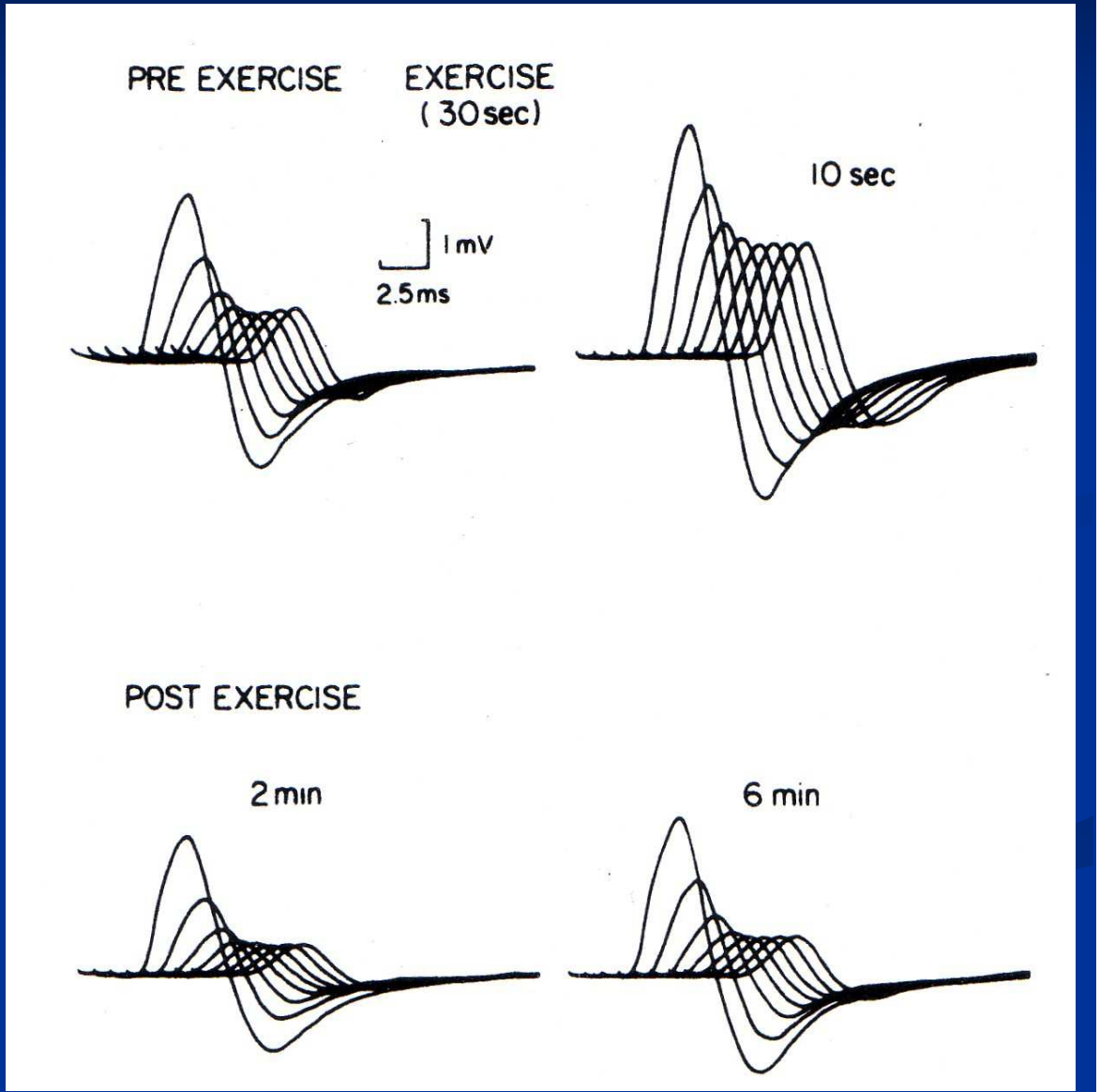


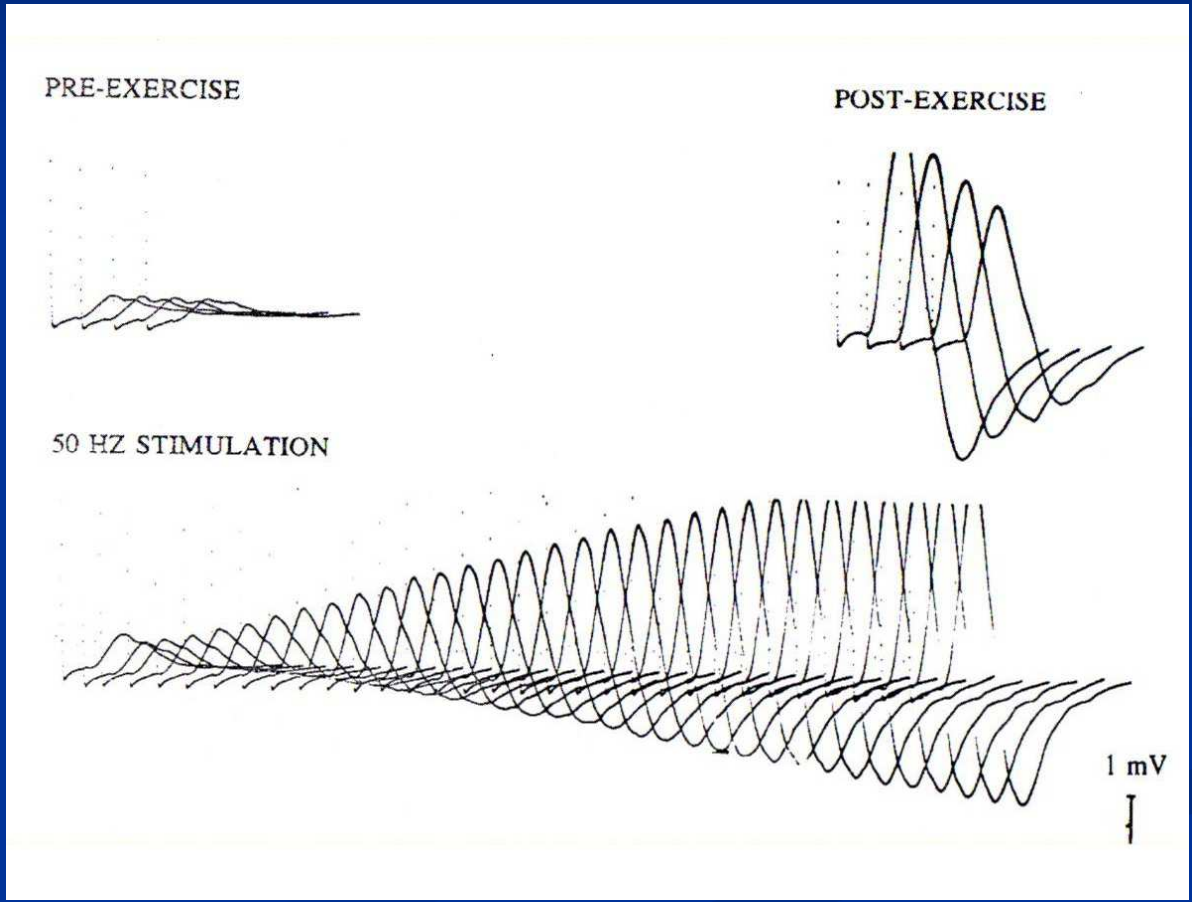


- Diminution du facteur de sécurité et certains PPM n'atteignent pas le seuil PA:
  - Diminution graduelle du nombre de fibres qui contribuent au CMAP
- Diminution du CMAP est due
  - Diminution du % de fibres générant le CMAP
  - Et pas à la diminution d'amplitude du PA

Myasthénie

- Altération de la membrane post synaptique
- Diminution du nombre de récepteurs à l'acéthylcholine



Lambert Eaton

- Défaut d'entrée du calcium au niveau présynaptique
- Défaut de relargage de Ach