



# EEG en anesthésiologie

## DU Electrophysiologie en réanimation

Vincent Bonhomme – Head and Professor of Anesthesiology

Department of Anesthesia and ICM – Liège University Hospital, Belgium

Anesthesia and Intensive Care Laboratory, GIGA-Consciousness Thematic Unit, Liege University, Belgium



---

# Conflits d'intérêt

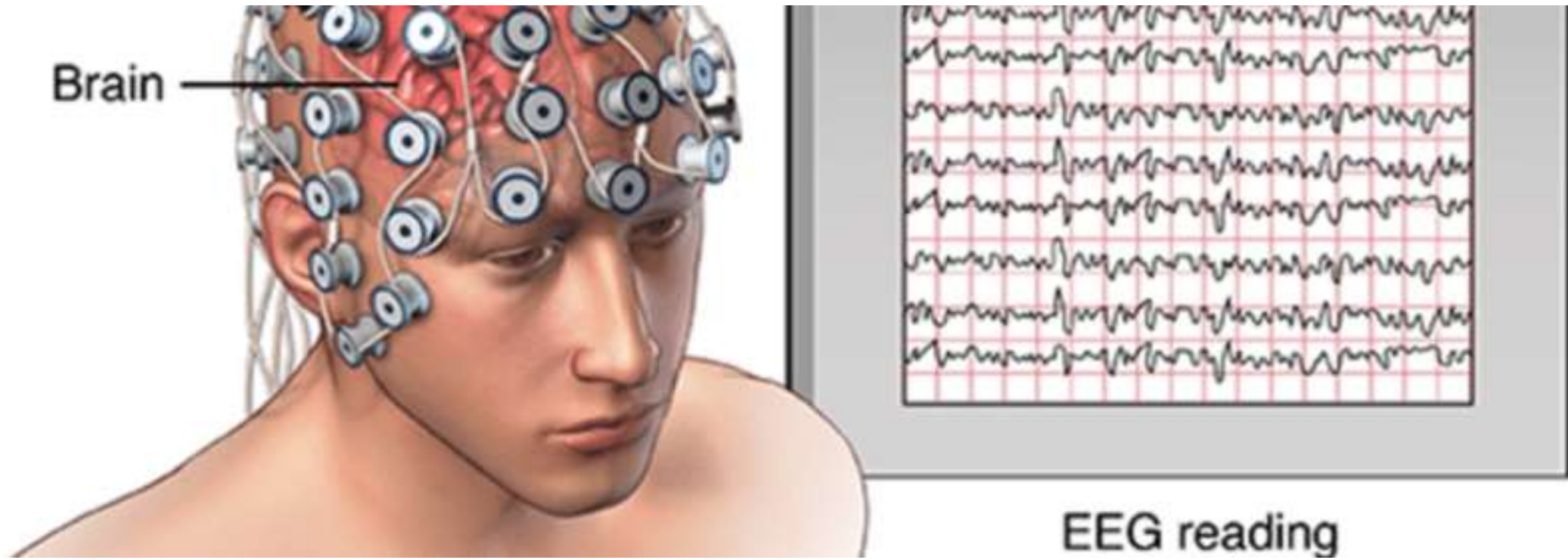
Orion Pharma

Medtronic

Edwards

Elsevier



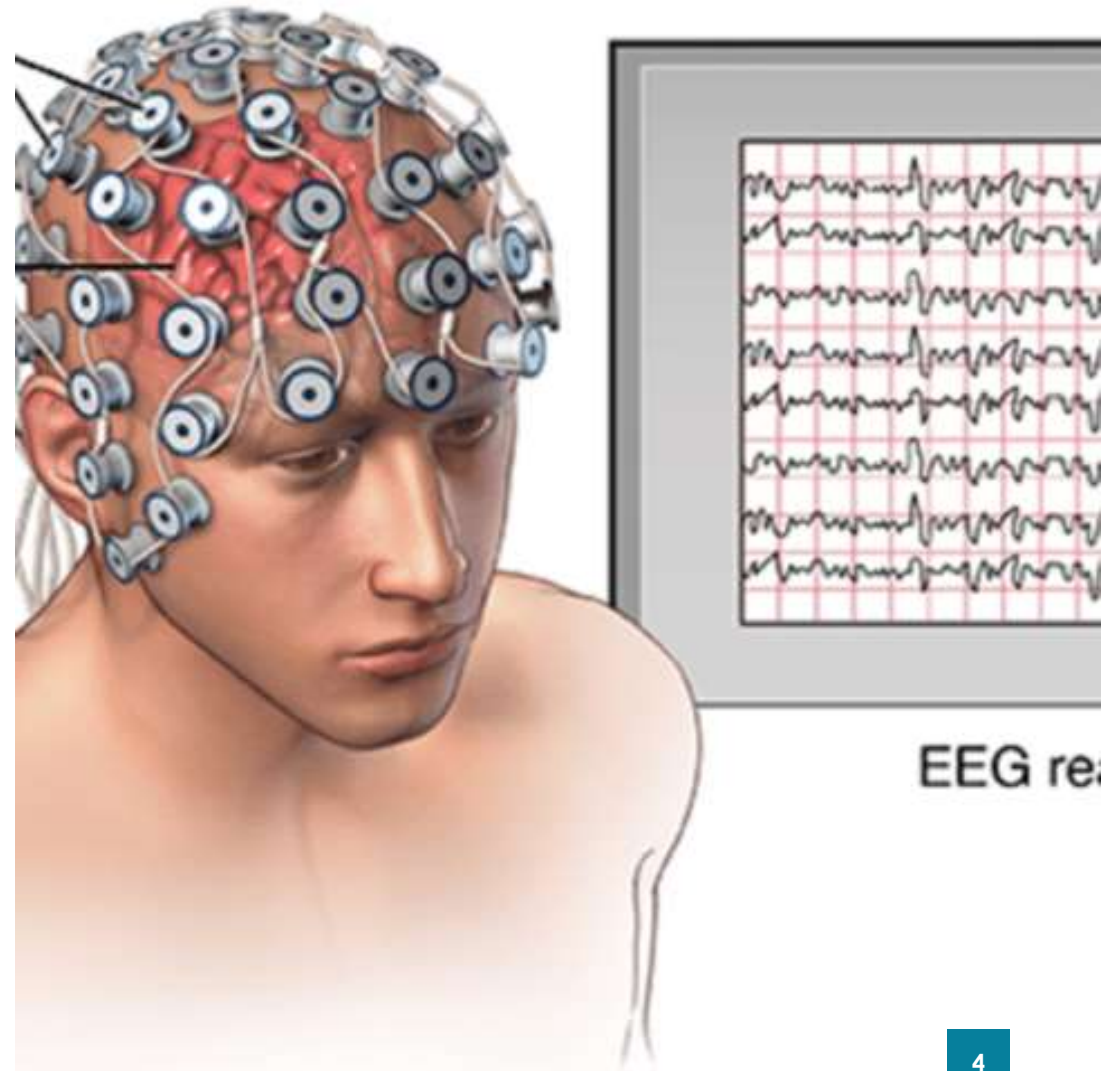


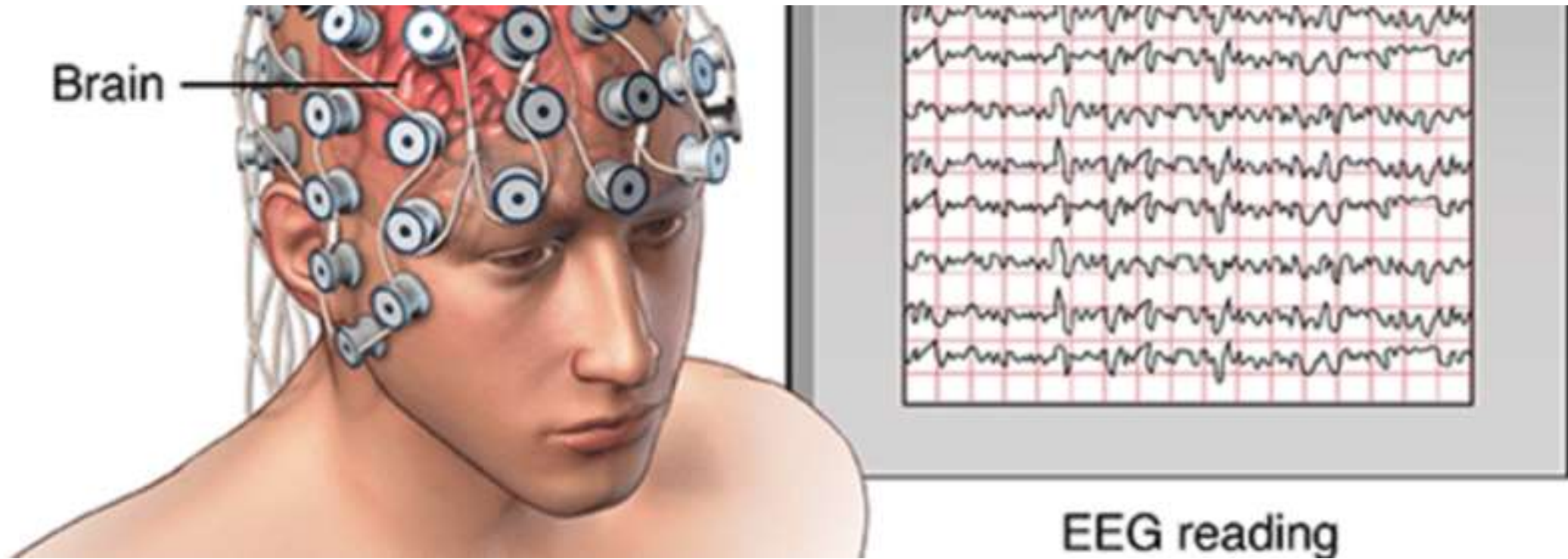
# Plan du cours

# Plan

1. Analyses de l'EEG utiles en anesthésiologie
2. Mesure de la profondeur de l'anesthésie
3. Explorations fonctionnelles du cerveau anesthésié

## Electroencephalogram (EEG)





**Analyses de l'EEG utiles en anesthésiologie**

# Analyses

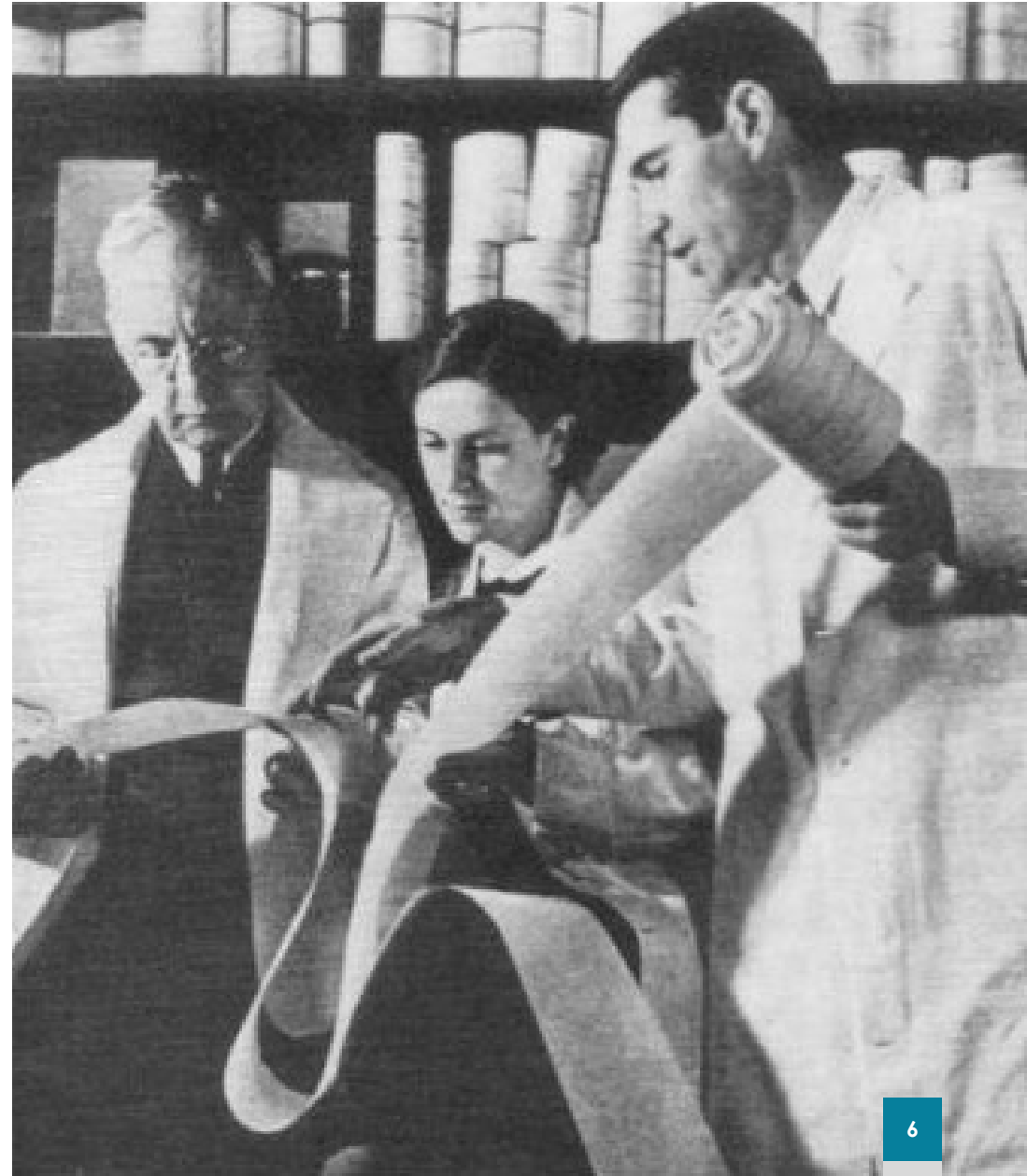
## Premières observations

Gibbs et Gibbs – 1937

Peu applicable en clinique

- Interprétation
- Environnement hostile du bloc opératoire

Regain d'intérêt à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle



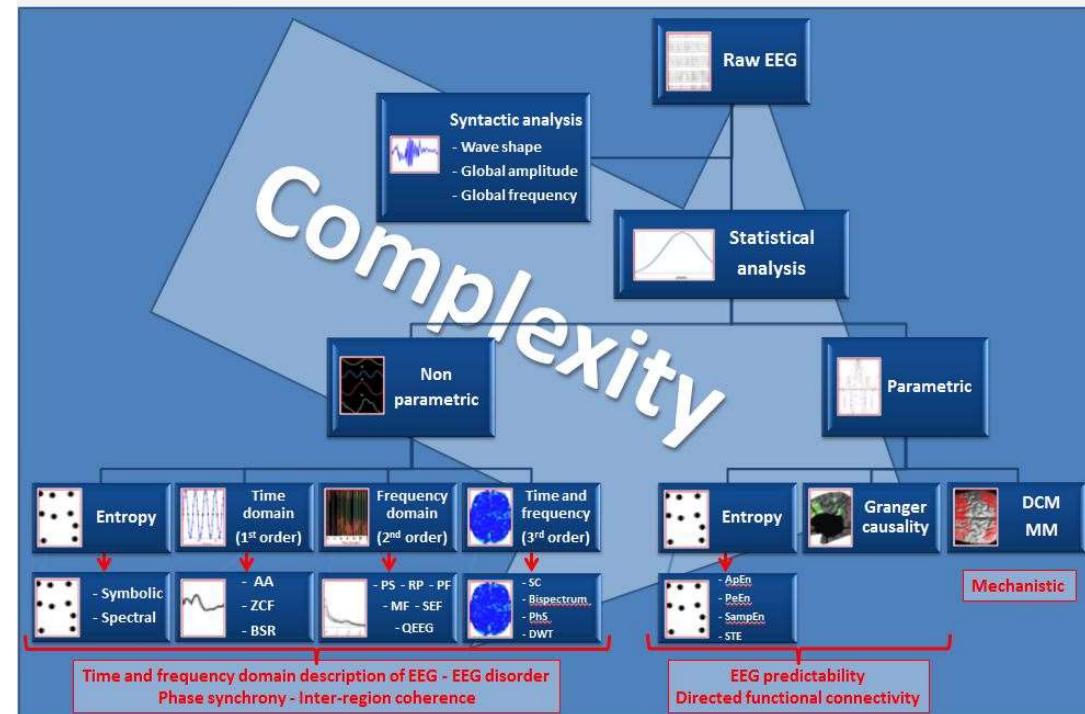
# Analyses

## Types d'analyses – complexité croissante

### Syntactique

#### Analyse statistique

- Non paramétrique
  - Entropie
  - Domaine temps (1<sup>er</sup> ordre)
  - Domaine fréquence (2<sup>ème</sup> ordre)
  - Domaine temps-fréquence (3<sup>ème</sup> ordre)
- Paramétrique
  - Entropie
  - Causalité Granger
  - DCM - MM

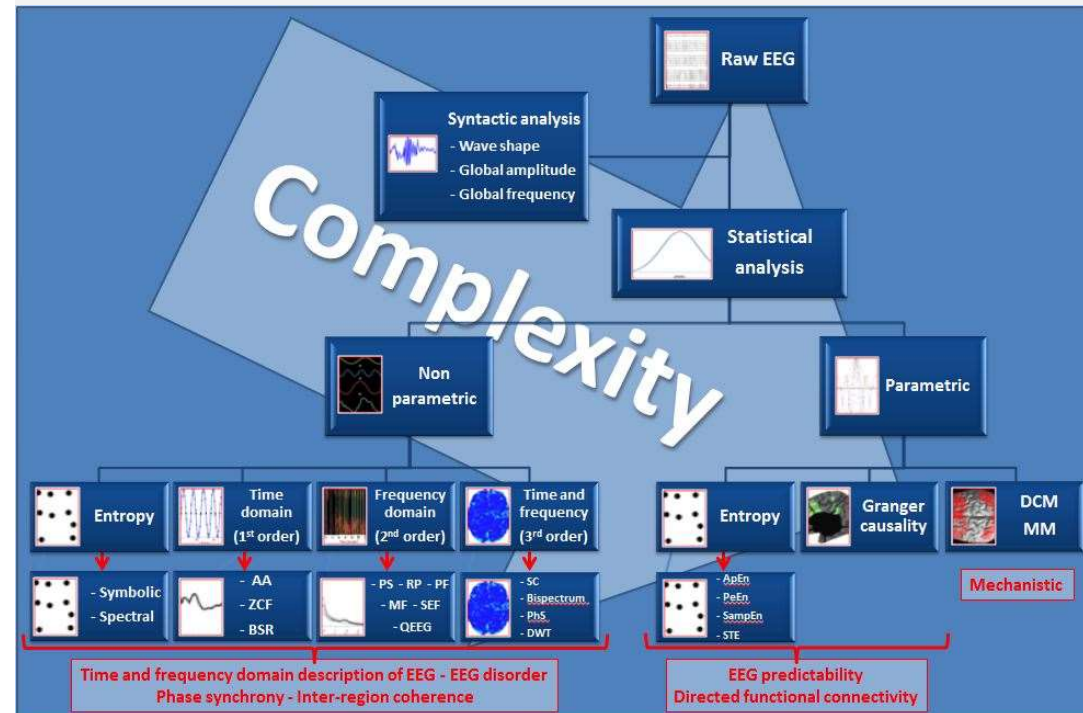


# Analyses

## Utilisation

Guide pour l'administration des agents anesthésiques

Étude de la conscience et des mécanismes de l'anesthésie générale





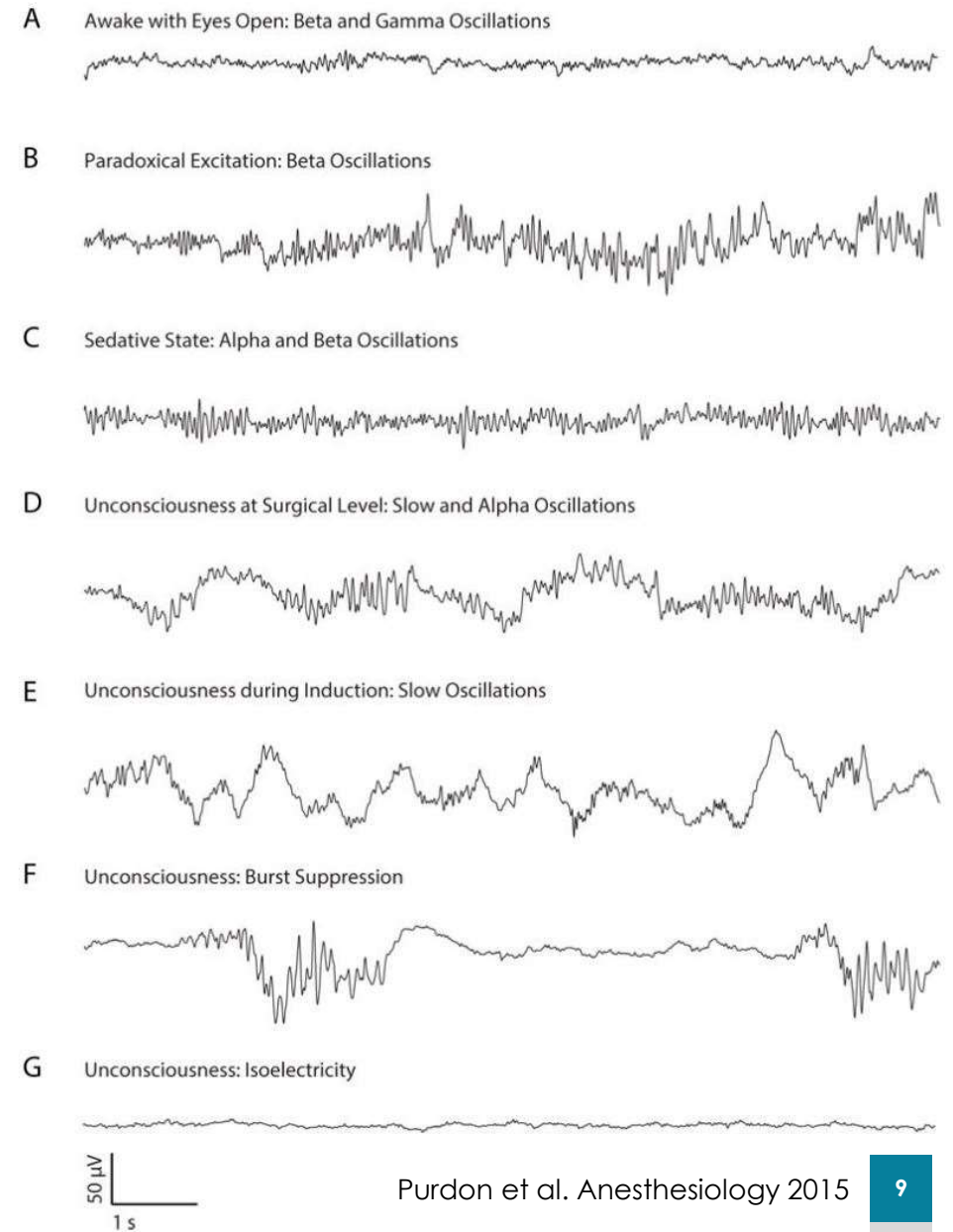
# Analyses

## Analyse syntactique ou sémantique

Morphologie

Amplitude

Fréquence globale

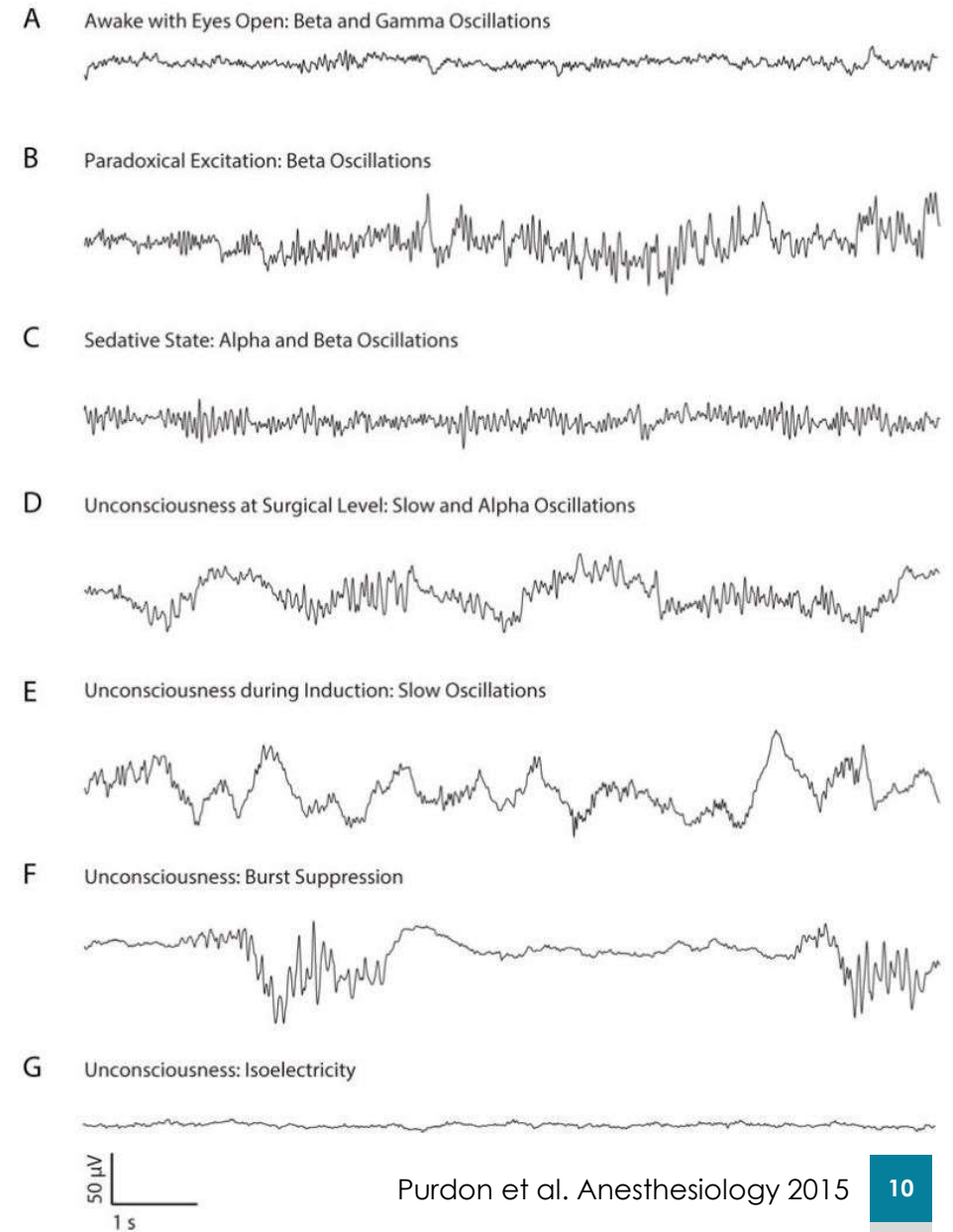


# Analyses

## Analyse Statistique – Non paramétrique

### Domaine temps

- Puissance totale
- Fréquence de passage de la ligne 0
- Peu utile

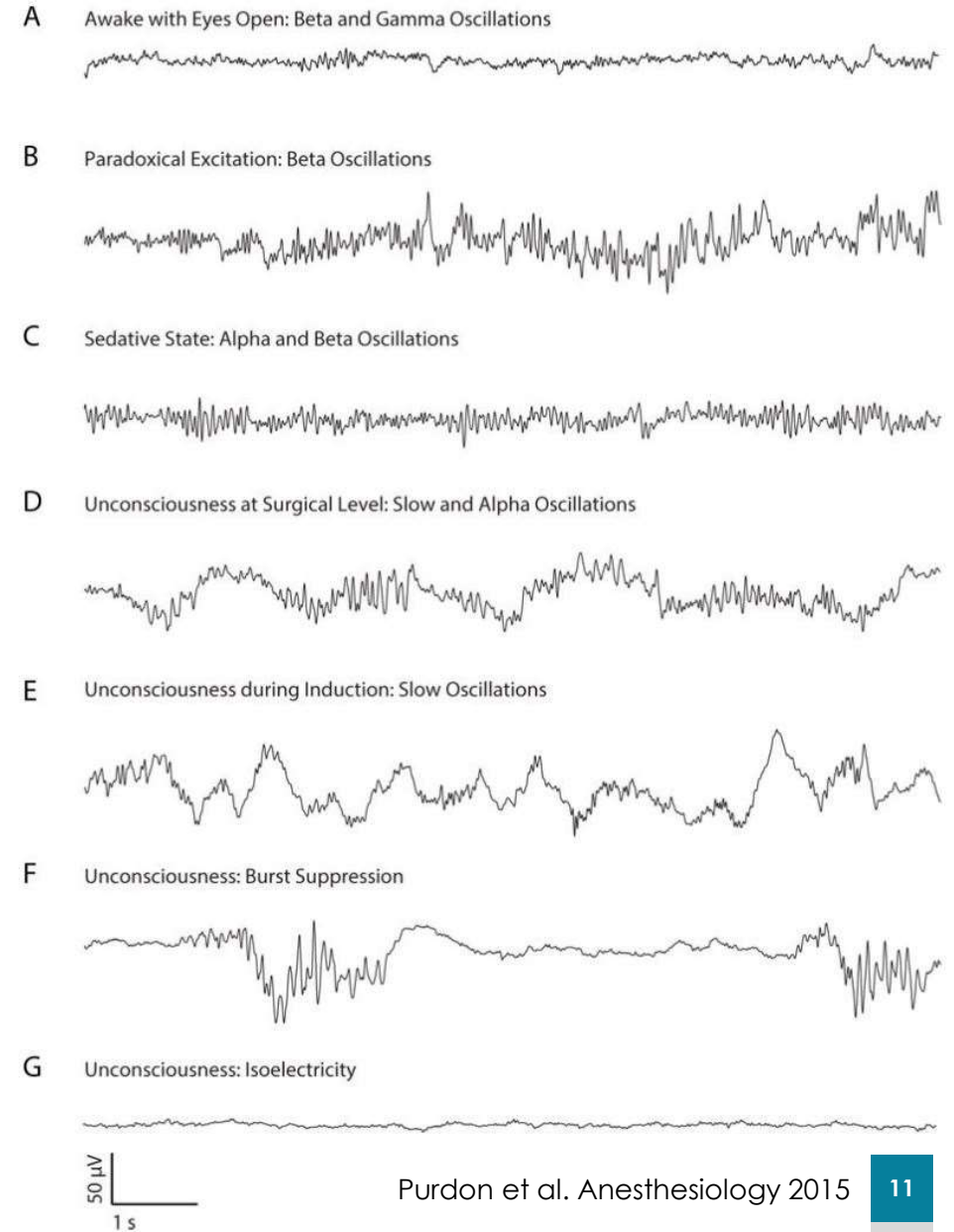


# Analyses

## Analyse Statistique – Non paramétrique

### Domaine fréquence

- Diphasiques (agents GABAergiques)
  - Activation  $\beta$  (13-30 Hz)
  - Ralentissement progressif
    - Activité  $\delta$  (0.5-4 Hz) – ample et a frontal
    - Burst-suppression (BSR)
    - Tracé plat

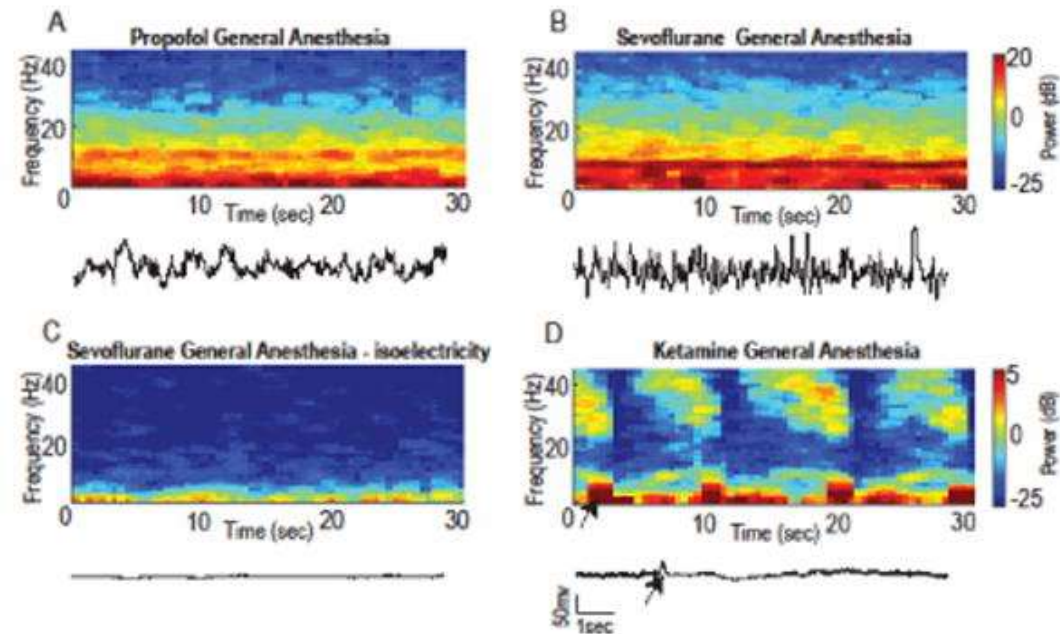


# Analyses

## Analyse Statistique – Non paramétrique

### Domaine fréquence

- Spectre de puissance
  - Fréquence de pic
  - Fréquence médiane
  - Fréquence de bord de spectre
- Spectrogramme

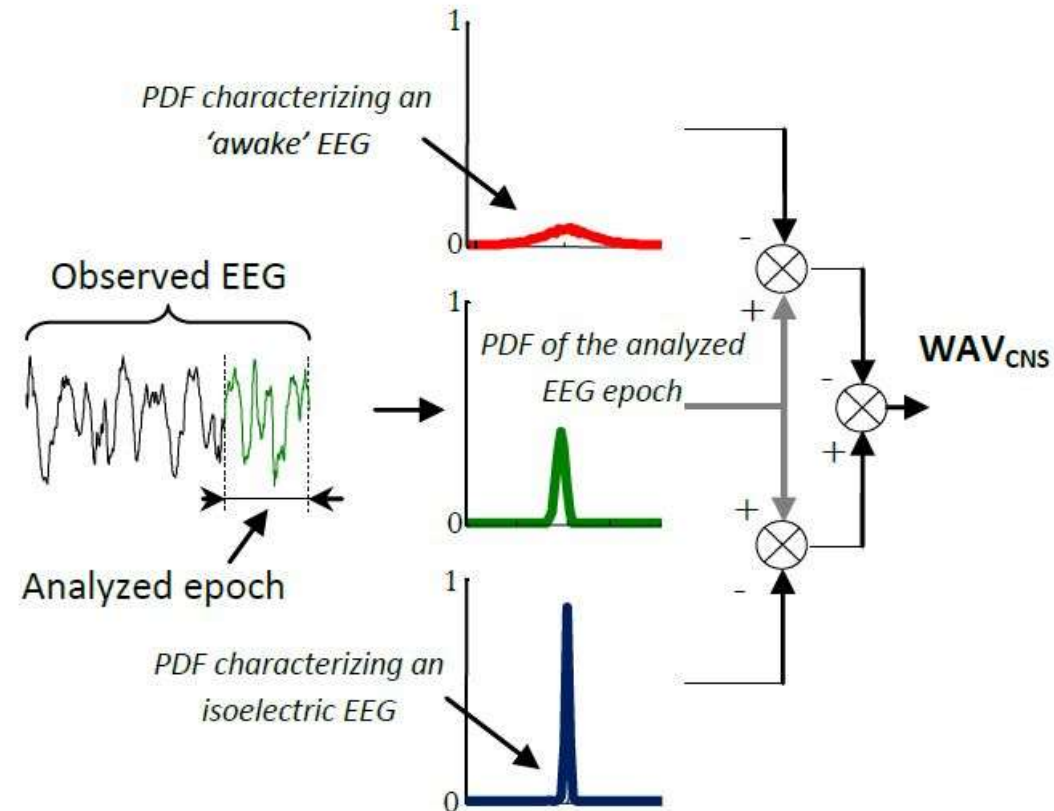


# Analyses

## Analyse Statistique – Non paramétrique

### Domaine temps-fréquence

- 'Discrete wavelet transform and eigenvector analysis'
  - Calcul de coefficients qui correspondent le mieux aux informations temps-fréquence contenues dans un signal



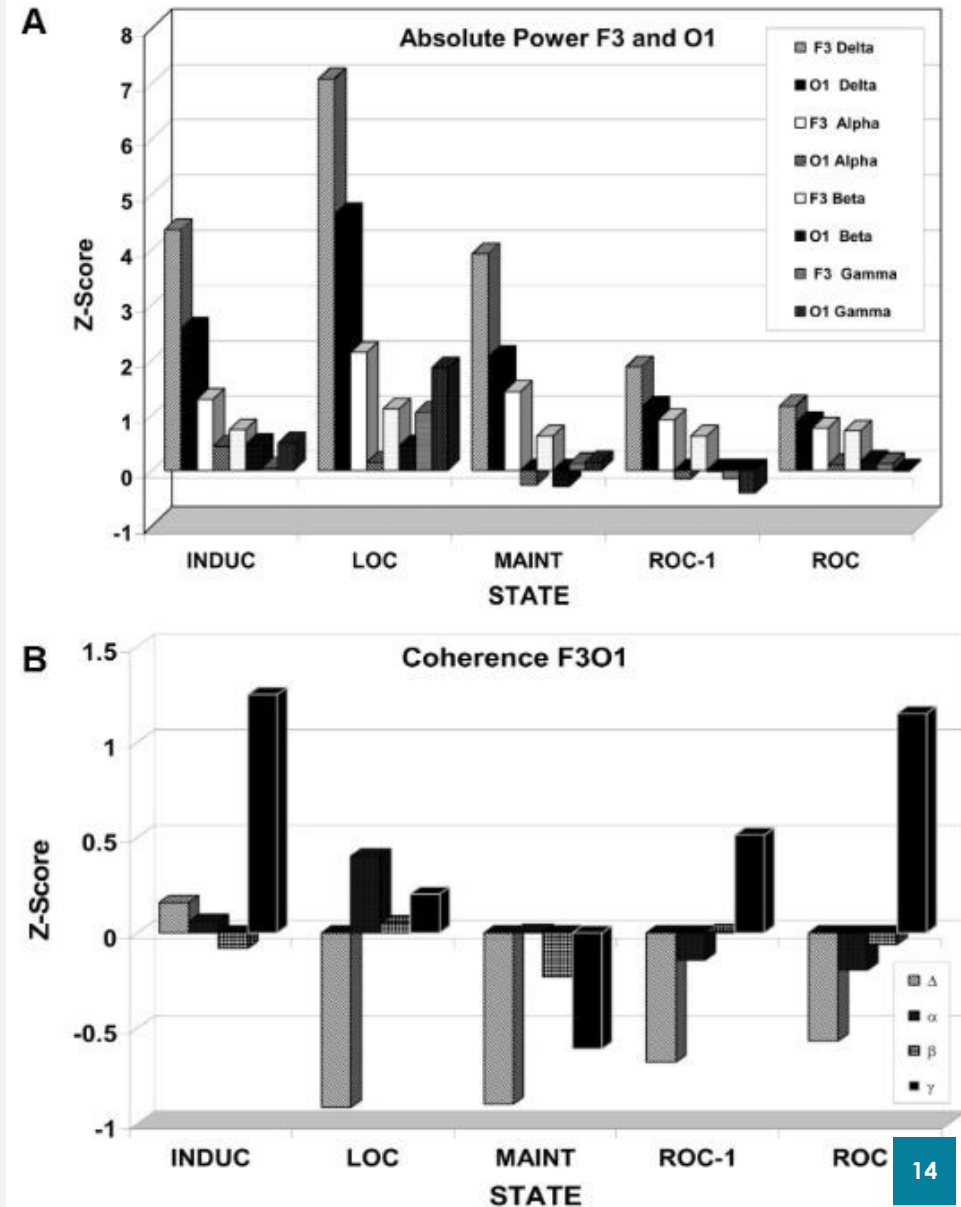
# Analyses

## Analyse Statistique – Non paramétrique

### Domaine temps-fréquence – Haut ordre

- Exemples
  - Cohérence
    - Mesure la synchronisation entre régions cérébrales pour une bande de fréquence donnée
  - Bispectre
    - Synchronisation de phase entre différentes composantes de fréquence
  - Synchronisation de phase
- Signification physiologique non connue
- Modifications reproductibles sous anesthésie

John et al. Anesthesiology 2005

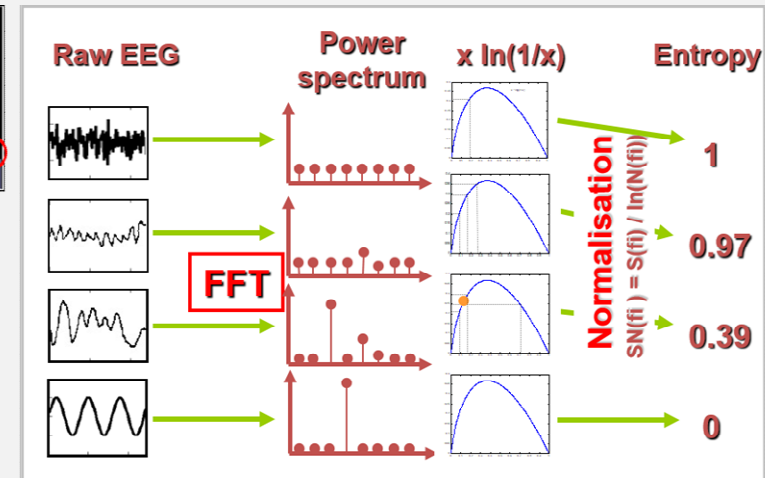


# Analyses

## Analyse Statistique – Non paramétrique

### Mesure du désordre (entropie)

- Exemples
  - Entropie symbolique ou de Shanon
    - Calculée sur l'amplitude
  - Entropie spectrale
    - Calculée sur le spectre de puissance

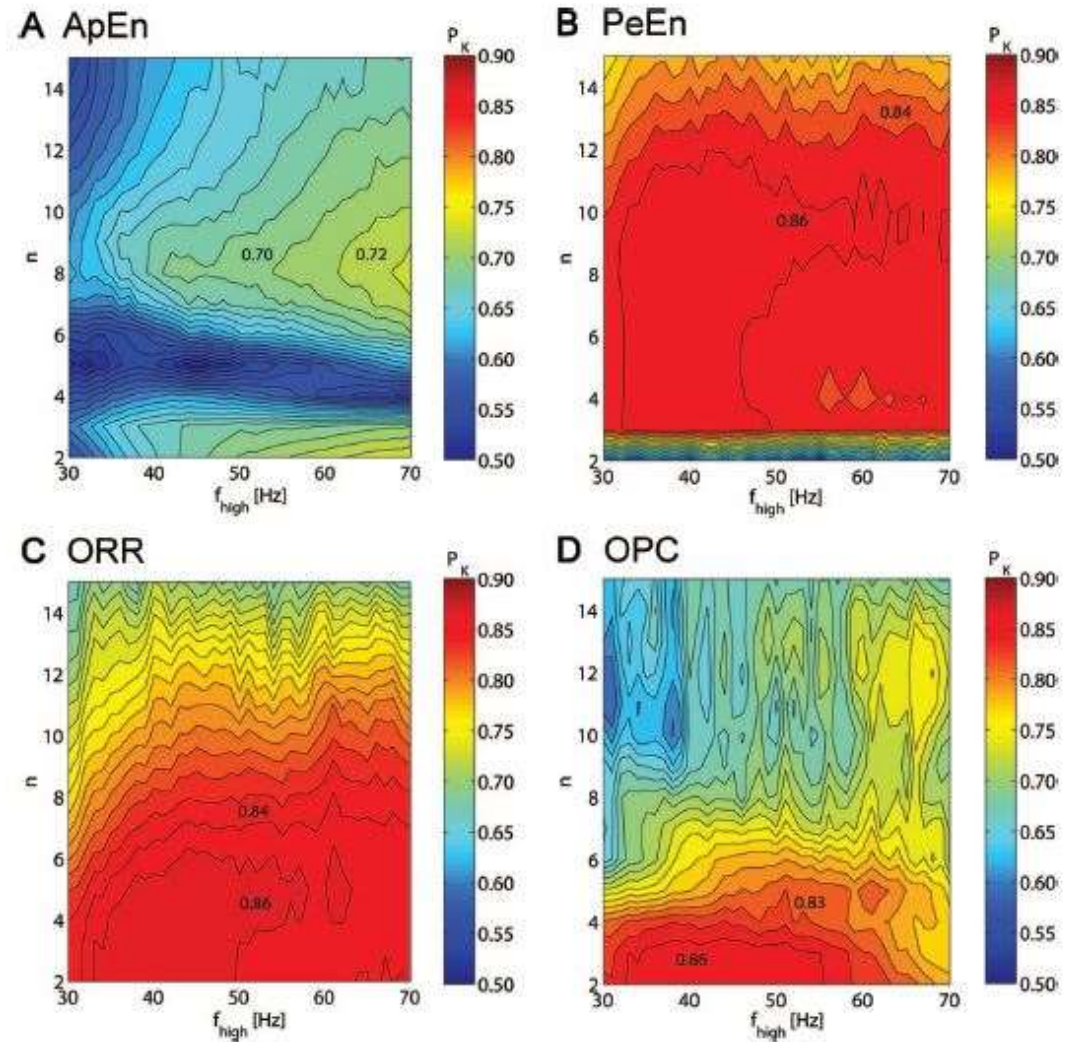


# Analyses

## Analyse Statistique – Paramétrique

### Mesure du désordre (entropie)

- Prédiction d'amplitudes futures
  - 'Approximate entropy'
  - 'Sample entropy'
  - 'Permutation entropy'



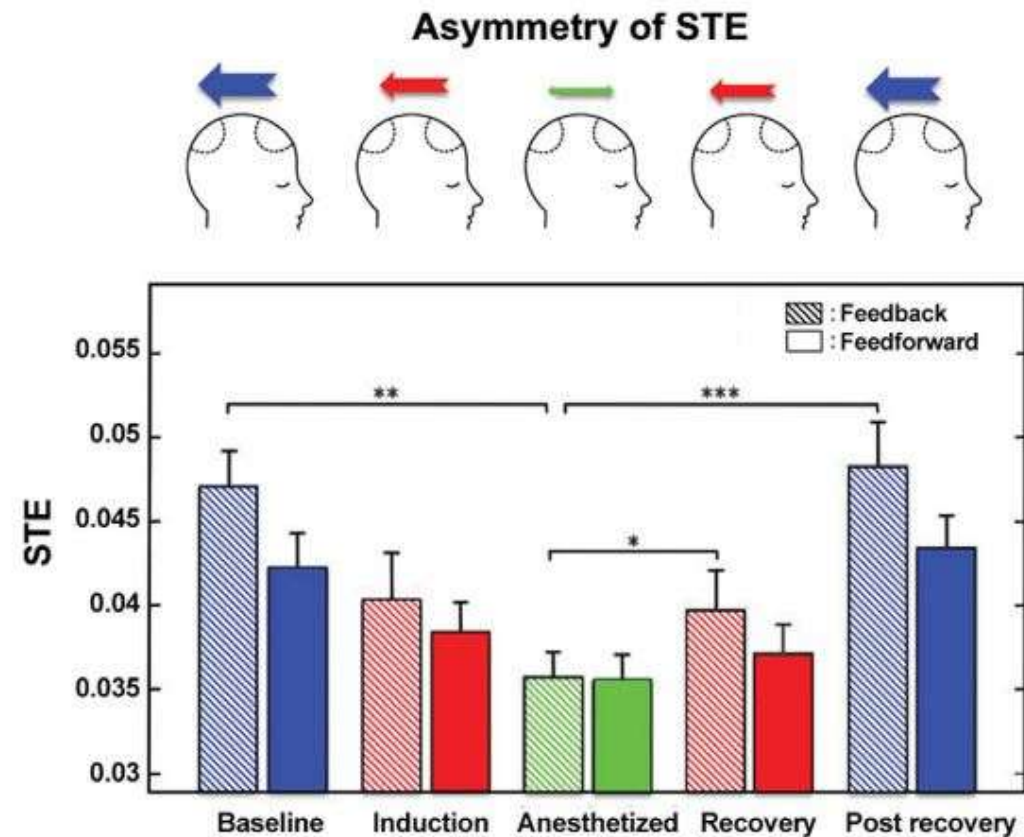


# Analyses

## Analyse Statistique – Paramétrique

### Interactions entre régions cérébrales

- 'Symbolic transfer entropy'
  - Explore la causalité entre deux signaux
  - Connectivité fonctionnelle directionnelle (connectivité effective)
  - Simplification de l'analyse 'Granger causality'



# Analyses

## Analyse Statistique – Paramétrique

### Interactions entre régions cérébrales

- 'Granger causality'
  - Lien statistique entre l'activité d'une région et celle d'une autre
  - Direction de la connectivité

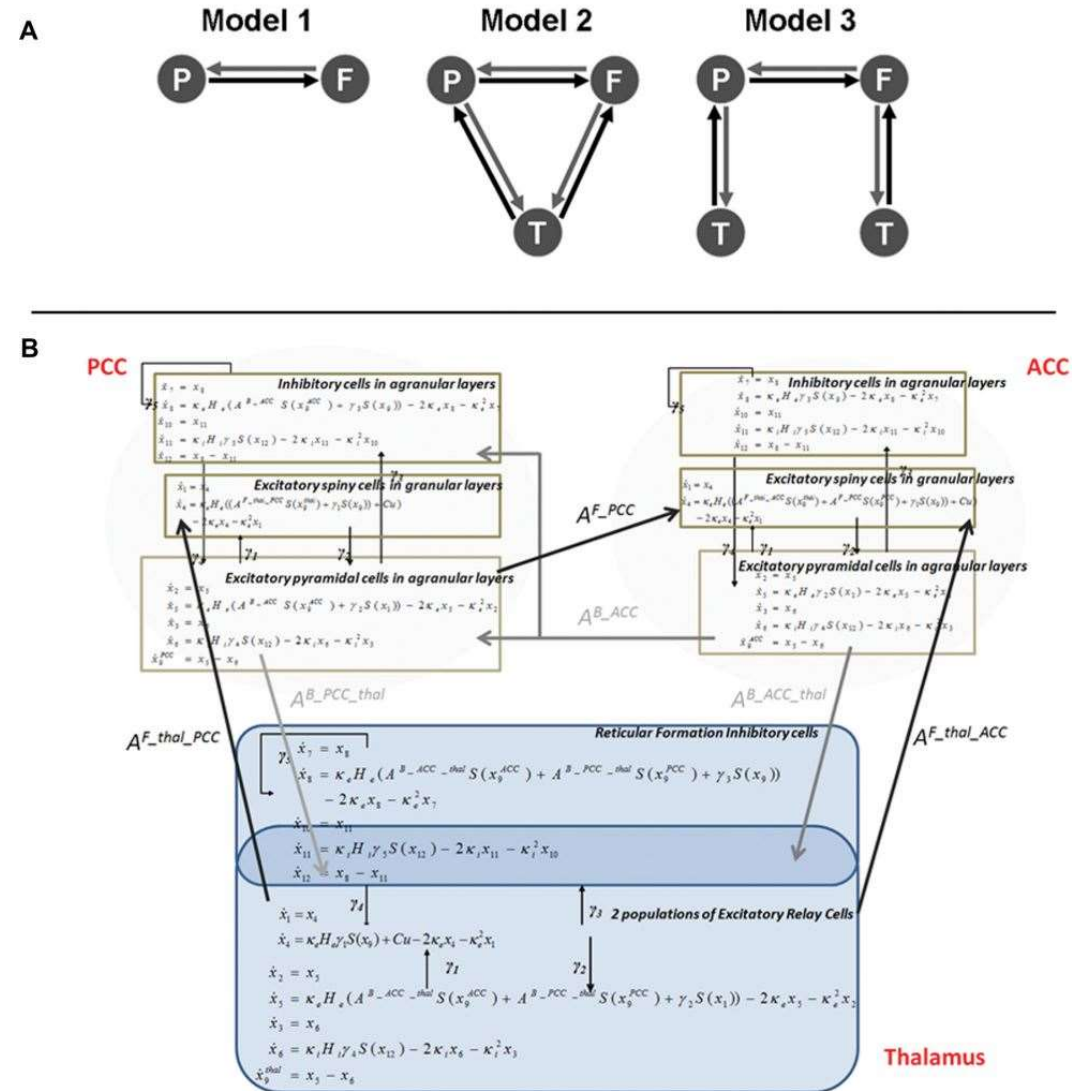


# Analyses

## Analyse Statistique – Paramétrique

### Interactions entre régions cérébrales – dimension mécanistique

- 'Dynamic causal modeling'
- 'Meanfield modeling'
- Construction a priori de modèles mécanistiques
- Choix du modèle qui correspond le mieux aux données

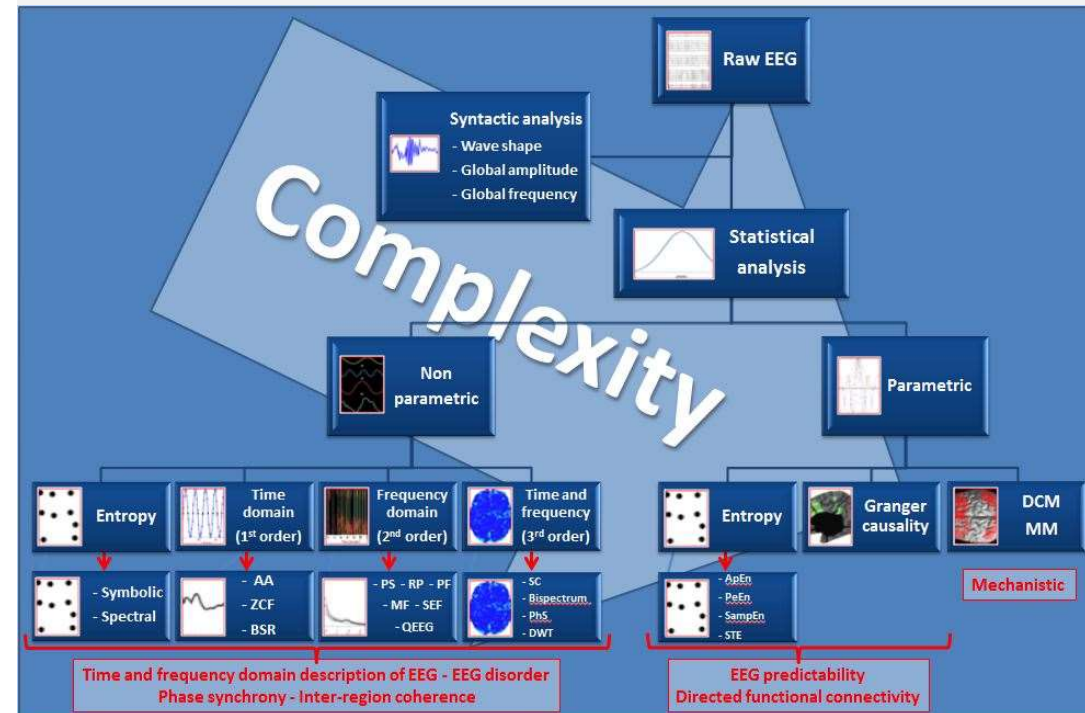


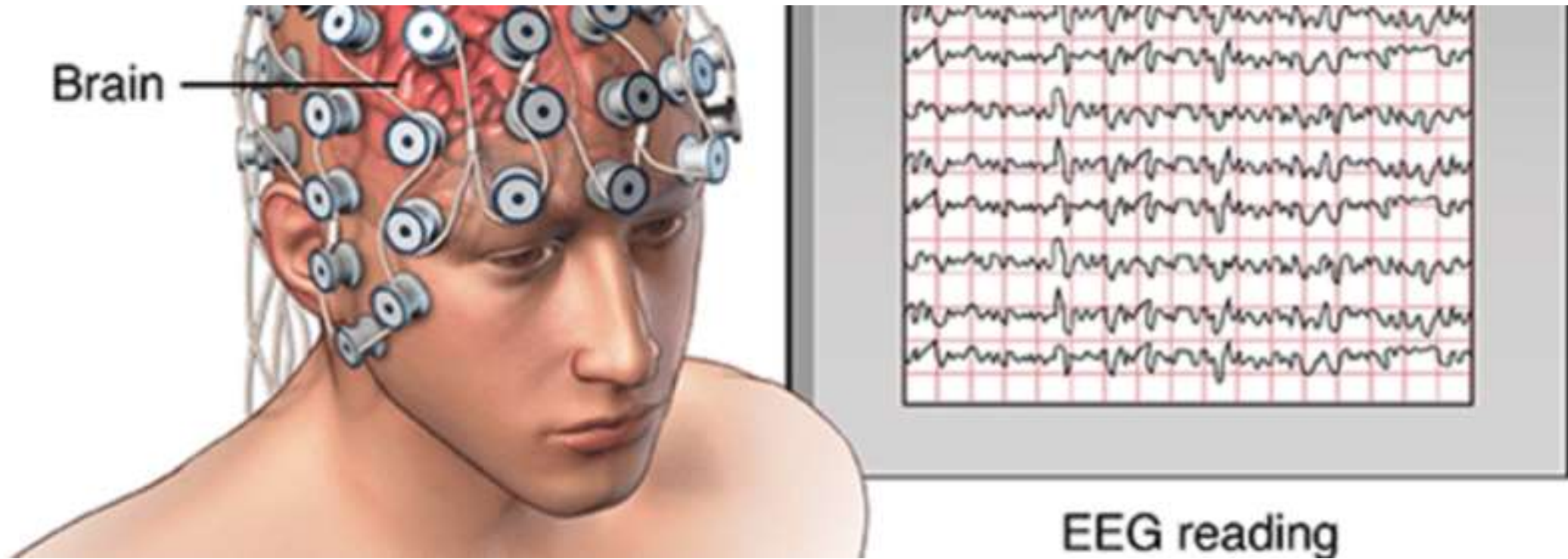
# Analyses

## Conclusions

### Véritable dissection de l'EEG

- Enorme quantité d'information
- Nature de l'information
  - Descripteurs numériques du signal
  - Combinaisons – reflet de l'état cérébral
  - Cartes statistiques
    - Cohérence spatiale – synchronisation de phase
    - Connectivité fonctionnelle
    - Modèle mécanistiques
- Utilité en anesthésiologie
  - Mesure de l'effet des agents anesthésiques
  - Exploration des mécanismes





**Mesure de la profondeur de l'anesthésie**

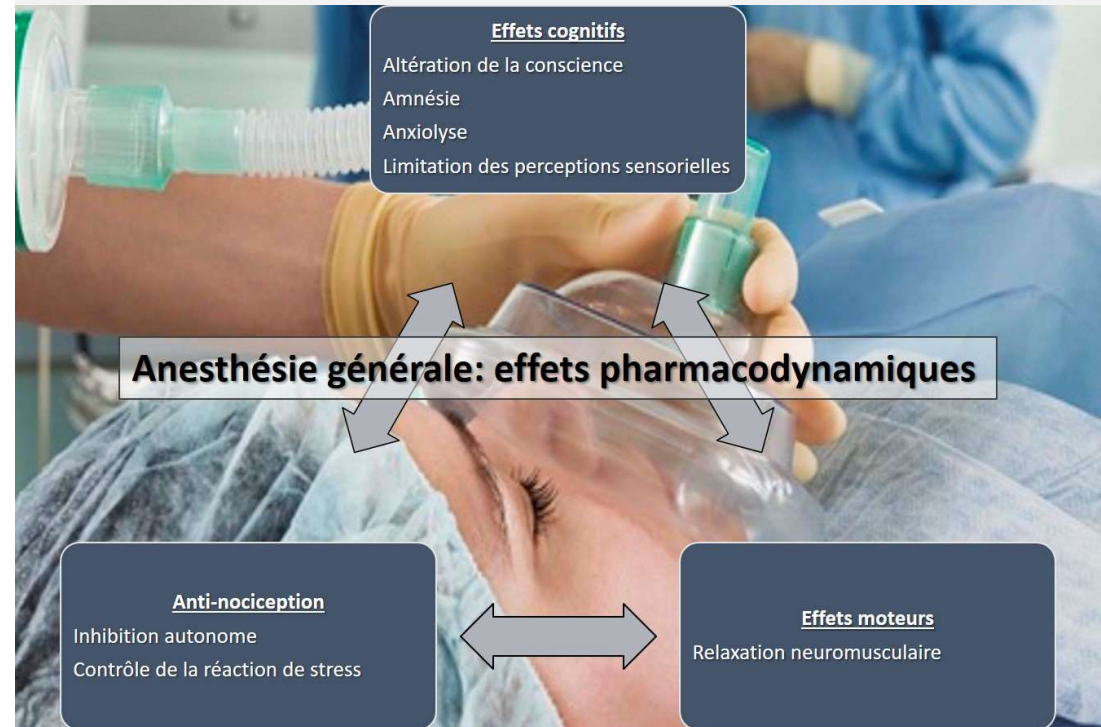
# Profondeur

## Anesthésie générale

### Différentes composantes pharmacodynamiques

- Mélange de médicaments
- Administrés en continu
- IV ou inhalation

Nécessite généralement une instrumentation des VA



# Profondeur

## Raisons de mesurer la profondeur

Eviter les sous dosages

Eviter les surdosages

**Dose  $\Leftrightarrow$  Concentration  $\Leftrightarrow$  Réponse**

### **Effets Pharmacodynamiques**

Altération conscience/ effet hypnotique

Relaxation musculaire

Anti-nociception

...

### **Variabilité interindividuelle**

Pharmacocinétique

Pharmacodynamique

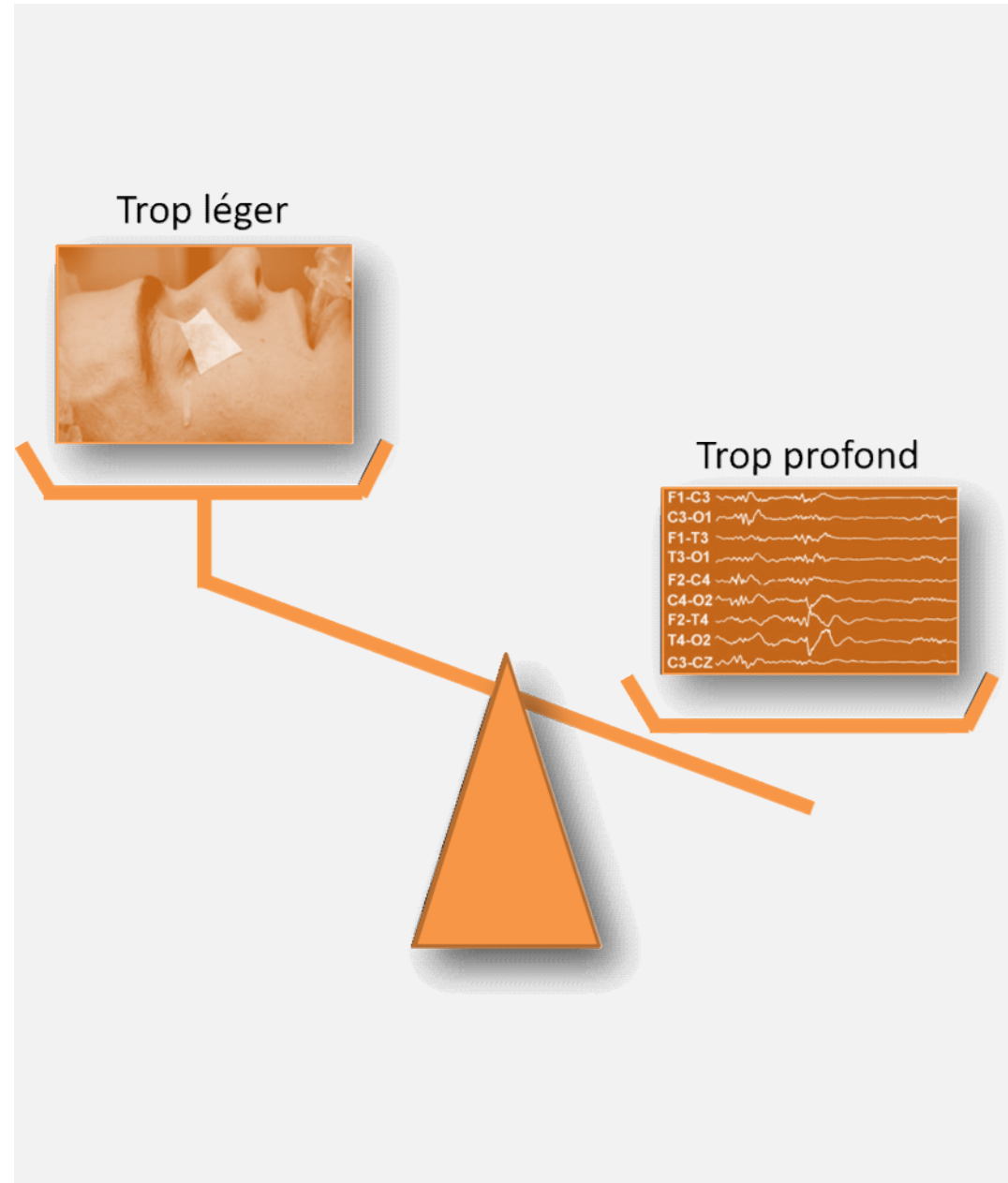
Interactions

# Profondeur

## Raisons de mesurer la profondeur

Eviter les sous dosages

Eviter les surdosages





# Profondeur

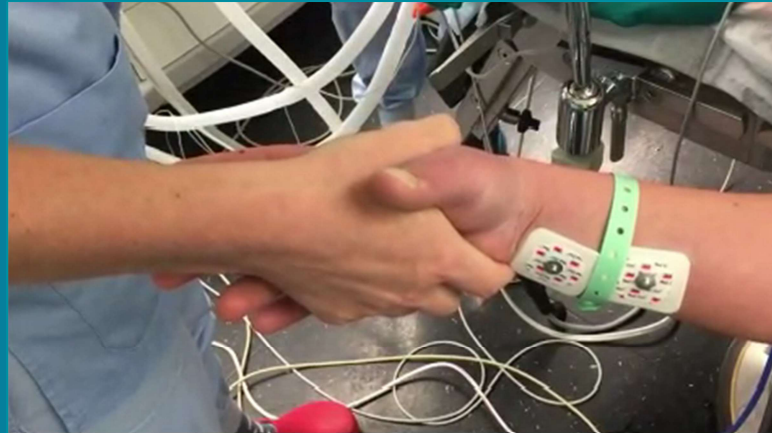
## Raisons de mesurer la profondeur

### Composante hypnotique

- Trop léger
  - Différents états cérébraux possibles



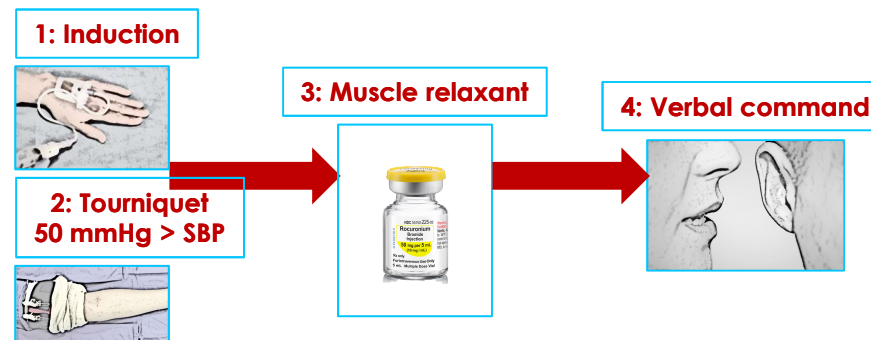
# Les états cérébraux de l'anesthésie - Not always a complete blackout



## Exemple

- Jeune femme
- Laparoscopie gynécologique
- Doses d'induction
  - Propofol 2 mg Kg<sup>-1</sup>
  - Sufentanyl 10 µg
  - Rocuronium 0.6 mg Kg<sup>-1</sup>
- Après la laryngoscopie

## Isolated forearm technique



## Consequences

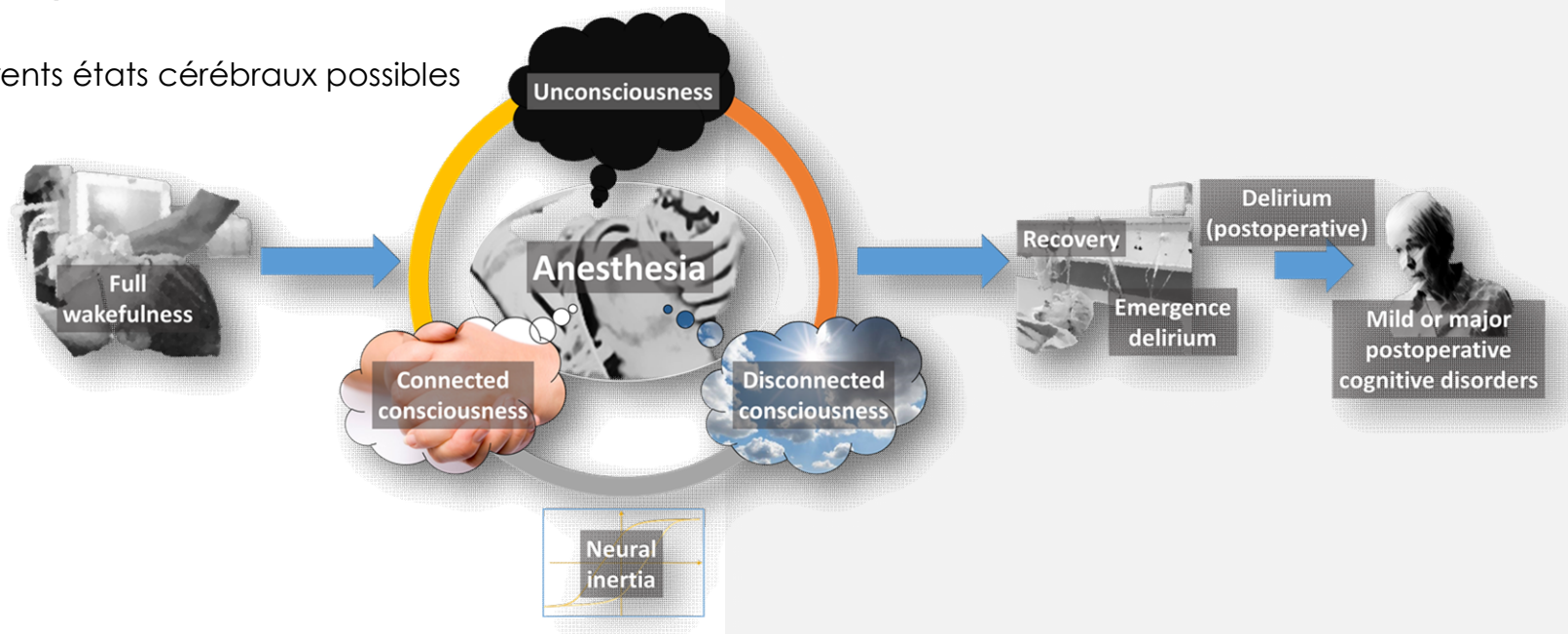
- Non vu en l'absence d'IFT
- Pas de souvenir explicite

# Profondeur

## Raisons de mesurer la profondeur

### Composante hypnotique

- Trop léger
  - Différents états cérébraux possibles



# Incidences

## Incidence of Connected Consciousness after Tracheal Intubation

*A Prospective, International, Multicenter Cohort Study of the Isolated Forearm Technique*

Robert D. Sanders, M.B.B.S., Ph.D., F.R.C.A., Amy Gaskell, M.B.Ch.B., F.A.N.Z.C.A., Aeyal Raz, M.D., Ph.D., Joel Winders, B.Sc., Ana Stevanovic, M.D., Rolf Rossaint, M.D., Christina Boncyk, M.D., Aline Defresne, M.D., Gabriel Tran, M.D., Seth Tasbihgou, B.Sc., Sascha Meier, M.D., Phillip E. Vlisides, M.D., Hussein Fardous, B.S., Aaron Hess, M.D., Ph.D., Rebecca M. Bauer, M.D., M.P.H., Anthony Absalom, M.B.Ch.B., M.D., F.R.C.A., George A. Mashour, M.D., Ph.D., Vincent Bonhomme, M.D., Ph.D., Mark Coburn, M.D., Jamie Sleigh, M.B.Ch.B., F.A.N.Z.C.A.

### Conscience connectée avec souvenir explicite

- Entre 0.05 and 2/1000
- Douleur et stress: 50%

Pandit et al. Anaesthesia 2013

Jonker et al. Anaesthesia 2014

### Conscience connectée sans souvenir

- 4.6% (laryngoscopie)
- Douleur: 42 %

Sanders et al. Anesthesiology 2017

### Conscience déconnectée

- Incidence ???

# Profondeur

## Raisons de mesurer la profondeur

### Composante hypnotique

- Trop léger
  - Facteurs de risque
    - Conscience connectée avec souvenir explicite

Insufficient dosing		Muscle relaxants
<b>Absolute</b>	<b>Relative</b>	<b>Absence of movements possibly masking an awareness episode</b>
<b>Intentional</b>	<b>Chronic use of hepatic enzyme-inducing substances</b>	
- Trauma - C-section - Hear insufficiency - Elderly - ...	- Alcohol - Sleep inducers - Antiepileptic agents - ...	
<b>Accidental</b>		
- Vaporizer deficiency - IV line disconnection - Dosing errors - ...		

# Profondeur

## Raisons de mesurer la profondeur

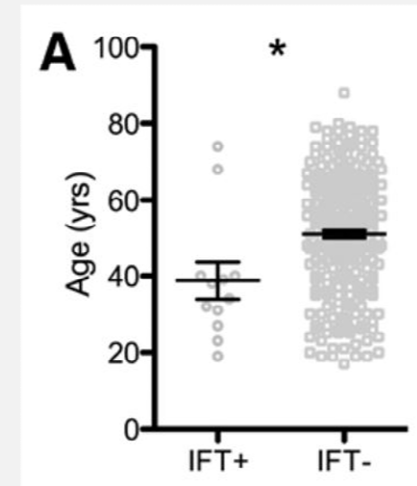
### Composante hypnotique

- Trop léger
  - Facteurs de risque
    - Conscience connectée sans souvenir explicite
      - Patients jeunes (18 à 40 ans)
        - Jusque 11%
      - Non utilisation d'halogénés avant l'intubation
        - 5 fois plus fréquent
      - Genre ?
      - Kétamine ?

## Incidence of Connected Consciousness after Tracheal Intubation

*A Prospective, International, Multicenter Cohort Study of the Isolated Forearm Technique*

Sanders et al. Anesthesiology 2017



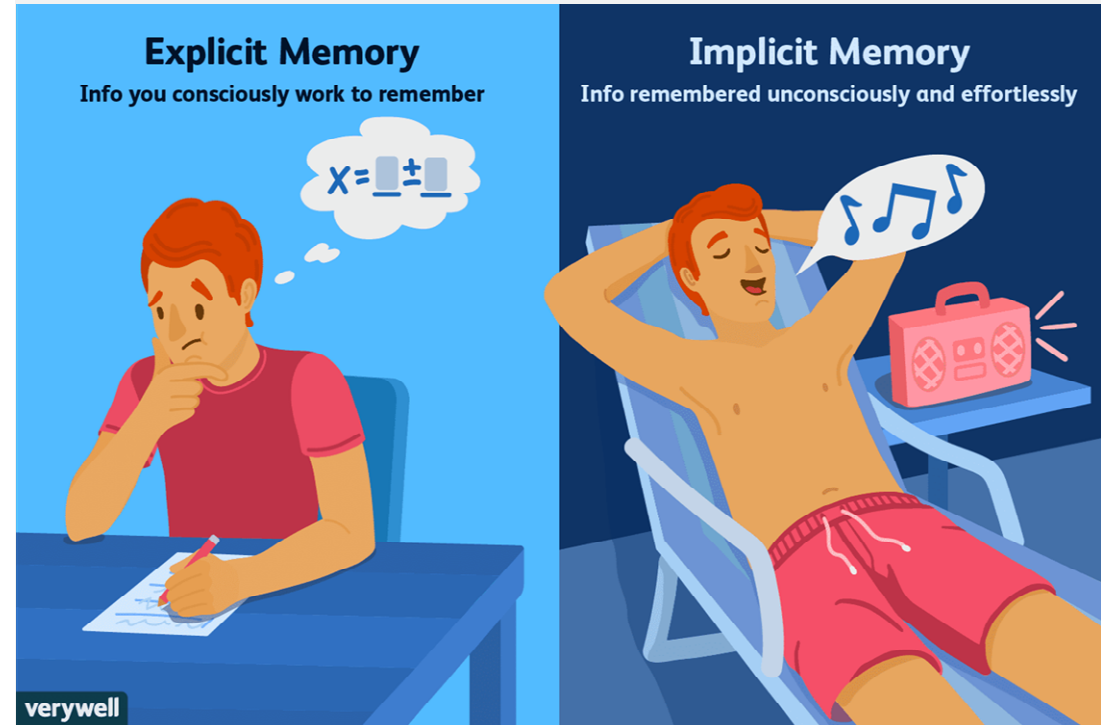


# Profondeur

## Raisons de mesurer la profondeur

### Composante hypnotique

- Trop léger
  - Conséquences
    - Conscience connectée sans souvenir explicite
      - Réponse sympathique
        - Tachycardie – hypertension
        - Saignements
      - Mouvements
      - Désordres psychologiques
        - Mémorisation implicites ?



<https://www.verywellmind.com/implicit-and-explicit-memory-2795346>

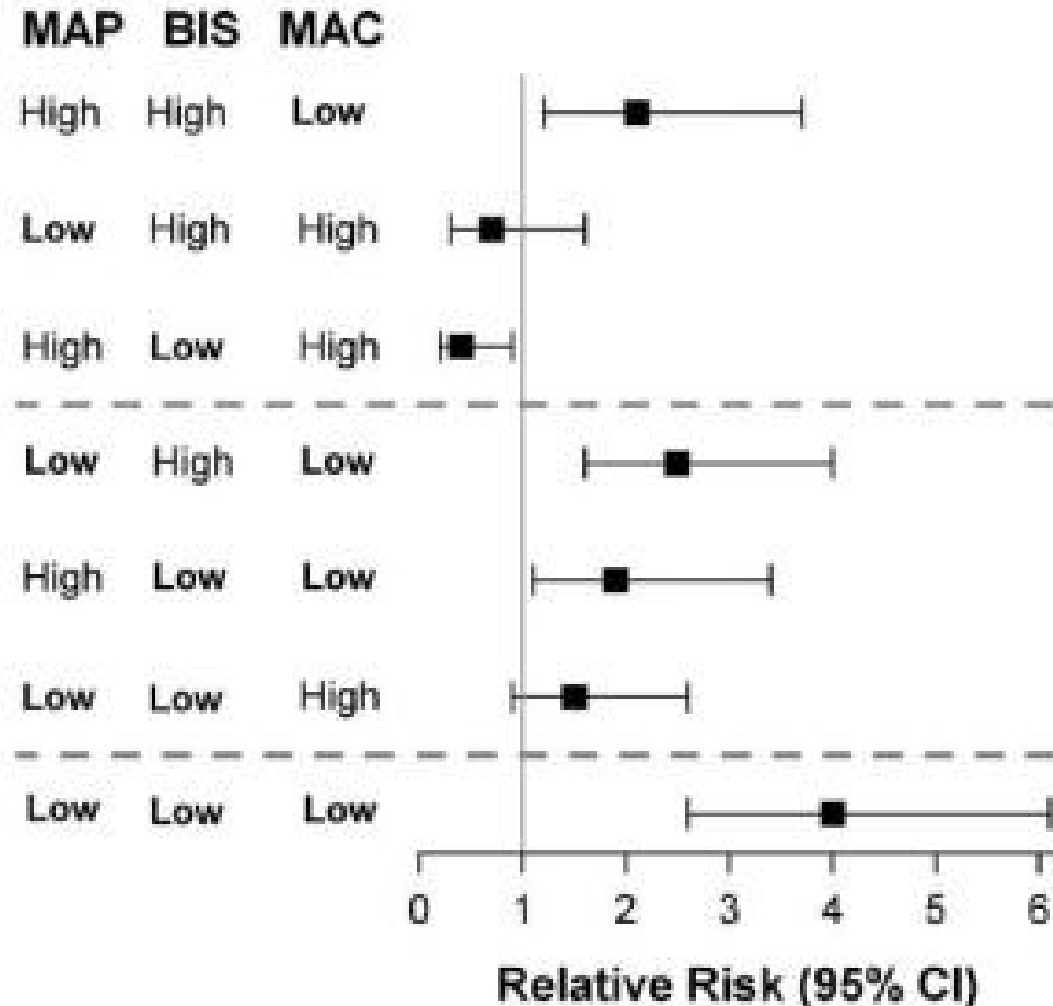


# Profondeur

## Raisons de mesurer la profondeur

### Composante hypnotique

- Trop profond
  - Conséquences
    - 'Long cumulative deep hypnotic time '
      - = BIS < 45
      - Morbidité – mortalité 1 – 2 ans
        - IM – AVC
        - Indépendant de l'hypotension
        - Non lié à une dose plus importante d'agent anesthésique
    - Concept du 'Triple low'
      - BIS bas
      - Pression artérielle basse
      - Concentration basse en hypnotique



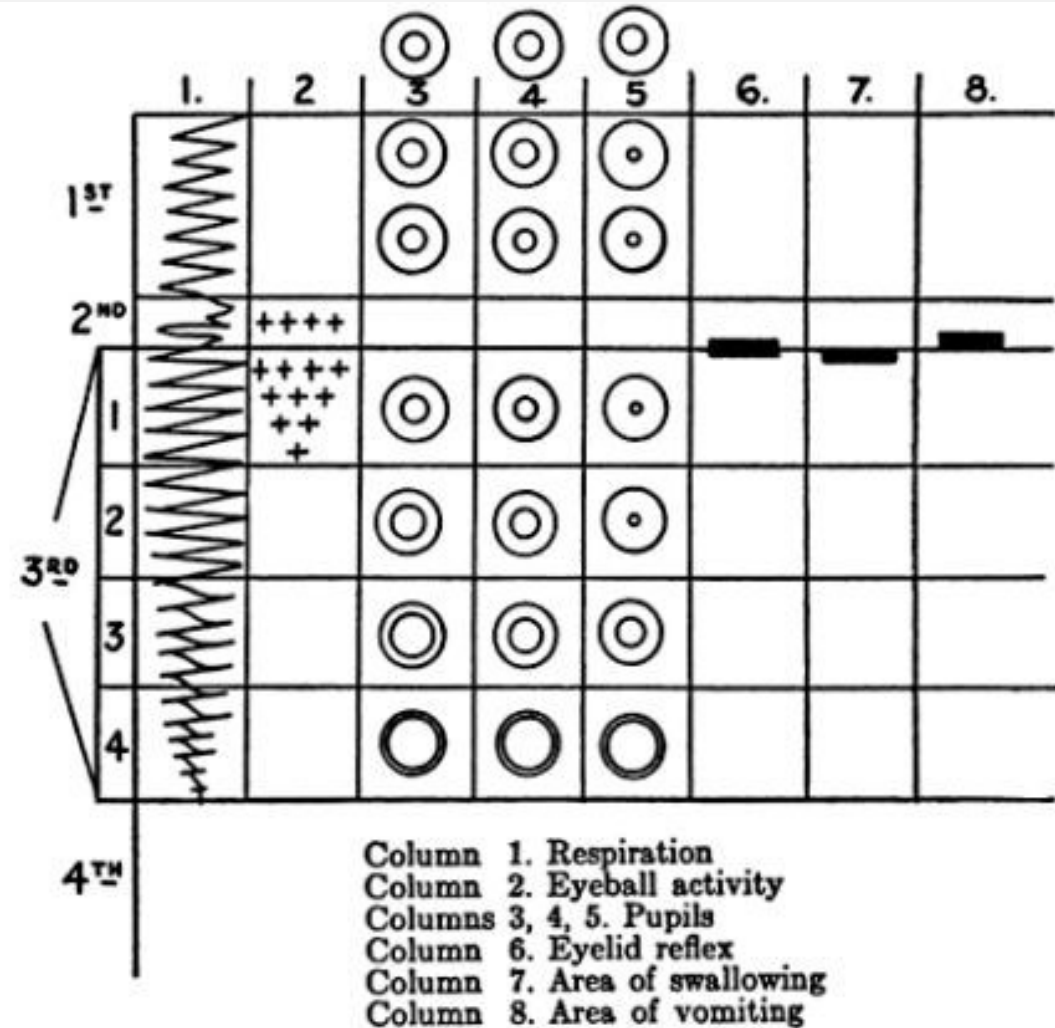
Monk et al. Anesth. Analg. 2005; Leslie et al. Anesth. Analg. 2010  
 Kertai et al. Anesthesiology 2010; Lindholm et al. Anesth. Analg. 2009  
 Kertai et al. Anesthesiology 2014; Sessler et al. Anesthesiology 2012

# Profondeur

## Composante hypnotique

### Initialement

- Evaluation clinique
  - Peu sensible
  - Peu spécifique

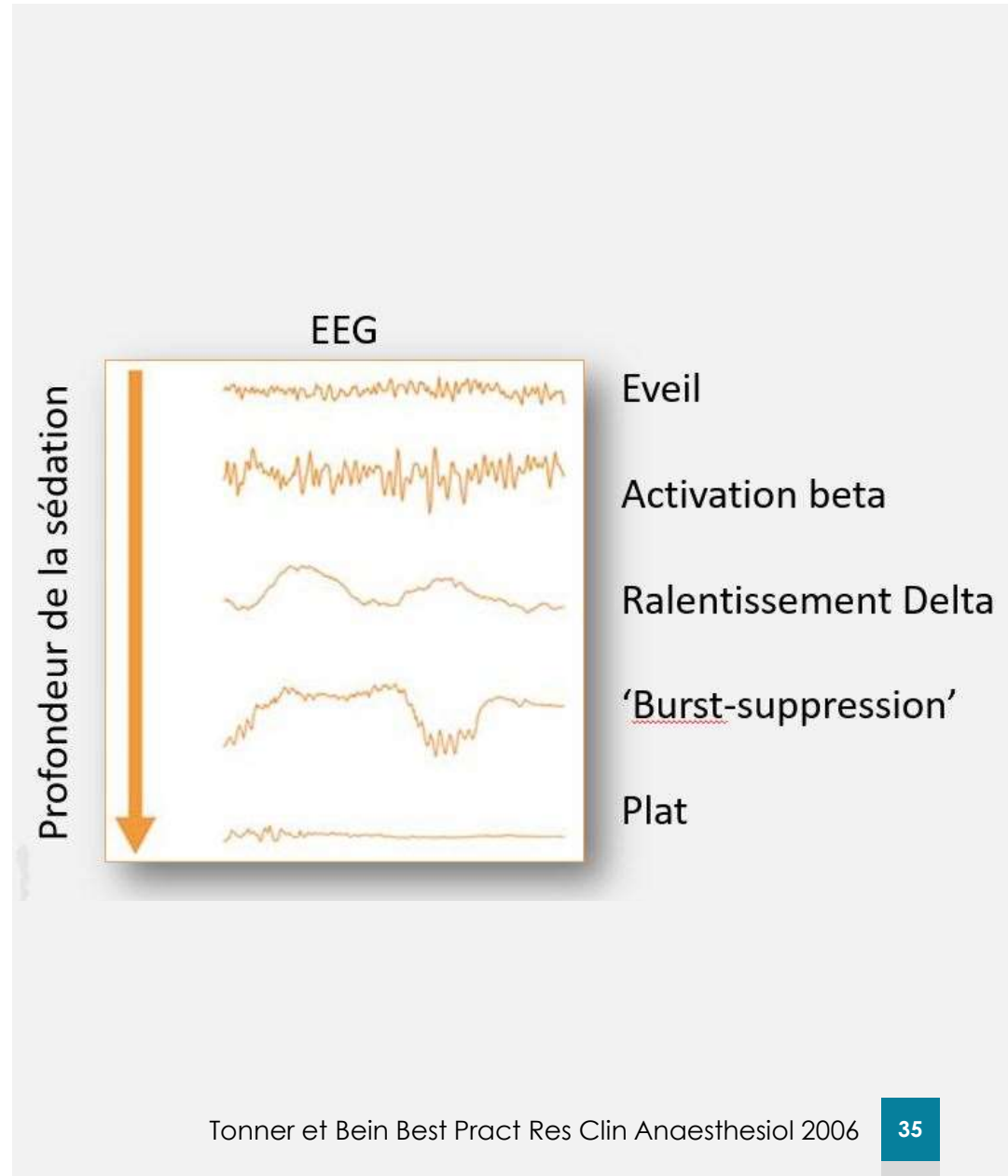


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Appréciation visuelle difficile

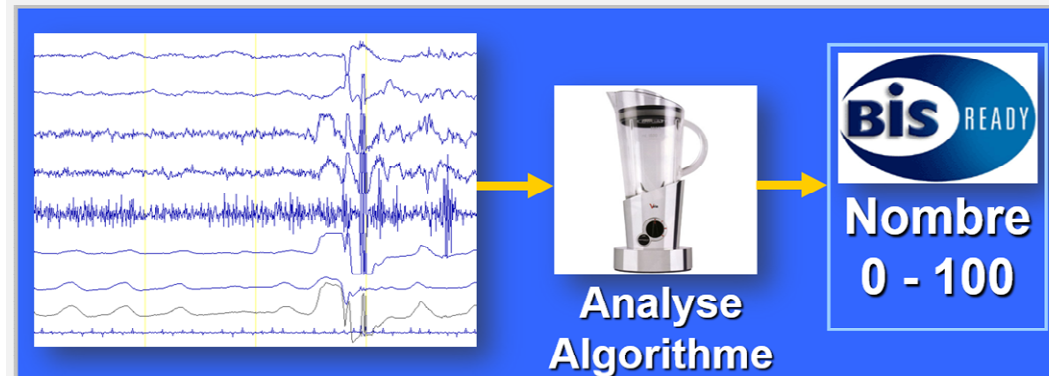


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Plusieurs paramètres extraits de l'EEG
  - Algorithme mathématique
  - Index entre 0 et 100

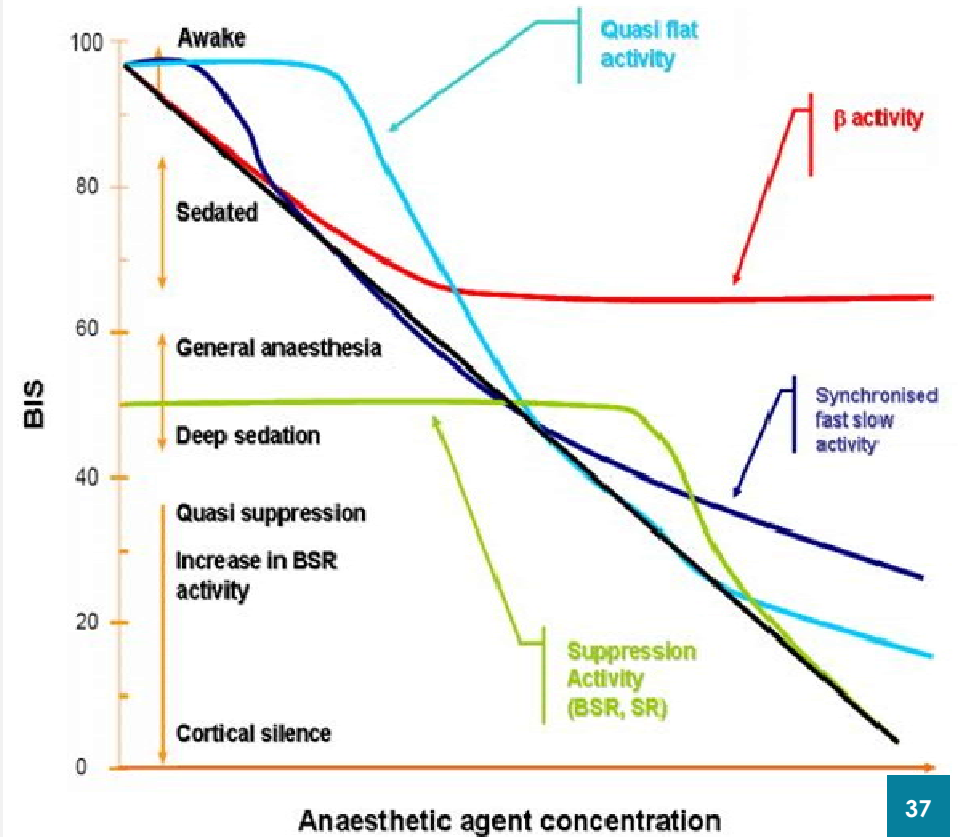


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Index bispectral (BIS)
  - Algorithme breveté, secret
  - Le plus ancien, le plus étudié

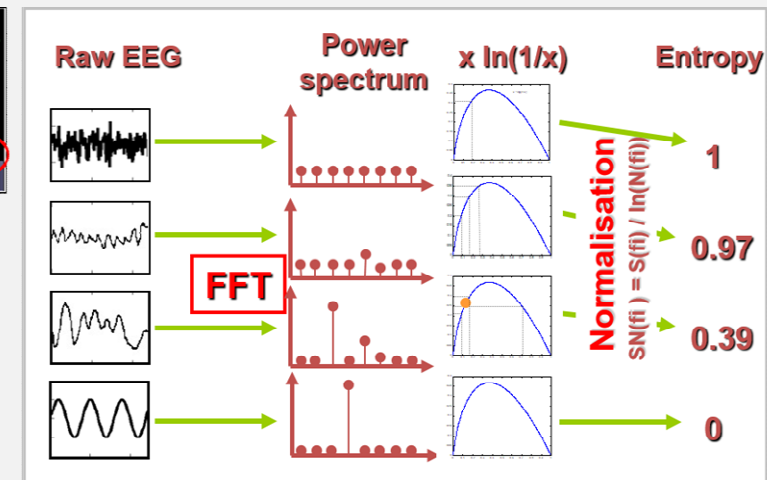


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - M-Entropy – EEG Spectral Entropy
    - 'State Entropy' (SE)
    - 'Response entropy' (RE)

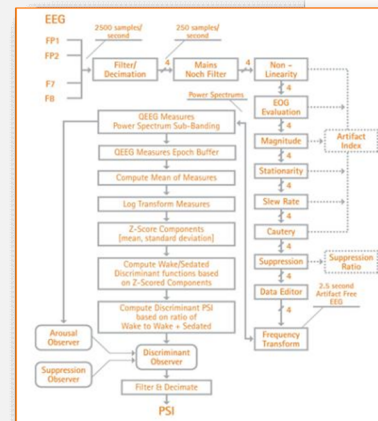


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - SedLine – Patient State Index (PSI)
    - 4 dérivations
    - Tracé brut
    - Spectrogramme
    - Système efficace d'élimination des artéfacts (EMG, ...)



# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Cerebral State Monitor (CSM) - Cerebral State Index (CSI)



1.  $\beta$  ratio =  $\log \frac{E_{30-42.5 \text{ Hz}}}{E_{11-21 \text{ Hz}}}$
2.  $\alpha$  ratio =  $\log \frac{E_{30-42.5 \text{ Hz}}}{E_{6-12 \text{ Hz}}}$
3.  $\beta$ - $\alpha$  ratio =  $\log \frac{E_{6-12 \text{ Hz}}}{E_{11-21 \text{ Hz}}}$
4. Burst suppression ratio (percentage of time in a 30-second window where the EEG amplitude is  $< 3.5 \mu\text{V}$ ).





# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
- Narcotrend



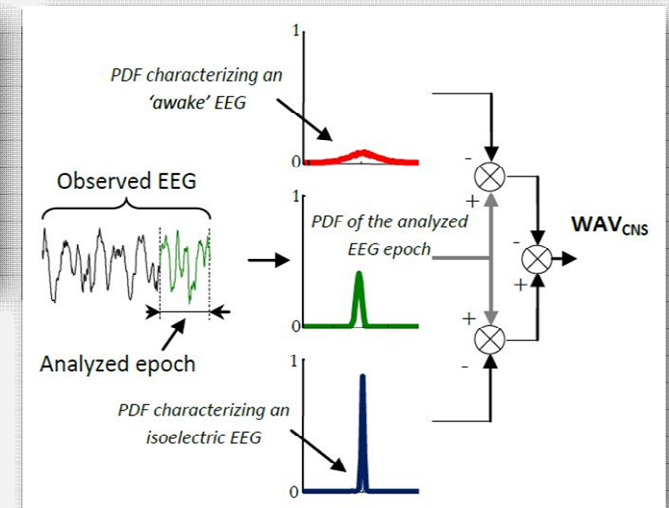
Depth of hypnosis	Leading EEG features	EEG stage	Range of Narcotrend Index
Awake	Alpha waves, typical artefacts	A	100-95
	Beta waves, theta waves	B <sub>0</sub>	94-90
		B <sub>1</sub>	89-85
Light	Increasing amount of theta waves	B <sub>2</sub>	84-80
		C <sub>0</sub>	79-75
		C <sub>1</sub>	74-70
Deep	Increasing amount of delta waves	C <sub>2</sub>	69-65
		D <sub>0</sub>	64-57
	Continuous high delta activity	D <sub>1</sub>	56-47
		D <sub>2</sub>	46-37
		E <sub>0</sub>	36-27
Very deep	Transition to burst suppression	E <sub>1</sub>	26-20
	Burst suppression activity	E <sub>2</sub>	19-13
	Continuous EEG suppression	F <sub>0</sub>	12-5
		F <sub>1</sub>	4-0

# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - NeuroSense -  $WAV_{CNS}$

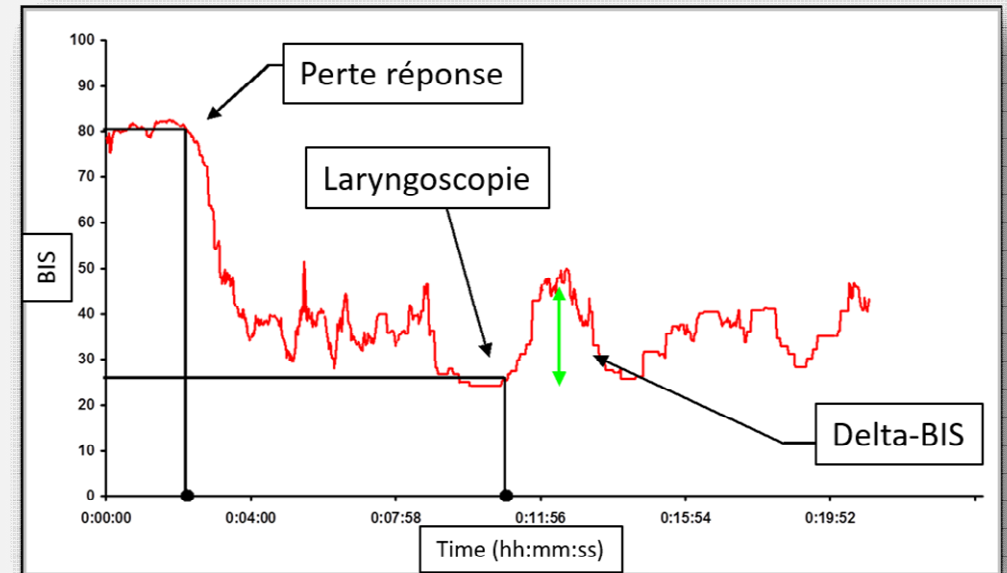


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Mode d'utilisation
    - Manuel
    - Boucle fermée

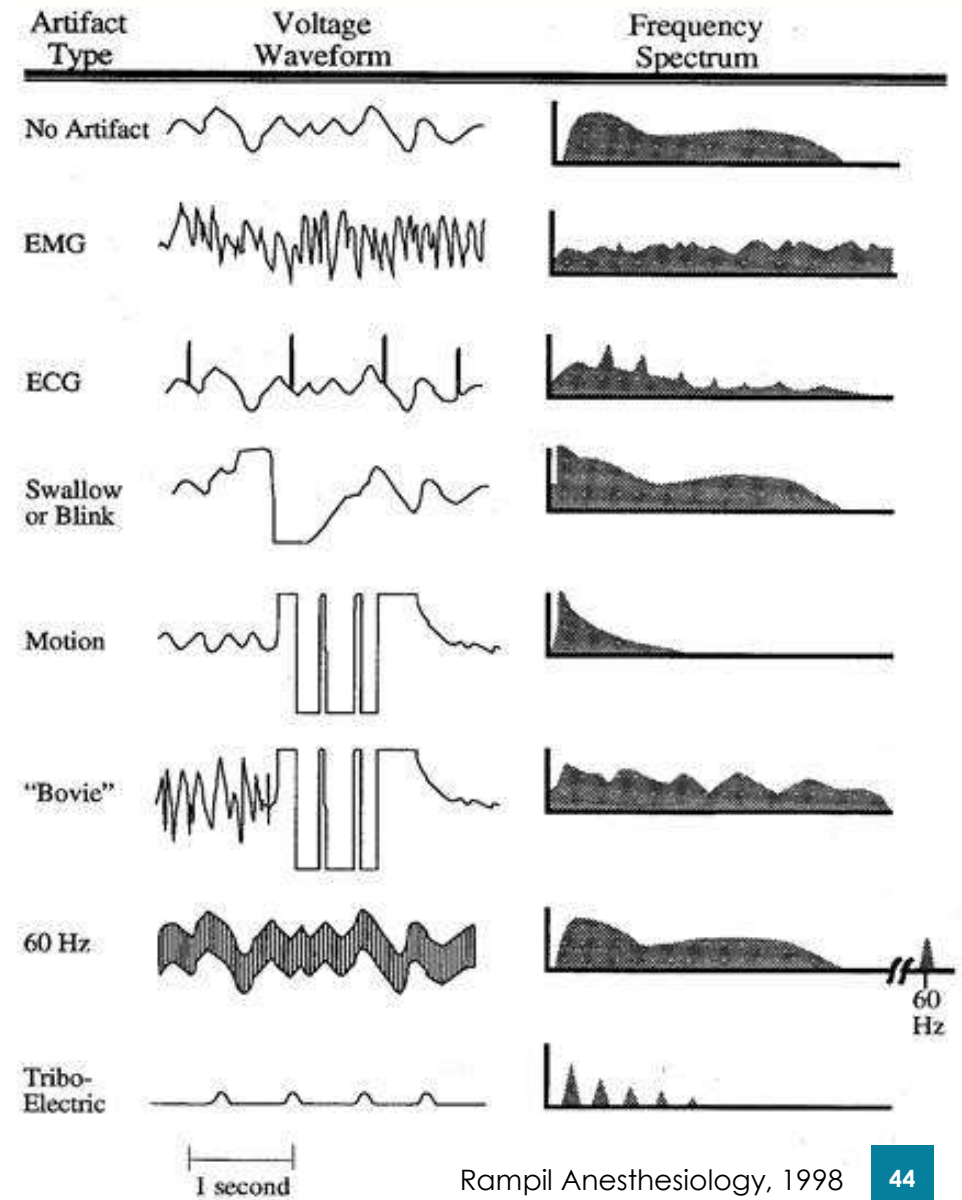


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Facteurs confondants
    - Artéfacts
      - Appareils électriques
        - Electrocautère
        - PCMK
        - Couvertures chauffantes
        - Rasoirs endoscopiques
        - Systèmes électromagnétiques

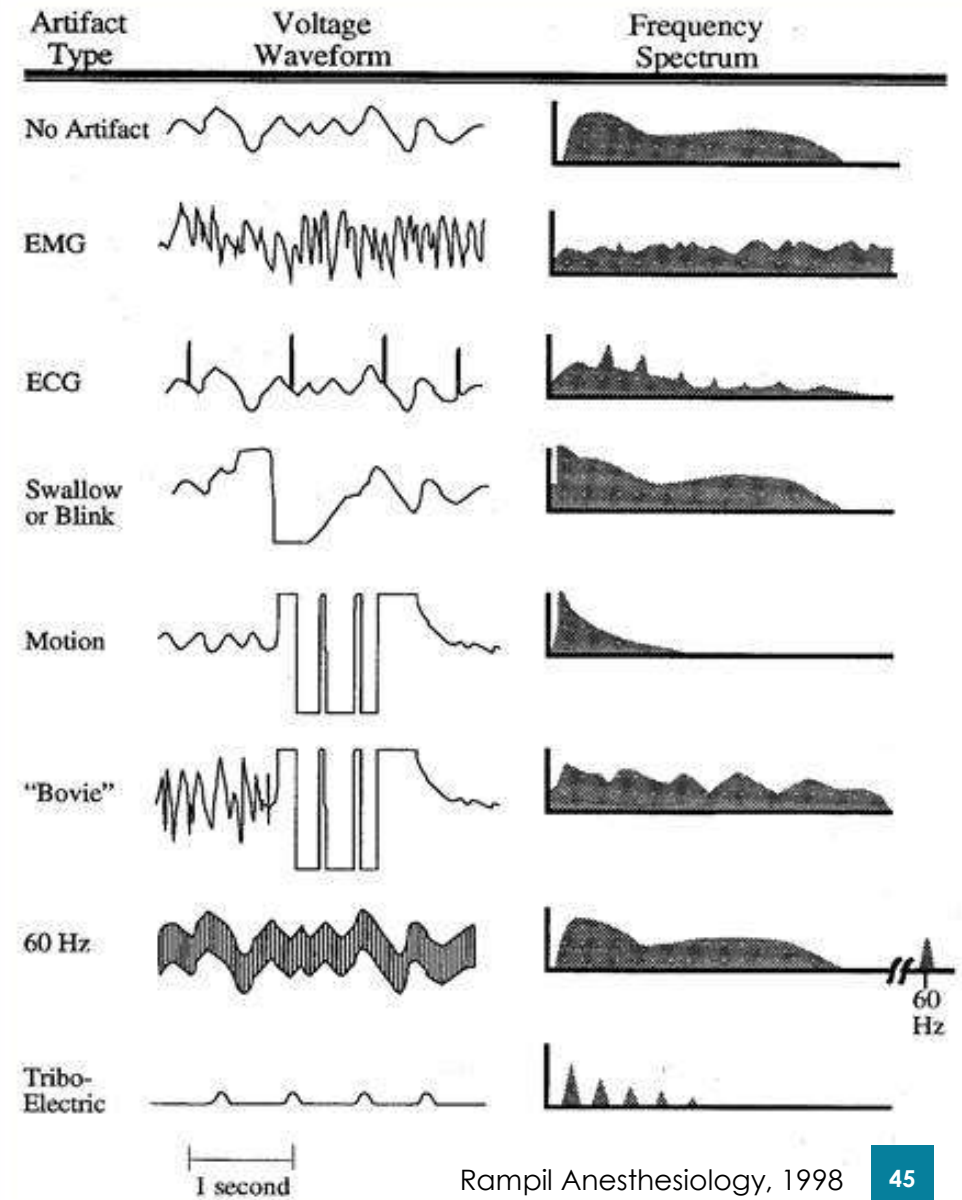


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Facteurs confondants
    - Artéfacts
      - Raisons
        - EEG de mauvaise qualité
        - Contamination par des fréquences hautes ou basses
      - Conséquences
        - Pas d'index
        - Augmentation ou diminution artificielle et erronée
        - Algorithmes pour l'amélioration du rejet des artéfacts

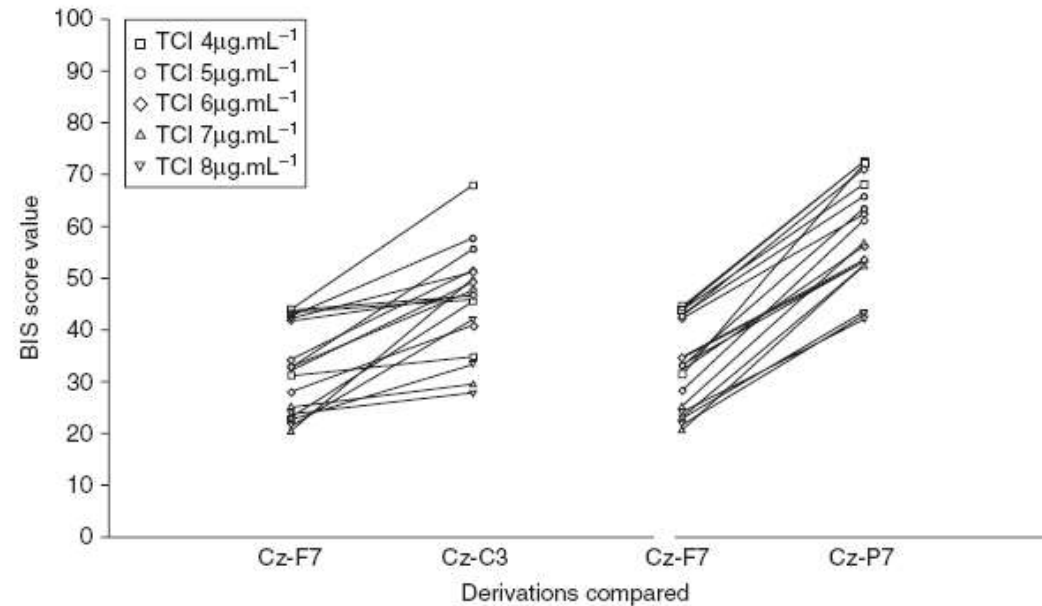


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Facteurs confondants
    - Artéfacts
    - Variabilité inter- et intra-individuelle
      - Variabilité interindividuelle
        - Impédance du scalp
        - Audition
        - Amplitude de l'EEG déterminée génétiquement
        - Sensibilité à la stimulation nociceptive
        - ...
      - Variabilité intra-individuelle
        - Site d'enregistrement

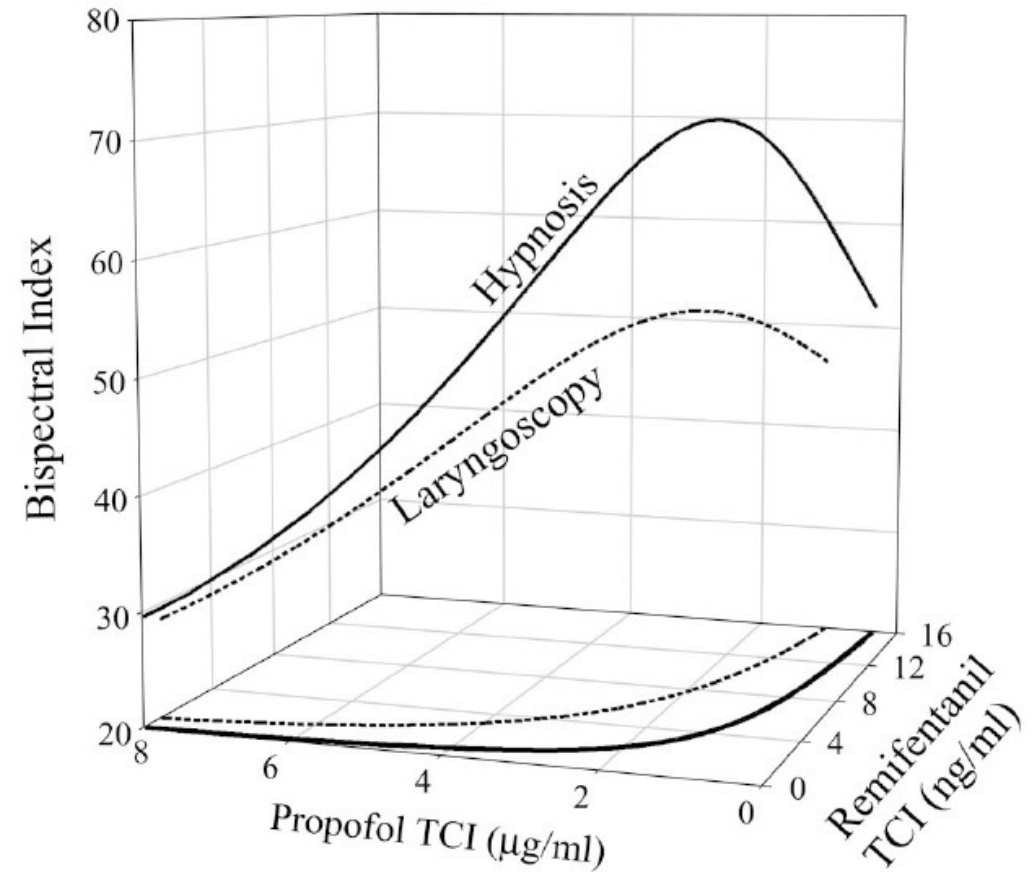


# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Facteurs confondants
    - Artéfacts
    - Variabilité inter- et intra-individuelle
    - Interactions médicamenteuses
      - Opioides



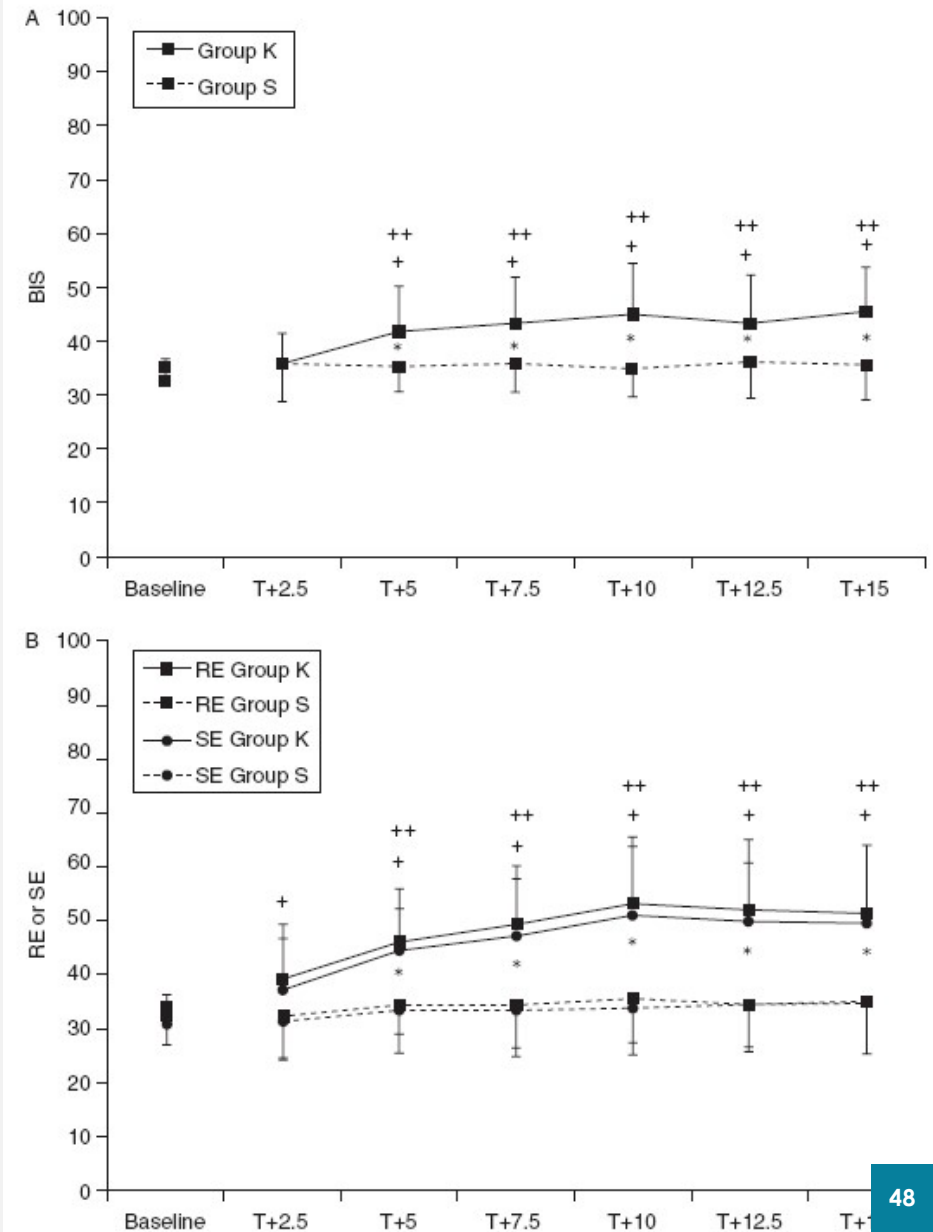
# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Facteurs confondants
    - Artéfacts
    - Variabilité inter- et intra-individuelle
    - Interactions médicamenteuses
      - Opiïdes
      - Kétamine
  - Autres ...

Hans et al. BJA 2004





# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Utile ?
    - Conscience avec souvenir
      - Mesures générales

### General measures to prevent intraoperative awareness and its consequences

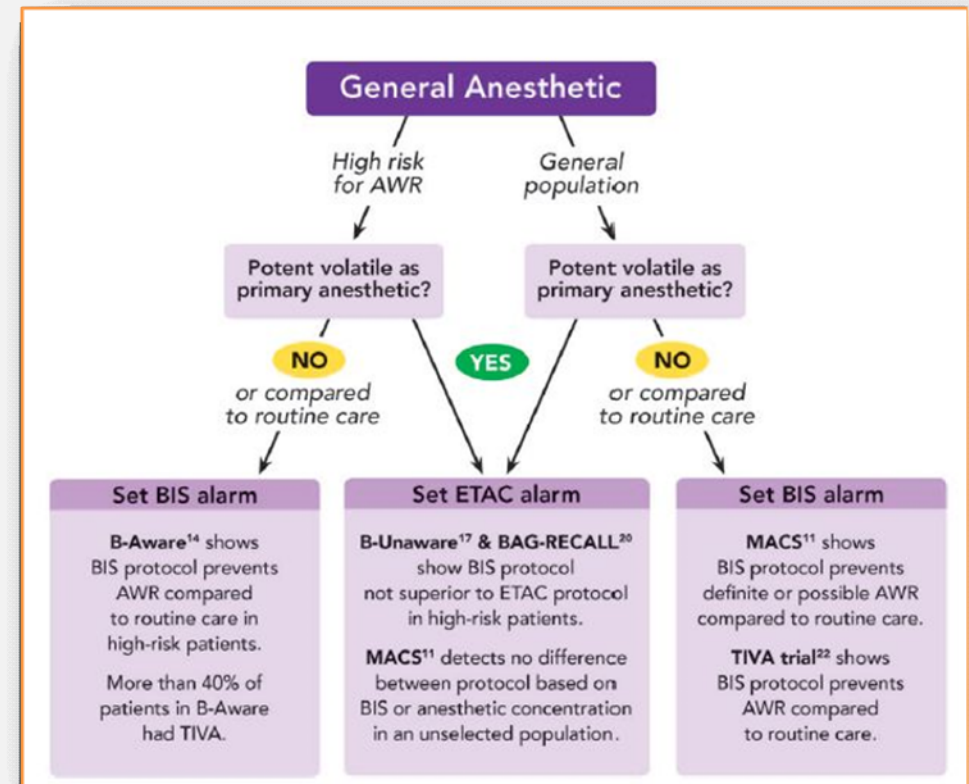
Pre-anesthesia visit	Anesthetic management	Management in case of awareness with explicit recall
<ul style="list-style-type: none"><li>- Enzyme-inducing agents<ul style="list-style-type: none"><li>- Alcohol</li><li>- Sleep inducers</li><li>- Antiepileptic</li><li>- Illicit drugs</li><li>- Others</li></ul></li><li>- Past history of awareness</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Meticulous check of material</li><li>- Vigilance if muscle relaxants</li><li>- Adequate dose of hypnotics</li><li>- ETAC alarms</li><li>- Adequate anti-nociception</li><li>- Alertness to movements</li><li>- Alertness to high BP and HR</li><li>- Specific monitoring</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Visit to the patient</li><li>- Plausible explanation on what happened</li><li>- No denial of the event</li><li>- Information to the surrounding (family, nurses, ...)</li><li>- Psychological aid</li></ul>

# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Utile ?
    - Conscience avec souvenir
      - Mesures générales
      - Plus utile si TIVA
      - Pas supérieur à une alarme de concentration si volatile



Avidan et al Anesthesiology 2013

# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Utile ?
    - Autres avantages
      - Ajustement individuel
        - Interactions opioïdes-hypnotiques
        - Meilleure stabilité
        - Evite les épisodes trop profonds
        - Récupération plus précoce

## Triple-low Alerts Do Not Reduce Mortality

Prospective, single-center, real-time randomized study of adults having noncardiac surgery with volatile anesthesia



### Triple-low event:

- Mean arterial pressure less than 75 mmHg
- Bispectral Index less than 45
- Minimum alveolar concentration fraction less than 0.8

### Randomized real-time intervention:

Page indicating triple-low alert

Control group: No alert



Mortality	Alert Group n = 3,764	Nonalert Group n = 3,805	Hazard Ratio (95% CI); P Value
90-day (Primary)	313 (8.3%)	279 (7.3%)	1.14 (0.96 to 1.35); 0.12
30-day	180 (4.8%)	165 (4.3%)	1.10 (0.89 to 1.36); 0.36
1-yr	562 (14.9%)	579 (15.2%)	0.98 (0.87 to 1.10); 0.71



Alerts minimally influenced clinician responses, assessed as vasopressor administration or reduction in end-tidal volatile anesthetic partial pressure.

- A randomized electronic alert of triple-low events to treating clinicians did not reduce 90-day mortality.
- Triple-low events predict mortality but do not appear to be causally related.

Sessler DI, et al. ANESTHESIOLOGY. January 2019.

# ANESTHESIOLOGY

Trusted Evidence: Discovery to Practice

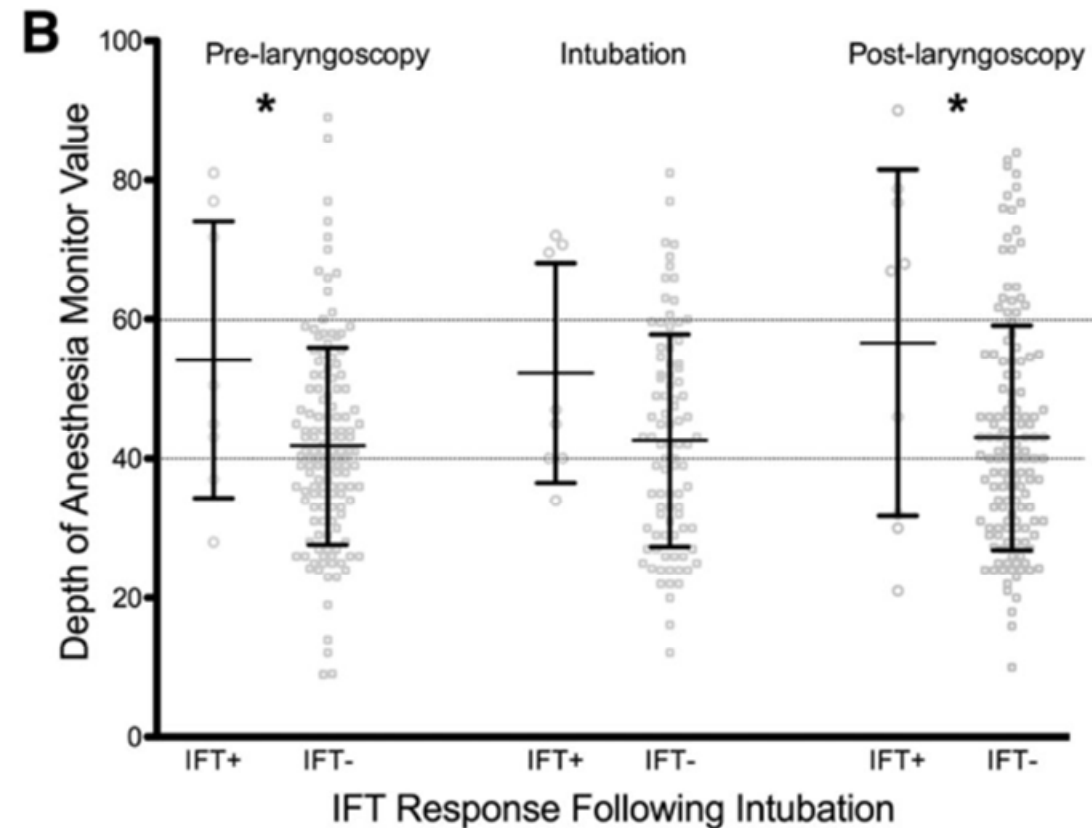
Copyright © 2018 Wolters Kluwer Health. All rights reserved. Published by Lippincott, Williams & Wilkins.

# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

- Indexes sans dimension
  - Utile ?
    - Conscience sans souvenir
      - Plus élevé si répondeur
      - Grande variabilité interindividuelle
      - Prédiction impossible



Sanders et al. Anesthesiology 2017

# Profondeur

## Composante hypnotique

### Utilisation de l'EEG

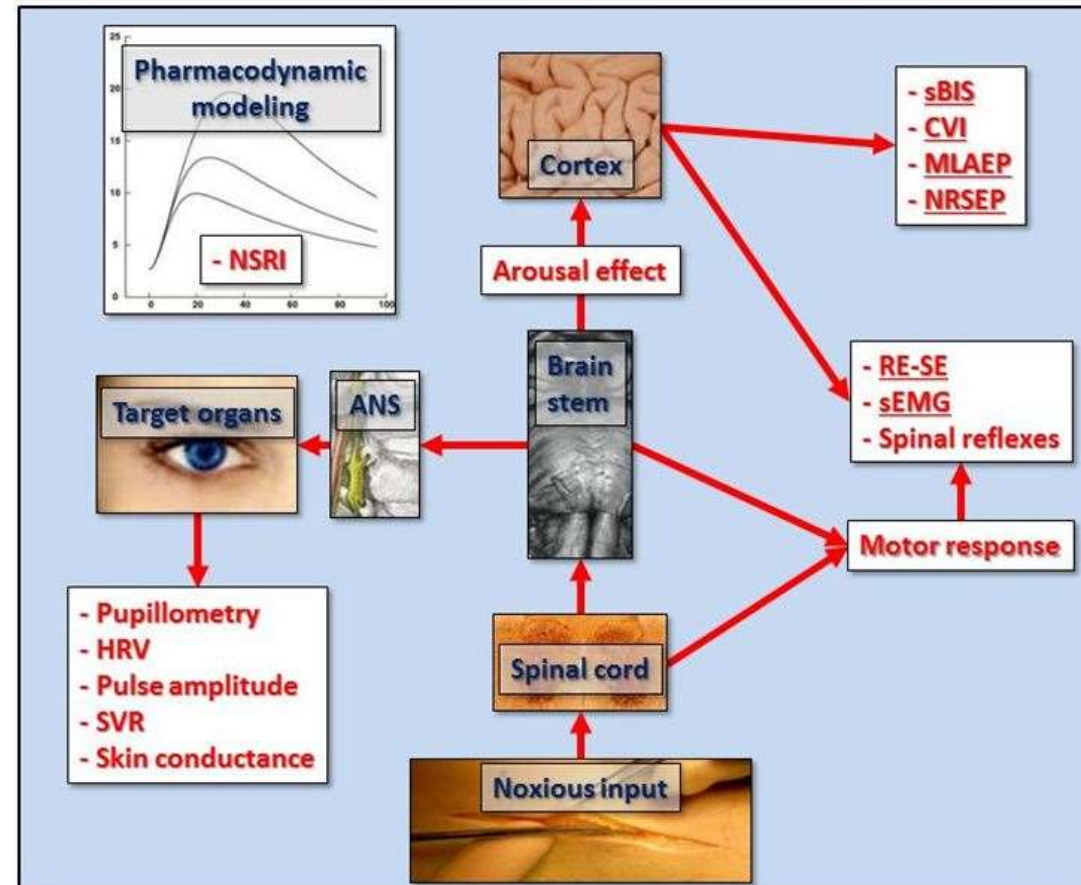
- Conclusions
  - Les épisodes d'éveil sont assez fréquents
  - Avec ou sans souvenirs explicites
  - Conséquences variables
  - Ils sont souvent non détectés
  - Moyens actuels de prévention
    - EEG (pas parfait)
    - Identifier les patients à risque
    - Agents volatiles avant la laryngoscopie
    - Attentifs aux moments clé
    - Adapter les doses (jeunes, femmes, ...)
- Futur: monitoring spécifique



# Profondeur

## Composante anti-nociceptive

Organes cibles du système nerveux autonome



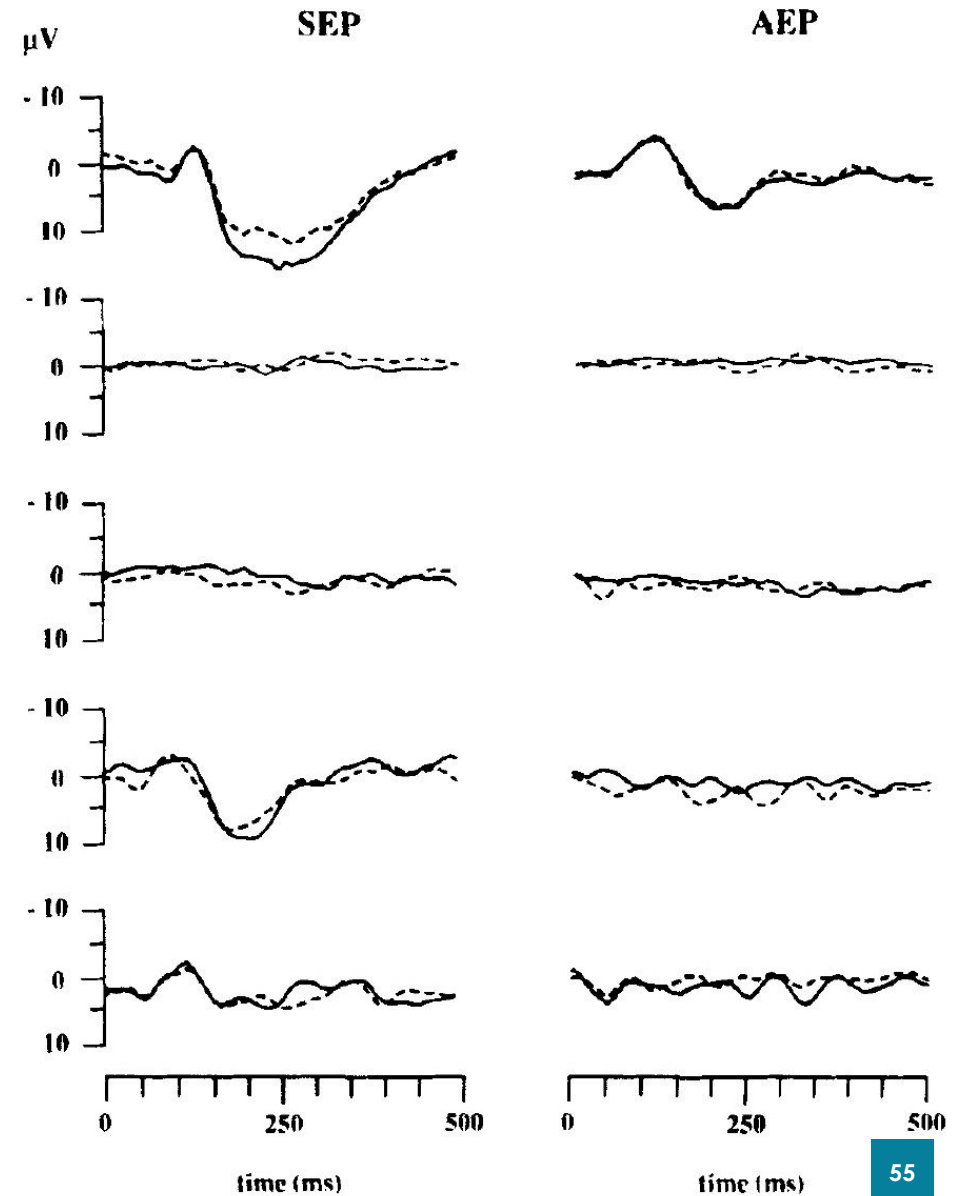
# Profondeur

## Composante anti-nociceptive

Organes cibles du système nerveux autonome

Utilisation de l'EEG

- Potentiels évoqués nociceptifs
  - Enregistrement difficile en salle d'opération



Kochs et al. Anesth Analg 1990

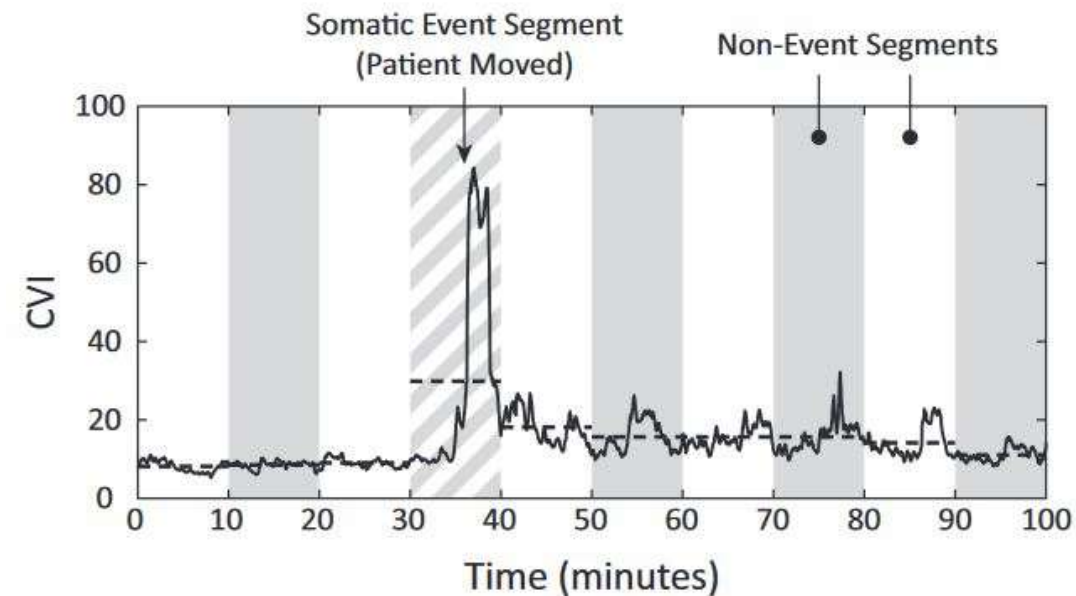
# Profondeur

## Composante anti-nociceptive

Organes cibles du système nerveux autonome

Utilisation de l'EEG

- Potentiels évoqués nociceptifs
- Variabilité du BIS et de l'EMG
  - 'Composite Variability Index' (CVI)
    - SD du BIS et SD de la puissance EMG sur 3 minutes
    - Index normalisé entre 0 et 100
    - Peu validé cliniquement
    - Effet de la curarisation ?





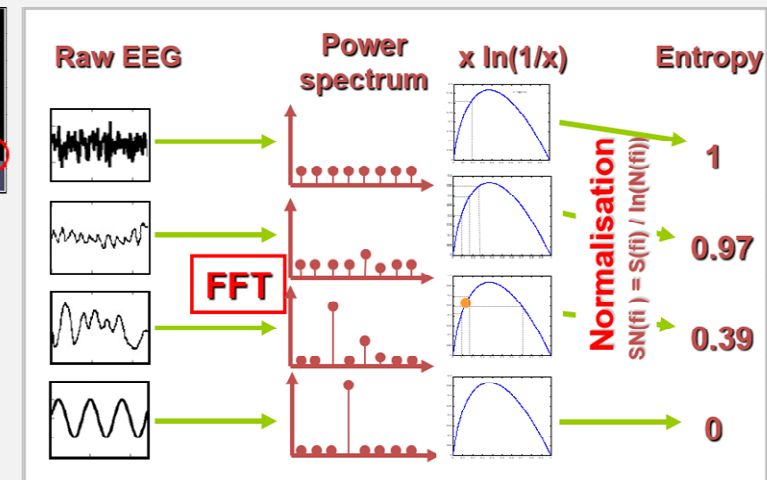
# Profondeur

## Composante anti-nociceptive

Organes cibles du système nerveux autonome

### Utilisation de l'EEG

- Potentiels évoqués nociceptifs
- Variabilité du BIS et de l'EMG
- Entropie spectrale (RE-SE)
  - Effet de la curarisation ?



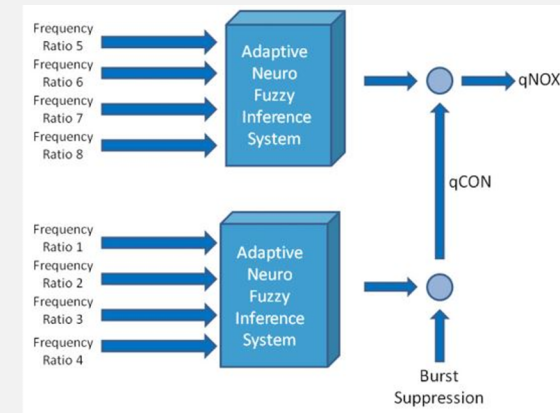
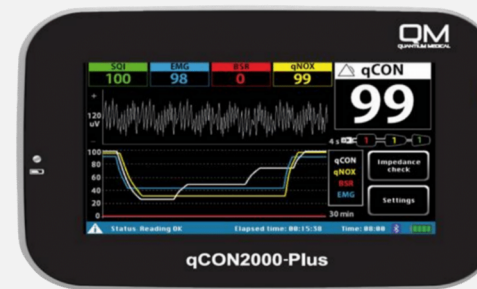
# Profondeur

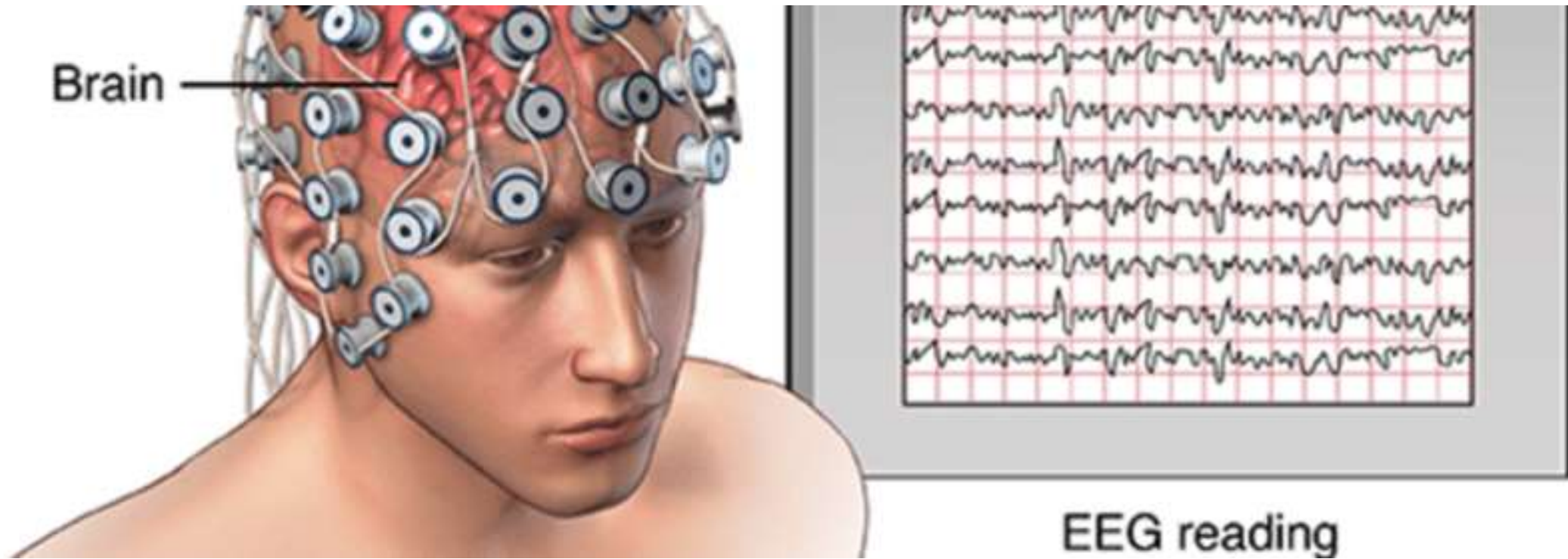
## Composante anti-nociceptive

### Organes cibles du système nerveux autonome

#### Utilisation de l'EEG

- Potentiels évoqués nociceptifs
- Variabilité du BIS et de l'EMG
- Entropie spectrale (RE-SE)
- Autres
  - QNOX
    - Combinaison de différentes bandes de fréquence
    - 'Adaptive Neuro Fuzzy Inference System' (ANFIS)
    - Index de 0 à 99





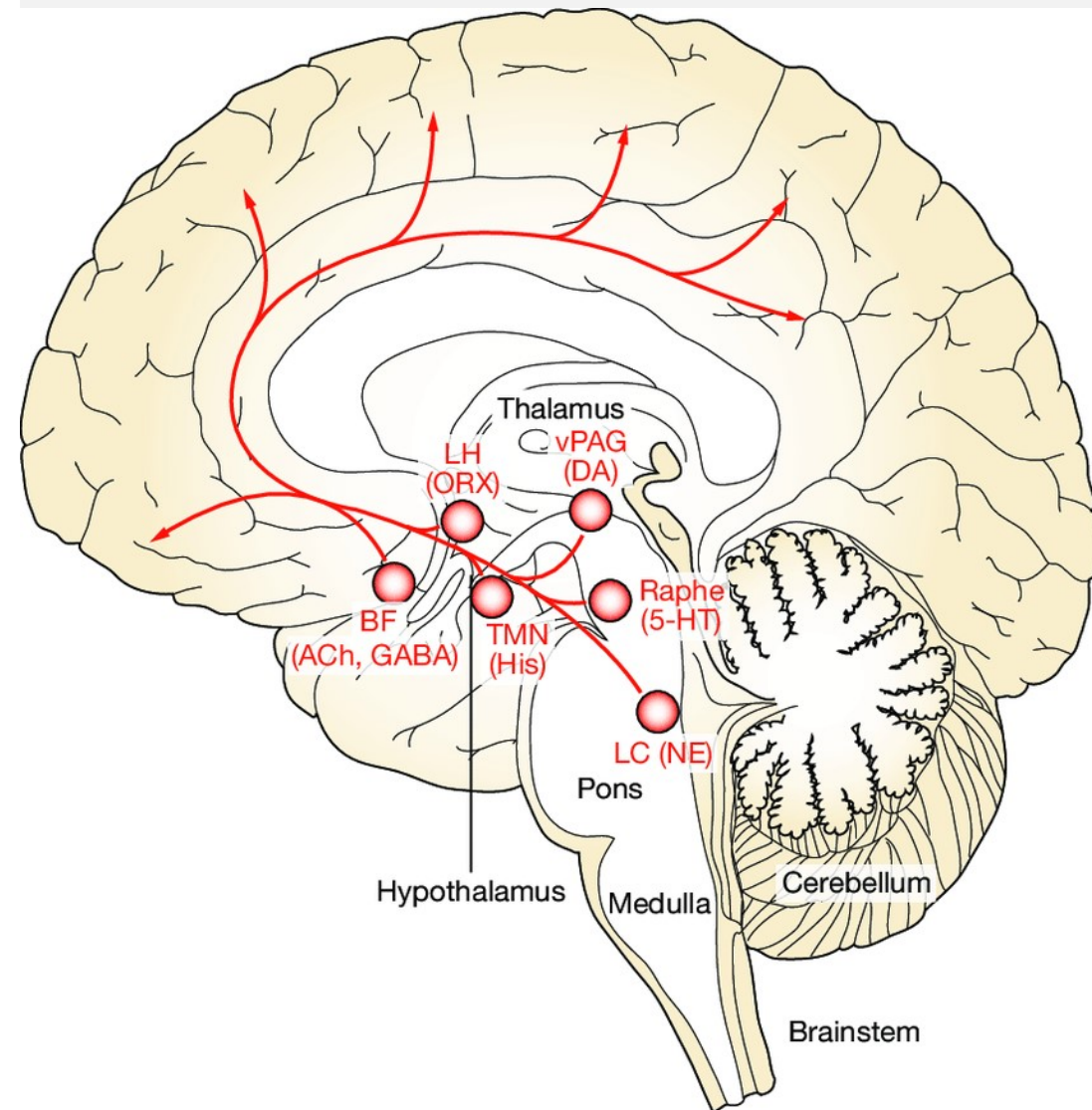
## Explorations fonctionnelles du cerveau anesthésié

# Explorations fonctionnelles

## Neurophysiologie de la conscience

### Régulation du cycle veille-sommeil

- Neurotransmetteurs concernés
  - Acétylcholine
  - GABA/Gal
  - Histamine
  - Dopamine
  - Norépinephrine
  - Sérotonine
  - Orexine
  - ...

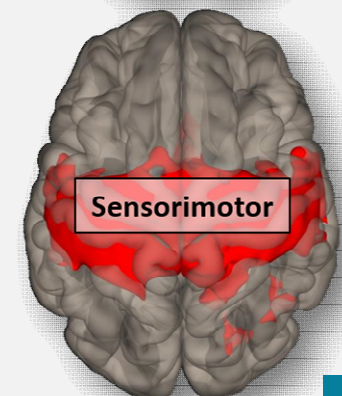
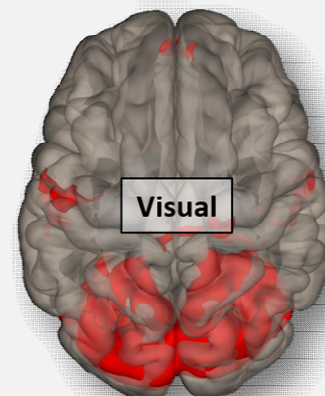
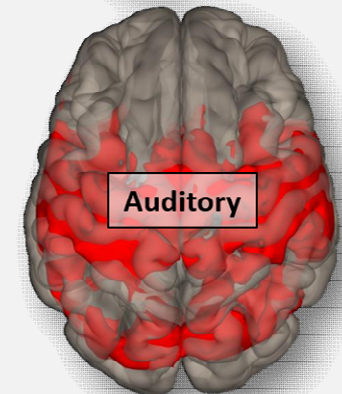
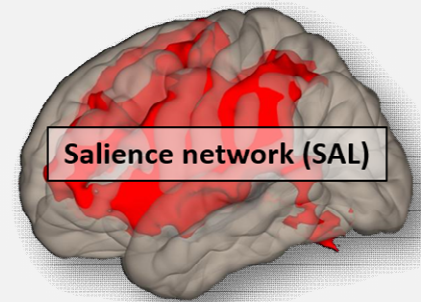
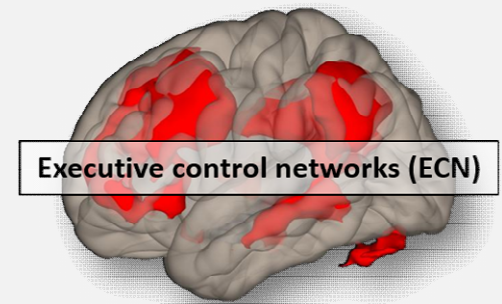
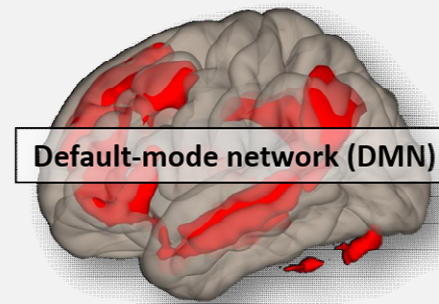


# Explorations fonctionnelles

## Neurophysiologie de la conscience

### Génération du contenu conscient

- Réseaux cérébraux
  - Communication entre régions cérébrales distantes
  - Nombreux réseaux décrits
    - DMN
    - ECN
    - SAL
    - AUD
    - VIS
    - SM
    - ...

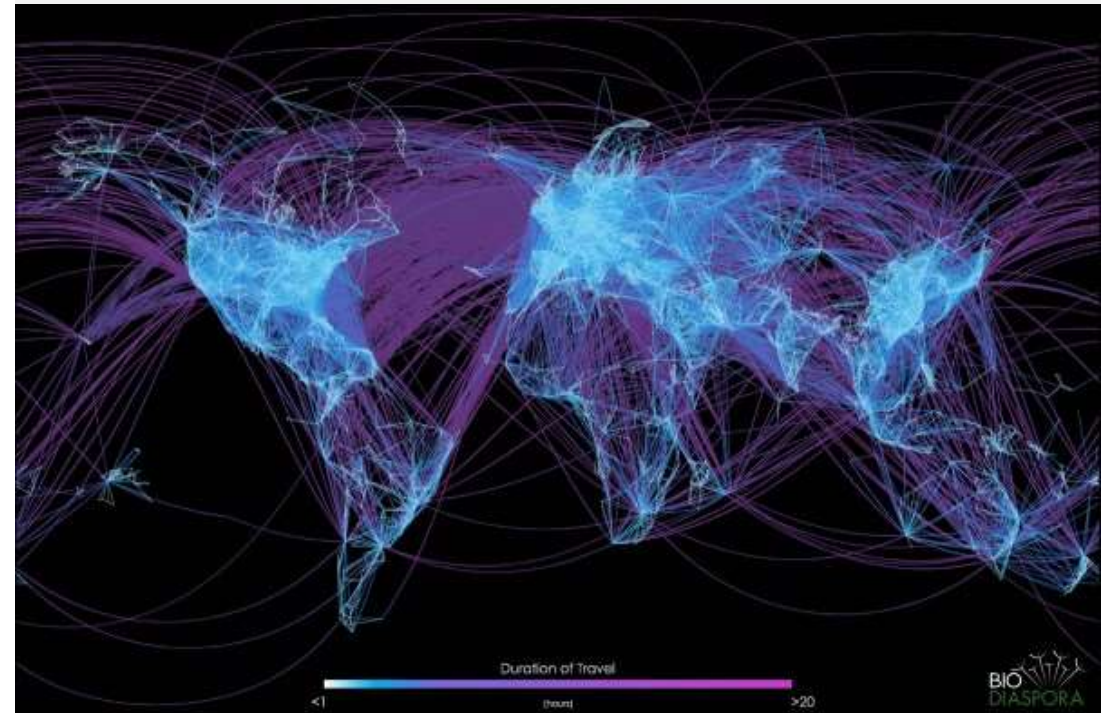


# Explorations fonctionnelles

## Neurophysiologie de la conscience

### Génération du contenu conscient

- Réseaux cérébraux
  - Communication entre régions cérébrales distantes
  - Nombreux réseaux décrits
  - Propriétés topologiques
    - Nœuds – liens - hubs



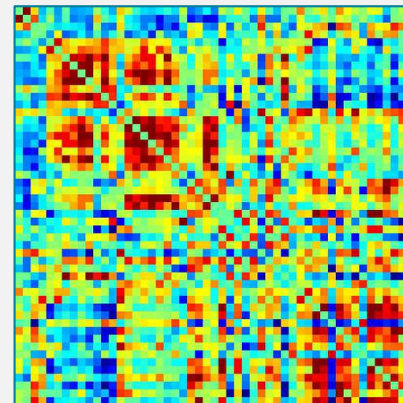
# Explorations fonctionnelles

## Neurophysiologie de la conscience

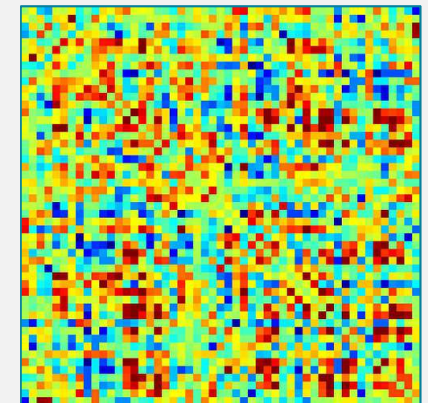
### Génération du contenu conscient

- Réseaux cérébraux
  - Communication entre régions cérébrales distantes
  - Nombreux réseaux décrits
  - Propriétés topologiques
    - Nœuds – liens - hubs
    - Evolution spatio-temporelle

Awake



Unresponsive



Courtesy of Golkowski

# Explorations fonctionnelles

## Modifications sous anesthésie

### Breakdown of higher-order networks

- Fronto-parietal connectivity

### Preservation of lower-order networks

### Alteration of long-distance communication

### Alteration of spatio-temporal dynamics

- Limitation of repertoire
- Decreased spatio-temporal complexity

### Reconfiguration of networks' structure

- Reduction of global efficiency
- Increased clustering and segregation
- Disruption of the parietal major hub

### Consequences

- Decreased information generation and integration

## REVIEW ARTICLE

*Deborah J. Culley, M.D., Editor*

## Role of Network Science in the Study of Anesthetic State Transitions

UnCheol Lee, Ph.D., George A. Mashour, M.D., Ph.D.



# Explorations fonctionnelles

## Identification d'un contenu conscient

### Cortex frontal

- Activité a frontale

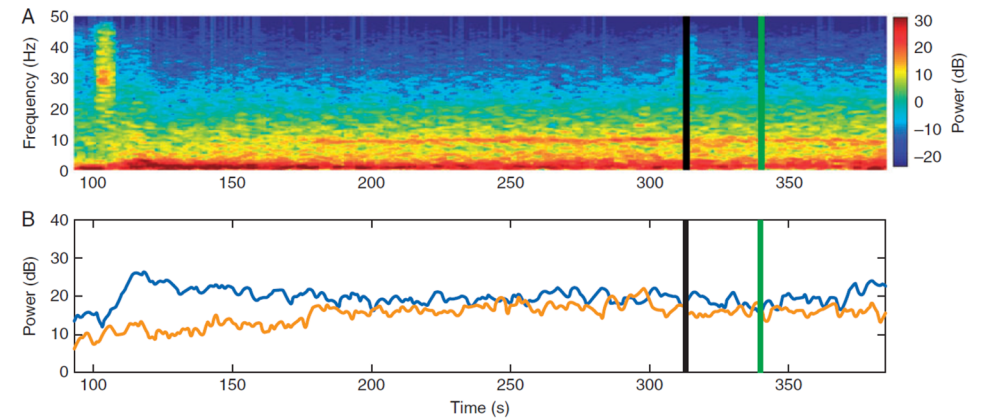


Fig 2 Spectrogram (A) of Responder A and (B) alpha (gold) and delta (blue) power demonstrating clear alpha-delta pattern at times of intubation (vertical black line) and response to verbal command (vertical green lines). Alpha and delta power are maintained throughout the period of interest.

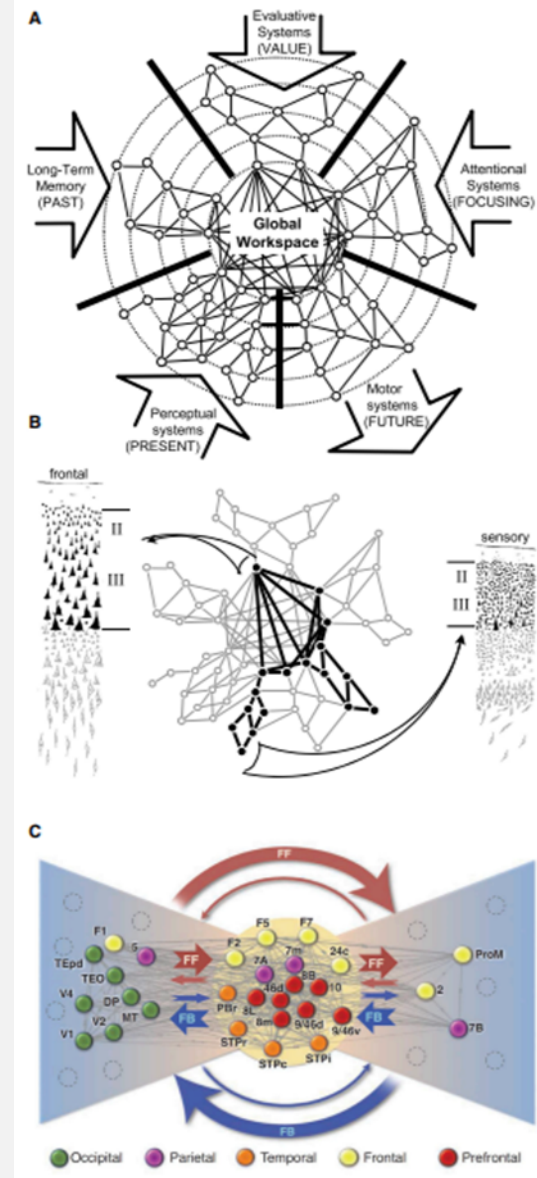
Gaskell et al. BJA 2017

# Explorations fonctionnelles

## Identification d'un contenu conscient

Cortex frontal

Communication fronto-pariétale



Mashour et al. Neuron 2020



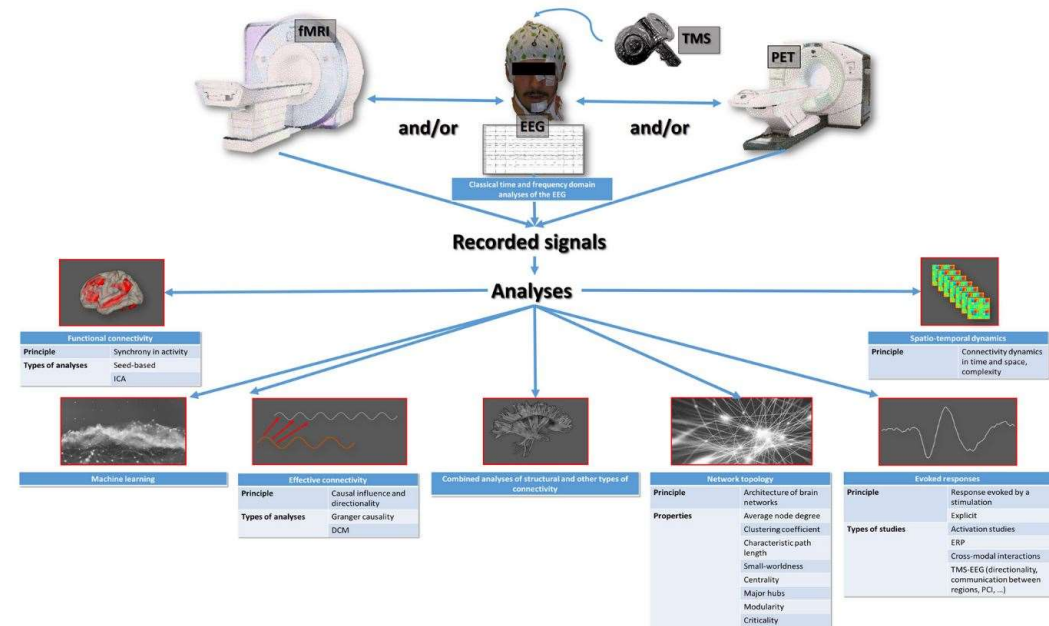
# Explorations fonctionnelles

## Méthodes d'exploration fonctionnelle cérébrale

fMRI

EEG – TMS-EEG

PET

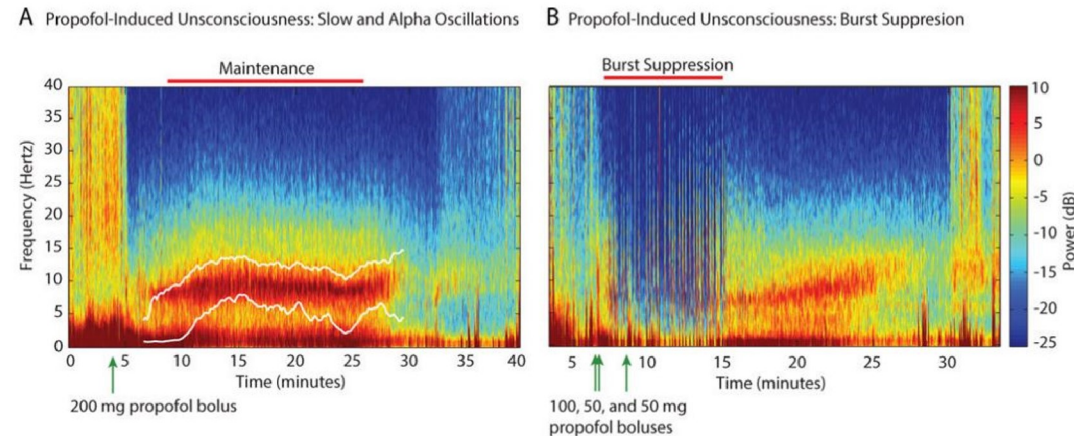
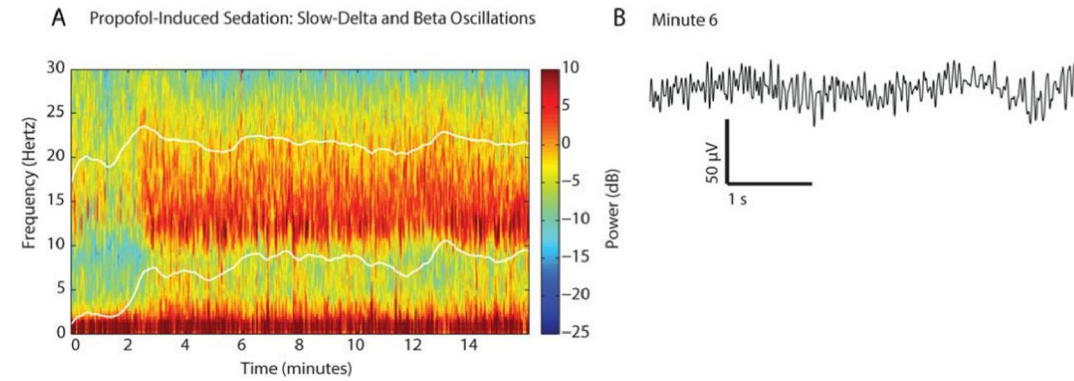


# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

Empreinte anesthésique spécifique – différent du sommeil

- Propofol



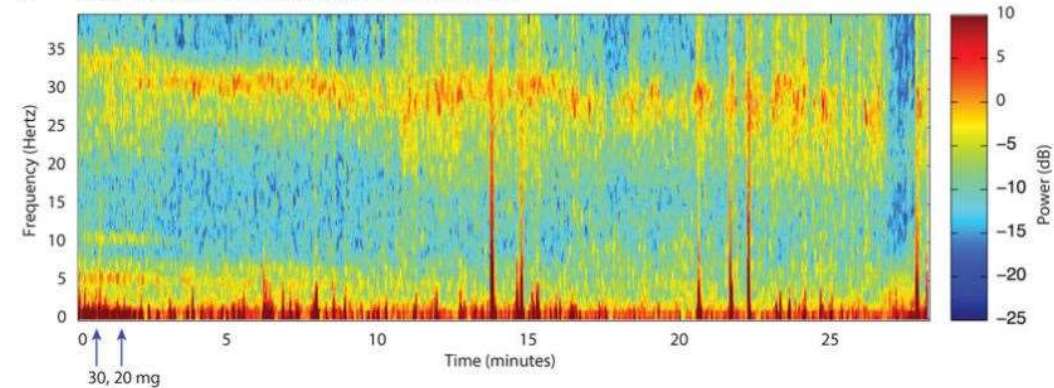
# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

Empreinte anesthésique spécifique – différent du sommeil

- Propofol
- Kétamine

B Ketamine Sedation: Beta and Gamma Oscillations



C Minute 5



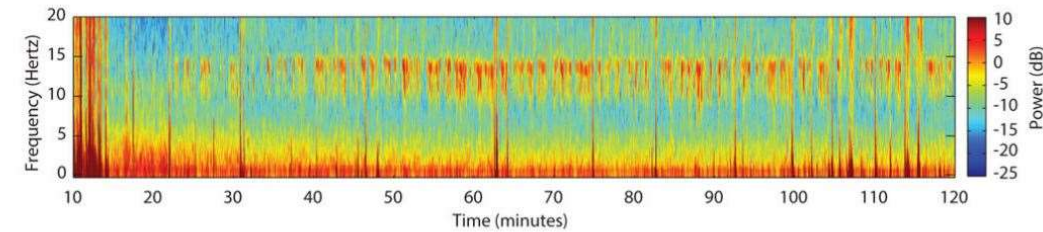
# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

### Empreinte anesthésique spécifique – différent du sommeil

- Propofol
- Kétamine
- Dexmedetomidine

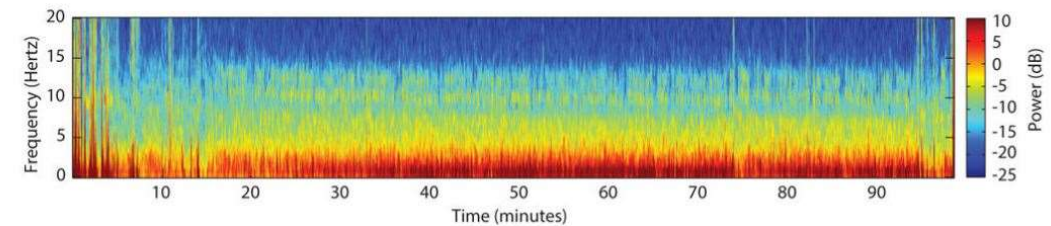
A Dexmedetomidine Sedation: Slow-Delta and Spindle Oscillations



B Minute 60



C Dexmedetomidine Sedation: Slow Oscillations



D Minute 40

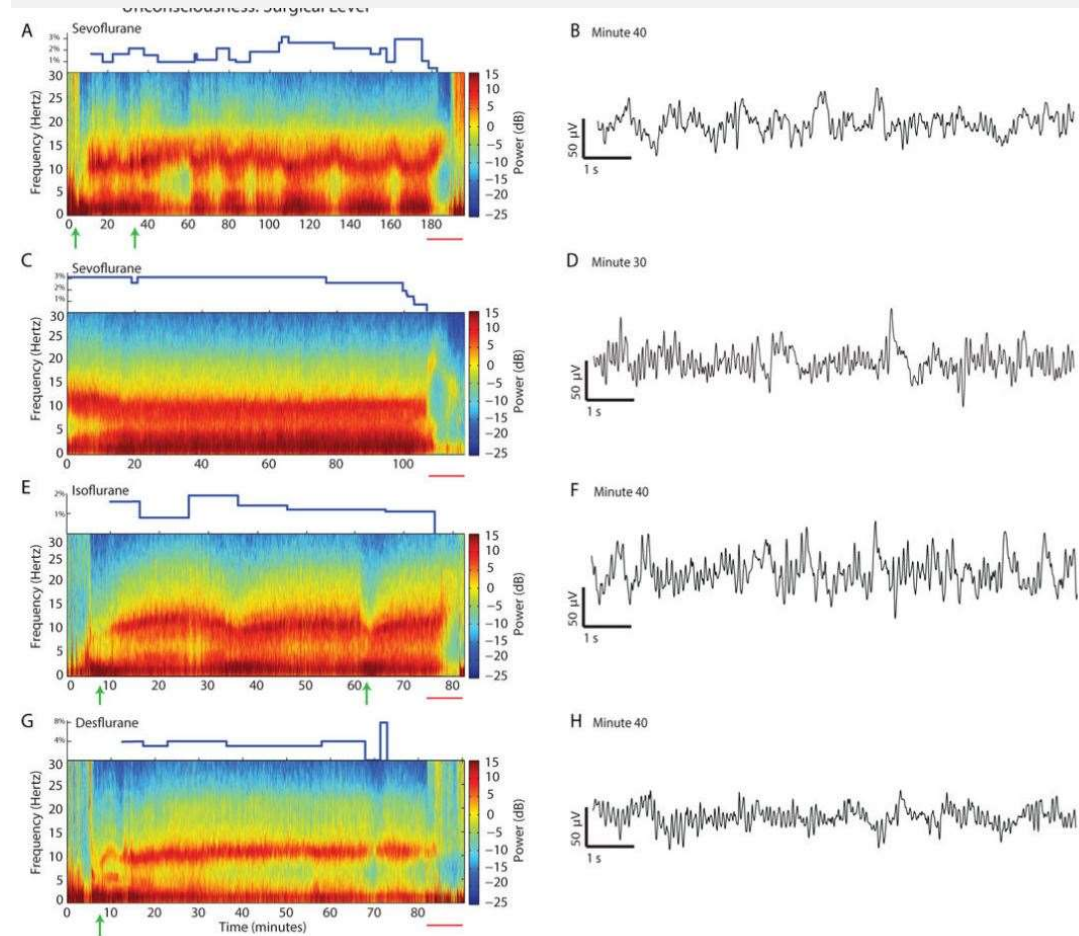


# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

Empreinte anesthésique spécifique – différent du sommeil

- Propofol
- Kétamine
- Dexmedetomidine
- Halogénés



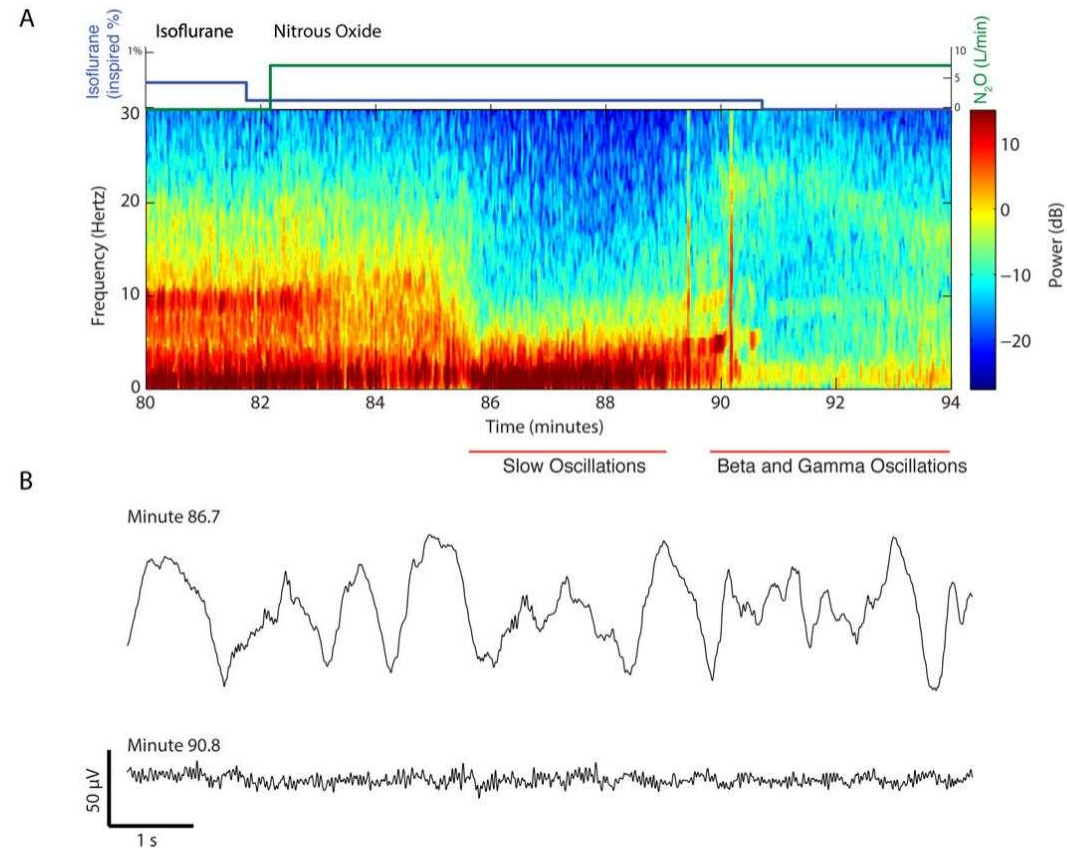


# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

Empreinte anesthésique spécifique – différent du sommeil

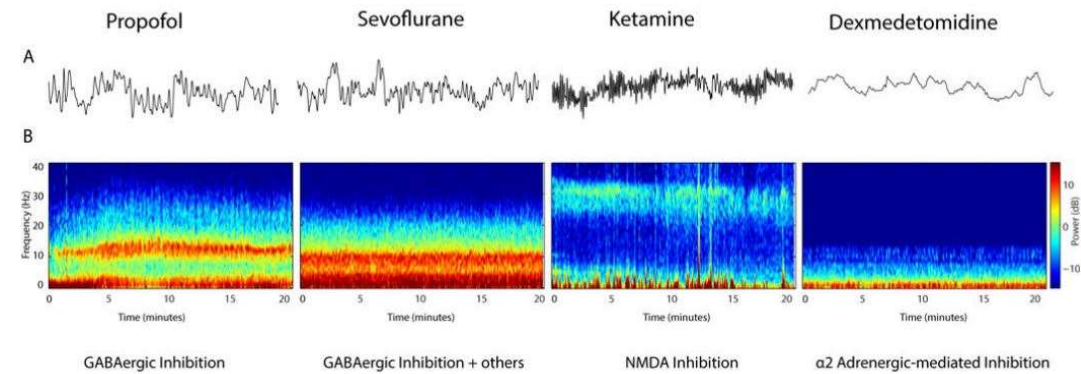
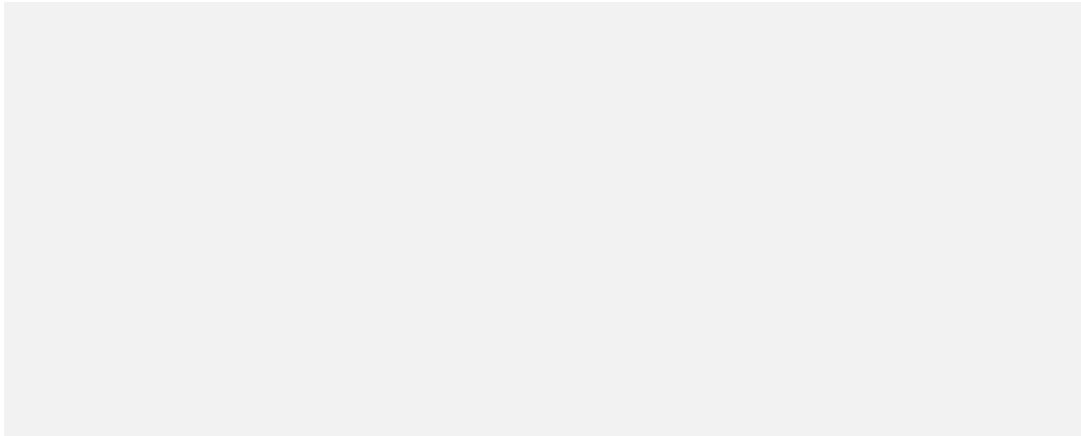
- Propofol
- Kétamine
- Dexmedetomidine
- Halogénés
- Protoxyde



# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

Empreinte anesthésique spécifique – différent du sommeil

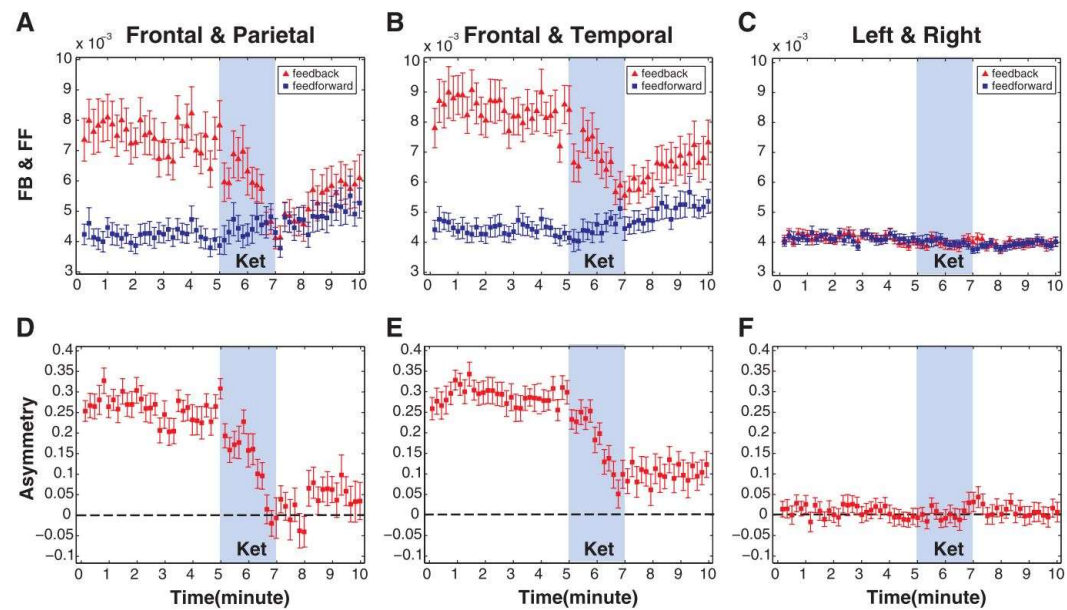


# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

EEG haute densité – Connectivité effective – 'Symbolic transfer entropy'

- Propofol, sévoflurane, kétamine
- Altération de la connectivité fronto-pariétale 'feed-back' (de frontal vers temporal)

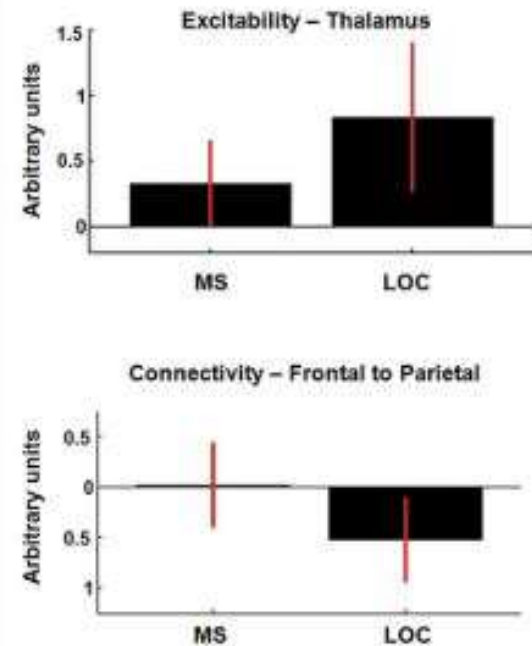
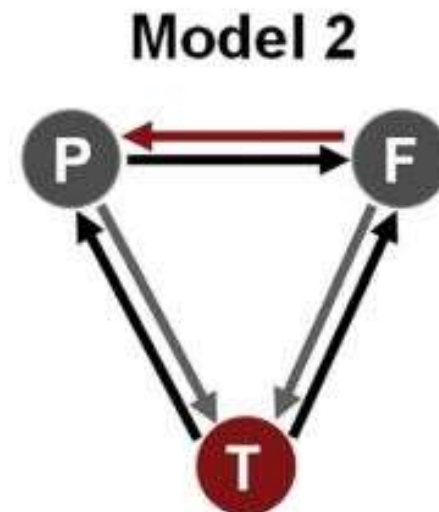


# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

EEG haute densité – Connectivité effective – 'Spectral power' - DCM

- Propofol
- Sédation légère: augmentation de l'excitabilité thalamique
- Perte de conscience: altération de la connectivité fronto-pariétale 'backward' (frontal vers pariétal)



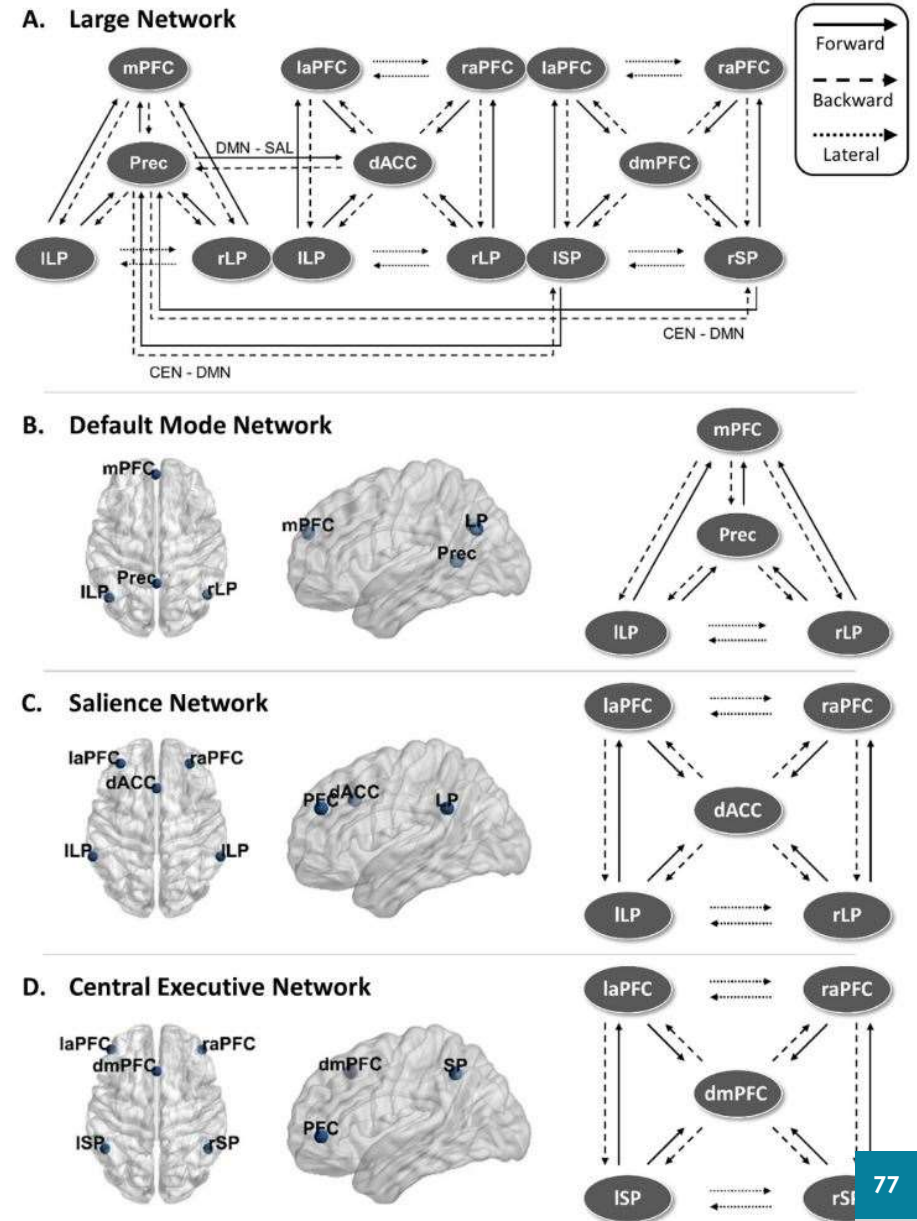
# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

### EEG haute densité – Connectivité effective - DCM

- Nœud pariétal
  - Réduction de connectivité inter réseau
- DMN
  - Réduction marquée de la connectivité fronto-pariétale 'feed-forward'
- SAL et CEN
  - Légère augmentation de la connectivité bidirectionnelle
- DCM
  - Perte de conscience liée à la disparition de connections fronto-pariétales
  - Importance de la 'posterior hot zone'

Ihaleinen et al. Neuroimage 2021

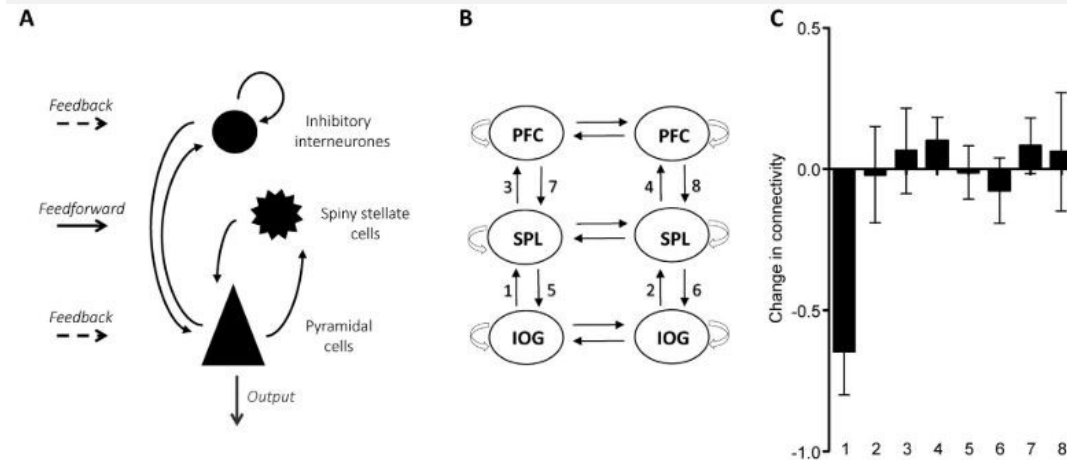


# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

### TMS-EEG haute densité – Connectivité effective - DCM

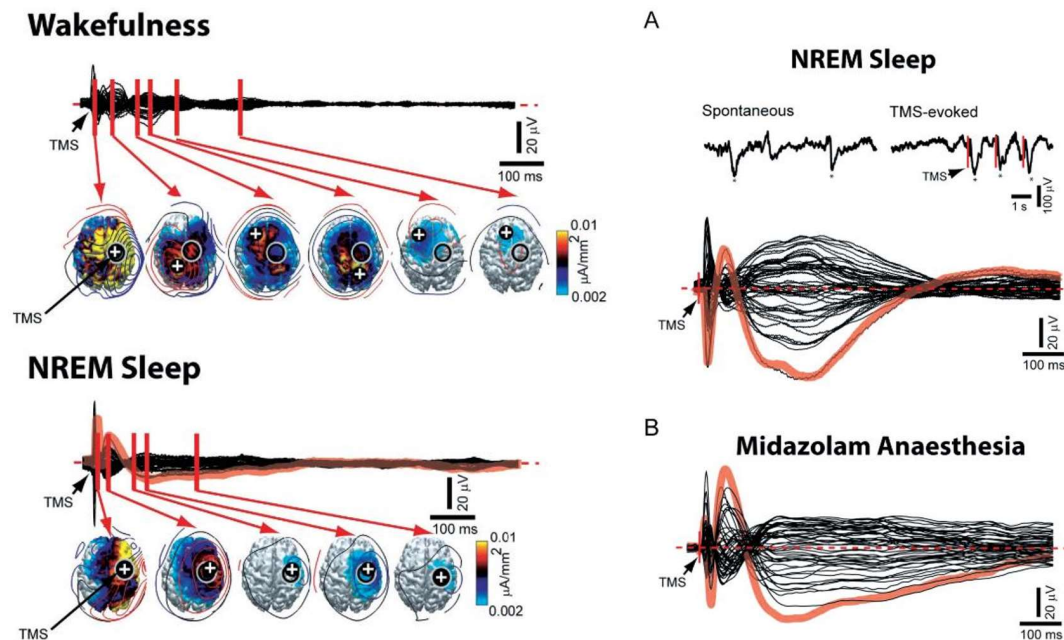
- Propofol
  - Diminution de la puissance induite et évoquée
  - Altération de la réponse 'feedforward' (couplage inter-fréquence thêta/alpha/gamma)
  - Altération 'feedback' et 'feedforward' beta
  - Altération connexions 'feedforward' et 'feedback' de pariétal à occipital
  - Altération de 'feedforward' entre occipital et pariétal gauche



# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

TMS-EEG haute densité – Connectivité effective –  
Communication longue distance

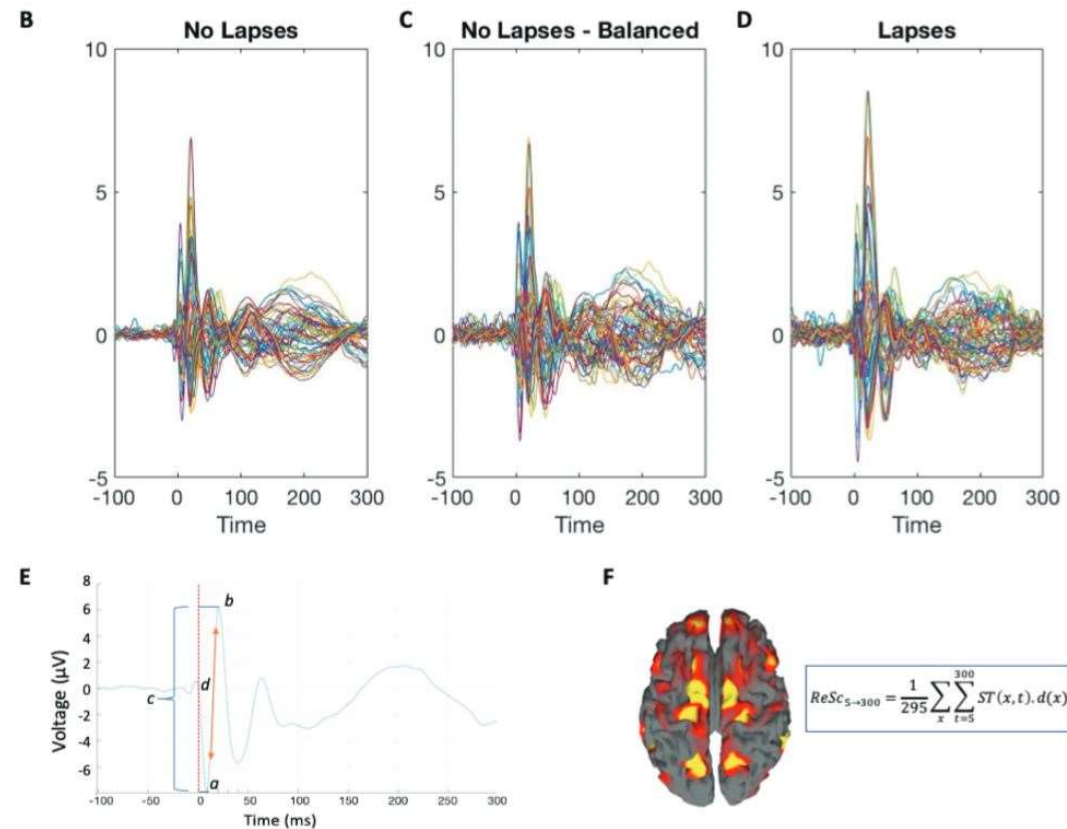


# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

TMS-EEG haute densité – Connectivité effective – Excitabilité corticale

- Augmentation dans le sommeil
- Dexmédétomidine

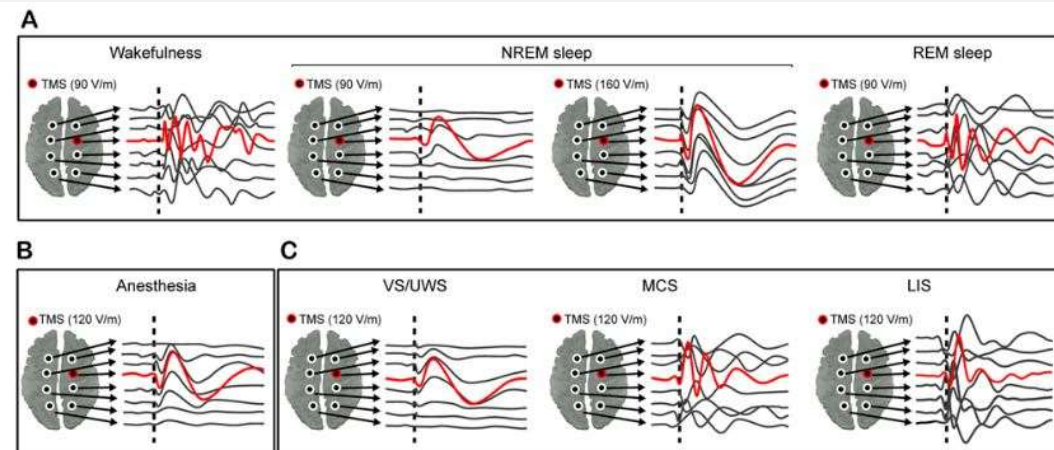




# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

TMS-EEG haute densité – Complexité - Communication

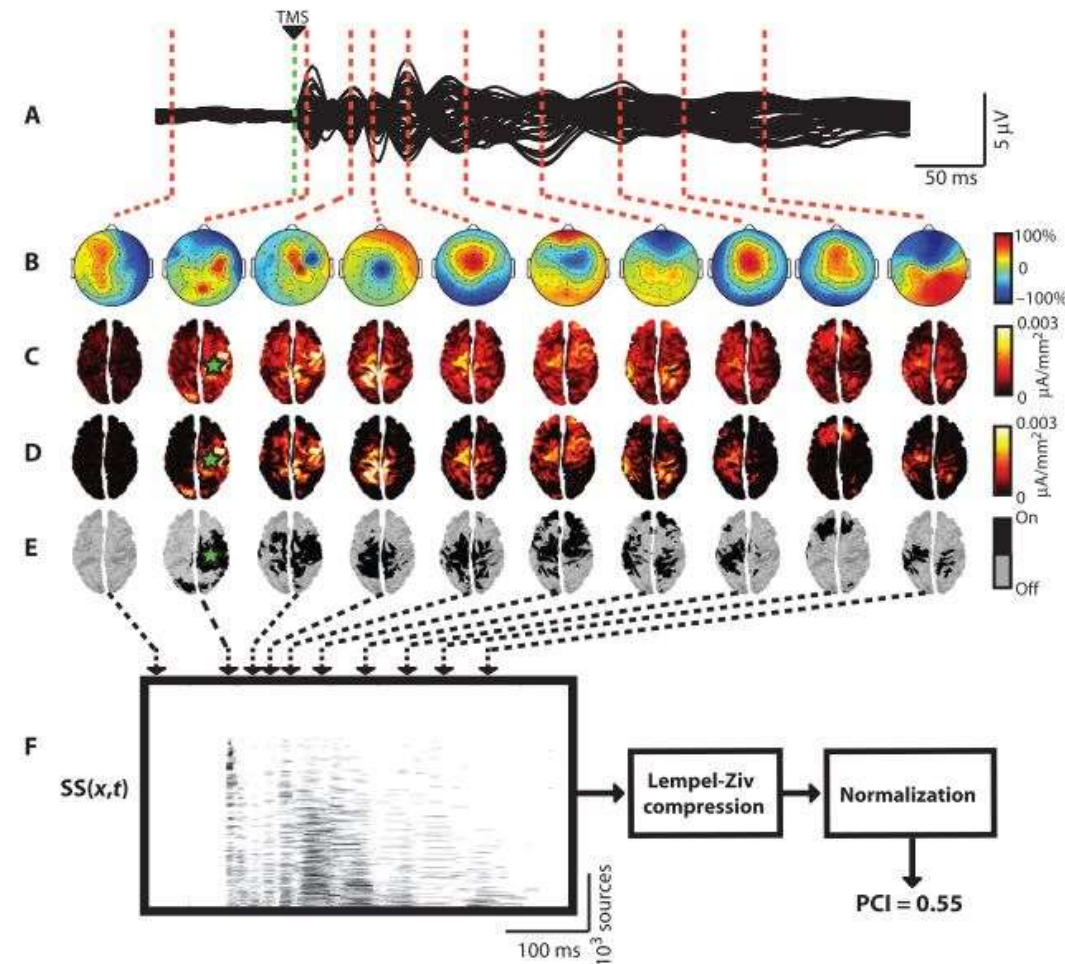


# Explorations fonctionnelles

## Apport de l'EEG – TMS-EEG

### TMS-EEG haute densité – Complexité

- 'Perturbational complexity index'
  - Reflète la présence de différenciation et d'intégration



# Explorations fonctionnelles

## Conclusions

### Distinction difficile

- Corrélats réels
- Supports non indispensables
- Corrélats indépendants
- Spécifiques d'un contenu? Corrélats globaux?
- Cortex préfrontal >< hub pariétal ?
- Intégration – différenciation de l'information ?



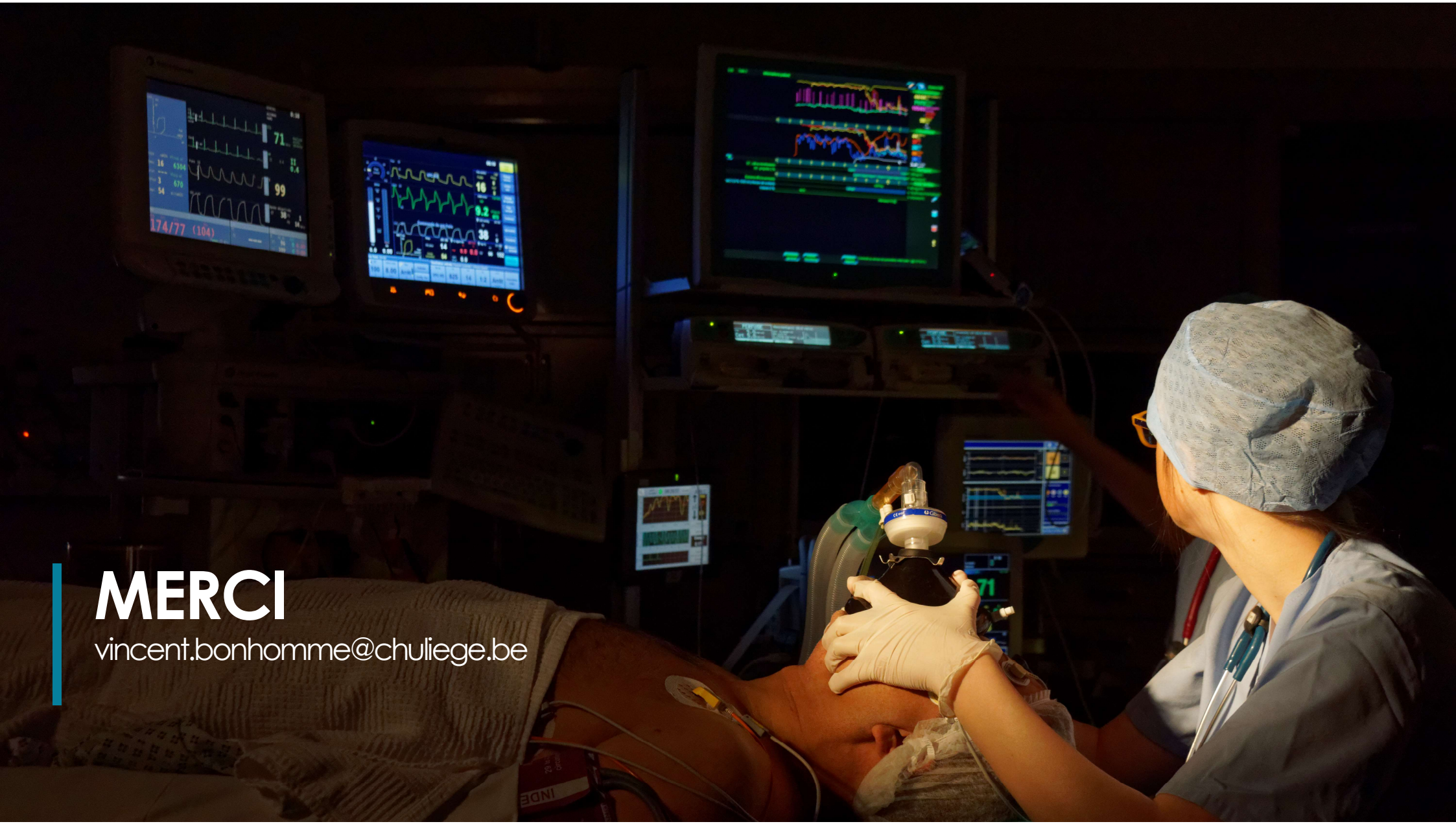
# Explorations fonctionnelles

## Conclusions

Identification spécifique des états cérébraux

- Futur





**MERCI**

[vincent.bonhomme@chuliege.be](mailto:vincent.bonhomme@chuliege.be)