



HAL
open science

Chaînes de traitement de données d'une tâche motrice en NIRS et comparaison avec l'IRM sur des sujets sains

Nolwenn Jégou, Elise Bannier, Emmanuel Caruyer, Isabelle Corouge

► To cite this version:

Nolwenn Jégou, Elise Bannier, Emmanuel Caruyer, Isabelle Corouge. Chaînes de traitement de données d'une tâche motrice en NIRS et comparaison avec l'IRM sur des sujets sains. Workshop "Acquisition multimodale et analyse des données", Dec 2022, Rennes, France. pp.28. hal-04308694

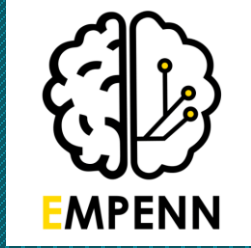
HAL Id: hal-04308694

<https://hal.science/hal-04308694>

Submitted on 6 Dec 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.



UNIVERSITÉ DE
RENNES 1



Chaînes de traitement de données d'une tâche motrice en NIRS et comparaison avec l'IRM sur des sujets sains.

**Nolwenn Jégou, ingénieure de recherche Université de Rennes 1
Empenn U1228 Inserm-Inria, IRISA UMR CNRS 6074**

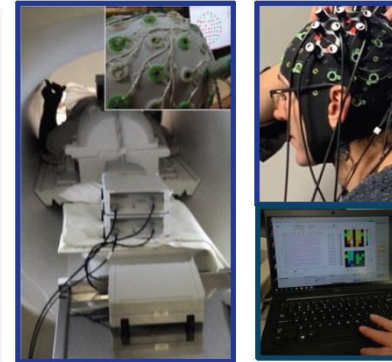
Workshop NIRS - Acquisition multimodale et analyse des données

Introduction

Neurinfo est une plateforme offrant des ressources d'imagerie pour le développement et la valorisation d'activités de recherche clinique, méthodologique et technologique.



IRM 3T Recherche



EEG-IRM NIRS-EEG-IRM

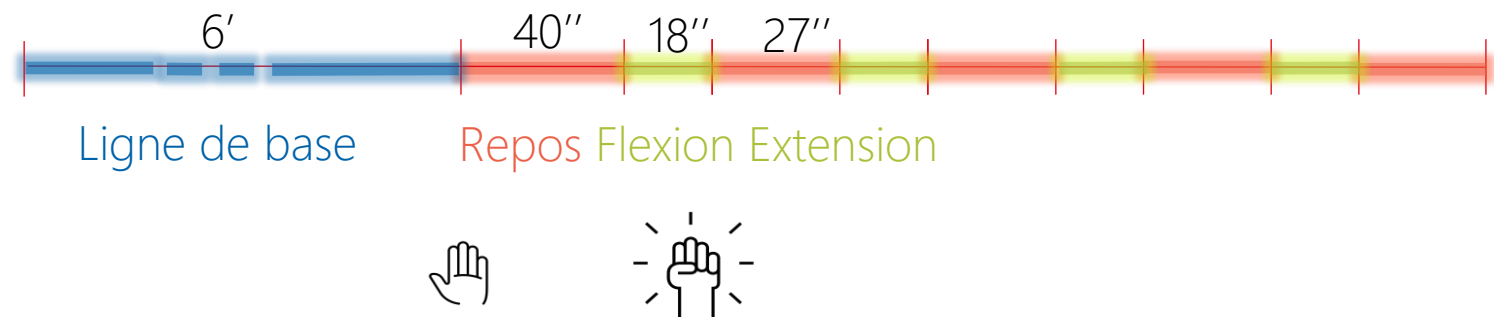
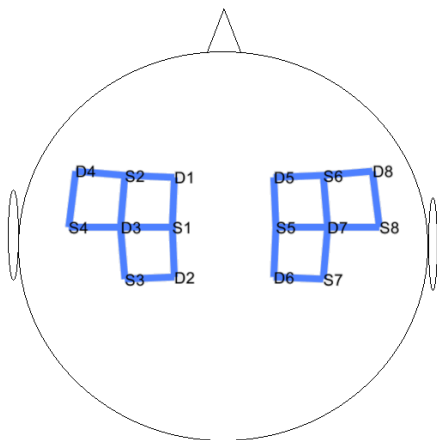
- IRM 3T Siemens Prisma
- Système EEG-IRM Brainproducts BrainAmp 64 canaux
- Dispositif NIRX NIRScout XP compatible EEG et IRM acquis en 2019
 - 8x8 en IRM
 - 16x16 hors IRM

Premier objectif : prendre en main la technologie et le traitement des données NIRS

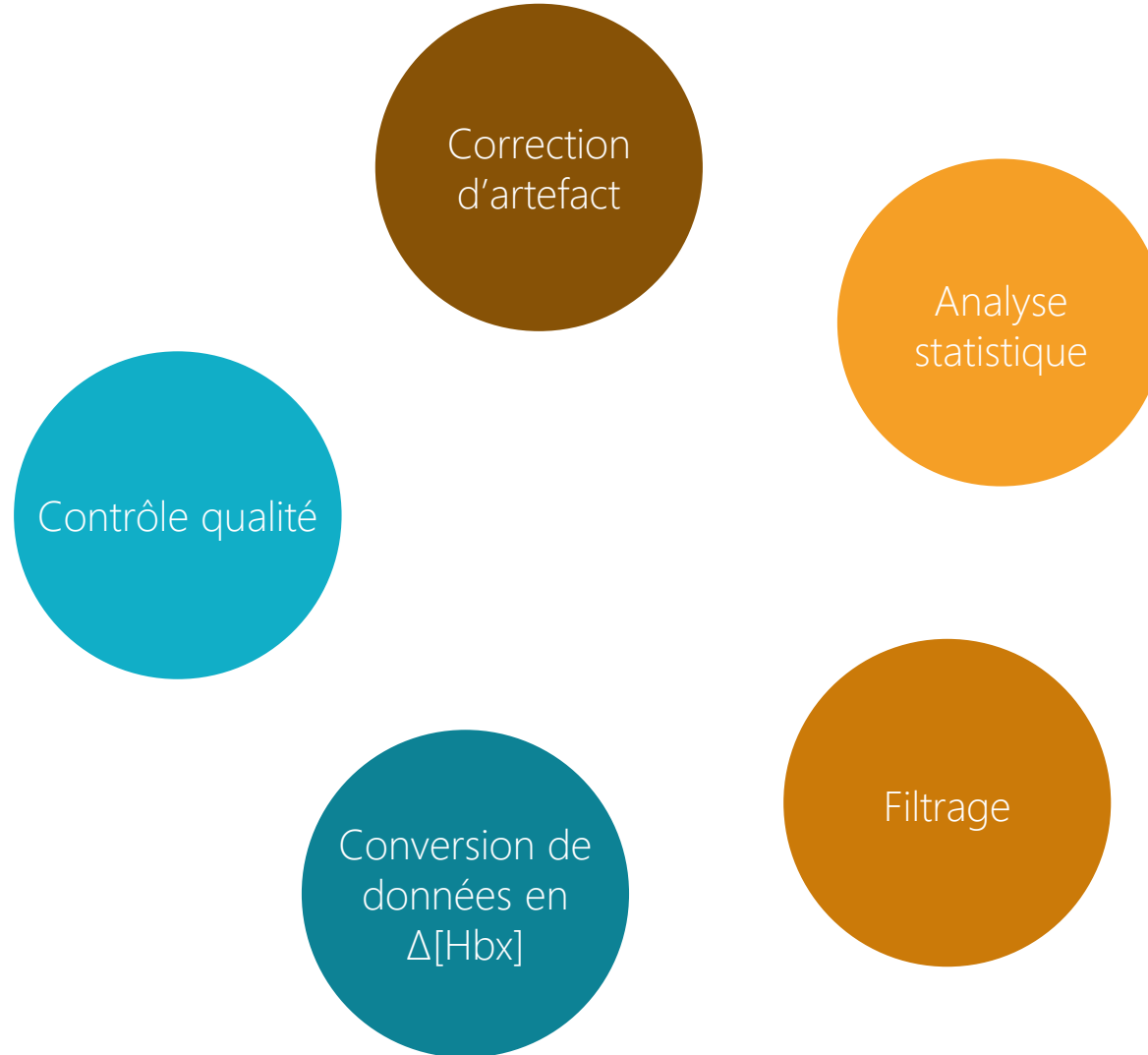
Protocole d'acquisition

11 sujets adultes sains

- Données IRM et NIRS acquises **simultanément** (pas de short channels compatible IRM)
 - Tâche motrice - Paradigme en bloc : Ouverture et fermeture de la main à une fréquence d'1Hz pendant 18s en alternance avec des phases de repos de 27s
 - 2 sessions : une séquence IRMf BOLD simultanée et une séquence IRMf de perfusion ASL simultanée

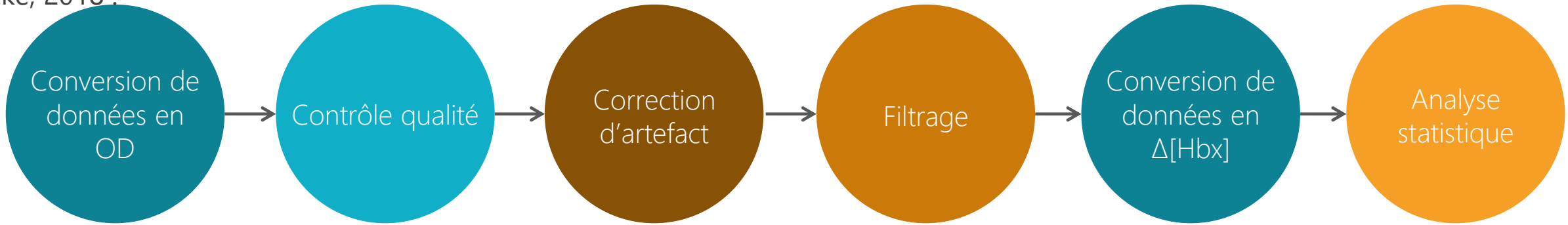


Etapes de traitement

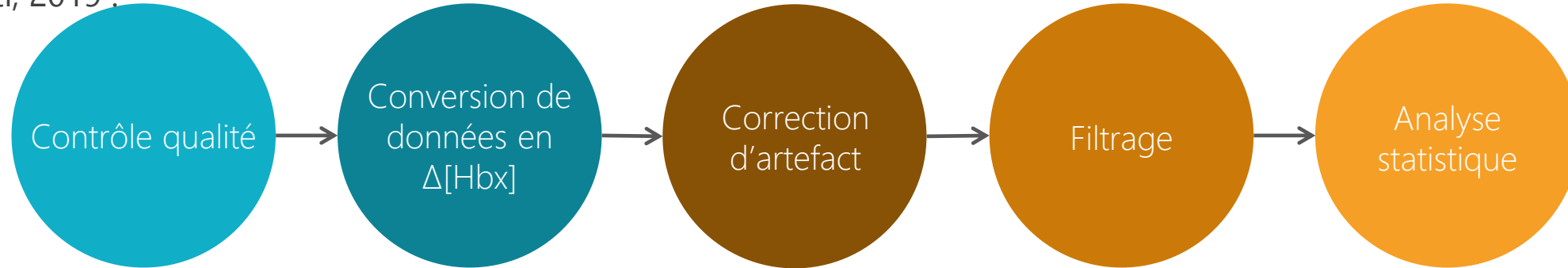


Plusieurs chaînes de traitement

Hocke, 2018 :



Pinti, 2019 :



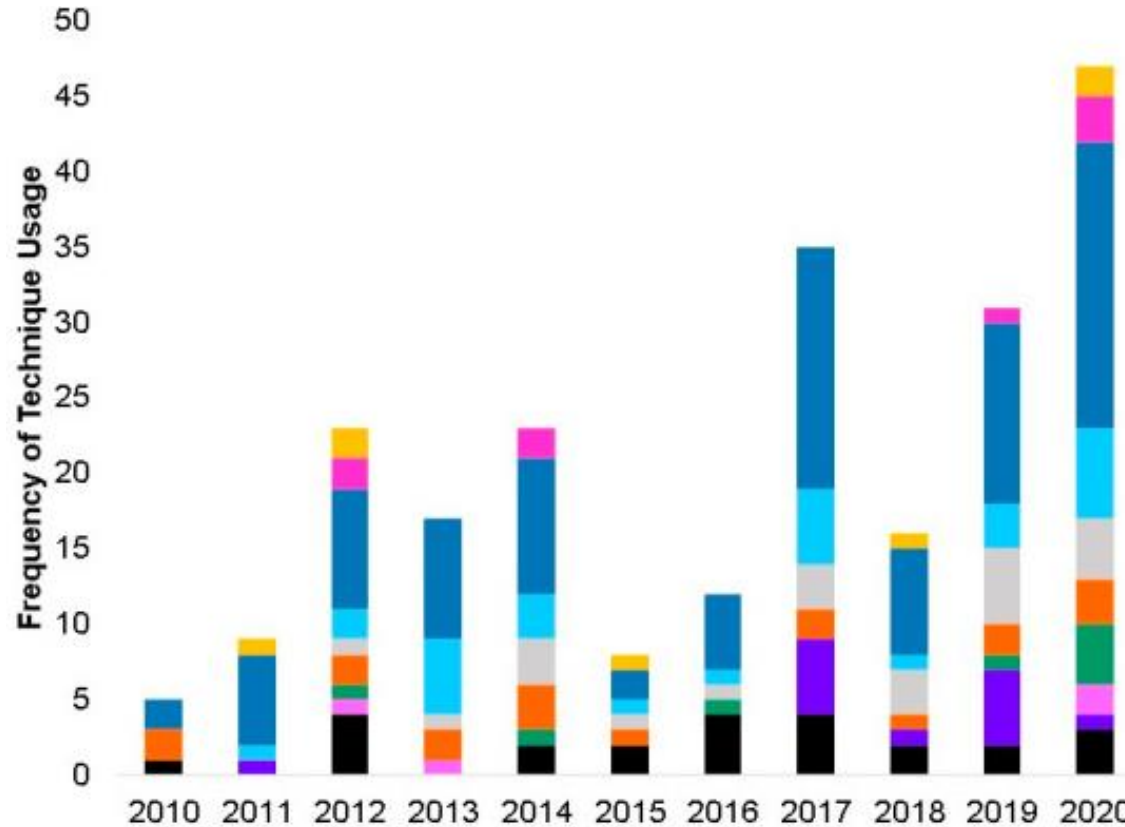
Yücel, 2021 :



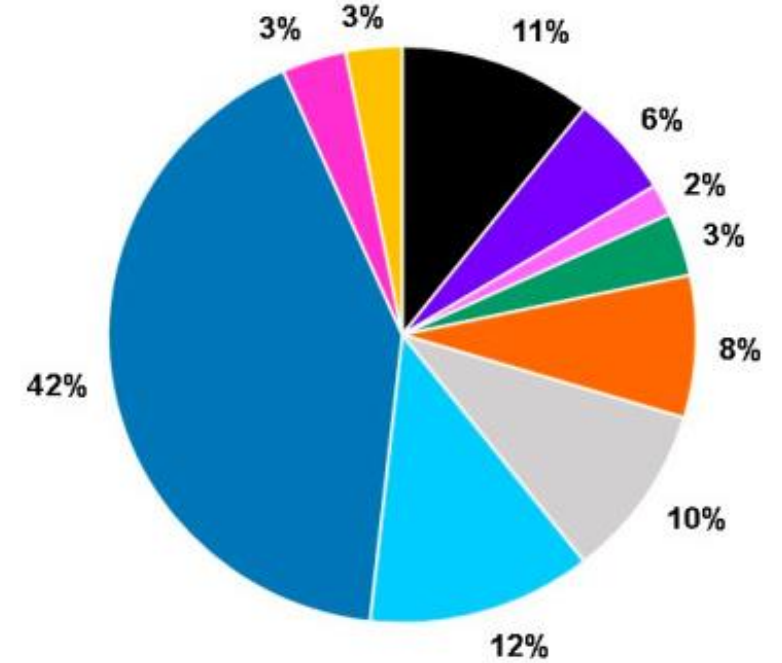
Plusieurs chaînes de traitement

Type of Pre-Processing and Processing Technique

- PCA
- Spline Interpolation
- Freq. Filters
- GLM
- Wavelet
- Smoothing
- SSC Regression
- Prewhitening
- Linear Mixed Effects Model
- Block Averaging



Percentage of techniques collapsed over the past decade

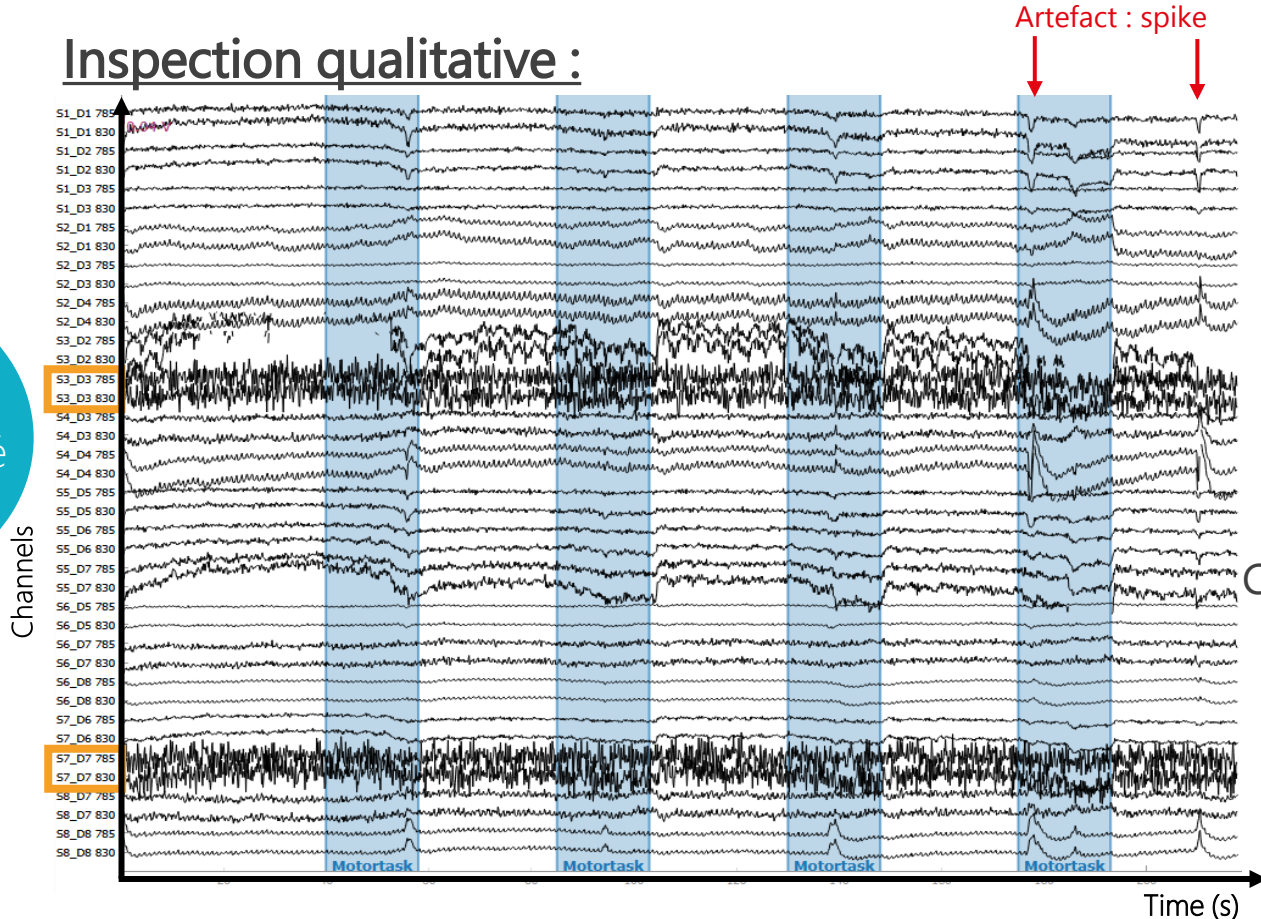


“When choosing techniques for a processing stream, it is important to take the specific characteristics of the fNIRS dataset into account.”

Contrôle qualité

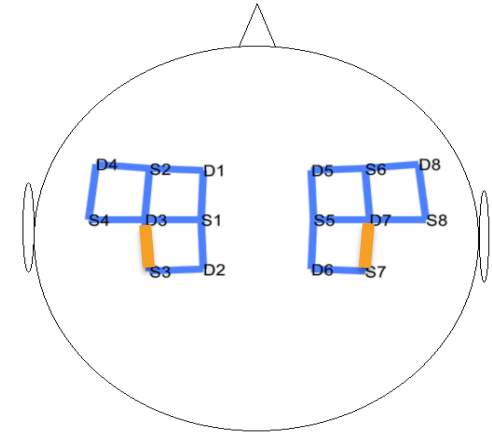
Contrôle qualité

Inspection qualitative :

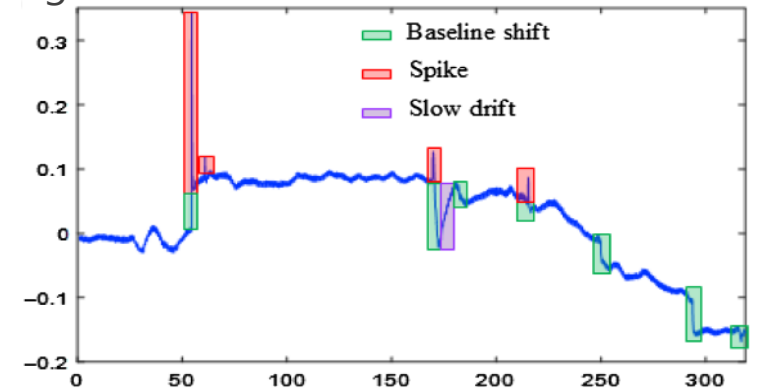


Décours temporel du signal NIRS du sujet 5 – session 1

Layout moteur :

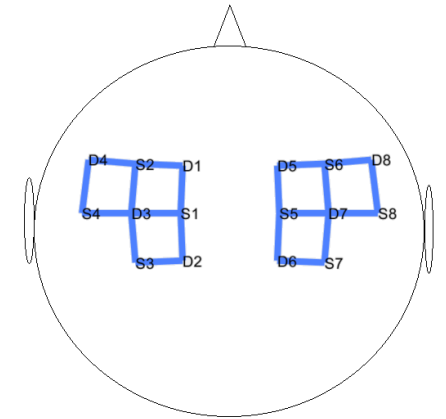
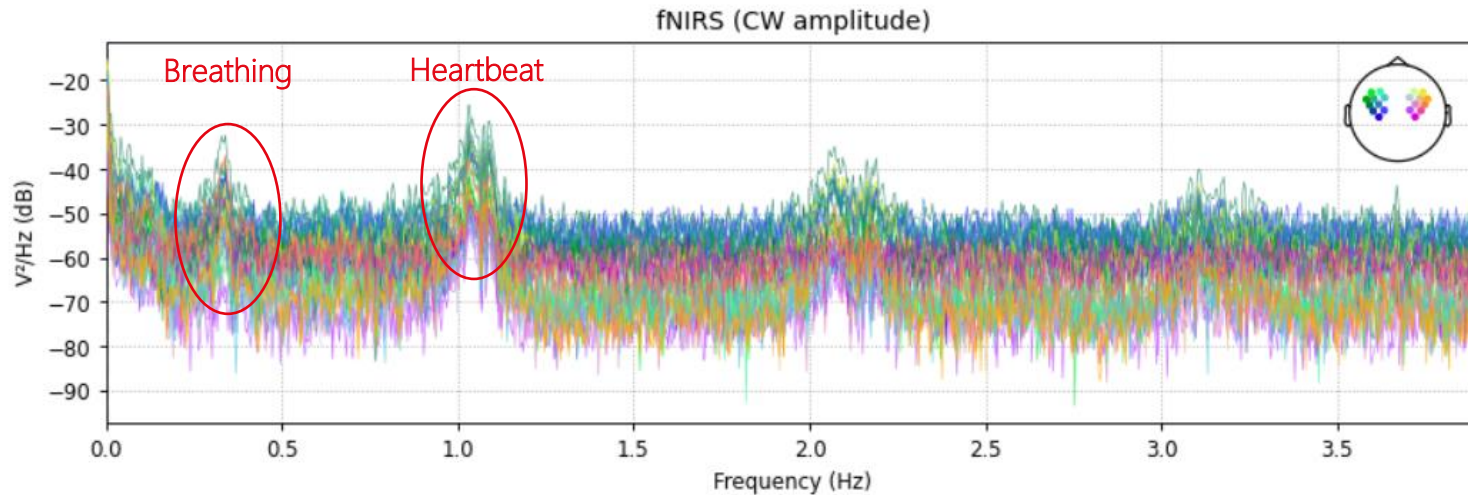


Catégorisation des artefacts dans la littérature :



Contrôle qualité

Inspection qualitative



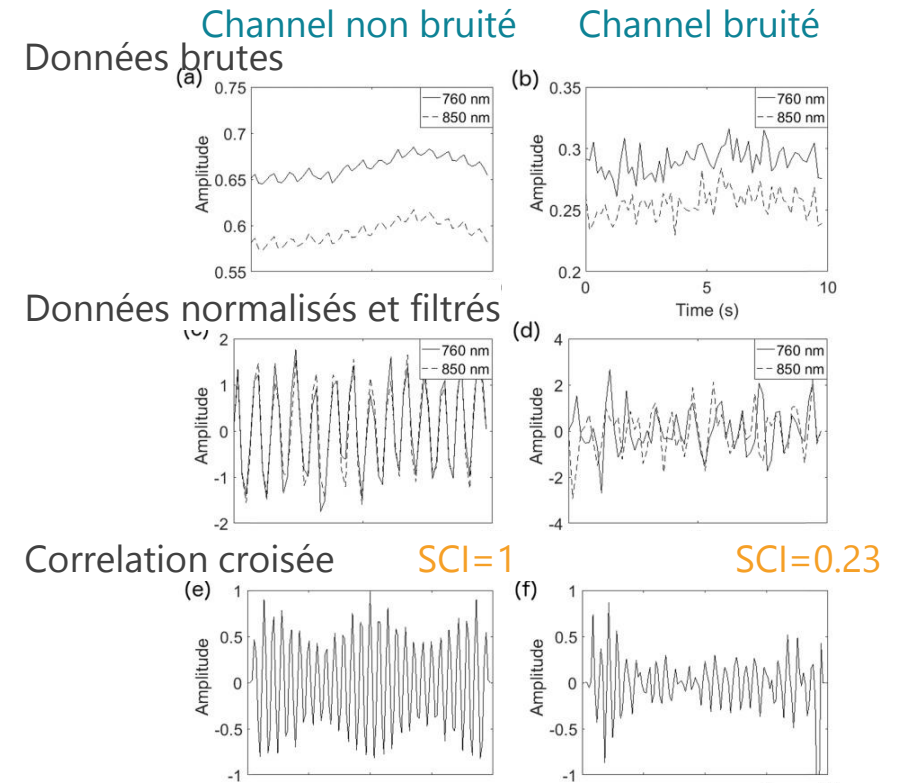
Décours fréquentiel du signal NIRS du sujet 5 – session 1

- La présence de la fréquence cardiaque reflète un couplage des optodes avec le scalp

Contrôle qualité

Mesures quantitatives

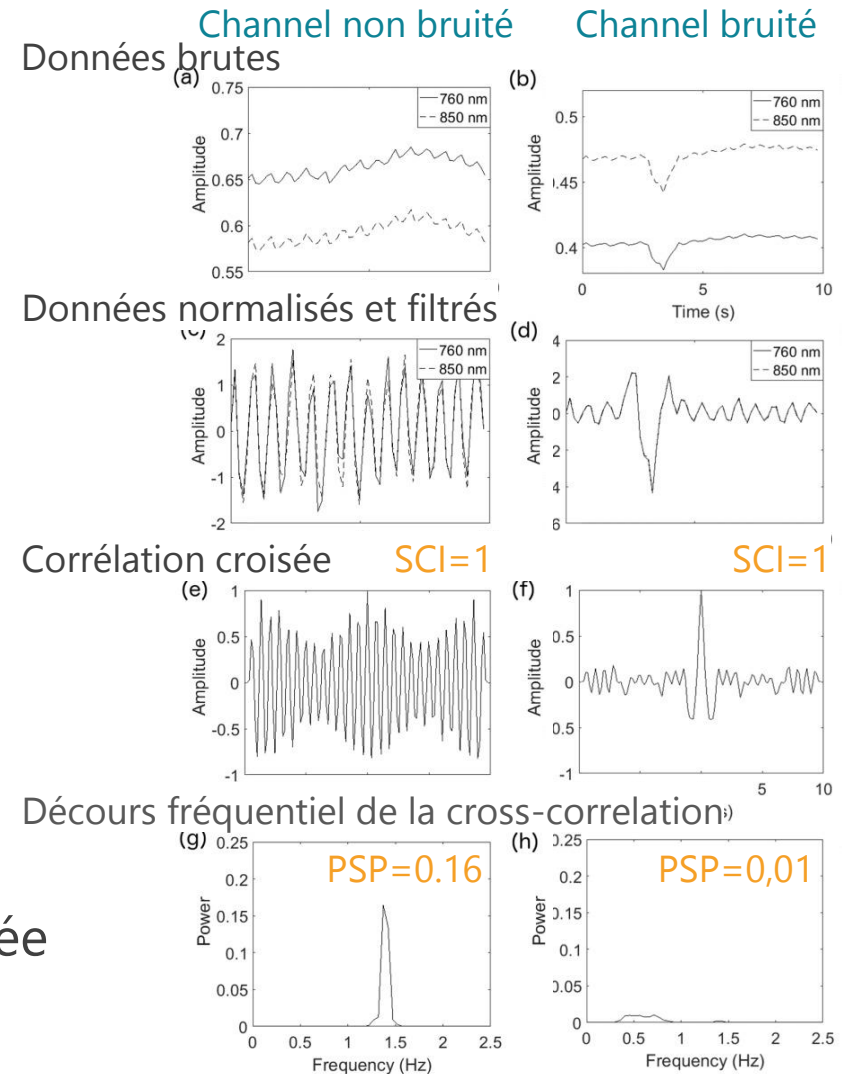
- Rapport signal à bruit (SNR) :
 - $\text{Mean}(s)/\text{Std}(s)$
 - Seuil recommandé : 8 (Novi, 2018)
3 (Jahani, 2018)
- Scalp coupling index (SCI) :
 - Filtre autour de la composante cardiaque
 - Normalisation
 - Corrélation croisée
 - Seuil recommandé : 0,8 (Pollonini, 2016)
- Peak spectral power (PSP) :
 - Décours fréquentiel de la corrélation croisée
 - Seuil recommandé : 0,1 (Pollonini, 2016)



Contrôle qualité

Mesures quantitatives :

- Rapport signal à bruit (SNR) :
 - $\text{Mean}(s)/\text{Std}(s)$
 - Seuil recommandé : 8 (Novi, 2018)
3 (Jahani, 2018)
- Scalp coupling index (SCI) :
 - Filtre autour de la composante cardiaque
 - Normalisation
 - Corrélation croisée
 - Seuil recommandé : 0,8 (Pollonini, 2016)
- Peak spectral power (PSP) :
 - Décours fréquentiel de la corrélation croisée
 - Seuil recommandé : 0,1 (Pollonini, 2016)
- Scripts [QT-MNE](#) (Python) et [QT-NIRS](#) (Matlab)



Contrôle qualité

Scripts:

QT-NIRS (MATLAB – NIRStoolbox - Homer)

Basé sur Montero Hernandez, 2020

- SCI
- SCI fenêtré
- PSP fenêtré

Un channel est accepté si 90% du signal a un bon SCI et PSP

MNE-NIRS (Python)

Basés sur on Montero Hernandez, 2020, Pollonini, 2014 & Pollonini, 2016

- SCI
- SCI fenêtré
- PSP fenêtré

Basé sur les même papier, ils obtiennent des résultats différents de SCI, PSP et finalement différents canaux rejetés ou non



Contrôle qualité

Correction d'artefacts

Que fait on avec ces artefacts ?

- Rejet de channel
- Rejet localisé du signal contaminé
- Correction d'artefacts

Méthodes de correction d'artefact :

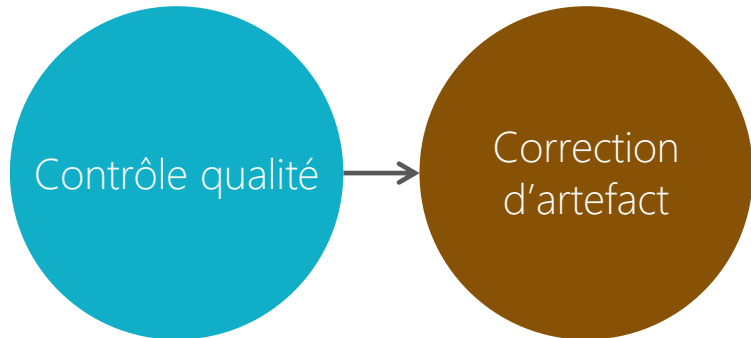
- Analyse en composantes principale (ACP) (Zhang, 2005)
- Interpolation Spline (Jahani, 2018)
- Filtrage basé ondelettes (Molavi, 2012)

Recommandations de Brigadoi, 2014 :

- Correction des artefacts préférable à leur rejet du signal
- Méthode préconisée : filtrage ondelettes

Pas de recommandations particulières pour Yücel, 2021

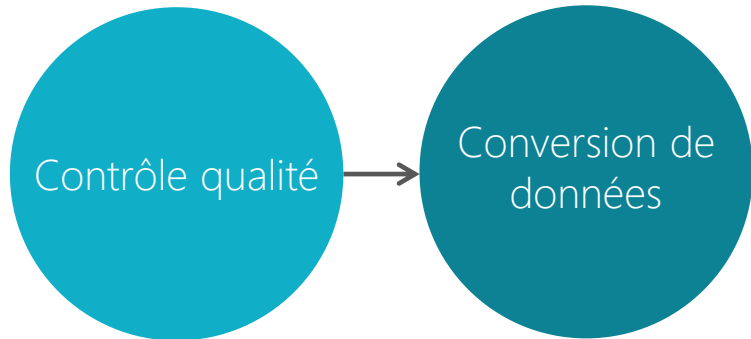
Bloc en cours d'implémentation dans notre chaine de traitement



Conversion de données

Conversion des variations d'intensité en **densité optique** : $\Delta OD(t, \lambda) = -\log_{10} \left(\frac{I(t_1, \lambda)}{I(t_0, \lambda)} \right)$

Conversion de la densité optique en **variation de concentration** $\Delta[\text{Hbx}]$ avec la loi de **Beer-Lambert modifiée** :



$$\Delta OD(\Delta t, \lambda) = \sum_i \varepsilon_i(\lambda) \Delta c_i \text{DPF}(\lambda) d,$$

$$\begin{bmatrix} \Delta[\text{HHb}] \\ \Delta[\text{O}_2\text{Hb}] \end{bmatrix} = (d)^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_{\text{HHb}, \lambda_1} & \varepsilon_{\text{O}_2\text{Hb}, \lambda_1} \\ \varepsilon_{\text{HHb}, \lambda_2} & \varepsilon_{\text{O}_2\text{Hb}, \lambda_2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta OD(\Delta t, \lambda_1) / \text{DPF}(\lambda_1) \\ \Delta OD(\Delta t, \lambda_2) / \text{DPF}(\lambda_2) \end{bmatrix}$$

ε : Molar extinction factor

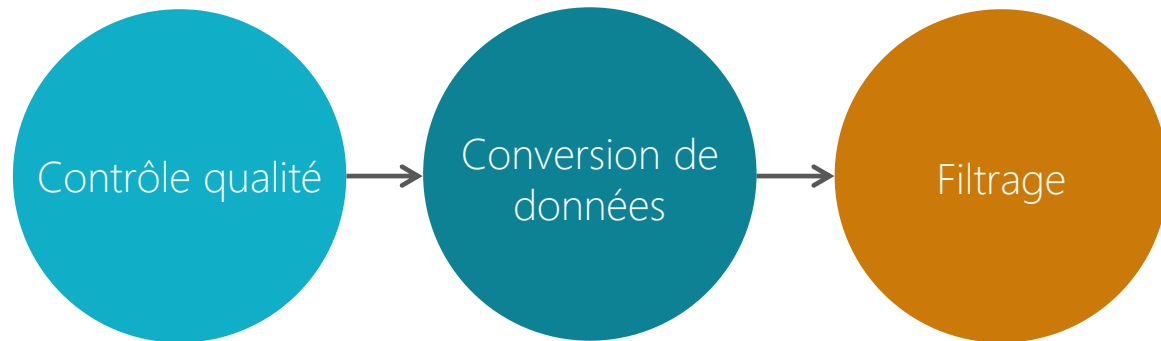
DPF : Differential pathlength factor

Δc_i : Chromophore concentration

d : source detector distance

D'autres modèles comme le **modèle bi-couche** sont développés pour récupérer l'activité corticale plus efficacement, collaboration avec Demian Vera.

Filtrage



Filtrage

For a single source–detector arrangement, it was shown the light intensity is ~10–20 times [...] more sensitive to the extracerebral compartment compared to the cerebral compartment

Scholkmann 2014, NeuroImage

L'objectif :

- **Enlever** les signaux physiologiques: cardiaque (1 Hz), respiratoire (0,3 Hz), ondes de Mayer (0,1 Hz) et très basses fréquences (<0,01 Hz).
- **Conserver** la fréquence de stimulation (0,022 Hz dans notre expérience) et ses harmoniques.

Filtrage

Panel d'option de filtrage:

Type : Passe-bande, Passe-haut

Modèles : IIR, FIR

Ordre : 0 - ∞

Fréquence de coupure

Taille de bande de transition

Filtrage

Filtre 1 :

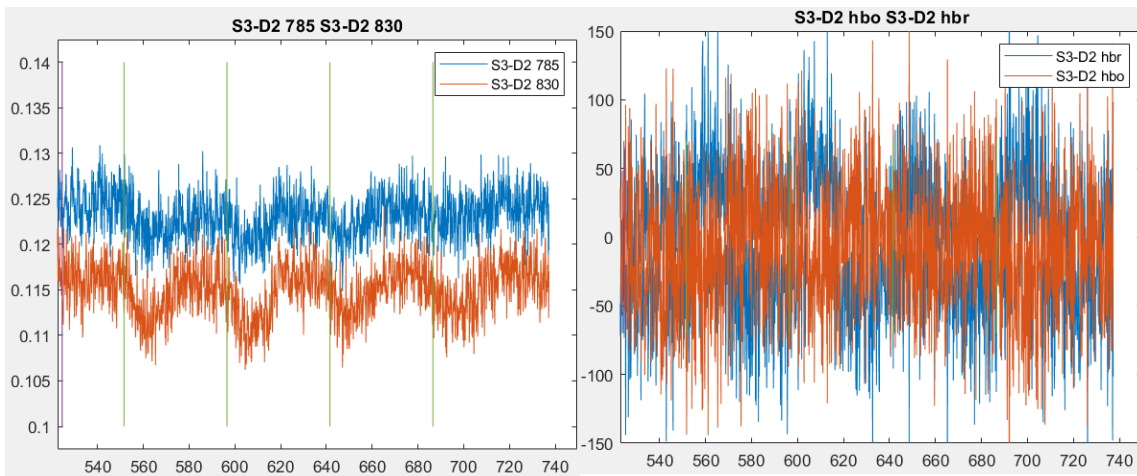
Type : Passe-bande

Modèle : FIR

Ordre : 5000

Fréquence de coupure : [0,01 ; 0,09]

Transition band size : 0,005



Filtre 2 sur Matlab :

Type : Passe-bande

Modèle : IIR

Ordre : 4

Fréquence de coupure : [0,01 ; 0,09]

Atténuation : 60 dB

Filtre 2 sur Python :

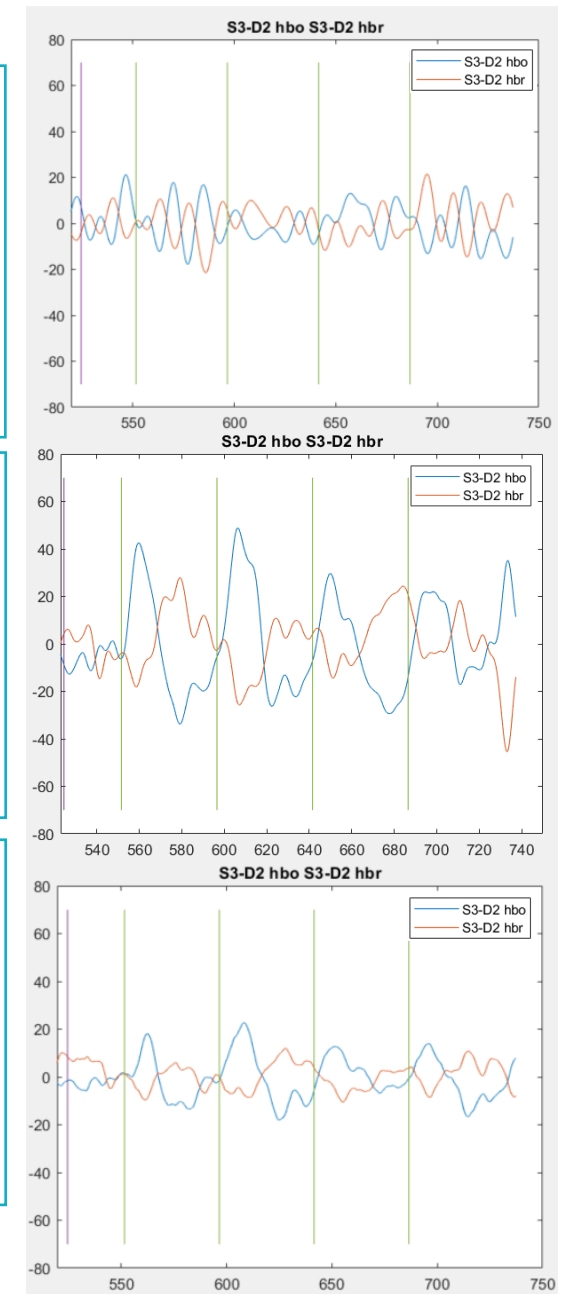
Type : Passe-bande

Modèle : IIR

Ordre : 4

Fréquence de coupure : [0,01 ; 0,09]

Atténuation : 60 dB



Filtrage

Recommandations :

Pinti, 2019 : Passe-bande FIR [0,01 ; 0,09]
avec bande de transition de 0,01

Yücel, 2021 : Passe-bas $F_c > 0,5$ Hz
Passe-haut $F_c < 0,05$

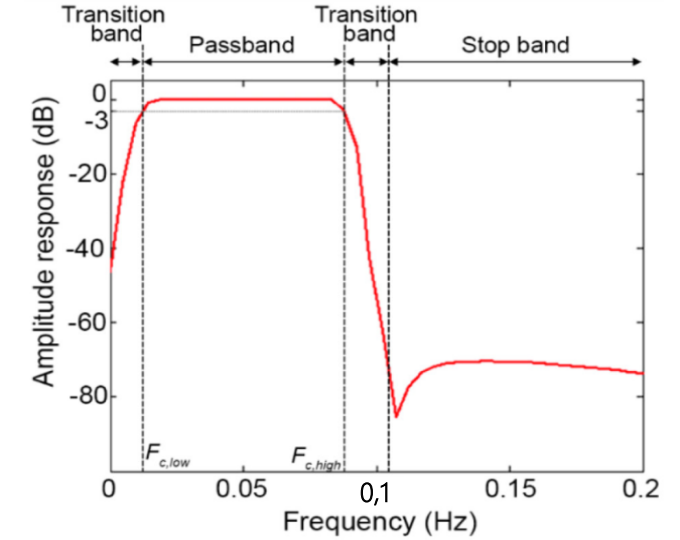
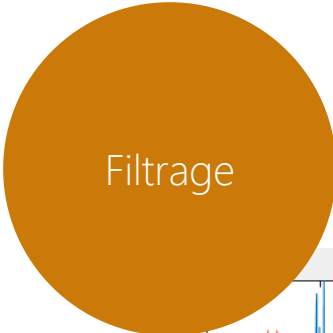
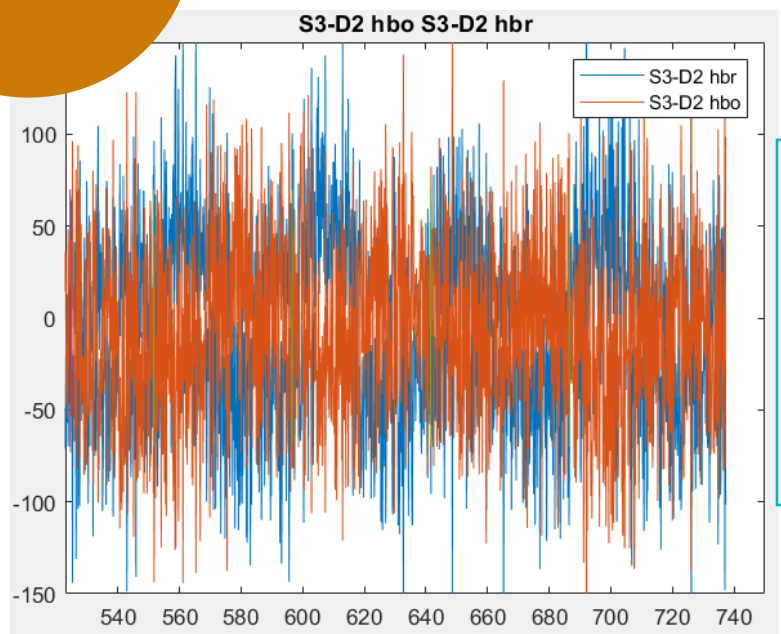
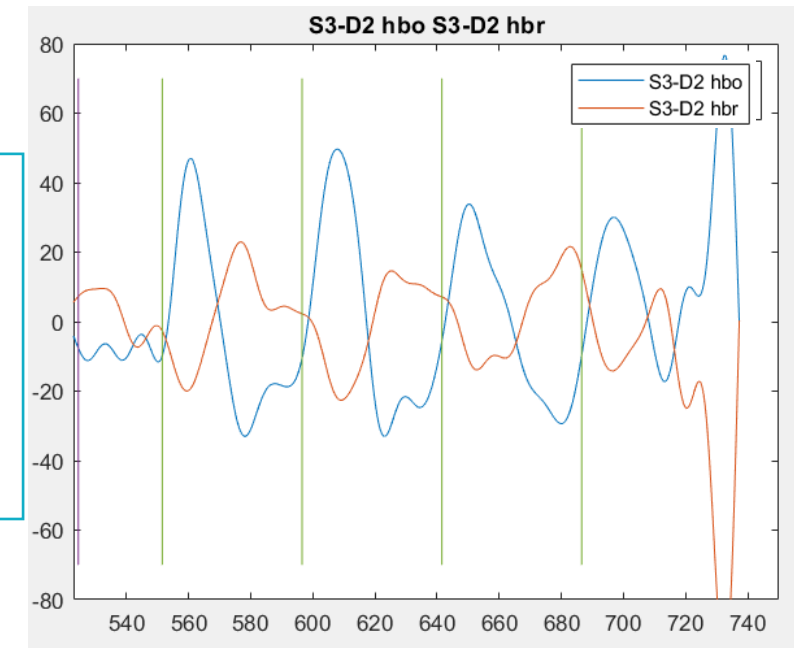


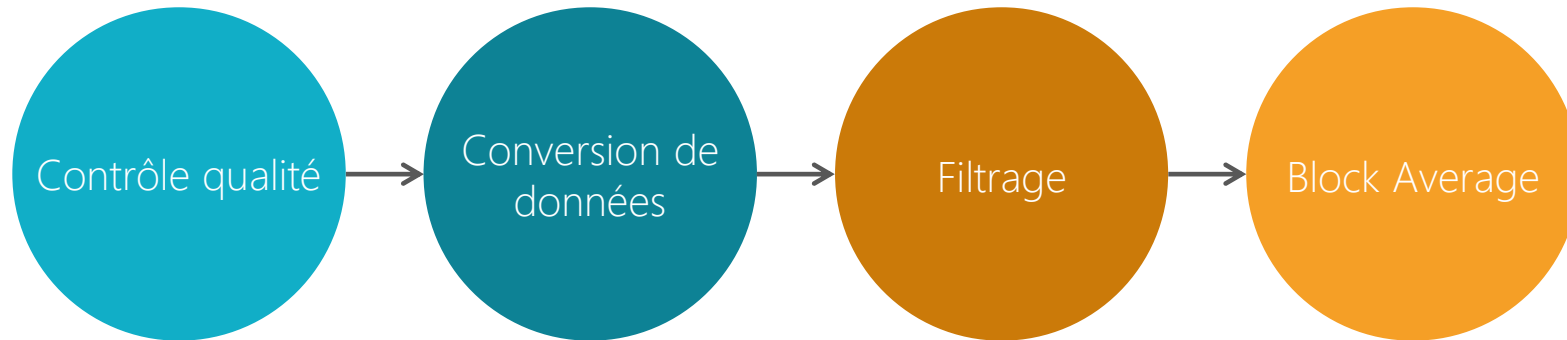
FIGURE 12 | Filter amplitude response considering a BP FIR filter with order = 1000 and $F_c = [0.01, 0.09]$ Hz. *Extracted from Pinti, 2019*



Pinti, 2019 :
Type : Passe-bande
Modèles : FIR
Ordres : 1000
Fréquence de coupure: [0,01 ; 0,09]
Transition band size : 0,01



Block average

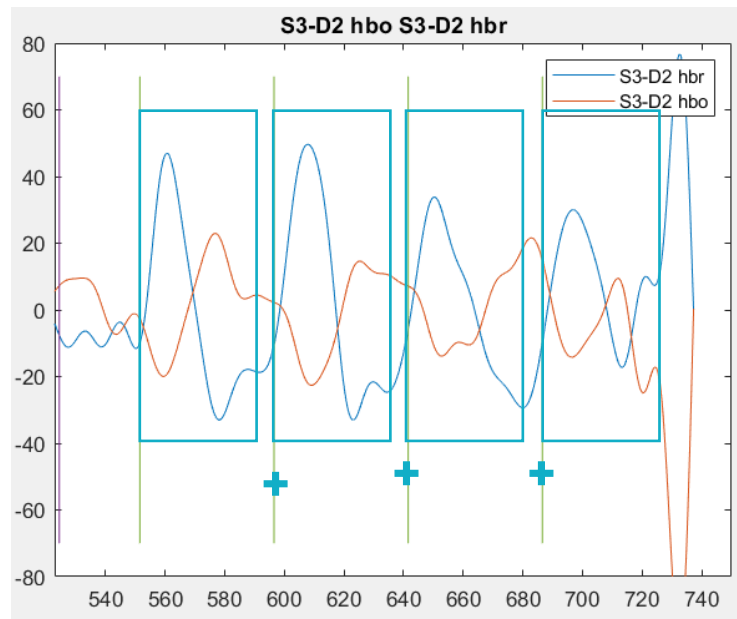


Block average

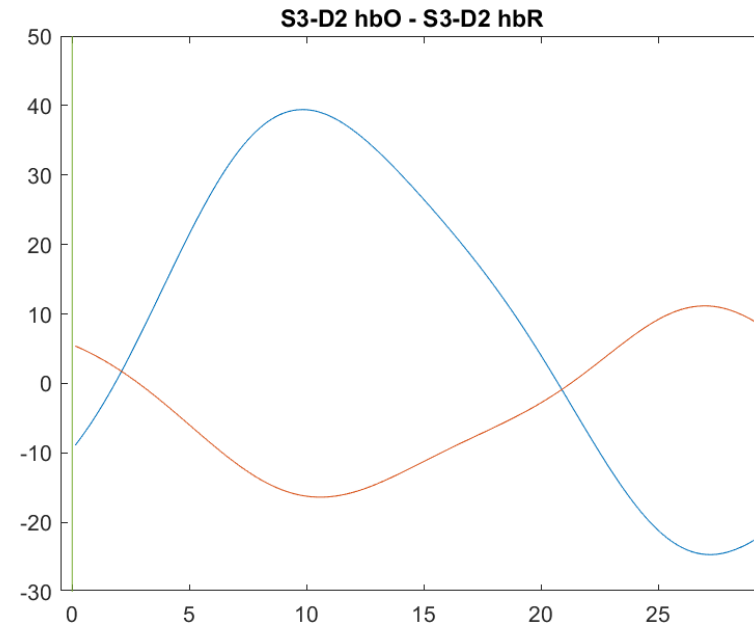
Evaluation visuelle de l'activation des channels avec le block average :

- Moyenne des signaux fNIRS sur les blocs de tâche

Block average sur nos données:



=

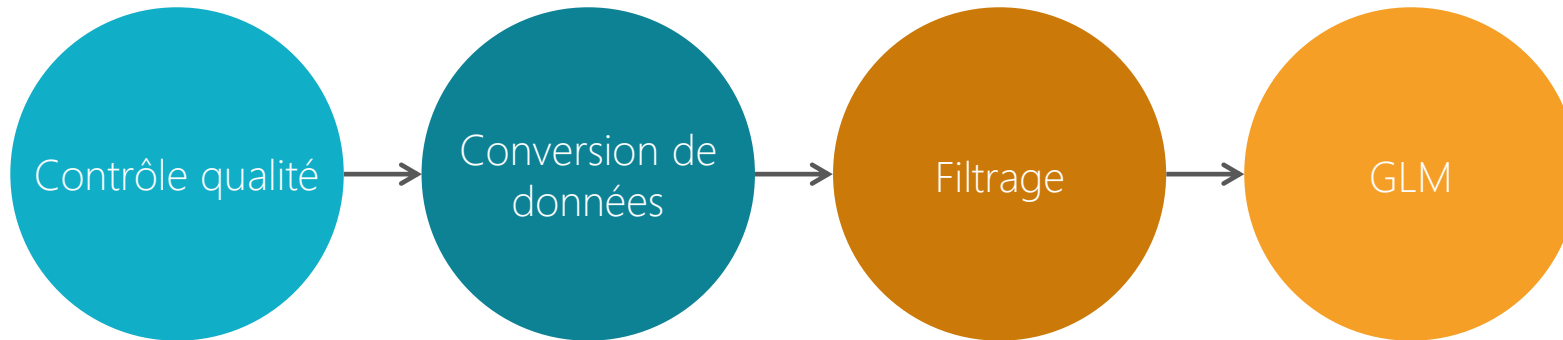


Solution visuelle, plus simple à implémenter et qui n'émet pas d'hypothèse sur la forme de le HRF

Analyse statistique : GLM

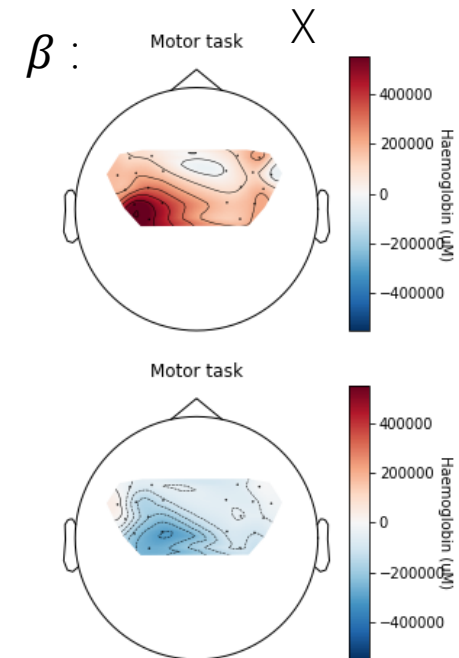
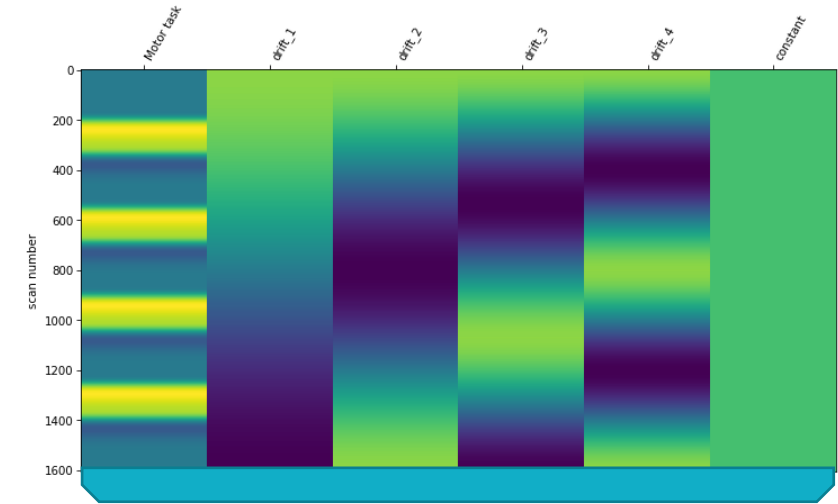
$$Y = X \times \beta + \varepsilon$$

Y : Décours temporel
X : Régresseur (dont short channels)
 β : Paramètre à estimer
 ε : Erreur



Les signaux physiologiques NIRS sont corrélés et ne suivent pas une distribution normale, ses caractéristiques **enfreigne** les hypothèses du GLM.

Le **filtrage** et/ou **blanchiment** (whitening) et/ou **coloration** (precoloring) est nécessaire pour le signal d'entrée du GLM.



GLM vs Block average

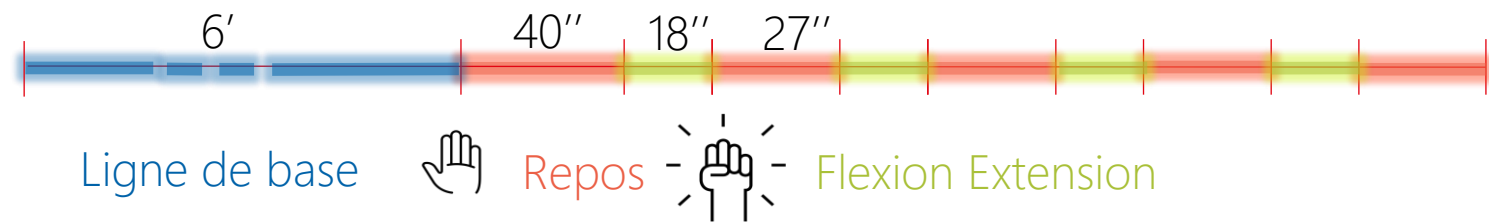
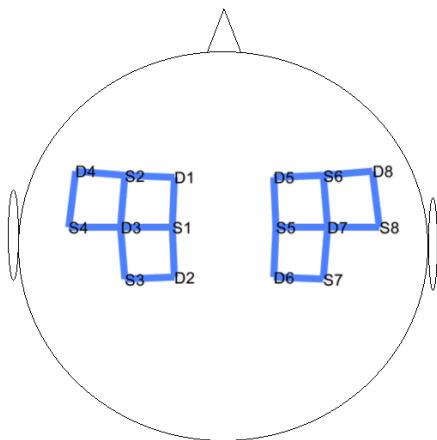
GLM	Block average
Hypothèse sur la forme de la HRF	Pas d'hypothèse sur la forme de la HRF
Utilisation de la totalité du signal	Découpage du signal
Régression de co-variables (eg. short channels)	Pas de régression
Estimation plus robuste	Mise en place plus simple Evaluation visuelle des signaux

Il est important de présenter les résultats des signaux HbO et HbR.

Protocole d'acquisition

11 sujets adultes sains

- Données IRM et NIRS acquises **simultanément** (pas de short channels compatible IRM)
 - Tâche motrice - Paradigme en bloc : Ouverture et fermeture de la main à une fréquence d'1Hz pendant 18s en alternance avec des phases de repos de 27s
 - 2 sessions : une séquence IRMf BOLD simultanée et une séquence IRMf de perfusion ASL simultanée

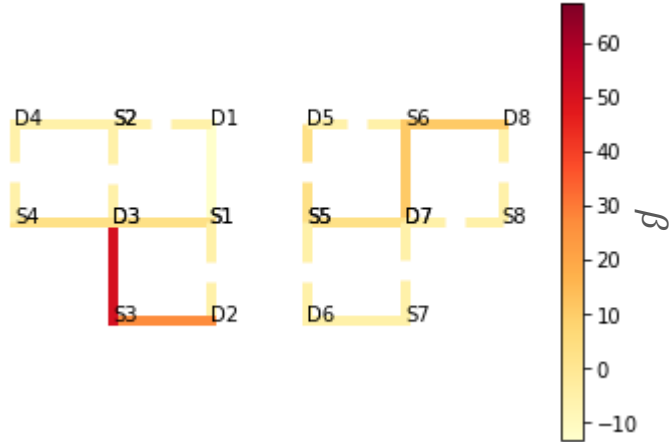


Résultats individuels

Sujet 4 – Tâche mortice

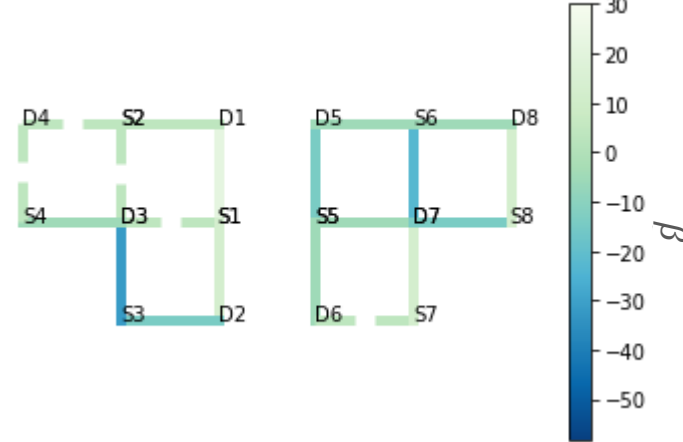
HbO

GLM 4 hbo - first session



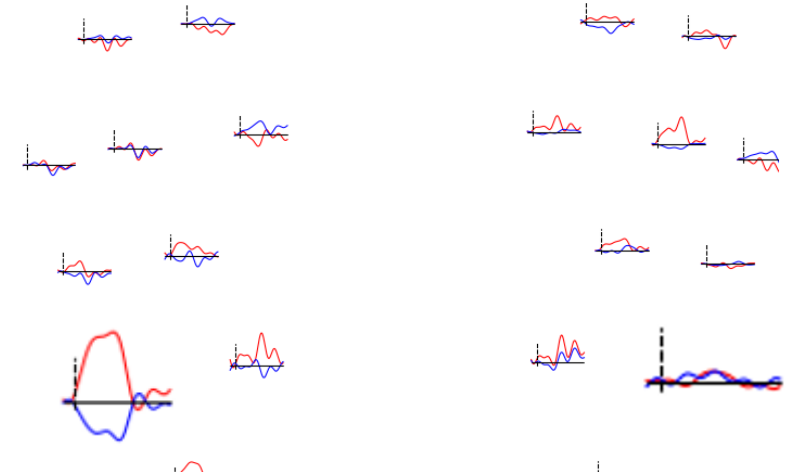
HbR

GLM 4 hbr - first session

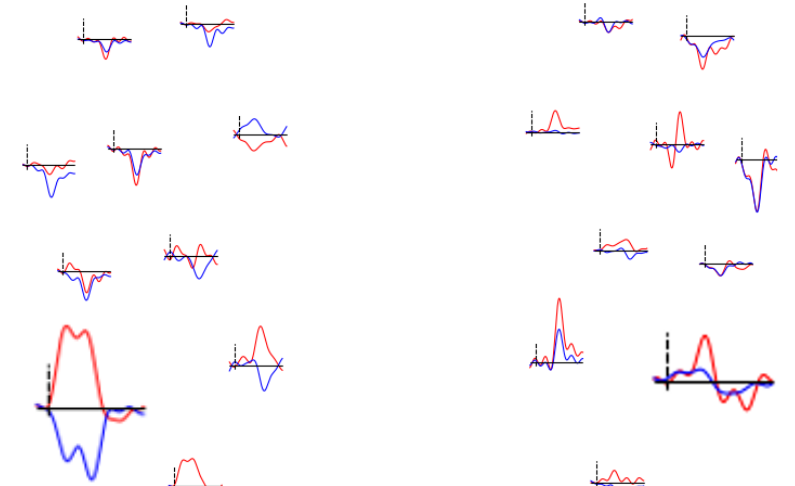


Block average

Sub 04 - Sess 1



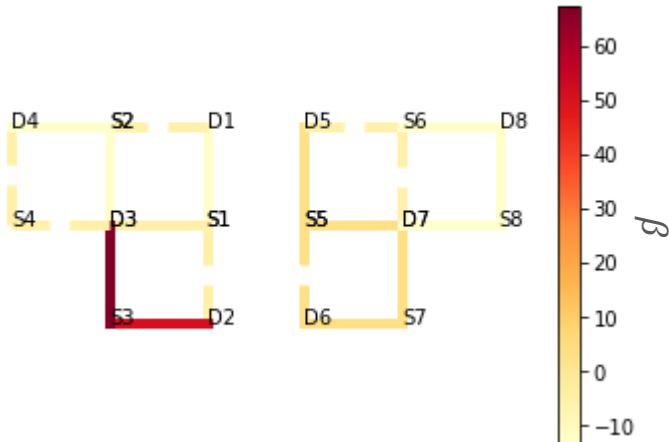
Sub 04 - Sess 2



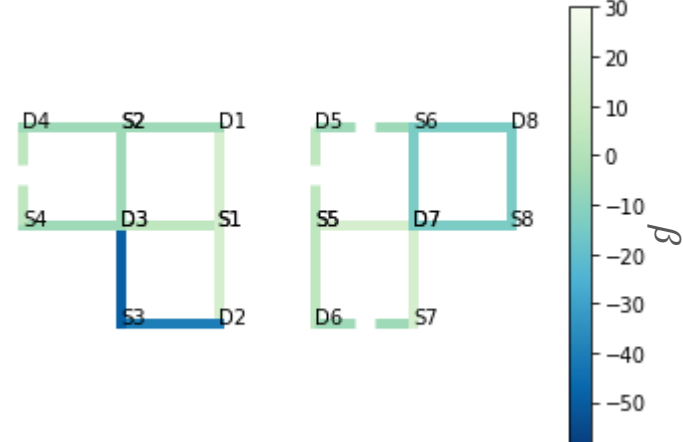
Première session

Deuxième session

GLM 4 hbo - second session



GLM 4 hbr - second session



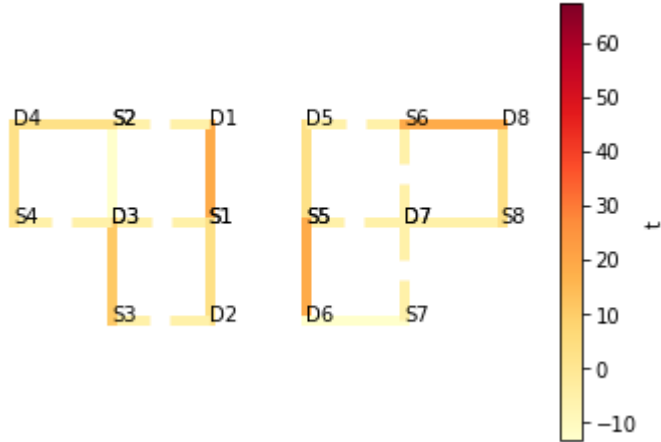
— HbO
— HbR

Résultats individuels

Sujet 10 – Tâche motrice

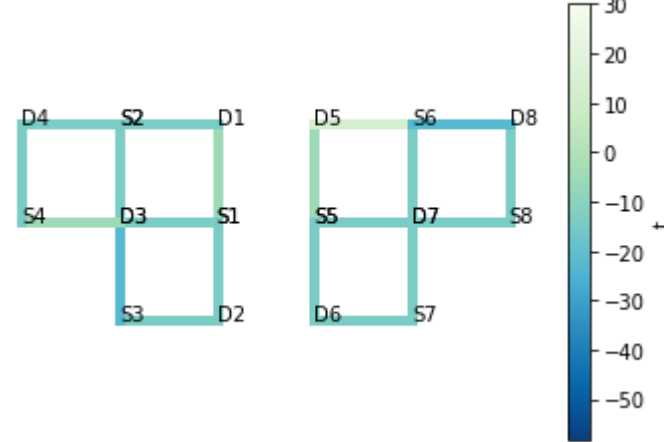
HbO

GLM 10 hbo - first session



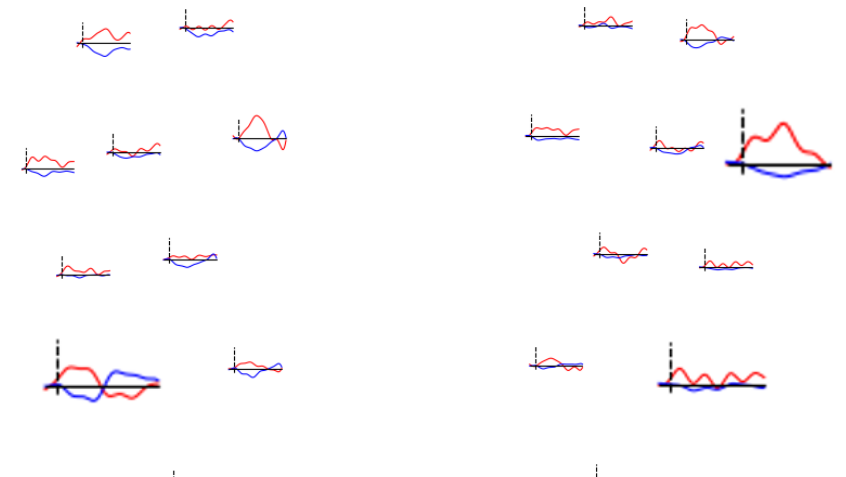
HbR

GLM 10 hbr - first session

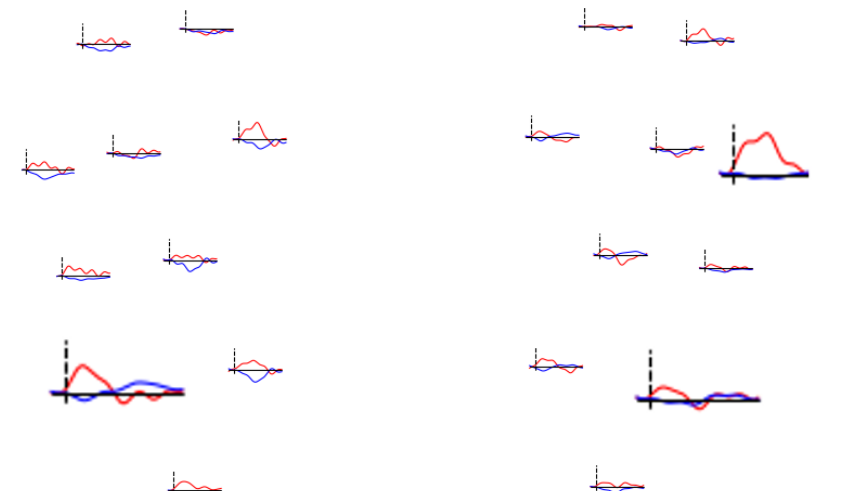


Block average

Sub 10 - Sess 1



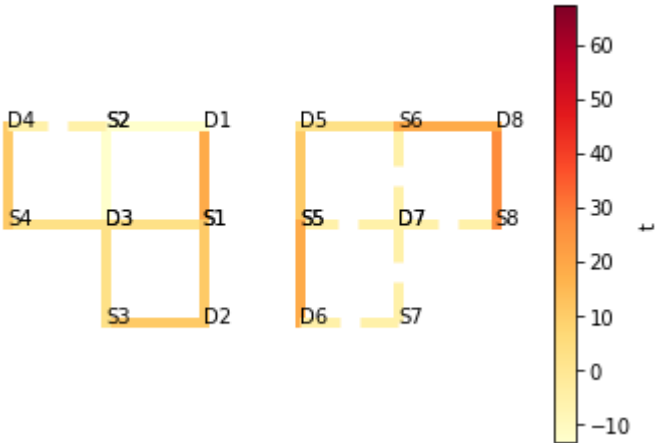
Sub 10 - Sess 2



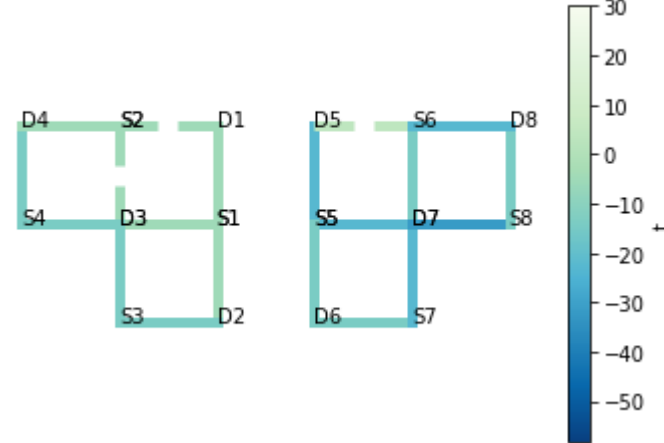
Première session

Deuxième session

GLM 10 hbo - second session

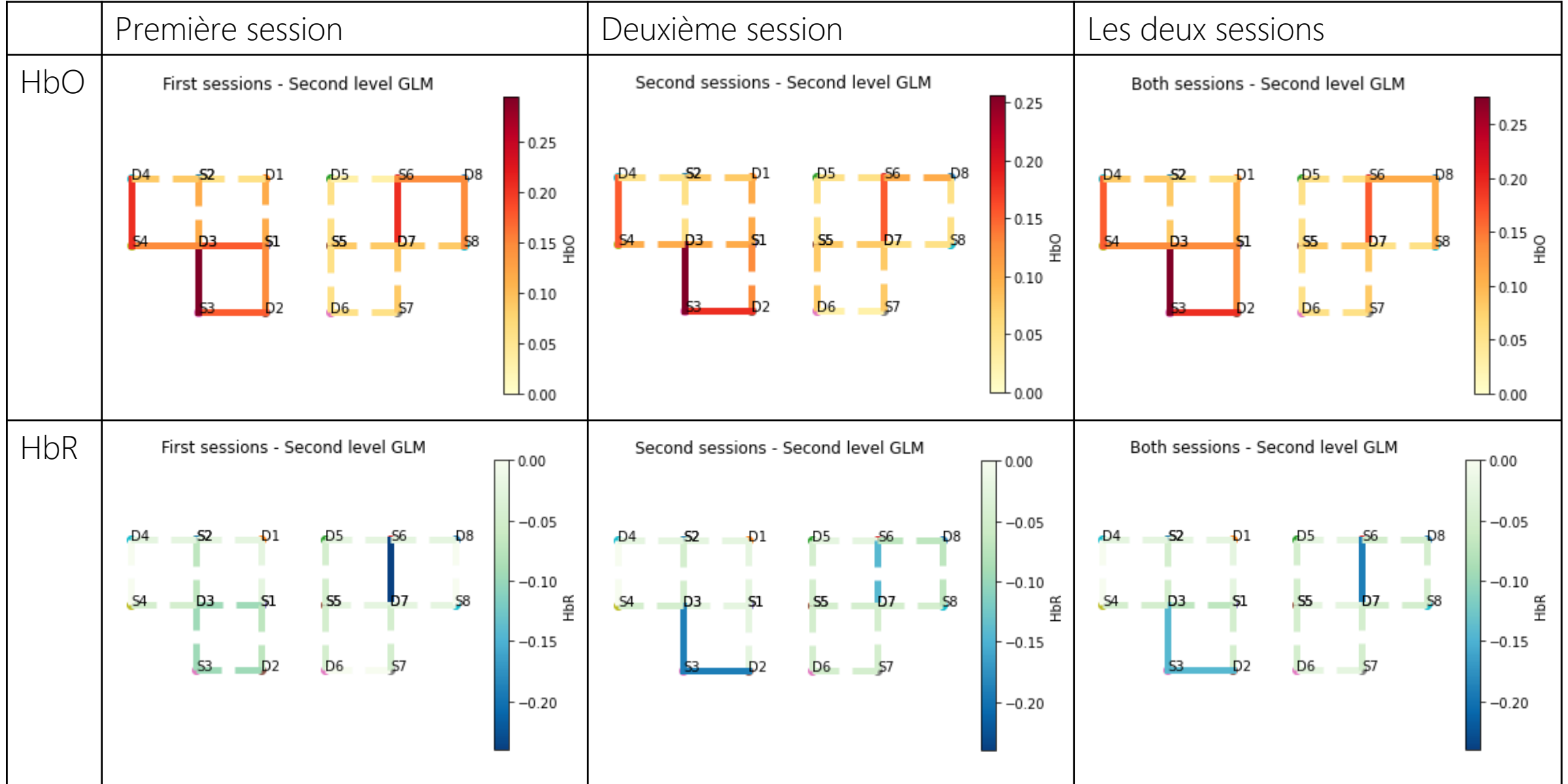


GLM 10 hbr - second session



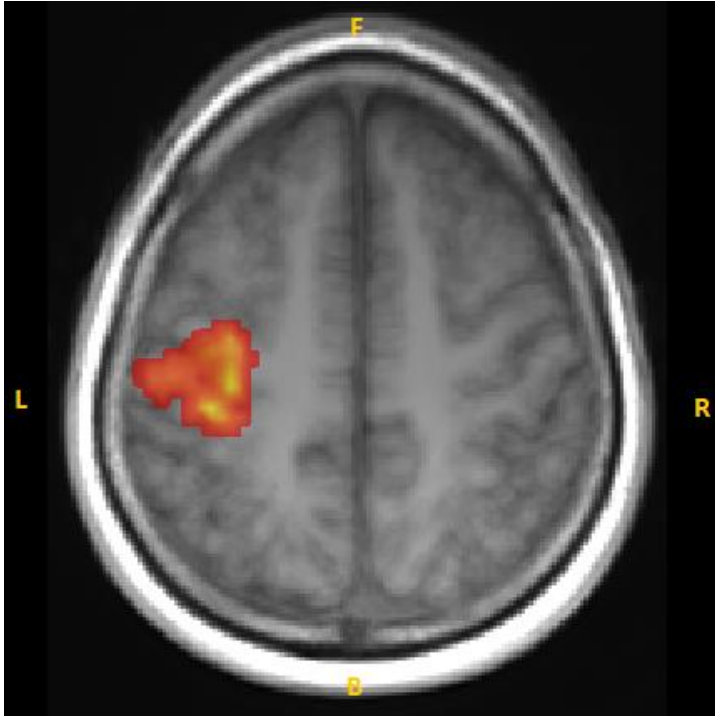
HbO
HbR

Résultats au niveau du groupe



Résultats au niveau du groupe

Résultats IRM BOLD :



Activation du cortex moteur contralatéral robuste en IRMf BOLD.

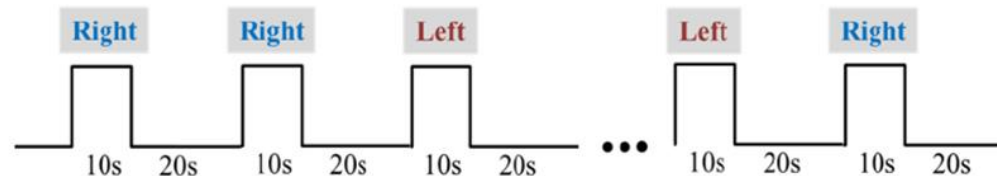
Retour d'expérience

Matlab avec [NIRStoolbox](#) et [Homer](#) et Python avec [MNE Python](#) sont les plus utilisés.

Le format Brain Imaging data structure ([BIDS](#)) a été étendu à la NIRS pour le stockage et le traitement des données. (MNE-BIDS)

Perspectives :

- Utilisation des enregistrements cardiaques et respiratoires pour régresser les [signaux physiologiques](#)
- Implémentation d'une méthode de [correction d'artefact](#) dans le traitement des données
- [Campagne d'acquisition](#) avec short channels (hors et dans l'IRM) et plus de répétitions
 - Hors IRM : Montage 16x16 avec short channels
 - Tâche envisagée : main gauche (10s) - repos (20s) - main droite (10s) - repos (20s) - 10 répétitions





Merci pour votre attention !

Merci à Isabelle Corouge⁽¹⁾, Elise Bannier⁽¹⁾ et Emmanuel Caruyer⁽²⁾ pour leurs contributions importantes dans ce travail.

(1) Empenn research team, INRIA, Rennes University-CNRS-INSERM-IRISA, Rennes, France; Radiology Department, Rennes University Hospital, Rennes, France.

(2) Univ Rennes, CNRS, Inria, Inserm, IRISA UMR 6074, Empenn ERL U 1228, Rennes, France, Université de Rennes, CNRS, Inria, Inserm, IRISA UMR 6074, Rennes, France.