



HAL
open science

Introduction to the Signal Processing of EEG in EEGLAB

Deirdre Bolger

► **To cite this version:**

Deirdre Bolger. Introduction to the Signal Processing of EEG in EEGLAB. Doctoral. Introduction to EEG Methodes, St Charles Campus, Marseille, France. 2023. hal-03996828

HAL Id: hal-03996828

<https://amu.hal.science/hal-03996828>

Submitted on 20 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



LE SIGNAL EEG

Formation EEG fed3C
12 et 13 janvier 2023





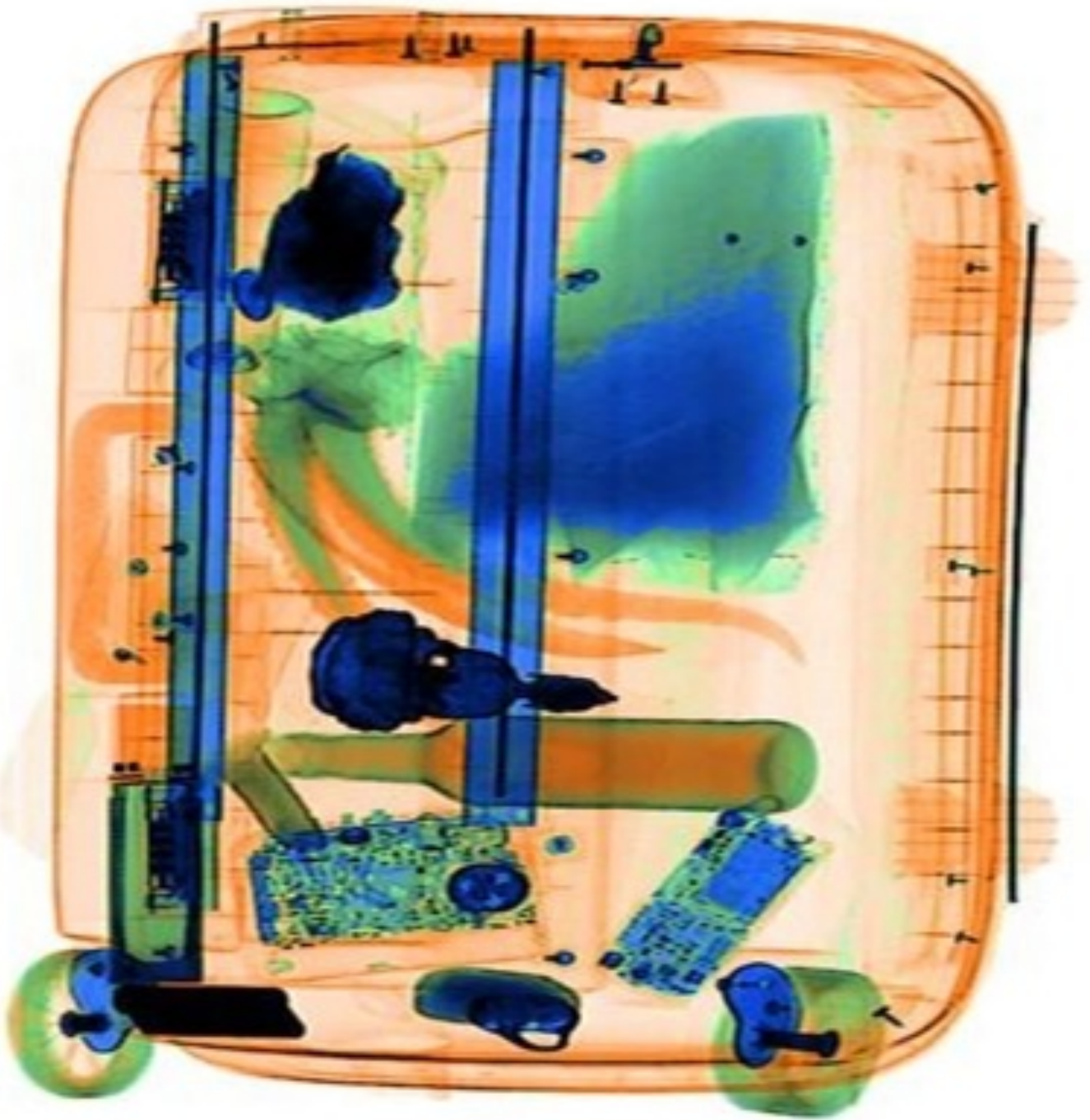
PARTIE 1:
ARTEFACTS DU
SIGNAL EEG



Déterminez le
pistolet aussi
rapidement que
possible ...

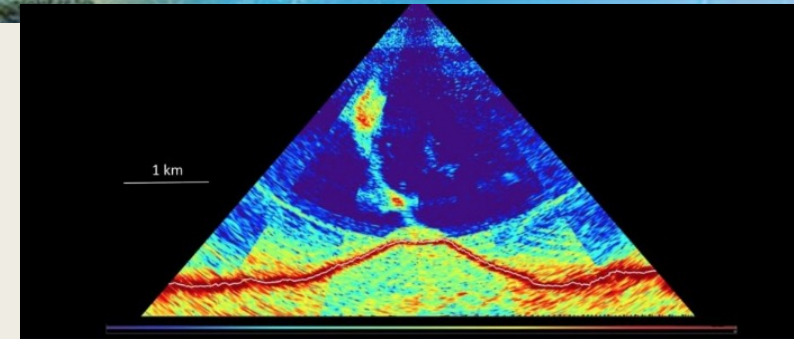








Un problème de détection d'un « signal » en présence du « bruit »



Le signal: cette partie du tracé ou l'activité qui nous intéresse.

Le bruit: cette partie du tracé ou l'activité qui ne nous intéresse pas.

Planning de la Séance:

Temps



PARTIE 1

1. Le problème de la détection du signal...
2. Types d'artefacts qui contamaine le signal EEG:
 1. Externes
 2. Internes
3. EEG normal...qu'est ce que ça veut dire? Petite discussion...

PARTIE 2

1. Exploration d'un jeu de données pour:
 1. Détecter
 2. Visualiser
 3. Caractériser les artefacts

Artefacts de l'EEG

Nous pouvons définir deux grandes catégories d'artéfacts:

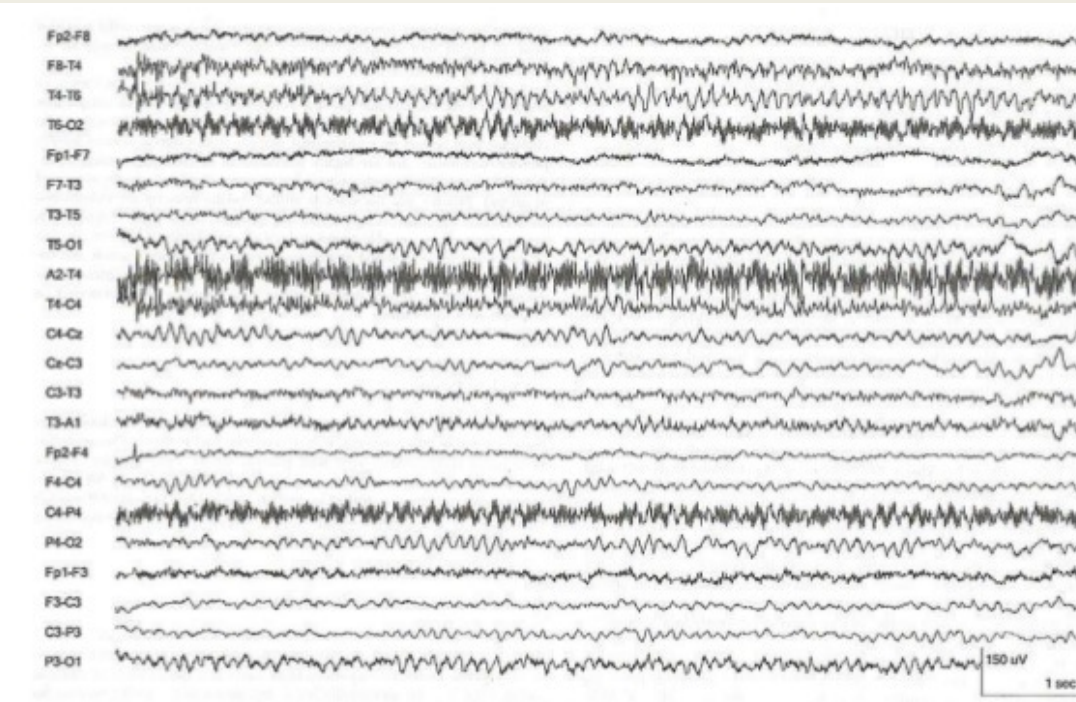
1. Artéfacts Externes

2. Artéfacts Internes:

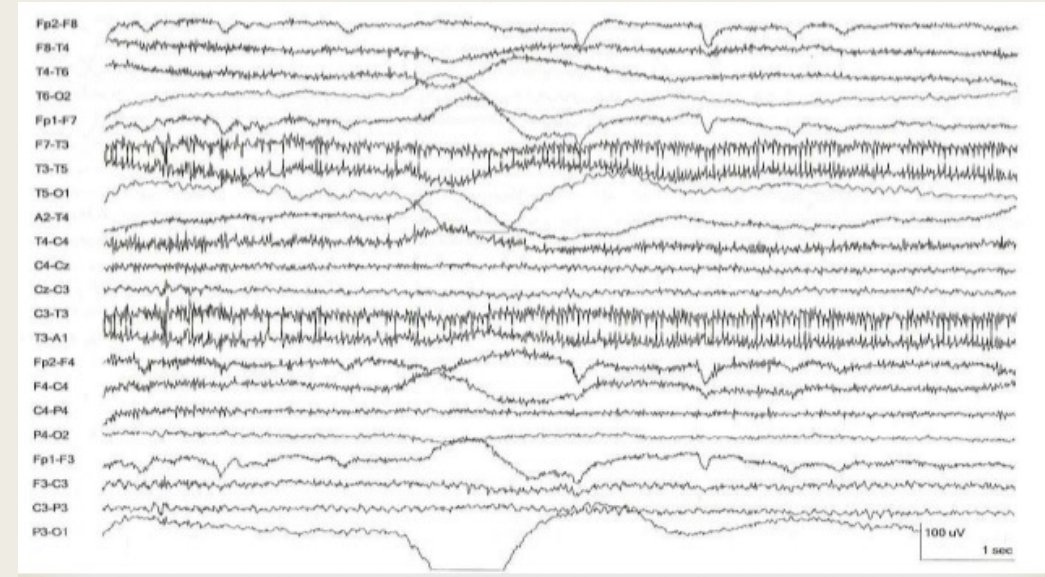
- Origine physiologique
- Origine neurophysiologiques

Artefacts Externes

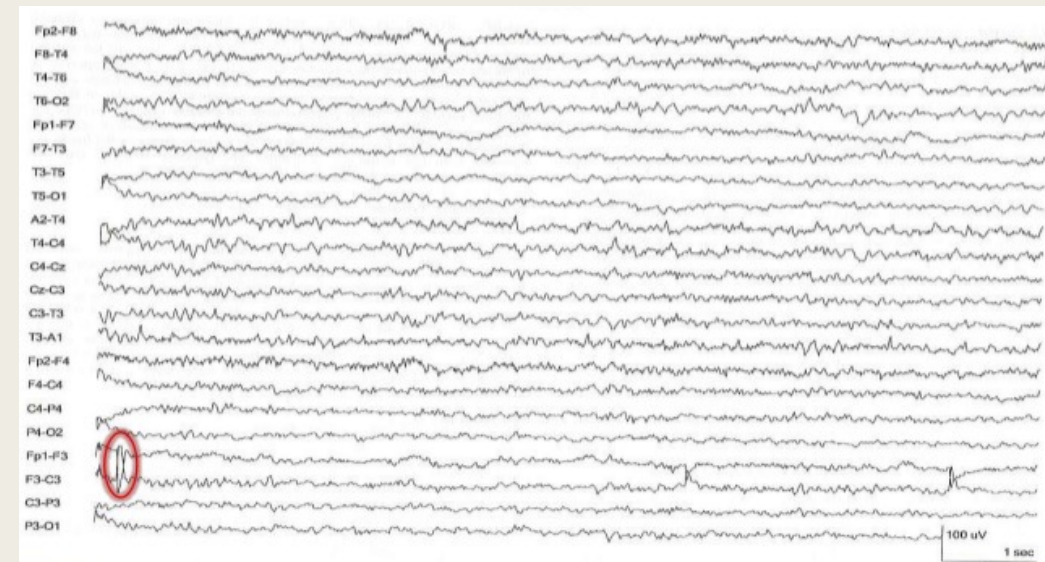
Interférence Electrique (50Hz)



Déplacement des câbles

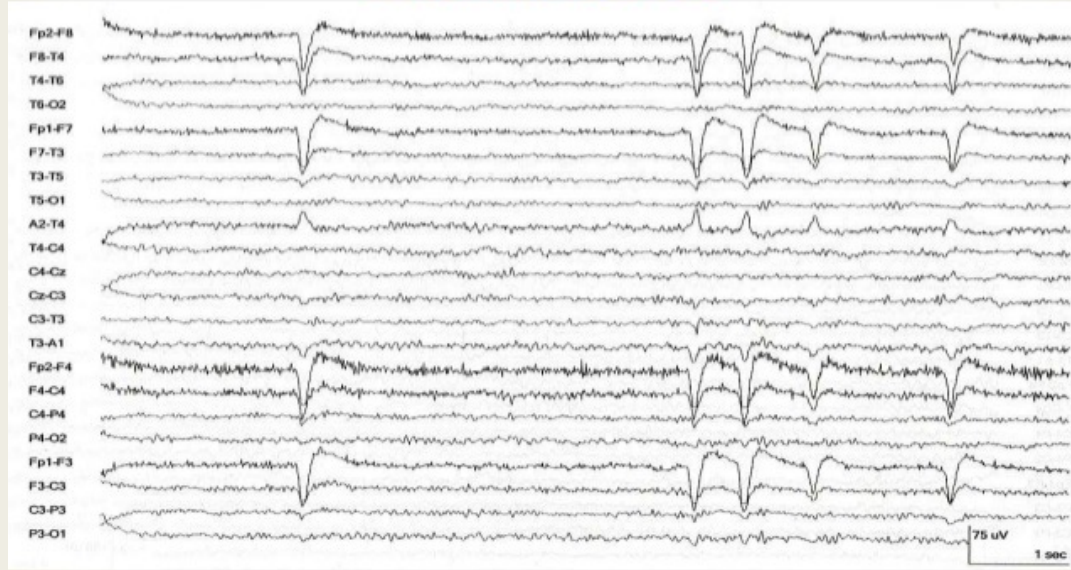


Un saut (ou « pop ») d'une électrode

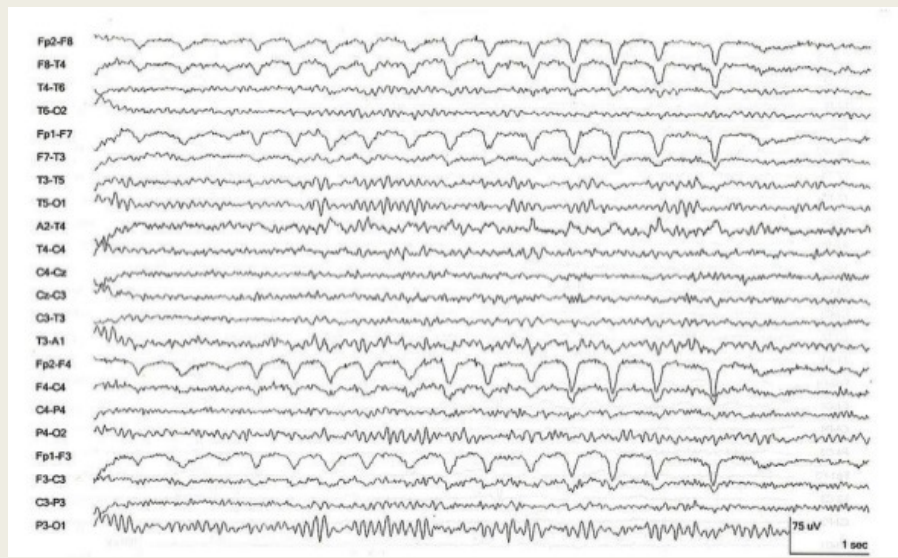
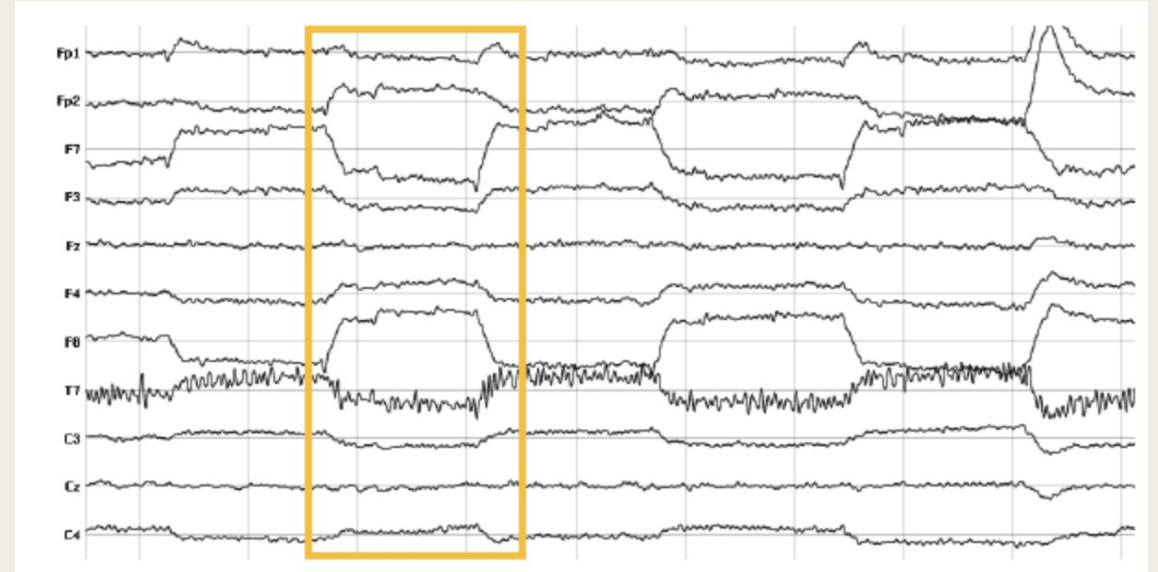


Artefacts Internes

Mouvements oculaires verticaux (vEOG)



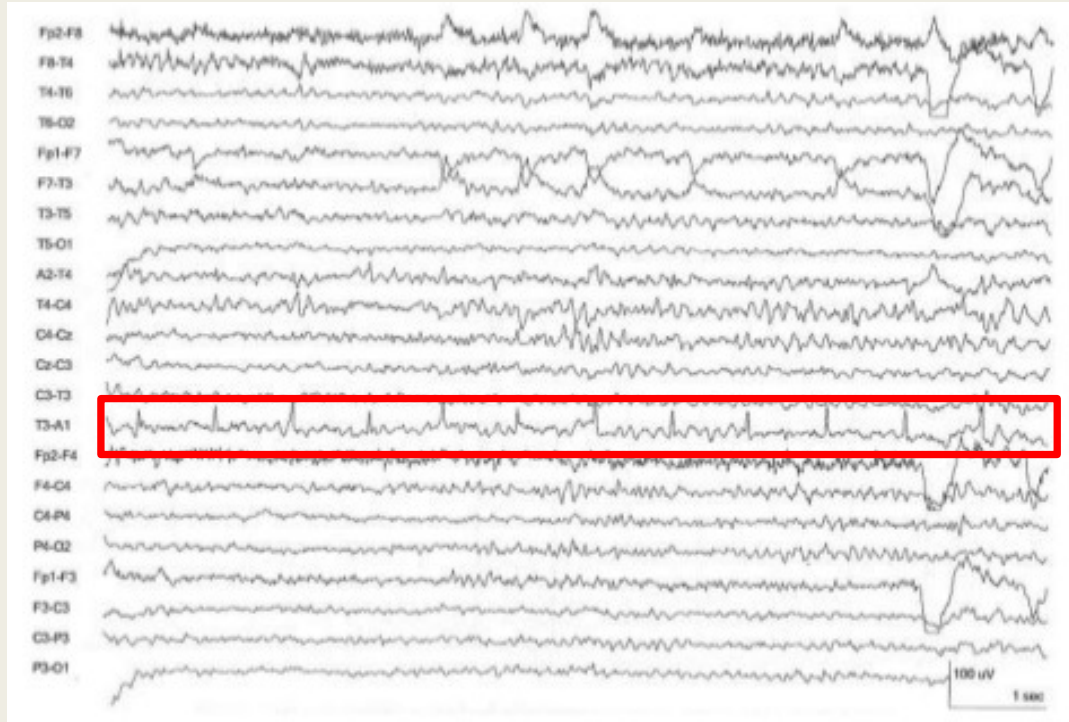
Mouvements oculaires horizontaux (hEOG)



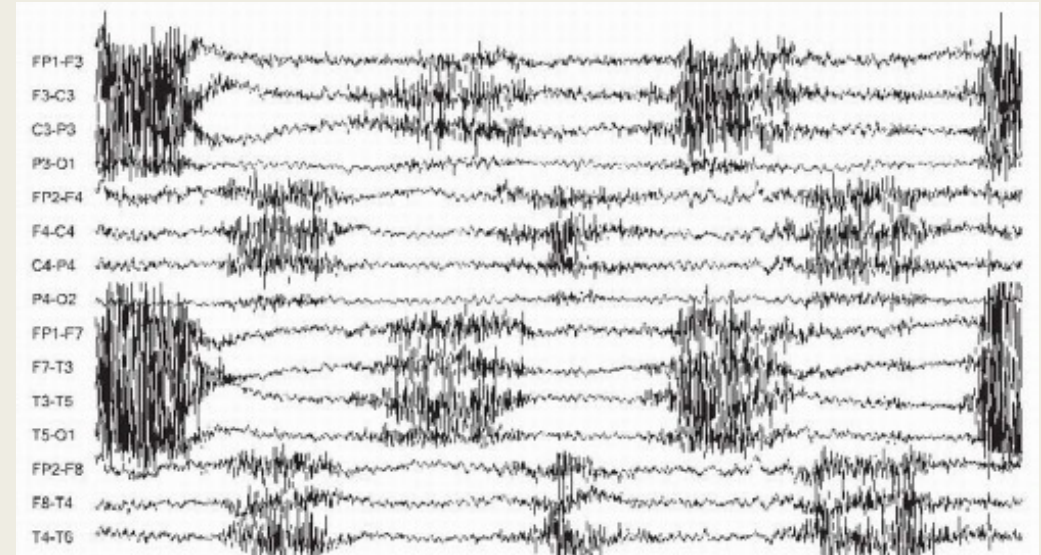
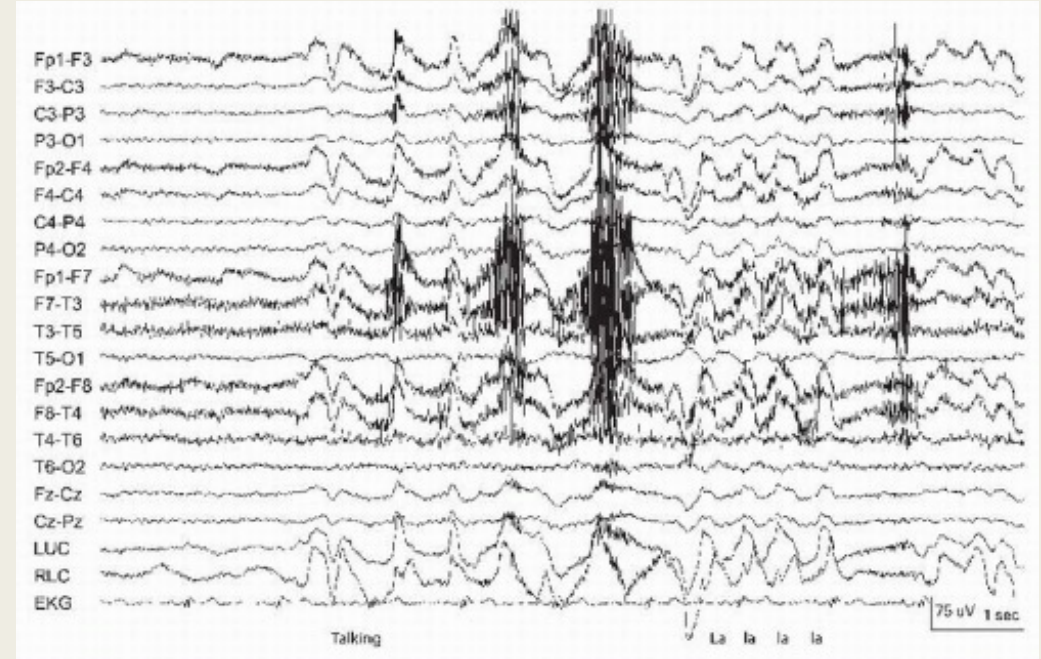
« Ocular flutter »

Artefacts Internes

Cardiac (ECG)



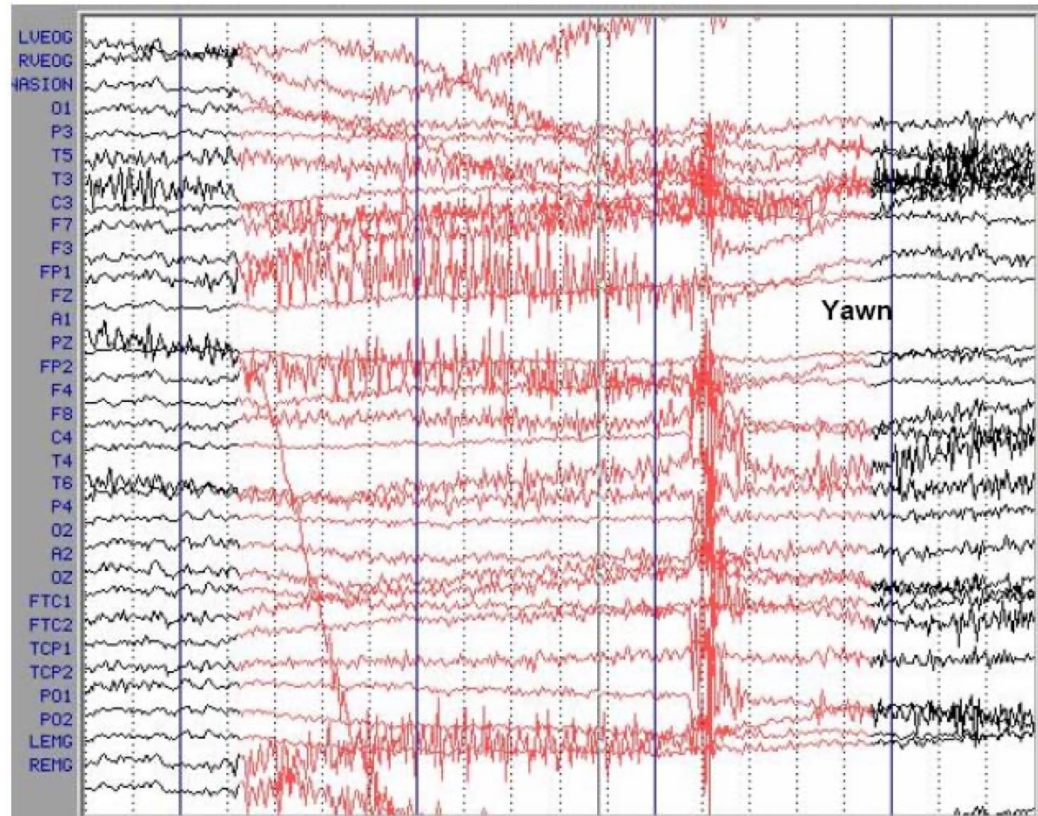
Artefacts musculaires (EMG) – mâchoire



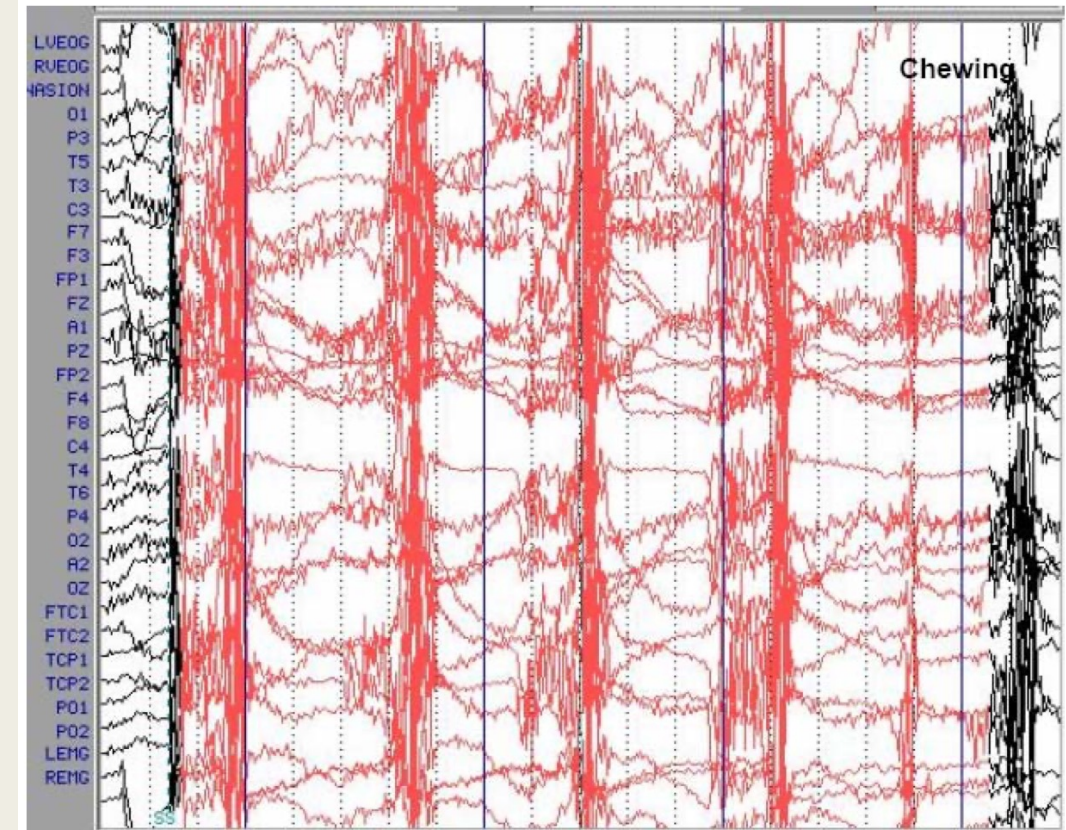
EMG « burst »

Artefacts Internes

EMG: bâillement



EMG: mastication



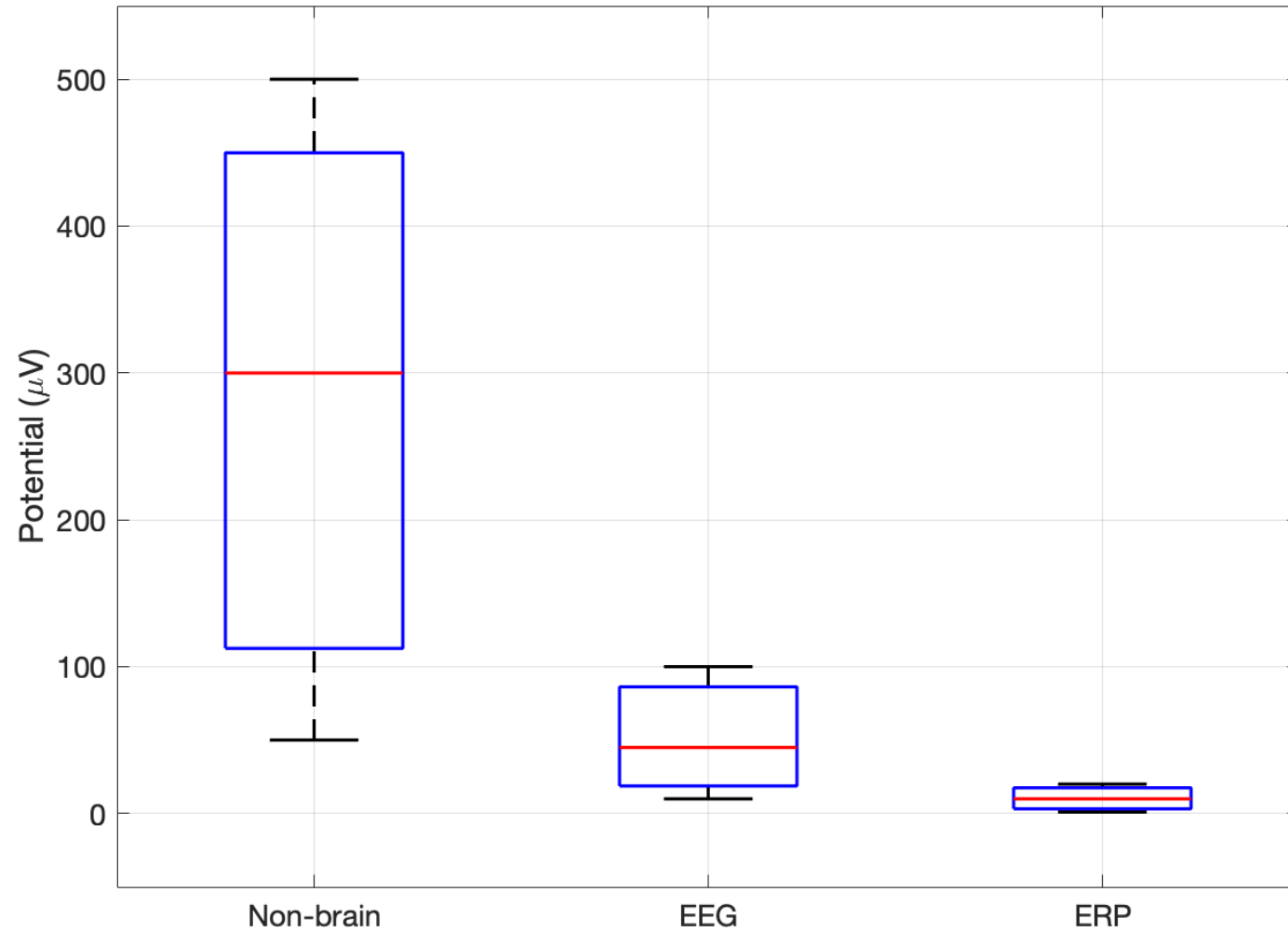
Artefacts Internes

Alpha : yeux ouverts

Alpha : yeux fermés



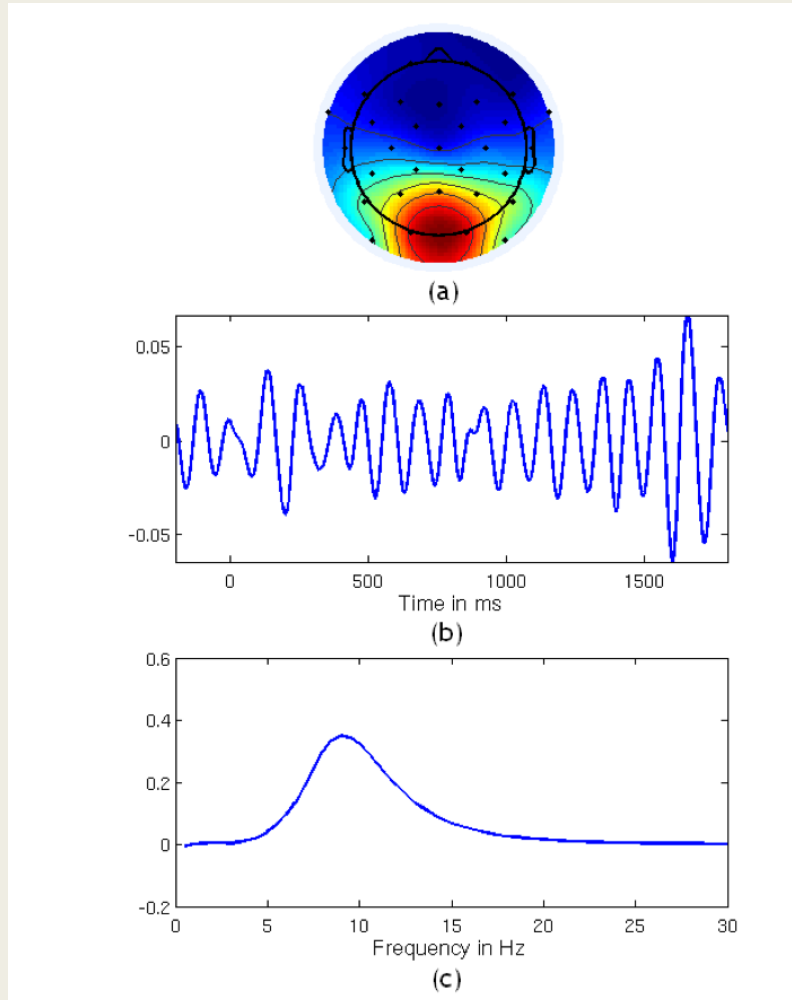
Artefacts de l'EEG



EEG mesuré en micro volts (μV)
 $1\mu V = 10^{-6}$ Volts

Artefacts de l'EEG: Visualiser pour détecter

Ondes Alpha



From Vanderperren et al (2009)

Distribution spatiale: topographie

Décours temporel: tracé

Distribution spectrale: spectre

Quelle bande de fréquence??

Artefacts: Comment les traiter...

1. Essayez de les éviter:

1. Vérifier les signaux lors de l'enregistrement
2. Vérifier le matériel d'acquisition,
3. Une bonne conception du protocole expérimental.

2. Enlever les données contaminé:

1. Détection automatique et/ou manuelle,
2. Mais perte de données...

3. Définir des sources d'artéfacts comme référence:

1. Canaux EOG, canal ECG, accéléromètre etc. pour:
 - Entraîner un algorithme de classification
 - Utiliser comme régresseur...

4. Appliquer des techniques de filtrage:

1. Enlever du signal dans une bande de fréquence donnée,
2. Mais si pas bien appliqué, risque d'ajouter du signal...

5. Correction des artefacts:

1. En appliquant des techniques de « Blind Source Separation » (BSS): ICA
2. Mais, risque d'enlever du signal d'intérêt...

PARTIE 2:
EXPLORATION DES
SIGNAUX EEG



Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

1. Exploration du signal EEG:

1. Détection des artefacts principaux dans le signal temporel.

2. Familiariser avec leurs caractéristiques:

- Temporels
- Fréquentiels
- Spatiaux

3. Visualiser les artefacts:

- Visualisation temporelle
- Visualisation spatiale
- Visualisation fréquentielle

2. Caractériser les artefacts à partir des visualisations:

1. Déterminer les caractéristiques:

- Temporels (durée, type de « transient », quand par rapport aux stimuli?)
- Spatiaux (l'énergie est concentrée où/sur quelles électrodes?)
- Fréquentiels (quelle bande de fréquence?)

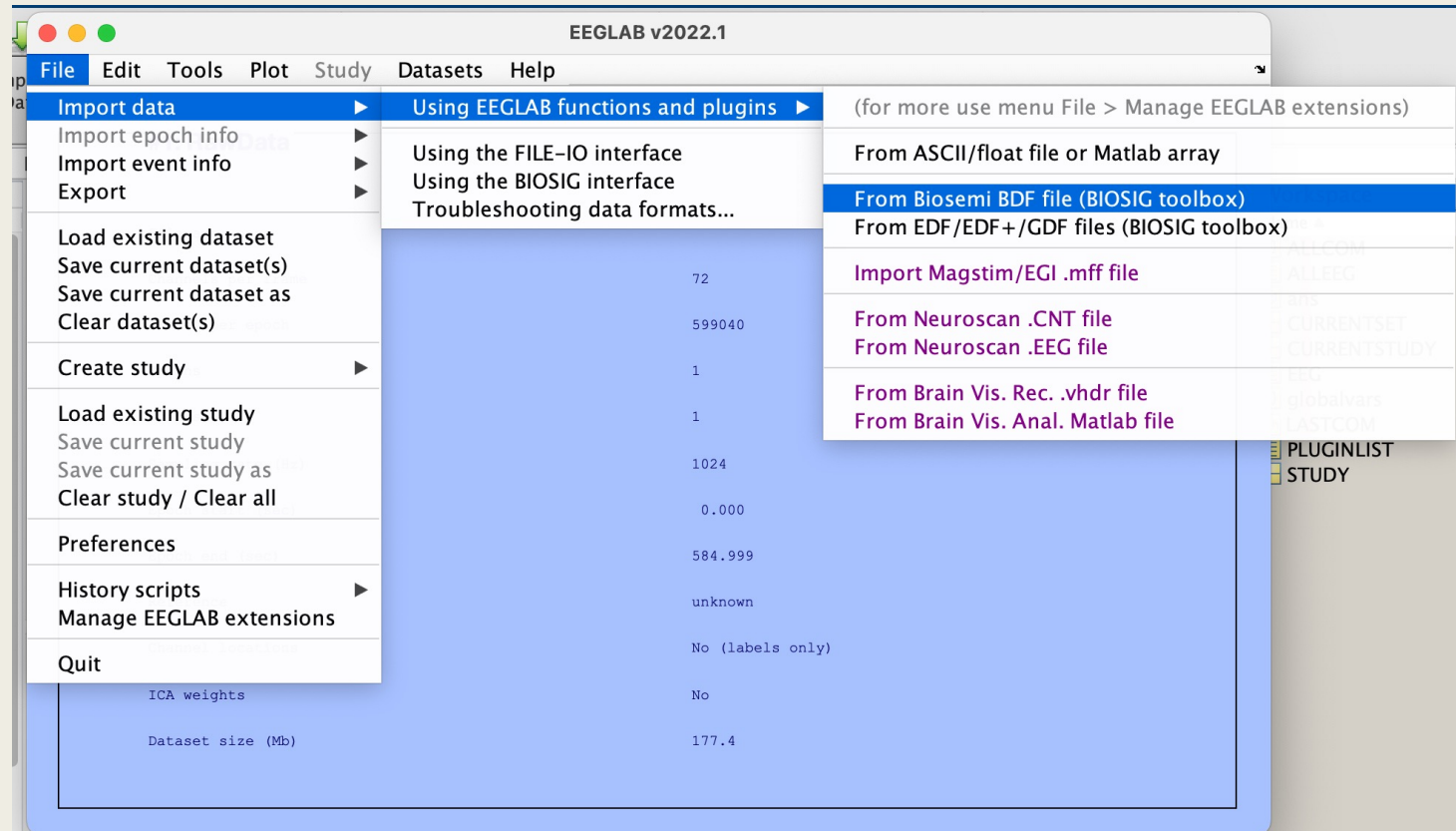
Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

Jeu de données requises: « Essaie-Artefact-03012023.bdf »

*.bdf → Biosemi Data Format

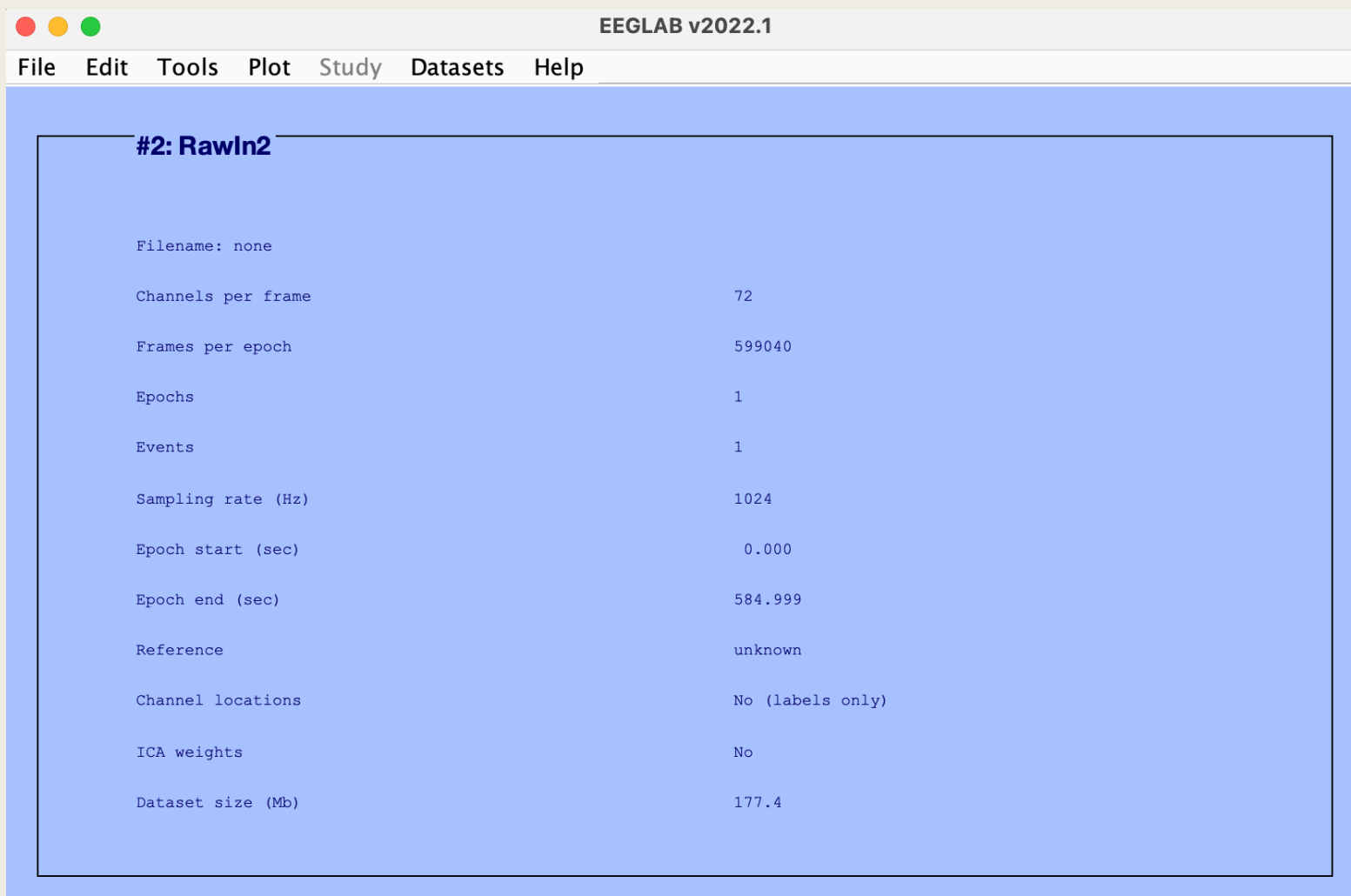
Dans EEGLAB, on le lit avec les fonctions du « biosig toolbox »

File/Import data/Using EEGLAB functions and plugins/From Biosemi BDF file (BIOSIG toolbox)



Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

Lire and comprendre des informations sur le jeu de données



The screenshot shows the EEGLAB v2022.1 software interface. The title bar reads 'EEGLAB v2022.1'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Tools', 'Plot', 'Study', 'Datasets', and 'Help'. The main window displays the following information for dataset '#2: RawIn2':

Property	Value
Filename	none
Channels per frame	72
Frames per epoch	599040
Epochs	1
Events	1
Sampling rate (Hz)	1024
Epoch start (sec)	0.000
Epoch end (sec)	584.999
Reference	unknown
Channel locations	No (labels only)
ICA weights	No
Dataset size (Mb)	177.4

Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

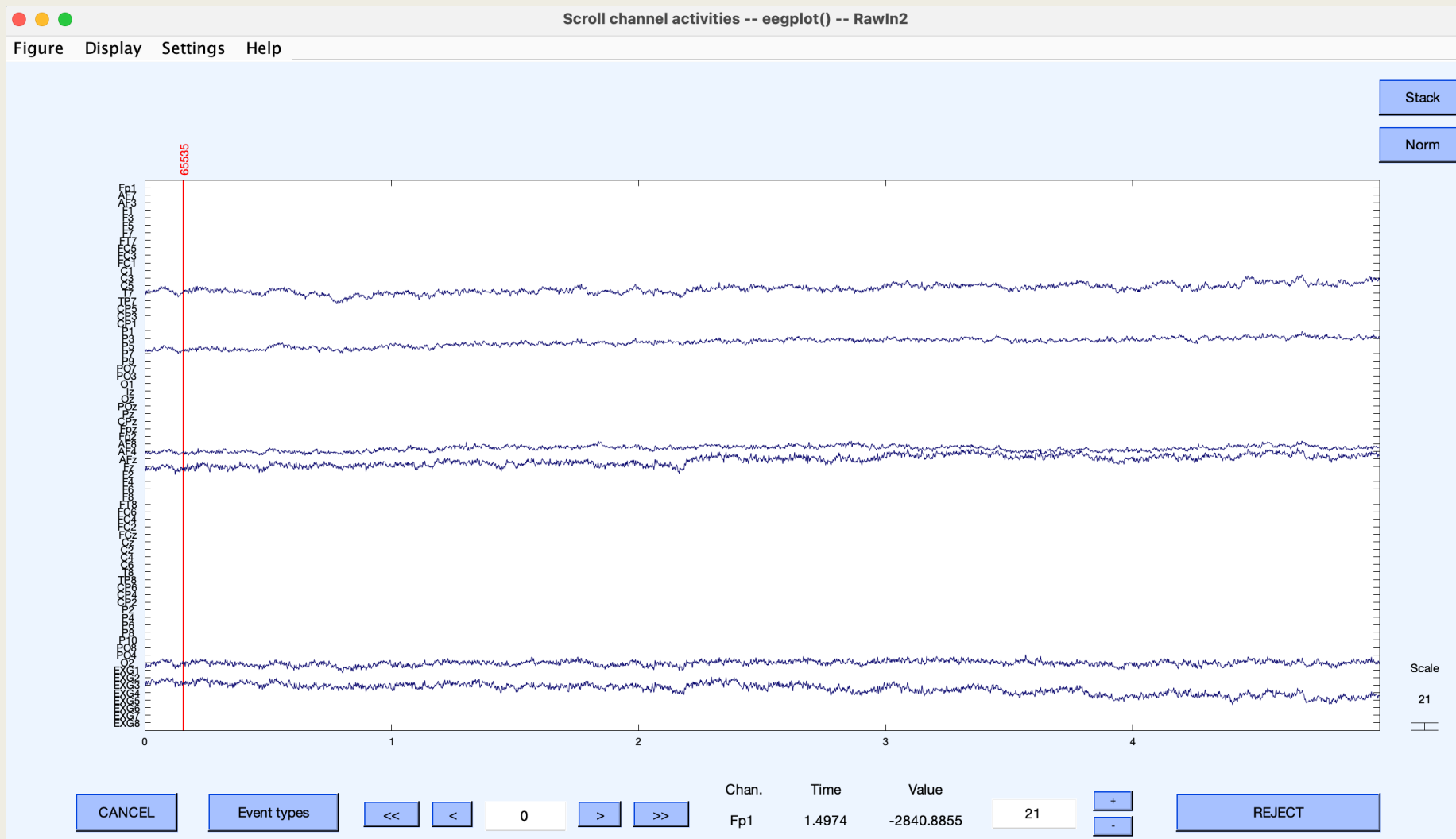
Visualiser les tous les canaux de l'EEG: **Plot/Channel data (scroll)**

The screenshot shows the EEGLAB v2022.1 interface. The 'Plot' menu is open, highlighting 'Channel data (scroll)'. The background displays a table of channel data for a dataset named '#2: Raw'.

Property	Value
Filename:	
Channels p	72
Frames per	599040
Epochs	1
Events	1
Sampling r	1024
Epoch star	0.000
Epoch end (sec)	584.999
Reference	unknown
Channel locations	No (labels only)
ICA weights	No
Dataset size (Mb)	177.4

Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

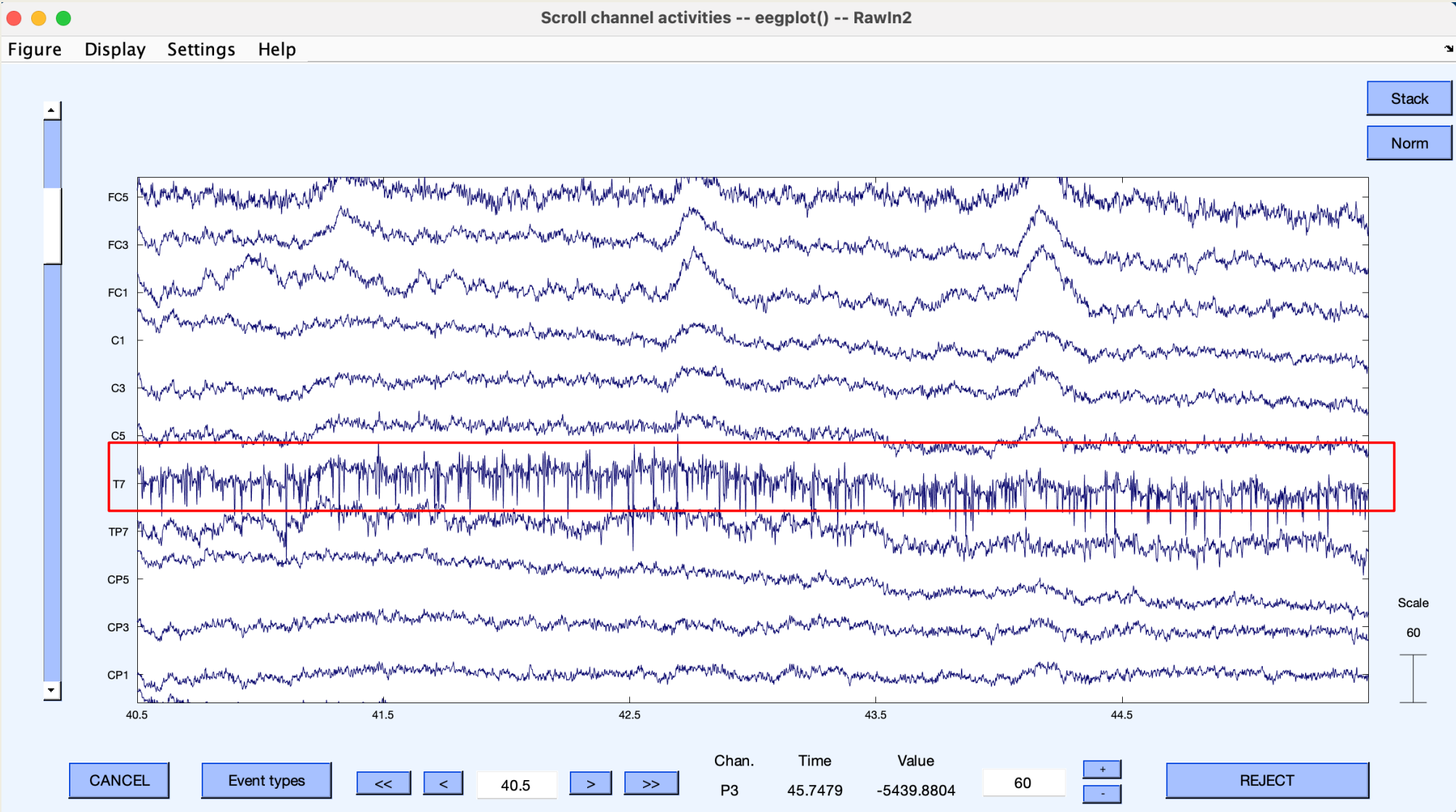
Il faut enlever le DC « offset » → toutes les électrodes ont une moyenne de 0
Display/Remove DC offset... mais seulement pour la visualisation...



Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

1. Quelle durée totale voit-on sur la figure?
2. Changez la durée présentée à 20 sec?
3. Changez l'échelle à $40\mu V$ (*micro volts*) ?
4. Sélectionnez le mode « Stack »....pourriez-vous suggérer une raison pour visualiser les signaux en ce mode?
5. En jouant avec les « Settings » et l'échelle en micro volts, présentez plus clairement le signal correspondant à l'électrode, T7.

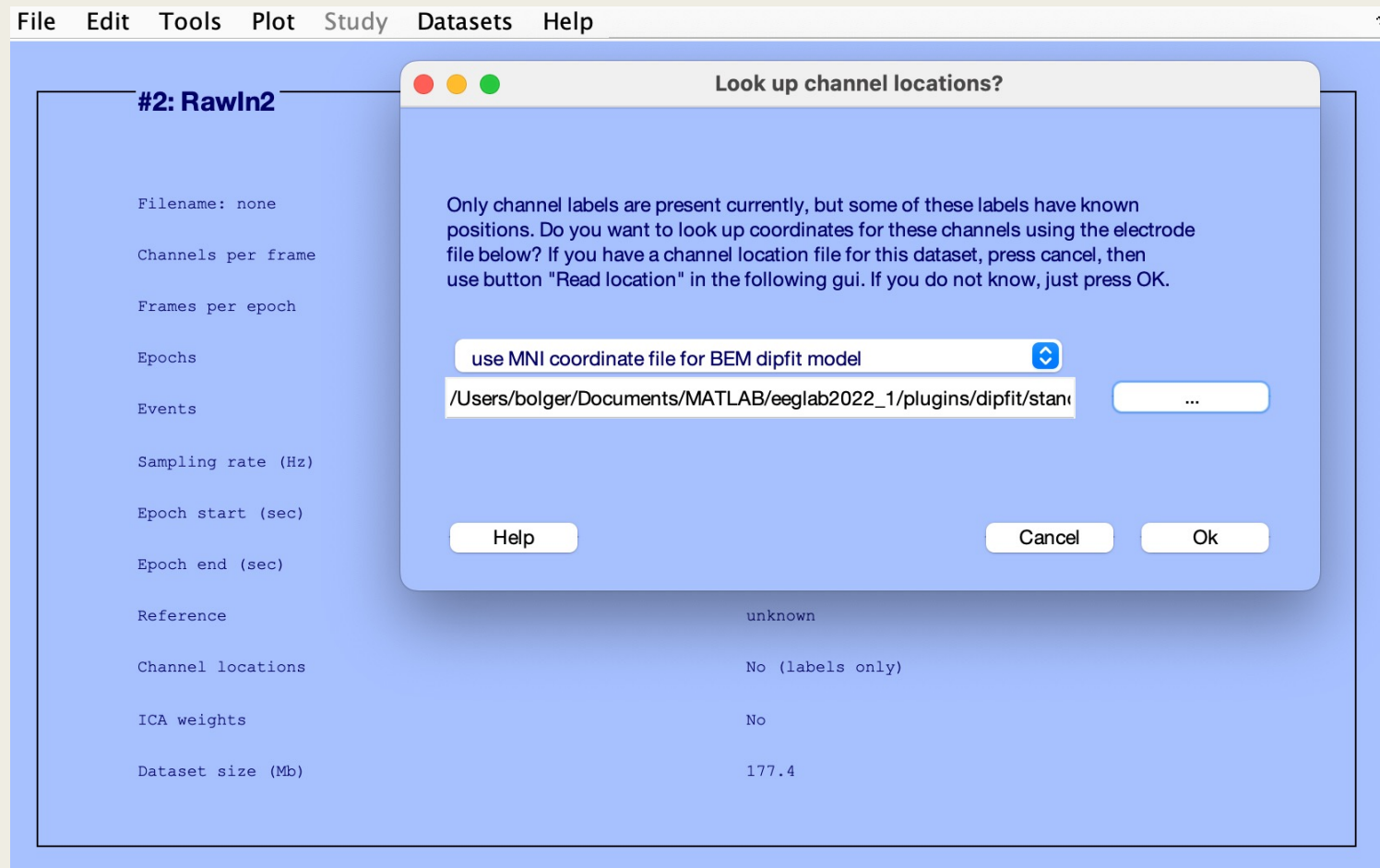
Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection



Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

/Users/bolger/Documents/MATLAB/eeglab2022_1/plugins/dipfitstandard-10-5-cap385.elx

Pour visualiser les topographies, il faut définir les « Channel Locations ».



Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

Plot 2D

Plot 3D (xyz)

Edit channel info -- pop_chanedit()

Channel information ("field_name"):

Channel label ("label")	Fp1	Opt. head center
Polar angle ("theta")	-17.926	Rotate axis
Polar radius ("radius")	0.51499	Transform axes
Cartesian X ("X")	80.784	Xyz -> polar & sph.
Cartesian Y ("Y")	26.133	Sph. -> polar & xyz
Cartesian Z ("Z")	-4.0011	Polar -> sph. & xyz
Spherical horiz. angle ("sph_theta")	17.926	Set head radius
Spherical azimuth angle ("sph_phi")	-2.698	Set channel types
Spherical radius ("sph_radius")	85	Set reference
Channel type	EEG	
Reference		
Index in backup 'urchanlocs' structure	1	
Channel in data array (set=yes)	<input checked="" type="checkbox"/>	

Delete chan Channel number (of 72)

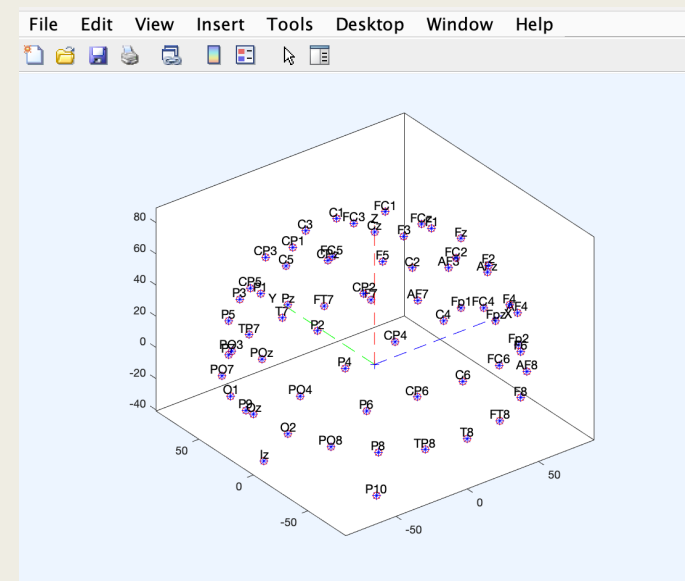
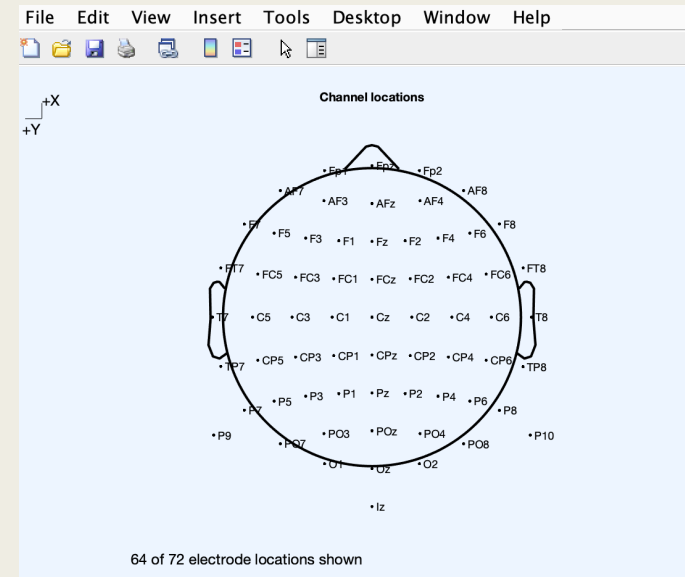
Insert chan << < 1 > >> Append chan

Plot 2-D Plot radius (0.2-1, []=auto) Nose along +X Plot 3-D (xyz)

Read locations Read locs help Look up locs Save (as .ced) Save (other types)

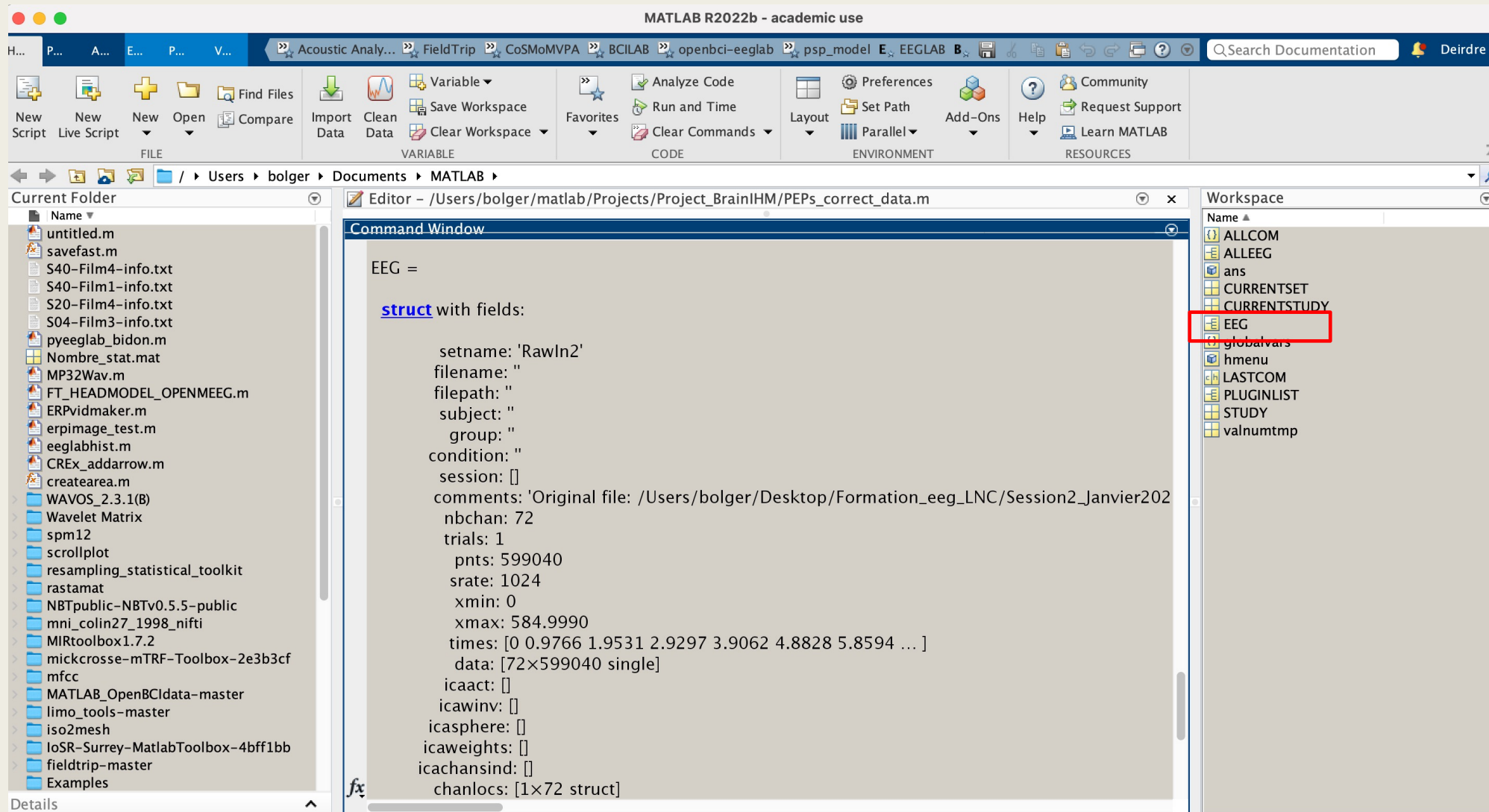
Overwrite Original Channels

Help Cancel Ok



Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

Le **EEG structure** contient toutes les informations sur le jeu de données actuel.



The screenshot displays the MATLAB R2022b - academic use interface. The Command Window shows the definition of the EEG structure:

```
EEG =  
  
struct with fields:  
  
    setname: 'RawIn2'  
    filename: ''  
    filepath: ''  
    subject: ''  
    group: ''  
    condition: ''  
    session: []  
    comments: 'Original file: /Users/bolger/Desktop/Formation_eeg_LNC/Session2_Janvier202'  
    nbchan: 72  
    trials: 1  
        pnts: 599040  
        srate: 1024  
        xmin: 0  
        xmax: 584.9990  
        times: [0 0.9766 1.9531 2.9297 3.9062 4.8828 5.8594 ... ]  
        data: [72x599040 single]  
    icaact: []  
    icawinv: []  
    icasphere: []  
    icaweights: []  
    icachansind: []  
    chanlocs: [1x72 struct]
```

The Workspace window on the right shows the current variables, with the **EEG** variable highlighted by a red box. Other variables visible include ALLCOM, ALLEEG, ans, CURRENTSET, CURRENTSTUDY, globalvars, hmenu, LASTCOM, PLUGINLIST, STUDY, and valnumtmp.

Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

EEG Structure

Accéder les informations sur les « channel locations » à partir de la ligne de commande en tapant dans le « Command Window » :

EEG.chanlocs

« **chanlocs** » est un « field » du structure « EEG »

« **urchans** » est un « sub-field » du field « **chanlocs** », pour l'accéder:

EEG.chanlocs.urchans ou **[EEG.chanlocs.urchans]**

Ce « sub-field » donne quelles information?

Pour présenter le sub-field « type »

{EEG.chanlocs.type} car le contenu est en format char

Pour accéder le « type » du 48^{ième} électrode: **EEG.chanlocs(48).type**

Pour accéder le « type » du 1^{er} au 5^{ième} électrode: **{EEG.chanlocs(1:5).type}**

Artefacts de l'EEG: Visualisation et Détection

A partir du structure EEG, présenter les informations suivantes:

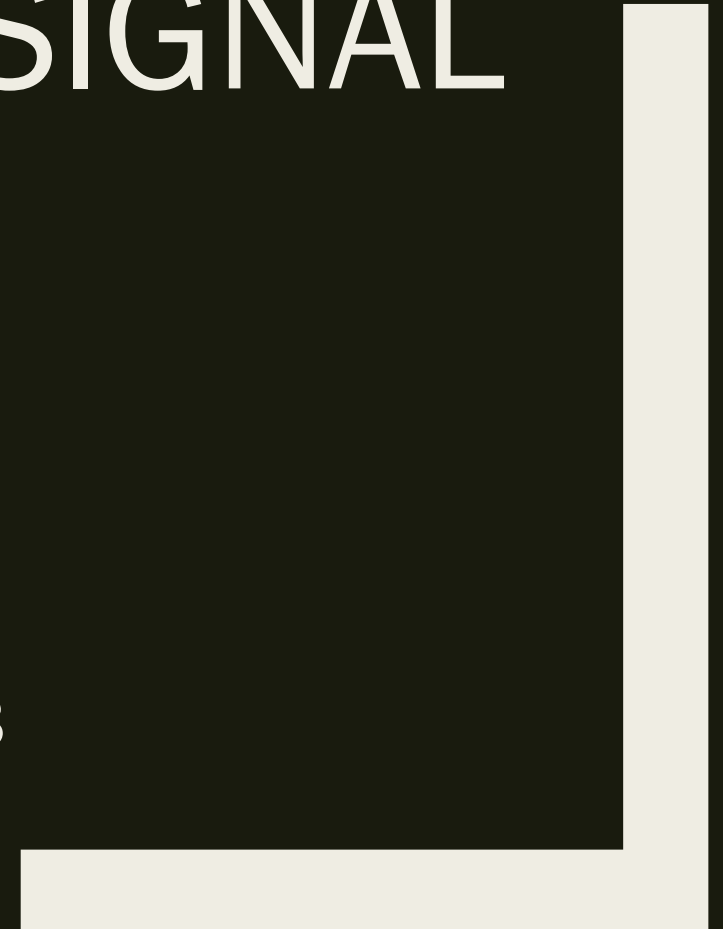
1. La fréquence d'échantillonnage
2. Le vecteur de temps
3. Le nombre de canaux/électrodes
4. Les labels de la 1^{er} au 5^{ième} électrodes.

TRAITEMENT DU SIGNAL

EEG

PARTIE 3

MARDI 24 JANVIER 2023
9H - 12H



Planning de la Séance 24-01-2023

Temps



PARTIE 3

1. Les bases de traitement des données EEG avec EEGLAB II (30mins):
 1. Interpolation (Spherical Spline vs. Planar)
 2. Independent Components Analysis (ICA)

PARTIE 2

1. Détecter et Visualiser les artéfacts. (45mins)
2. Travail pratique: traitement d'un jeu de données (1h30)

Recap d'hier...

- Charger les données (biogsig pour bdf, load pour *.set)
- Visualiser les données brutes (DC offset)
- Charge les positions XYZ, sphériques des électrodes.
- Références (moyenne ou linked mastoïdes)
- Ré-échantillonnage ($f_{\text{samp}}/2$)
- Filtrage (filtre passe-haut, filtre passe-bas)
- Détection/rejet des électrodes bruitées/intervalle de temps bruitée..

Interpolation des Electrodes

En EEG, à causes des effets de « volume conduction », les électrodes qui sont à côté ou très proches l'une de l'autre ont des voltages très similaires .



C'est possible de remplacer les électrodes enlevée par un signal qui est une **interpolation** des autres électrodes.

EEGLAB propose deux types d'interpolation:

- **Spherical Spline Interpolation**
- **Planar Interpolation**

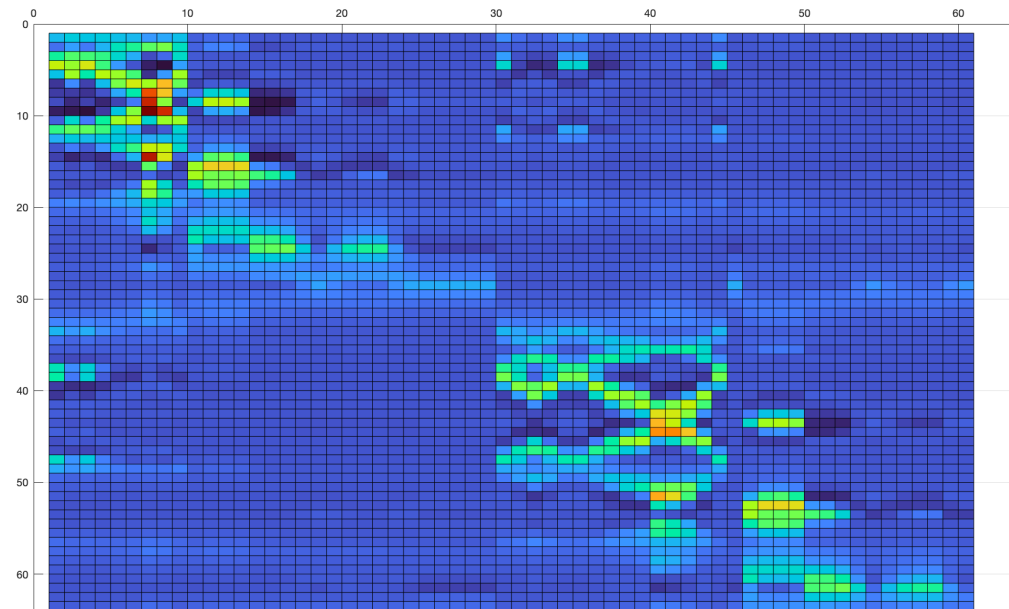
A noter !

Le signal enlevé n'est jamais recréé parfaitement. Le résultat de l'interpolation est une **approximation**.

Spherical Spline Interpolation

Spherical splines estimate the interpolated potential

1. Project good channels and bad channels onto a unit sphere.
2. Compute a mapping matrix, W , that maps good channels onto bad channels.
3. This mapping matrix is used to compute interpolated data for the bad channels.



Mapping matrix used to interpolate 3 bad channels (64 X 61 matrix)

Spherical Spline Interpolation

File Edit Tools Plot Study Datasets Help

#6: RawIn-rs-reref-filthi-filtlo...

Filename: none
Channels per frame
Frames per epoch
Epochs
Events
Sampling rate (Hz)
Epoch start (sec)
Epoch end (sec)
Reference
Channel locations
ICA weights
Dataset size (Mb)

Interpolate channel(s) -- pop_interp()

What channel(s) do you want to interpolate
none selected

Select from removed channels
Select from data channels
Use specific channels of other dataset
Use all channels from other dataset

Interpolation method Spherical

Note: for group level analysis, interpolate in STUDY

Help Cancel Ok

Si nous avons déjà enlevé les électrodes bruitées...

Choose dataset

Dataset index

5

Help Cancel Ok



INDEPENDENT
COMPONENTS ANALYSIS
(ICA)

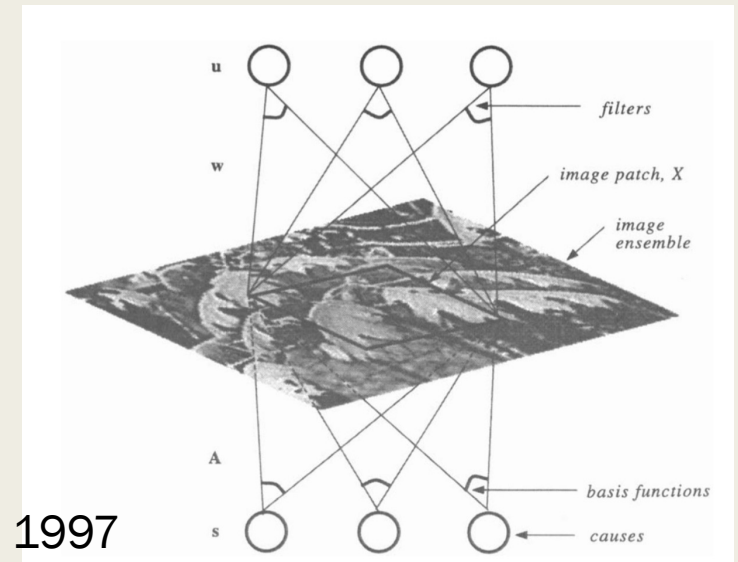
Independent Component Analysis (ICA)

A specific method for performing Blind Source Separation (BSS).

A data-driven method for decomposing a set of **observations** into a set of **statistically independent** components.

Independent Component Analysis (**ICA**) **demixes mutually independent sources** embedded in multivariate signals.

Used in biomedical signal processing, image and video analysis...



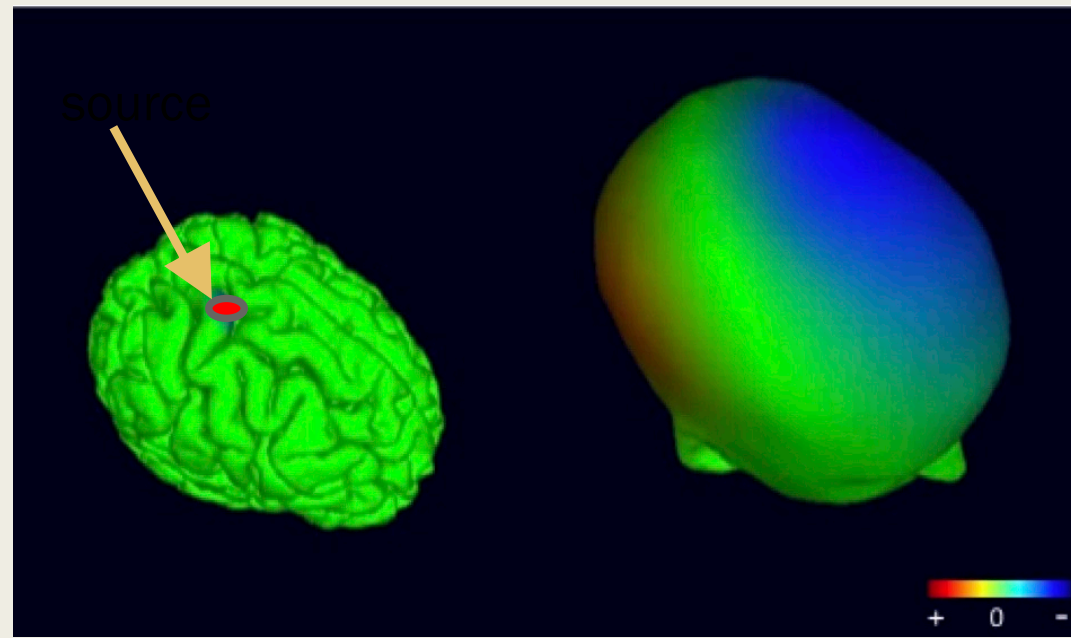
Bell & Sejnowski, 1997

Independent Component Analysis (ICA)

In EEG, what factor/s underlie how the source signals are mixed to form the mixture signals?

Neural activity is conducted to the scalp and sensors by **volume conduction**.

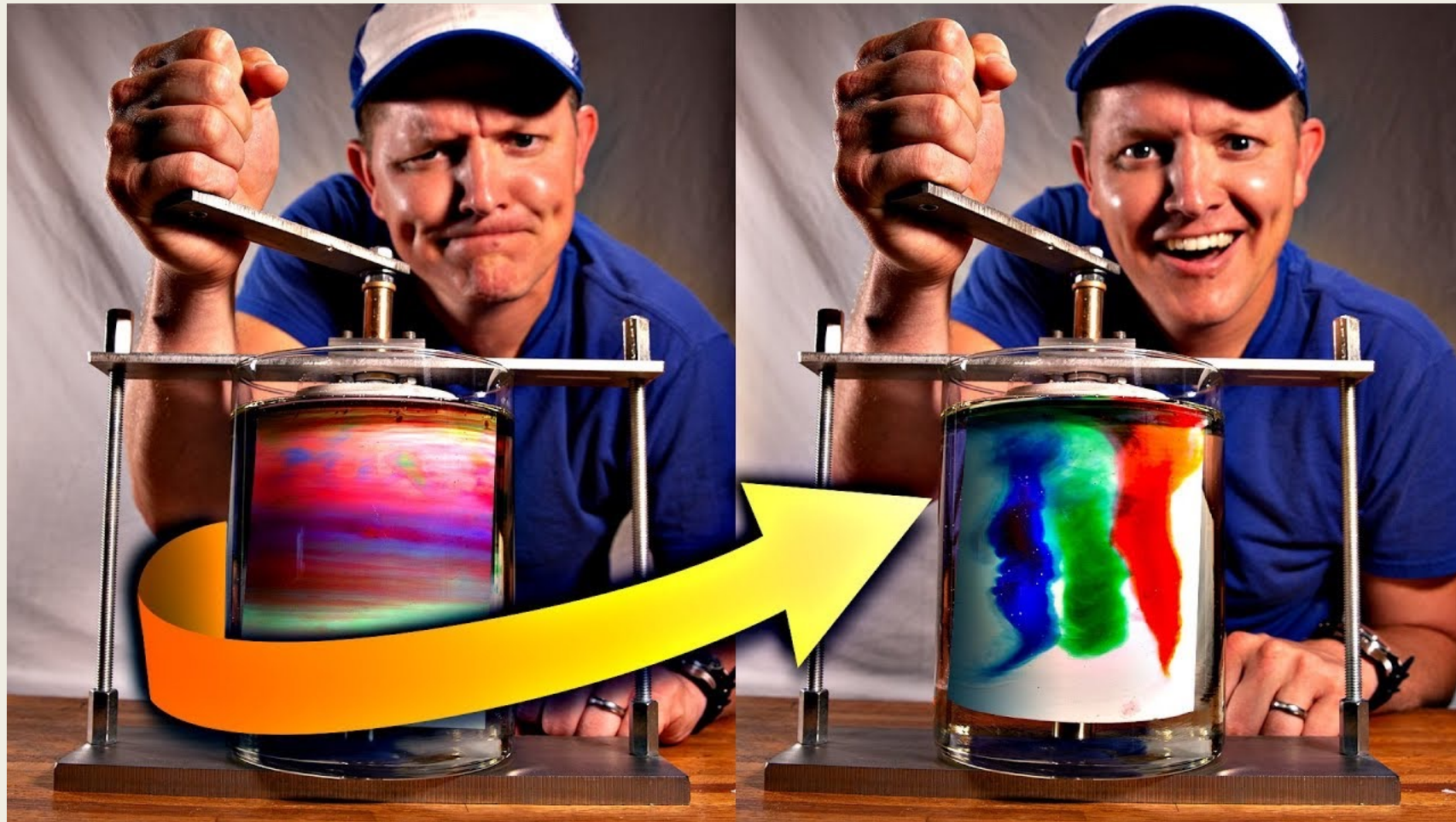
The activity at each sensor is a weighted sum of activity from different sources as well as sources of non-brain artifacts.



ICA: Mixing



ICA: Unmixing



THE COCKTAIL PARTY PROBLEM



Source signal 1 - s_1



Source signal 2 - s_2



Signal mixture 1 - x_1



Signal mixture 2 - x_2

a

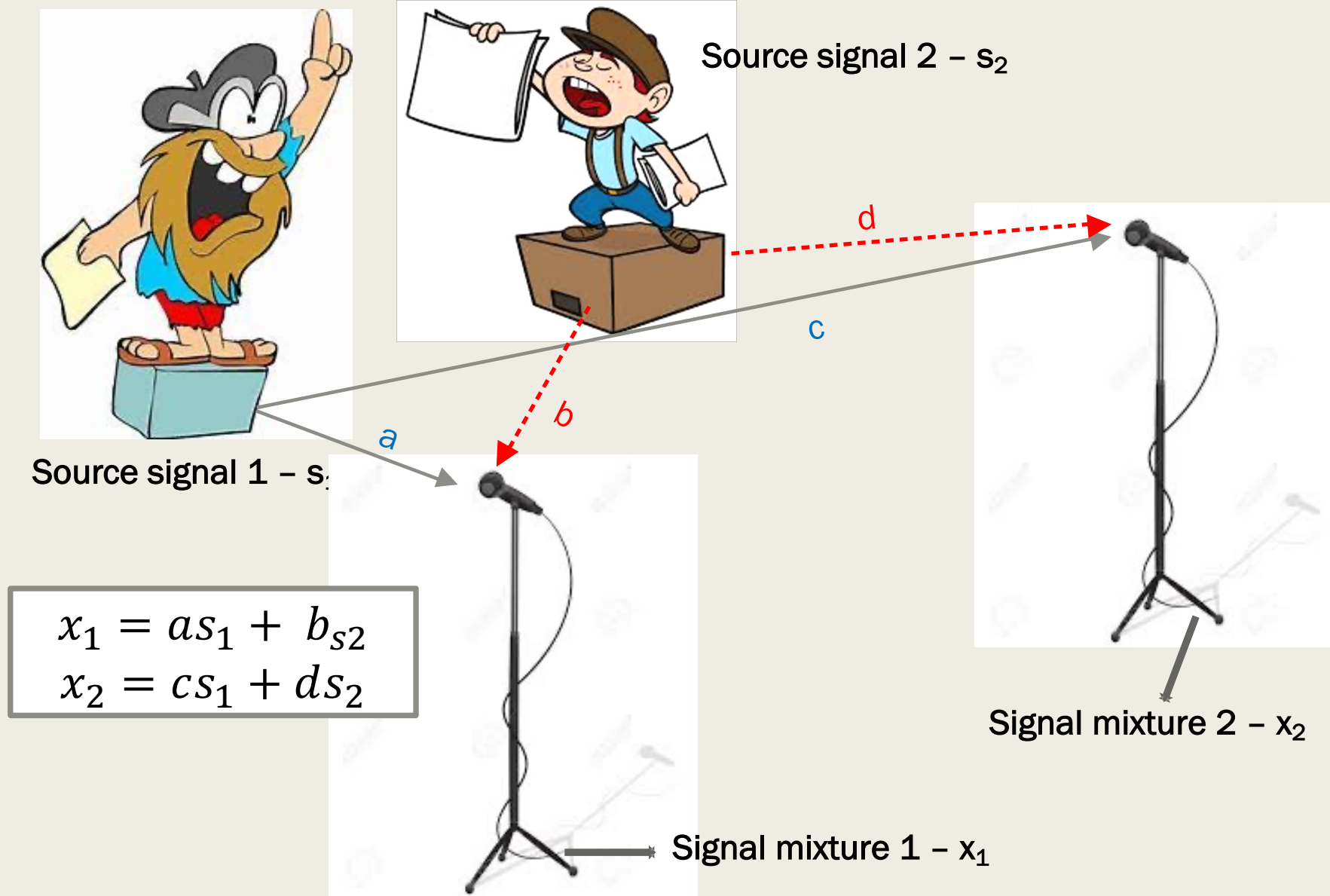
b

c

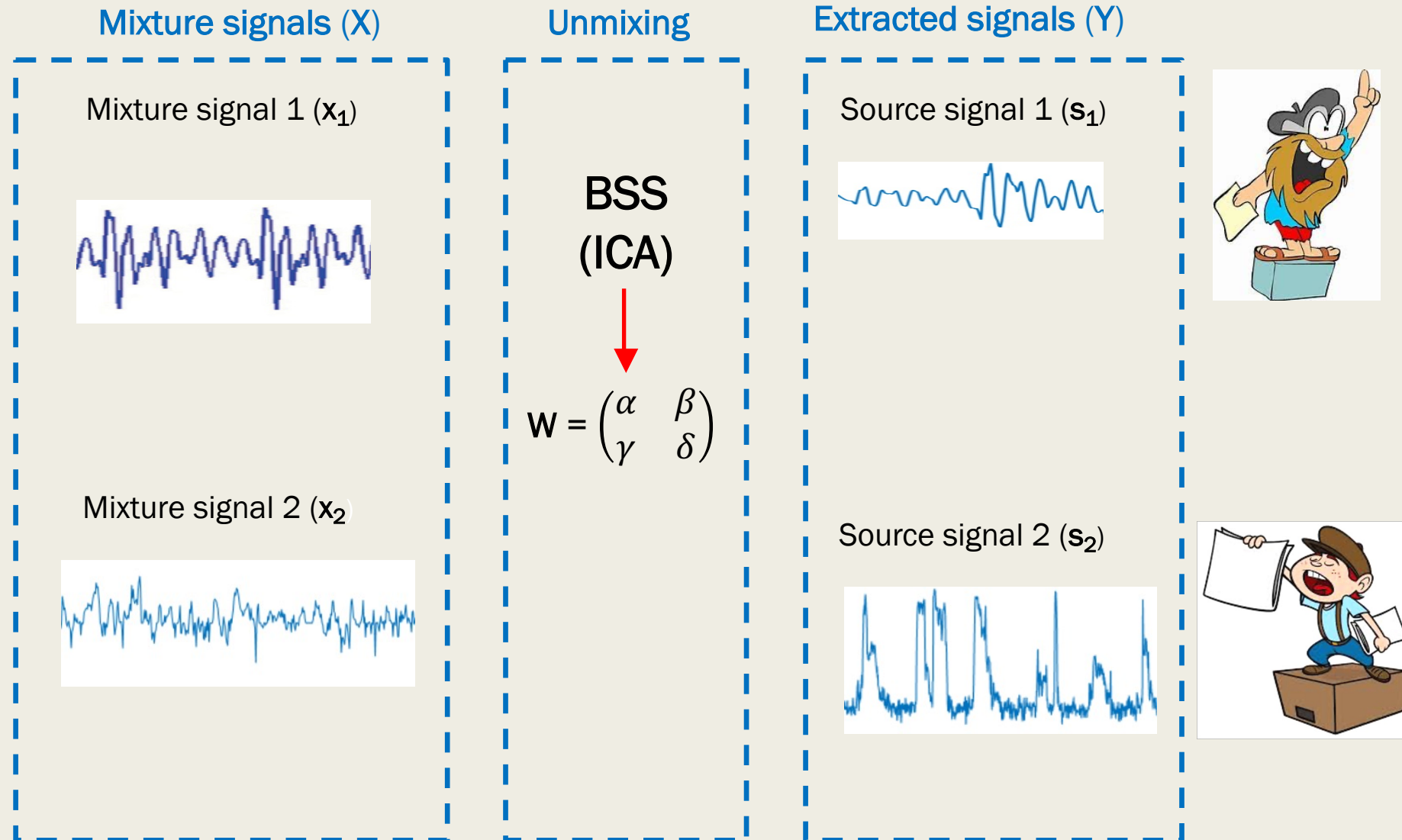
d



THE COCKTAIL PARTY PROBLEM



Unmixing



Independent Component Analysis (ICA)

Can be used to separate a set of signal mixtures into a set of source signals called **independent components**.

It assumes that the source signals extracted are **statistically independent**.

It assumes that the observed data is a **linear** mixture of the underlying sources.

Independent Component Analysis (ICA)

- The problem becomes one of searching for an unmixing matrix, W , that optimizes a measure of independence:
 - **Kurtosis**
 - Maximization of entropy or **negentropy**
 - Minimisation of **mutual independence**.
- The measures are based on our assumption about the sources and their probability densities:
 - Independent
 - Non-Gaussian
- Different ICA algorithms use different approaches to this optimization:
 - Gradient ascent...

Independent Component Analysis (ICA)

ICA: SOME AMBIGUITIES

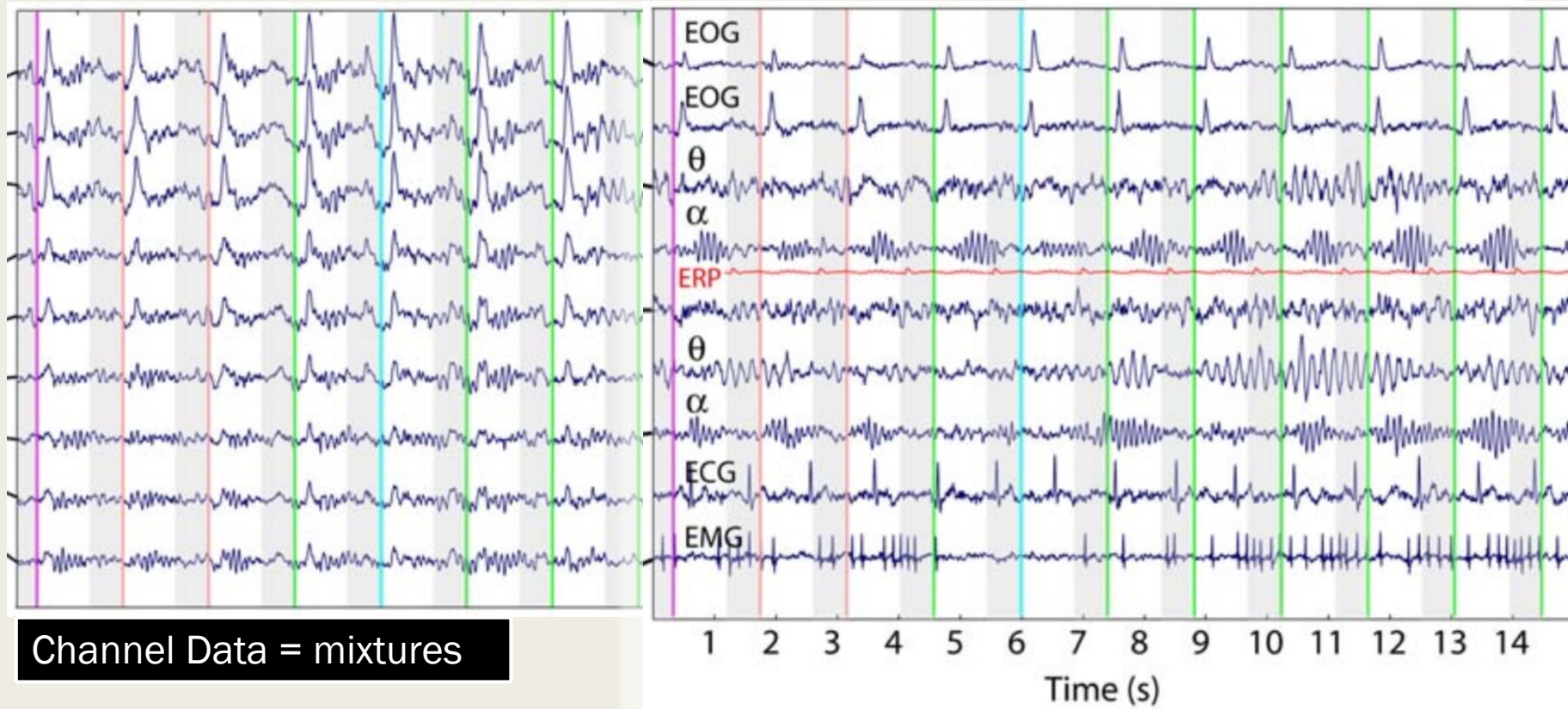
- ICA extracts source signals but not in any specific order
- ICA extracts a scaled version of the source signals.
- The sign of the independence components is not important.

ICA in EEG Processing & Analysis

In EEG, what are our mixture signals?

In EEG, what are our source signals?

Sources: brain signals,
non-brain artifact signals



ICA in EEG Processing & Analysis

What assumptions does ICA make about the signals recorded at the scalp level?

That the signals are the linear mixtures of cortical and non-cortical artifact signals.

What assumptions does ICA make about the volume conduction?

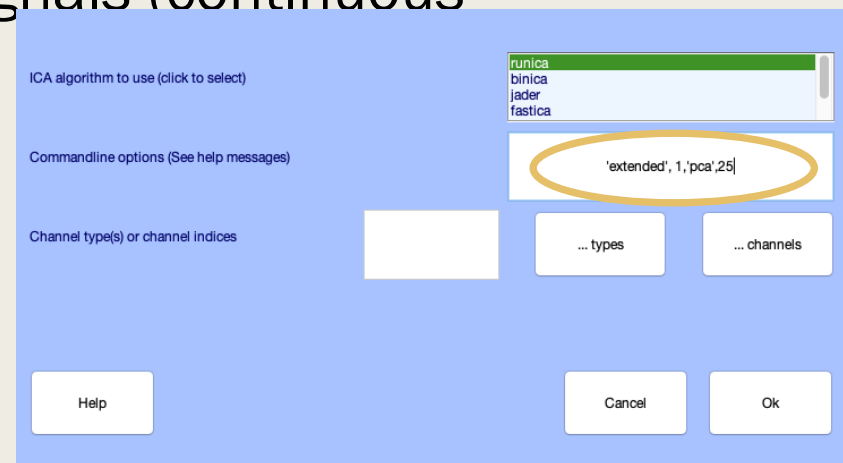
That the volume conduction is **instantaneous** and **linear**.

That the cortical and non-cortical EEG sources are **temporally distinct** and **temporally independent**.

Physiologically plausible?

ICA in EEG Processing & Analysis

- Applies the infomax ICA (Bell & Sejnowski, 1995).
- The `runica()` function alone extracts super-Gaussian signals (signals with transient structure such as eye-blinks, cardiac...).
- Option of « extended » ICA to extract **sub-Gaussian** signals (continuous signals such as line noise, alpha...)
- Possibility to define the number of Independent components « *ncomps* » in code but not advisable – use « PCA » instead.



By default, *randomseed generator* is reset each time the function is run → results will vary at each execution.

Possibility to change this using `rand('seed',value)`

```
832 - if reset_randomseed
833 -     rand('state',sum(100*clock)); % set the random number generator state to
834 - end                               % a position dependent on the system clock
```

ICA algorithm to use (click to select)

runica
binica
jader
fastica

Commandline options (See help messages)

'extended', 1, 'pca', 25|

Channel type(s) or channel indices

... types

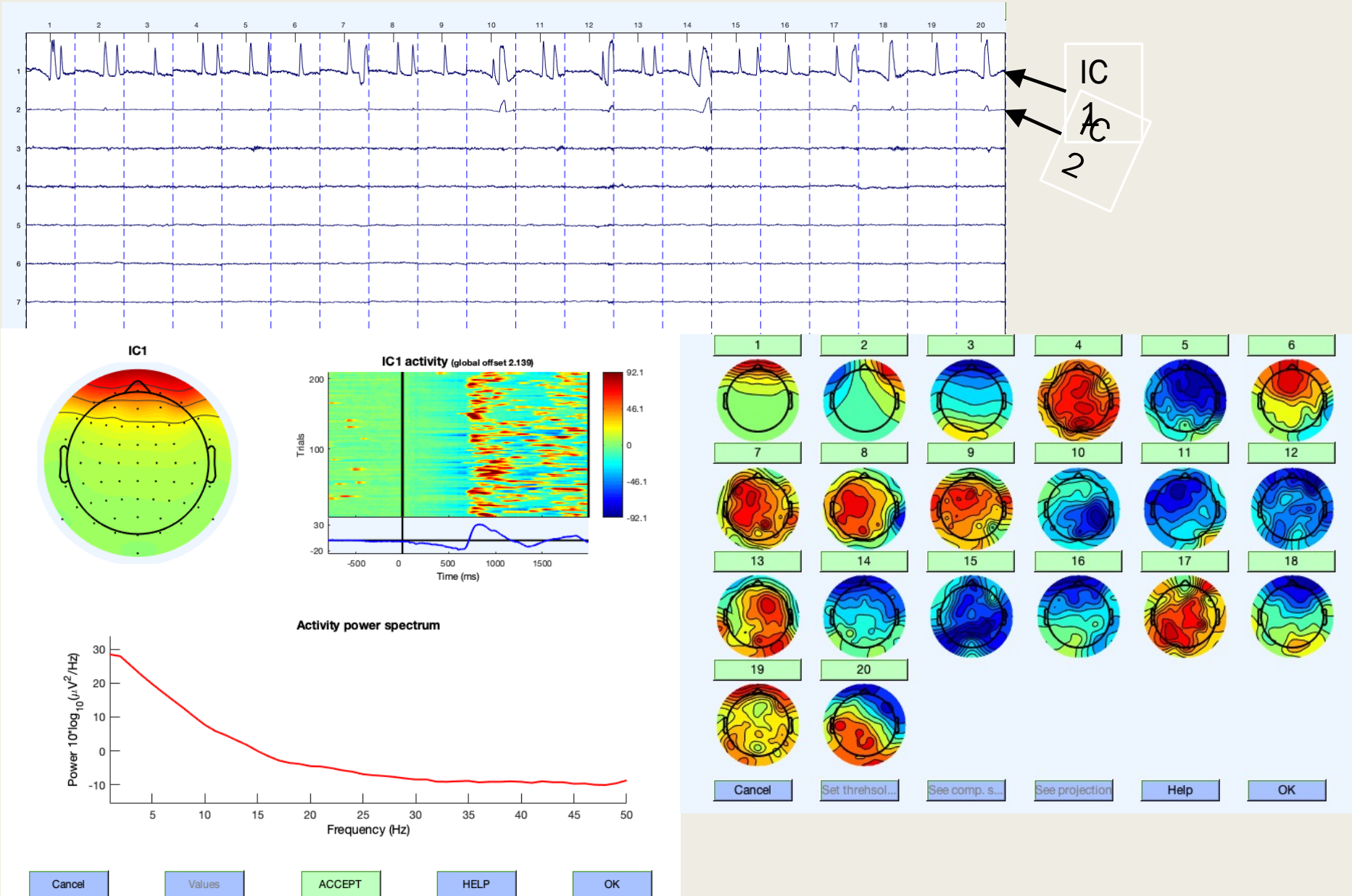
... channels

Help

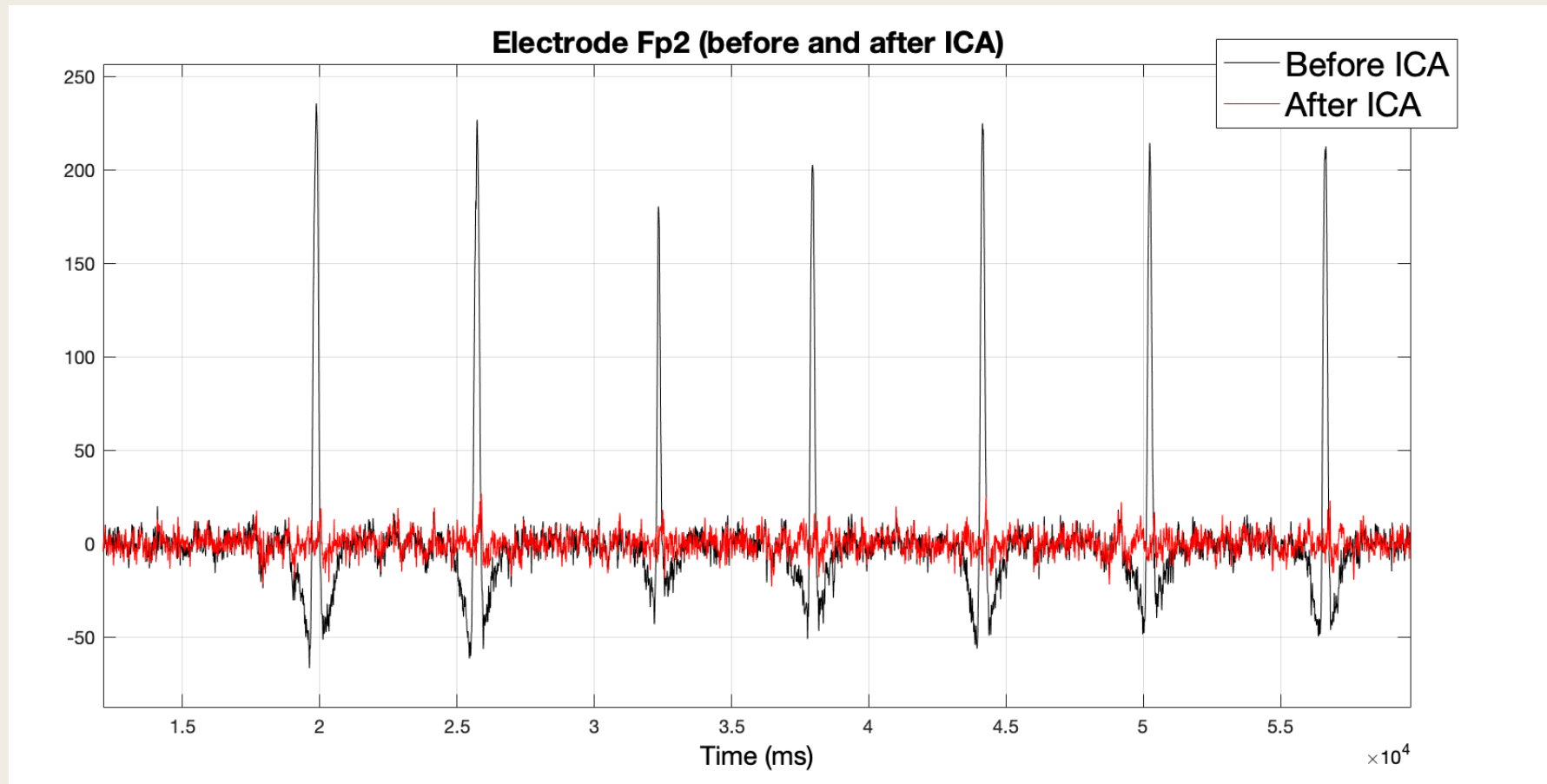
Cancel

Ok

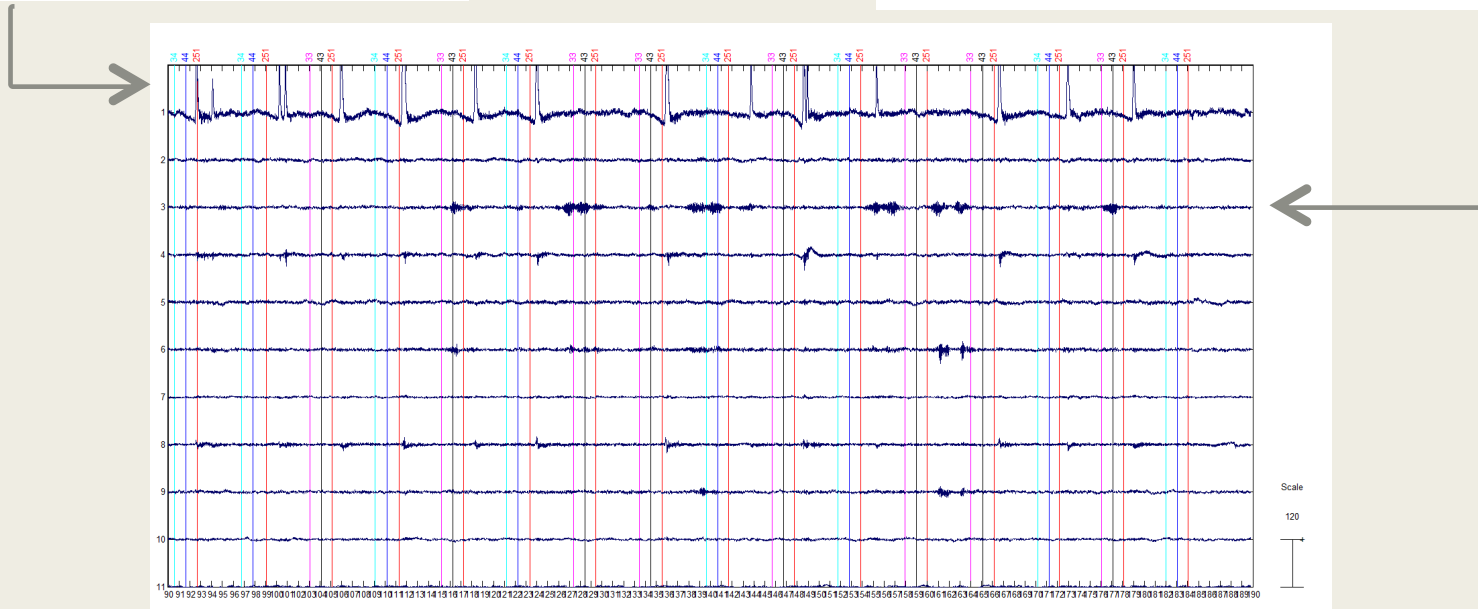
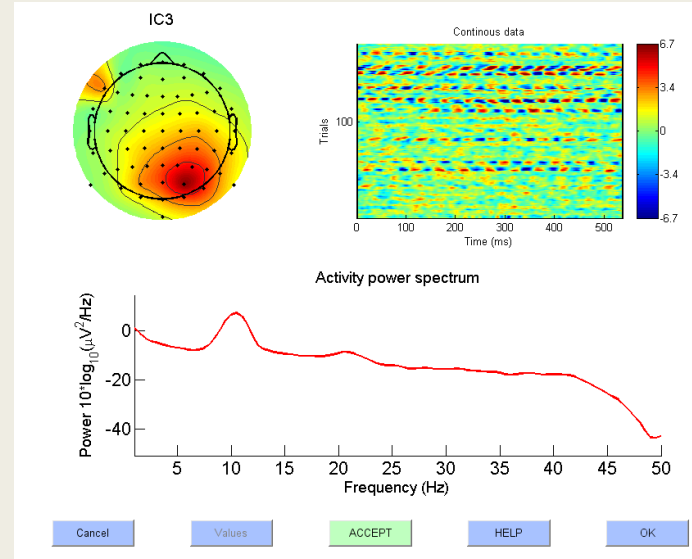
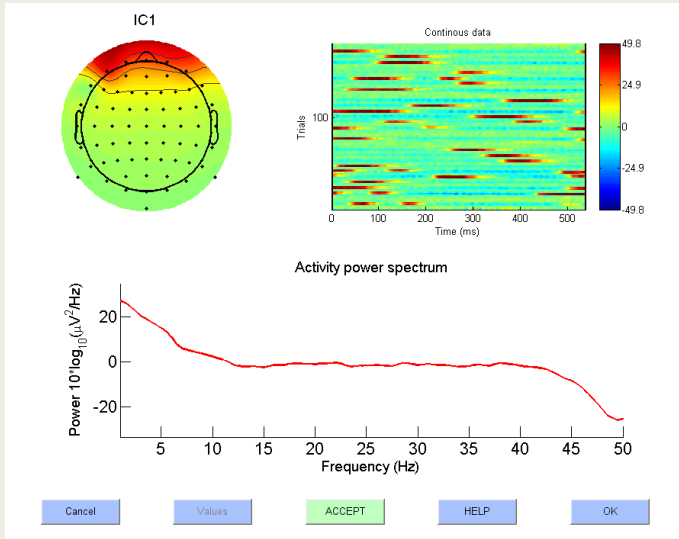
ICA in EEG Processing & Analysis



ICA in EEG Processing & Analysis



ICA in EEG Processing & Analysis



ICA in EEG Processing & Analysis

- Sufficient data...
 - Data needs to be high-pass filtered.
 - Do not perform on channels
 - that have been interpolated
 - corresponding to the reference channel
 - No bridges formed between electrodes during EEG acquisition
- Reduces the **Rank** of the data

If in doubt...verify the rank using: `rank(EEG.data(channels,:))`

If carrying out on epoched data, data should be baseline normalised...

ICA in EEG Processing & Analysis

For the EEG and MEG other possible approaches:

Spatial Filtering methods such as

- **Signal Space Projection (SSP)**
- Signal Space Separation (SSS)
- Temporal Signal Space Separation (tSSS)

Signal Space Projection (SSP) also decomposes the signals into components.

But components do not need to be statistically independent.

ICA in EEG Processing & Analysis

L'algorithme Runica (Infomax) peut prendre beaucoup de temps.

Une alternative plus rapide ... **acsobiro** – basé sur des statistiques de deuxième ordre et peut récupérer des composants avec une distribution presque Gaussienne.

TRAVAUX PRATIQUE



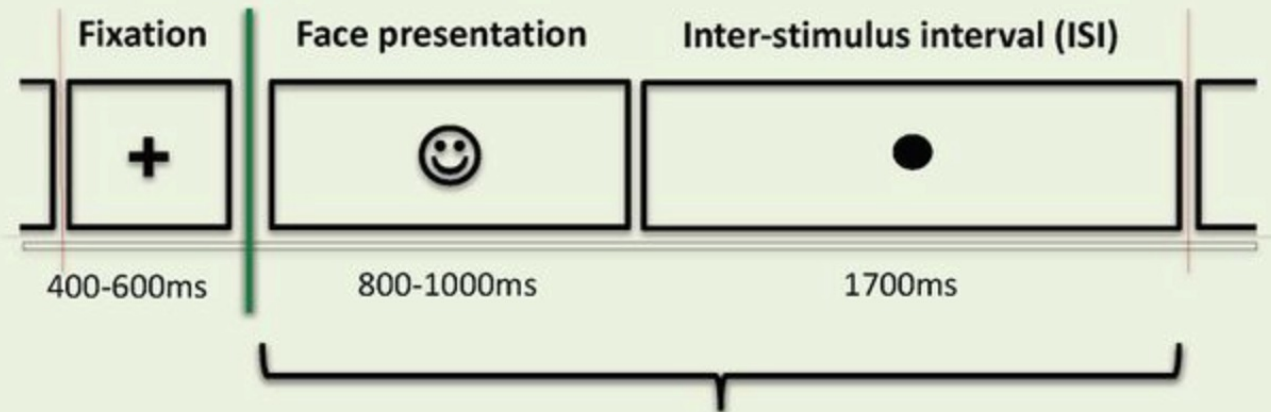
Wakeman-Henson Data

Trois types de stimuli présentés:

- Visages familiers
- Visages non-familiers
- Visages « scrambled »

[sub-002_eeg_sub-002_task-FaceRecognition_eegv2.set](#)

Trial structure



Les participants devaient juger le symétrie des visages et pousser une de deux boutons pour indiquer:

- Plus symétrique que la moyenne
- Moins symétrique que la moyenne...