

Enregistrement de l'électro-myographie (EMG) dans l'IRM

Développements techniques et premiers résultats

Bruno NAZARIAN

avec François-Xavier ALARIO, Jean-Luc ANTON, Nathalie BARIL, Jenny COULL, Thierry HASBROUCQ,
Julien SEIN, Laure SPEISER, Franck VIDAL, Marianne VAUGOYEAU



Réunion Mensuelle de Neuro-Imagerie du 16/12/2021



Motivations

Car on parle bien d'IRM fonctionnelle

Il s'agit donc d'étudier la corrélation entre des données d'imagerie (forte pondération métabolique) et des données **comportementales**.

Double contrainte :

Nettoyer le signal IRM de toutes les variations physiologiques mesurables

Modéliser (contrôler) le comportement de la façon la plus précise possible

Le **comportement** est ici à associer à la notion de **tâche**

Si la tâche inclut des actions **motrices**, il est fondamental de modéliser ces actions de la façon la plus précise possible

Par exemple :

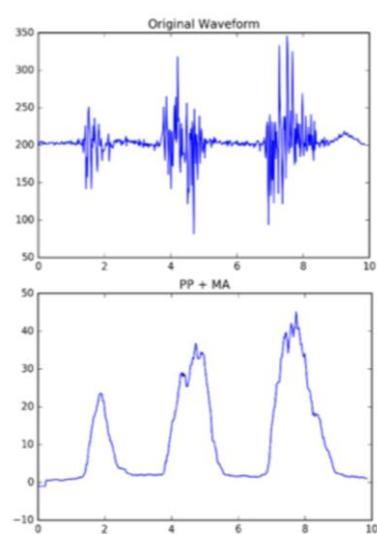
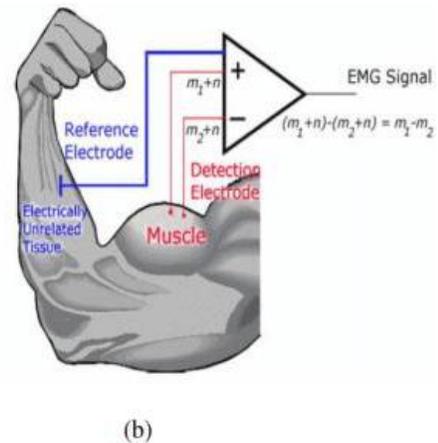
- Pour activer un bouton réponse, il faut exercer une certaine force
- Une contraction musculaire peut ne pas être « traduite » par un mouvement mesurable
- ...



Electro-Myographie : Brefs rappels

Principe

L'électromyographie (EMG) est une technique qui consiste à étudier l'activité **électrique** des muscles.



Les outils

Electrodes de surface
Câbles / Filtres
Amplificateur
Système d'acquisition analogique
Logiciel

Matériel / Implémentation

Matériel

Electrodes et câbles BIOPAC
SS1LA / LEAD108C / EL509
(compatibles IRM)

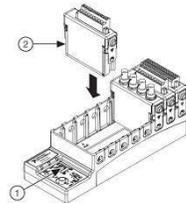


ETAGE DE FILTRAGE

Amplificateurs d'instrumentation GRASS 511K



National Instruments CompactDAQ 9178

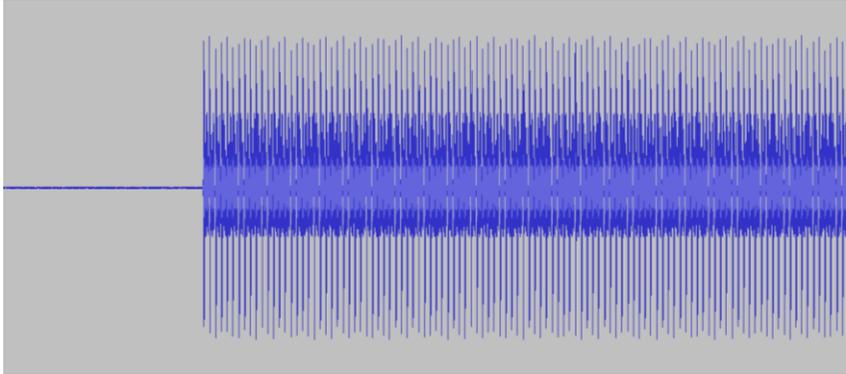
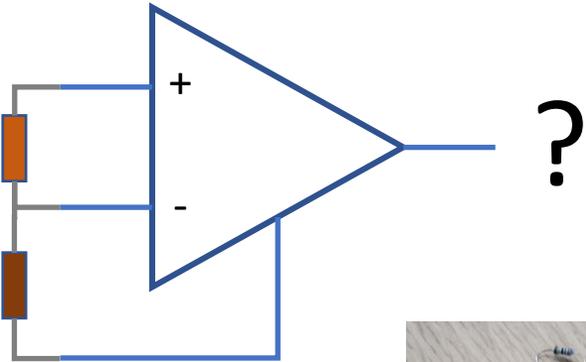
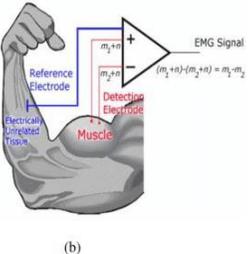


Premier essai d'enregistrement

Enregistrement d'un signal neutre (bruit)

Résultat

Mise en place d'une boucle idéale permettant de simuler un muscle au repos, inactif.



Premier essai d'enregistrement

Un peu plus en détail

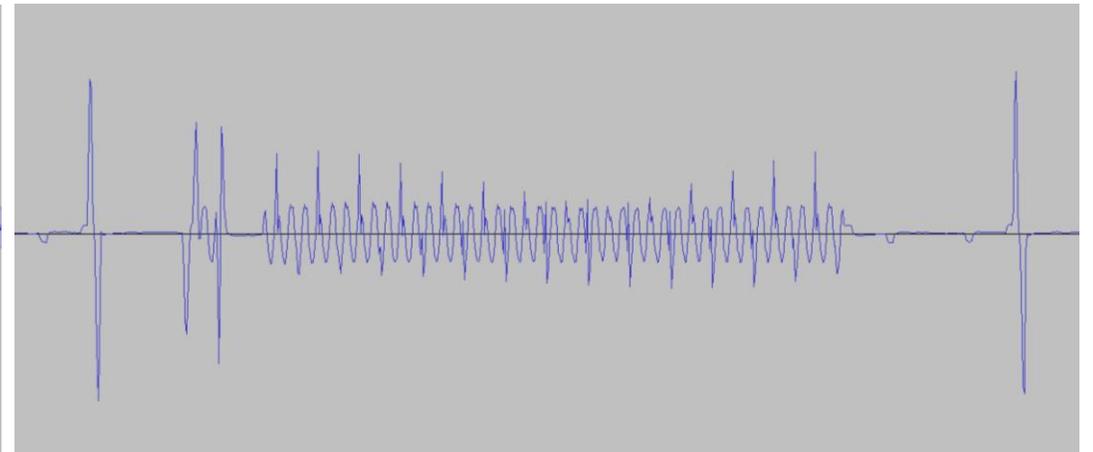
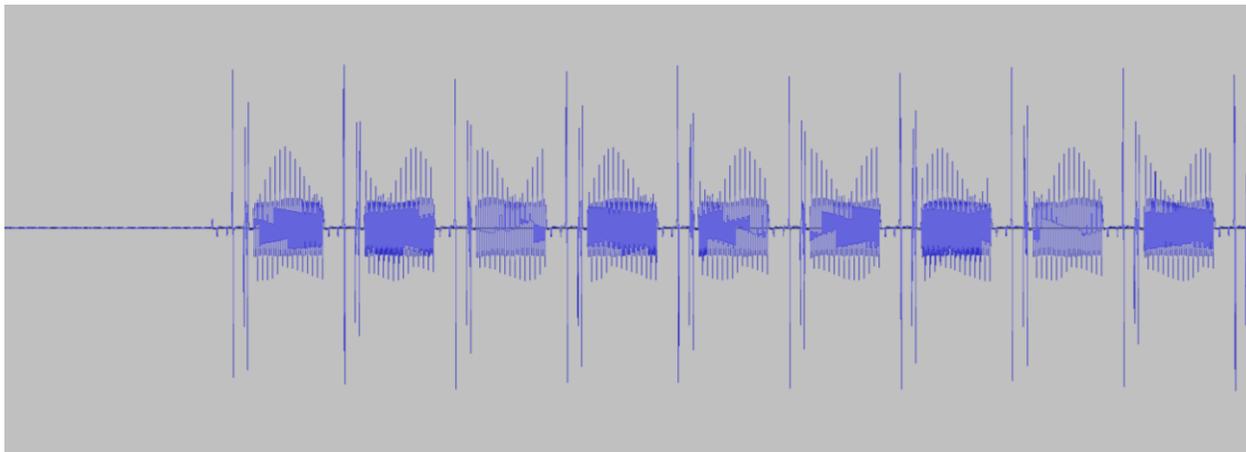
On remarque un motif de forme de signal qui se répète

On parle de signal **stationnaire**

Remarques

Motif très particulier

Une stationnarité approximative



Premier essai d'enregistrement

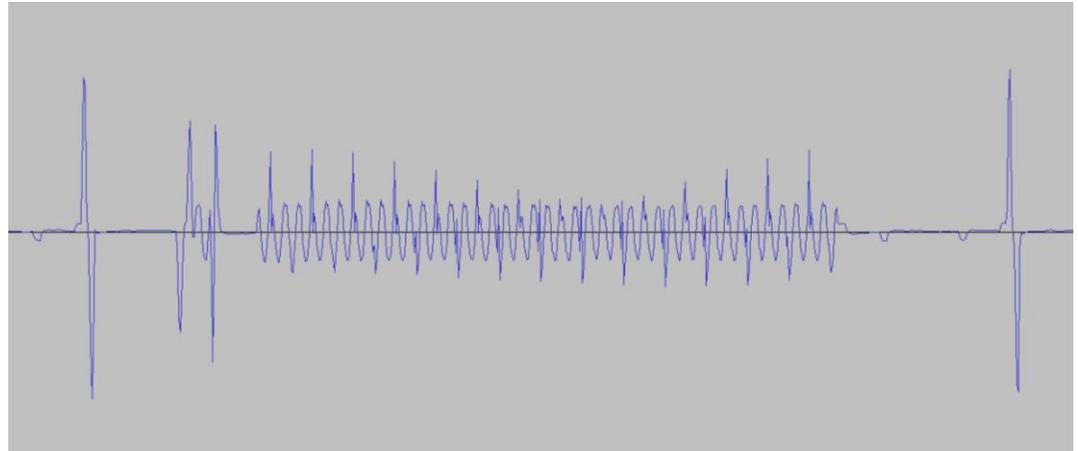
Origine du bruit

Malgré les apparences, ce n'est pas un bruit acoustique
(pas de capteur mécanique)

Capté par une boucle conductrice

Phénomène **d'induction électro-magnétique**

Artefact d'induction



Induction électro-magnétique : Théorie & illustration

Loi de Faraday pour l'induction

Pour une bobine soumise à un changement de champ magnétique, la loi de Faraday pour l'induction établit que :

$$\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt} \quad \text{et} \quad U = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

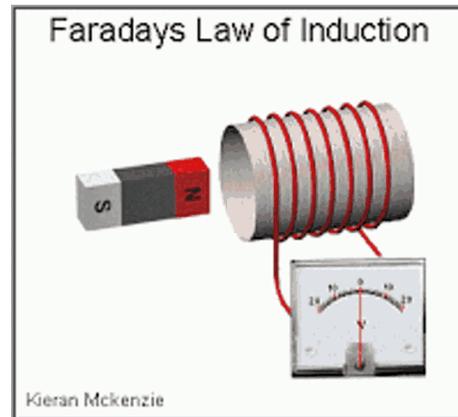
avec :

ε : la **force électromotrice** en V (!)

N : le nombre de spires de la bobine

Φ : le flux magnétique en Wb

U : la **tension induite** en V.

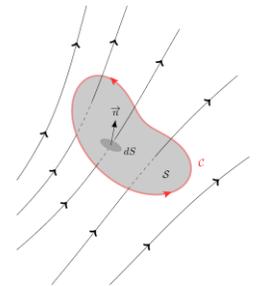


Loi de Lenz-Faraday

Principe de **modération** issu de la Loi de Faraday

Elle décrit des effets qui **s'opposent à leurs causes**

$$d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

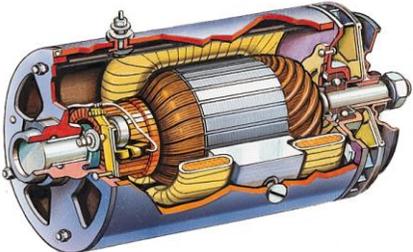
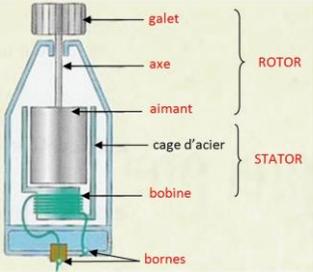


Le **flux magnétique** est proportionnel à la **surface** de la boucle et à **l'intensité du champ magnétique**

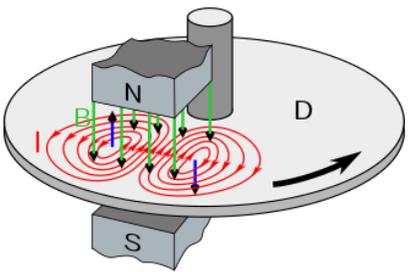


Induction électro-magnétique : Exemples courants

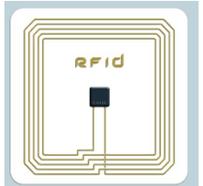
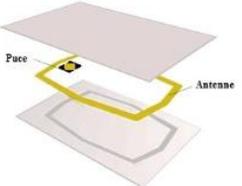
On utilise l'induction très fréquemment



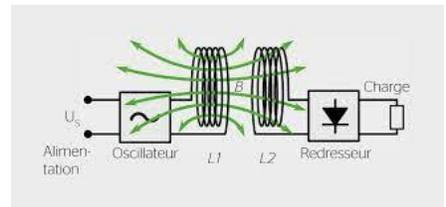
Transformer énergie électrique en énergie (anti)motrice



Transformer énergie motrice en énergie électrique



Transporter énergie électrique sans câble

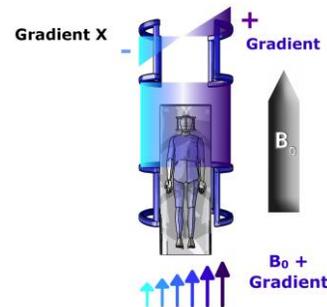
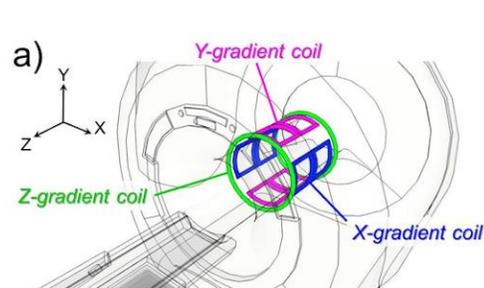


Induction électro-magnétique : Quid de l'IRM ?

Les différents champs magnétiques

Champ **statique** : (1,5 / 3 / 4,7 / 11,3)
Lié à la fréquence de résonance de base

Champ(s) secondaire(s) :
Gradients de champ magnétiques **dynamiques**
Lié au codage de l'espace (le « I » de IRM)



Origines des courants induits

Mouvements de câbles (dans le champ statique)

Variations des champs dynamique

Influence majeure des gradients de champ magnétique qui commutent très rapidement (son de commutation)



Les séquences IRM EPI (BOLD) étant à la base de la **stationnarité**, le courant induit doit être **déterministe**

Tirer profit de la stationnarité

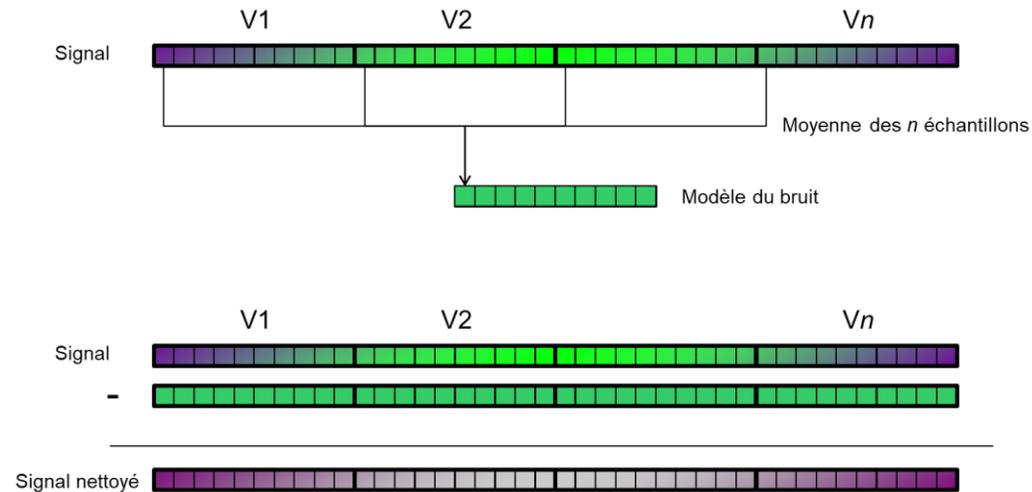
Modéliser l'artefact d'induction

Identifier les mécanismes de la stationnarité

Obtenir un modèle de l'artefact d'induction

- Modèle global
- Modèle local (glissant)

Nettoyer le signal



Solution(s)

Utiliser des triggers (volumes / coupes)

Calculer une approximation (moyenne, médiane) de l'artefact

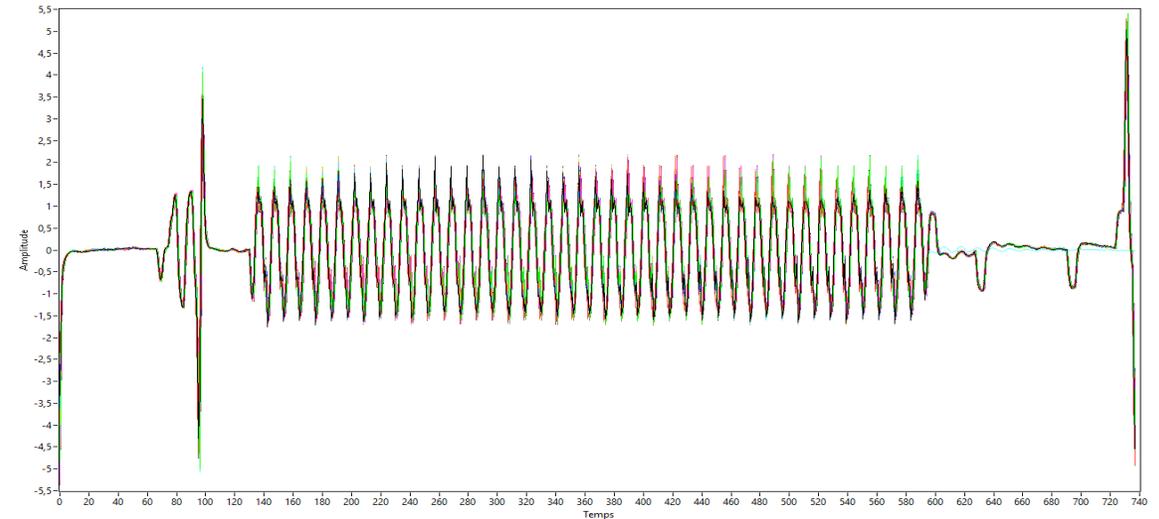
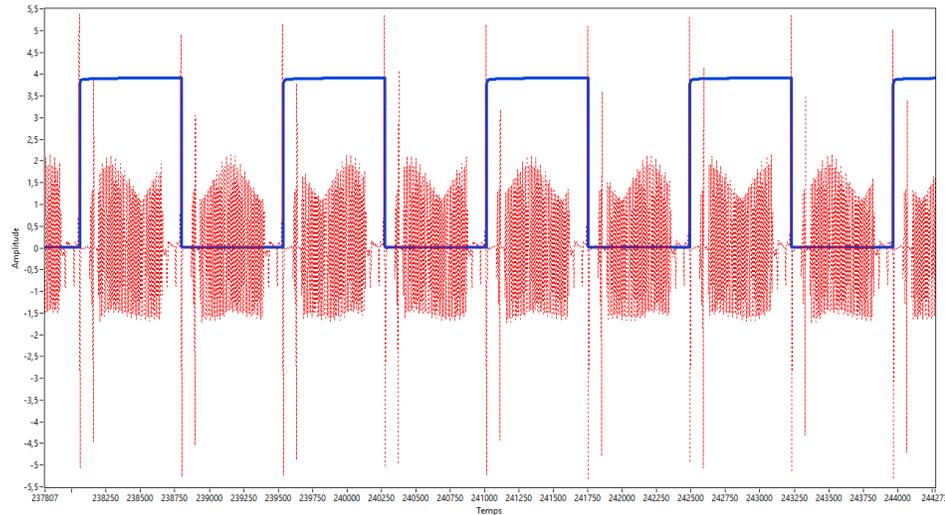
Soustraire l'artefact du signal global

Premier essai de débruitage

Echantillonnage signal / triggers (22050 Hz)

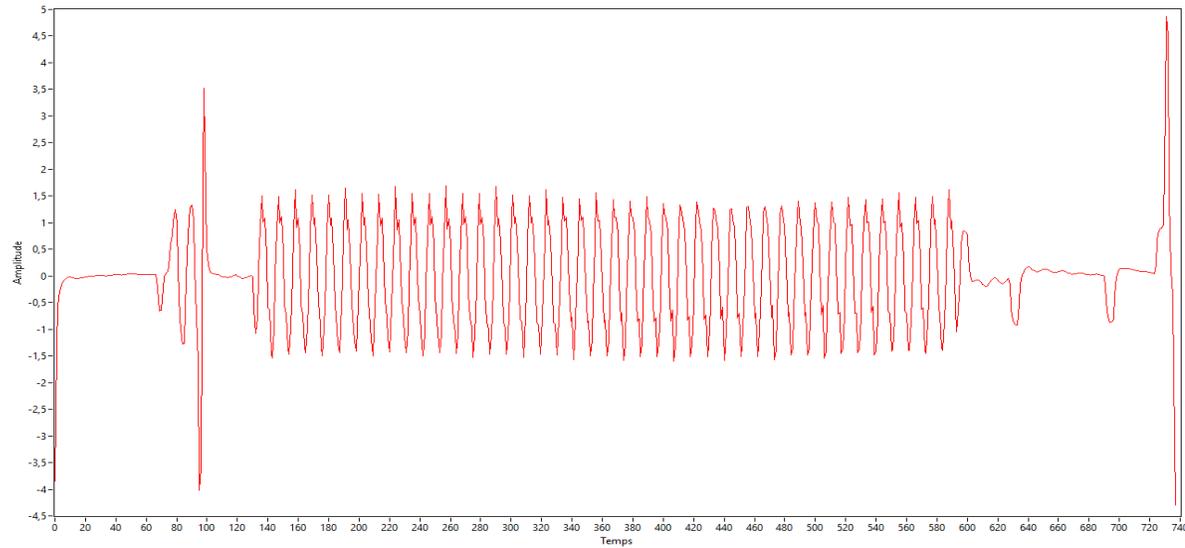
Segmentation du signal

Identification des segments via le trigger de l'IRM

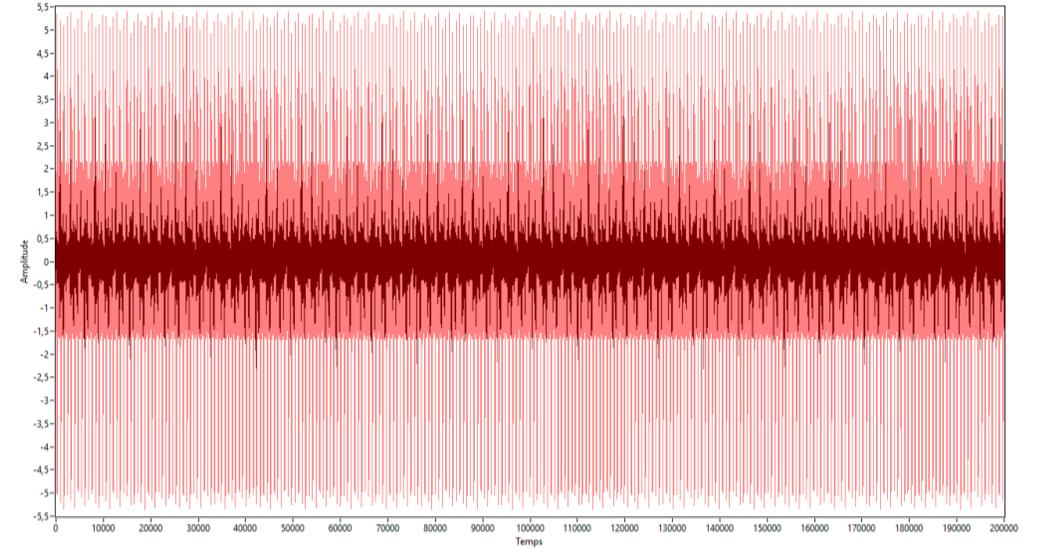


Premier essai de débruitage

Calcul de l'artefact moyen



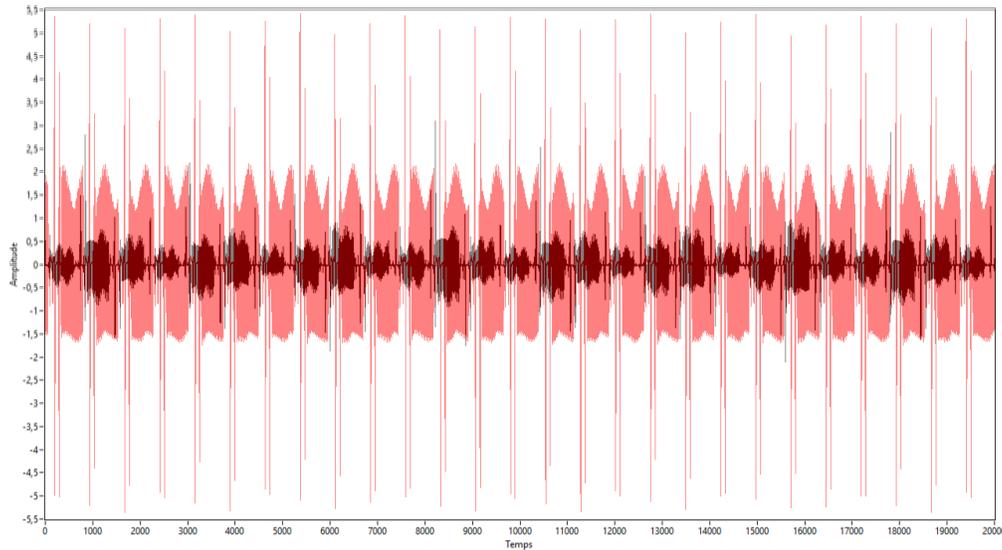
Soustraction de l'artefact



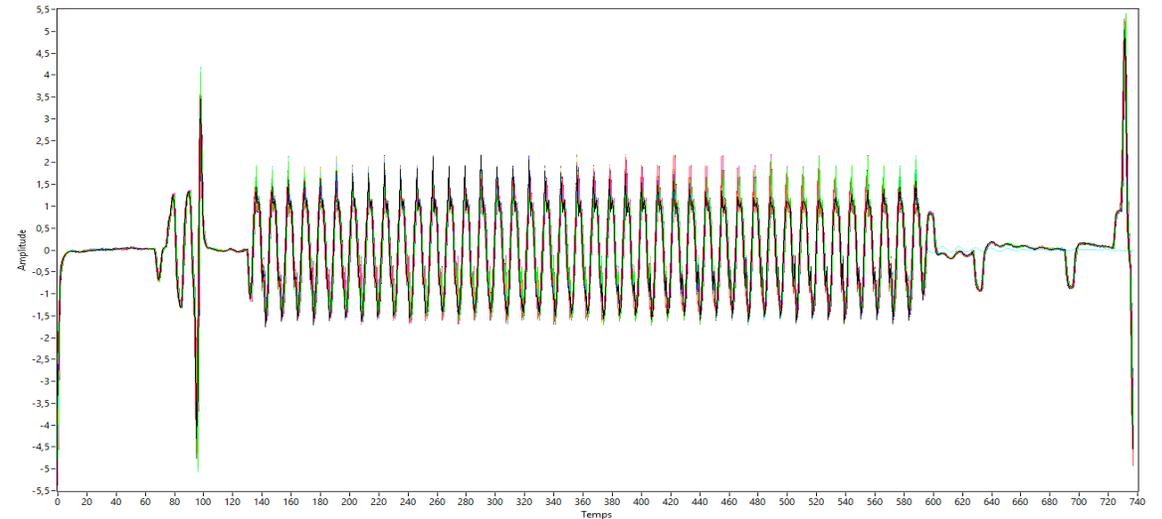
Premier essai de débruitage

Regardons du plus près

Visiblement un problème de bruit de déphasage



Bruit issu du calcul du modèle de l'artefact et de sa soustraction du signal

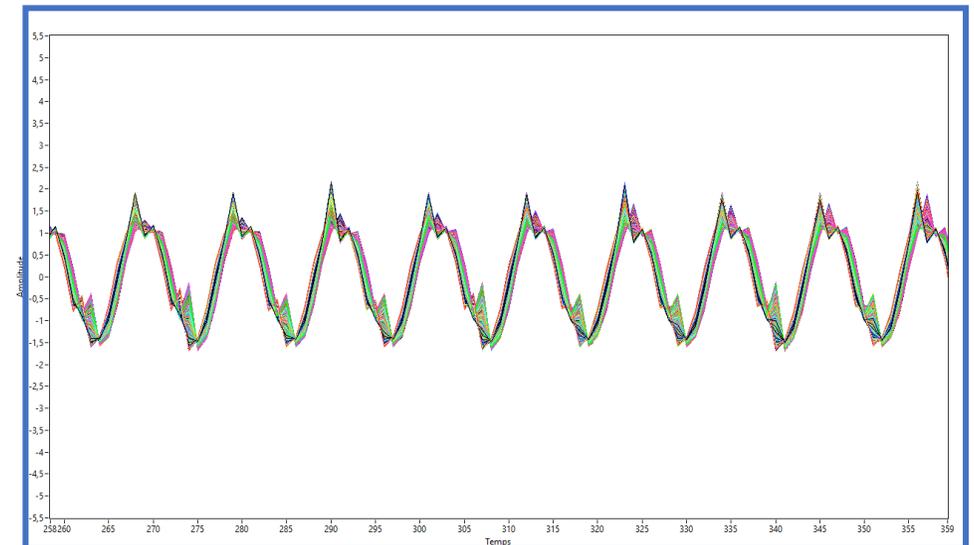
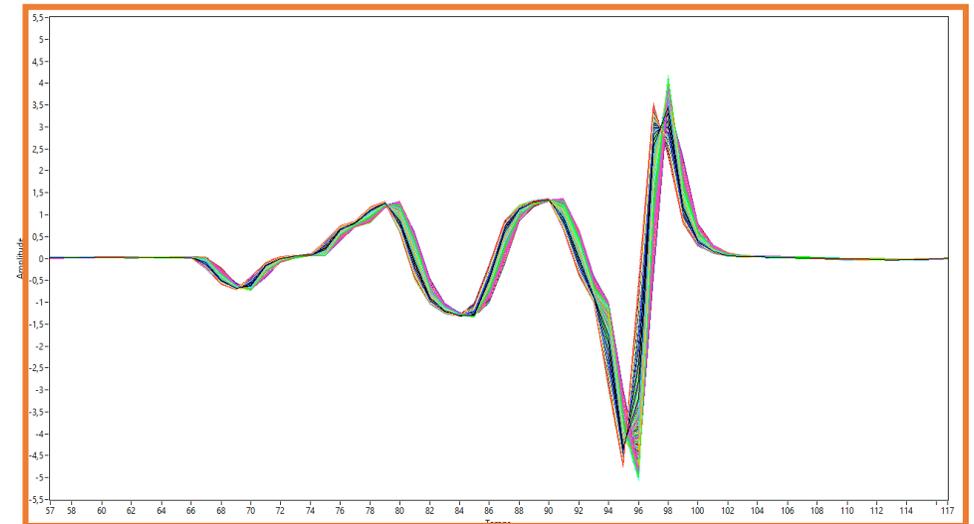
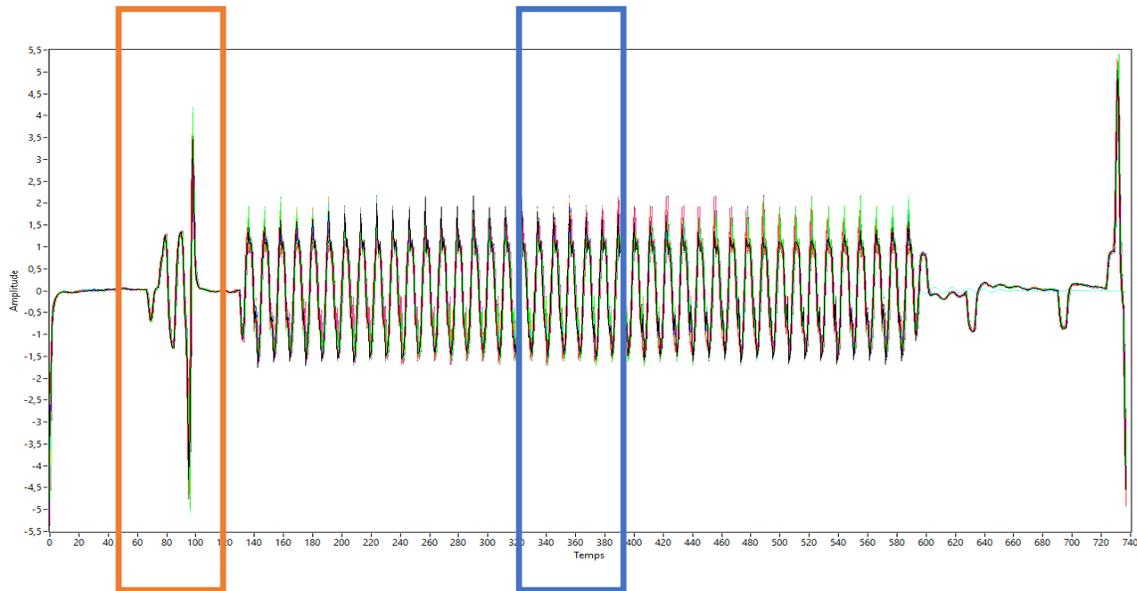


Premier essai de débruitage

Le problème des horloges

Déphasage ET fréquences différentes

- Horloge de l'IRM
- Horloge échantillonnage signal



Résoudre le problème de la synchronie

Passer sur un mode d'acquisition par « trains »

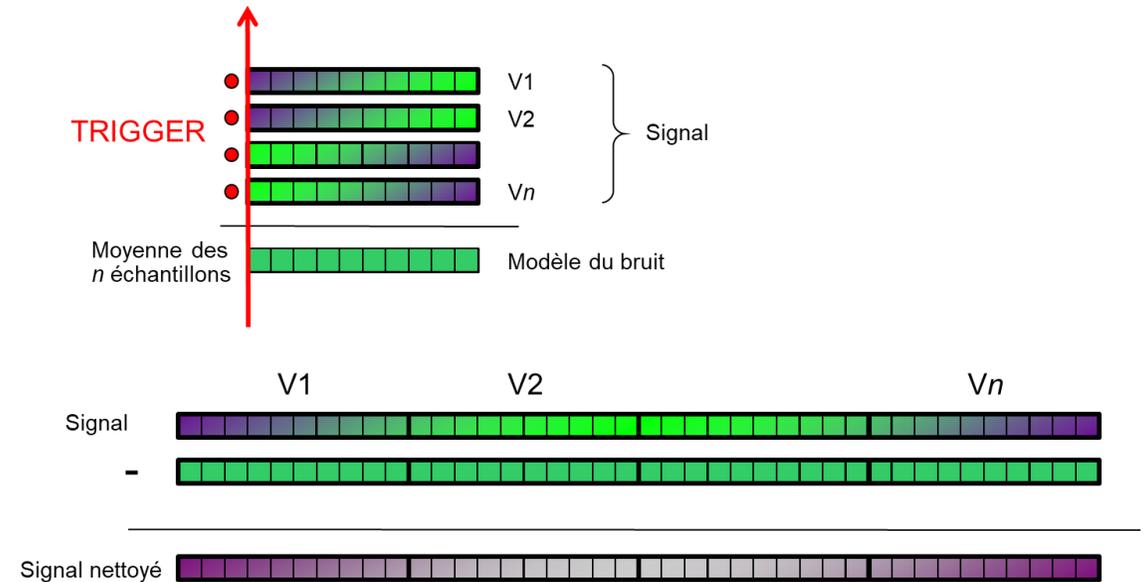
Synchroniser l'horloge d'acquisition sur l'horloge de l'IRM

Garantir la **stabilité de la synchronisation** (timing, transfert de données, retards ...)

-> Acquisition en mode « re-triggering »

La carte d'acquisition fabrique à chaque train une nouvelle horloge très précisément synchronisée sur l'IRM

Les modes de gestion de la mémoire en sont par ailleurs optimisés

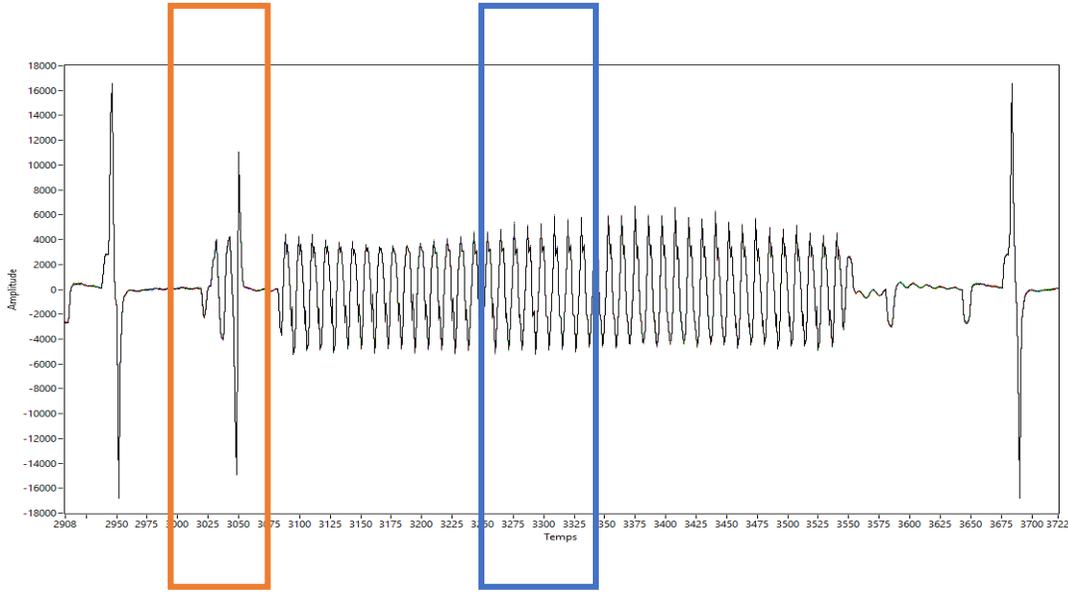


Un petit bémol sur le **dernier échantillon** de chaque train

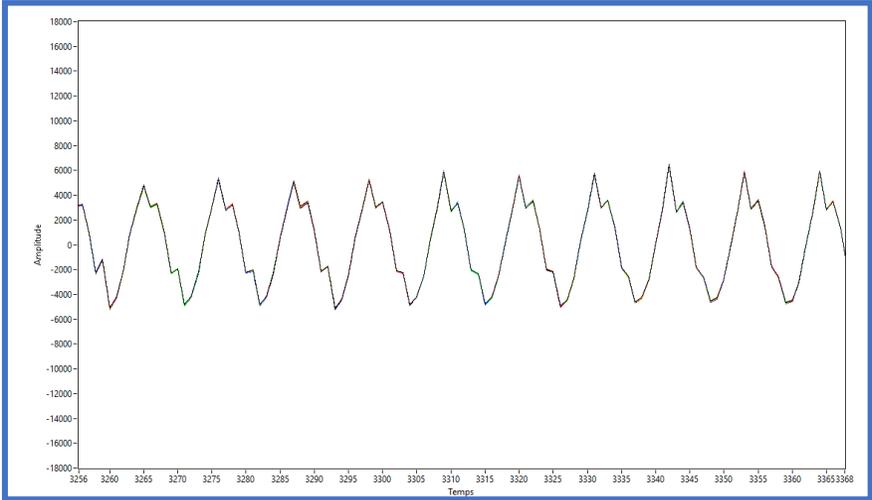
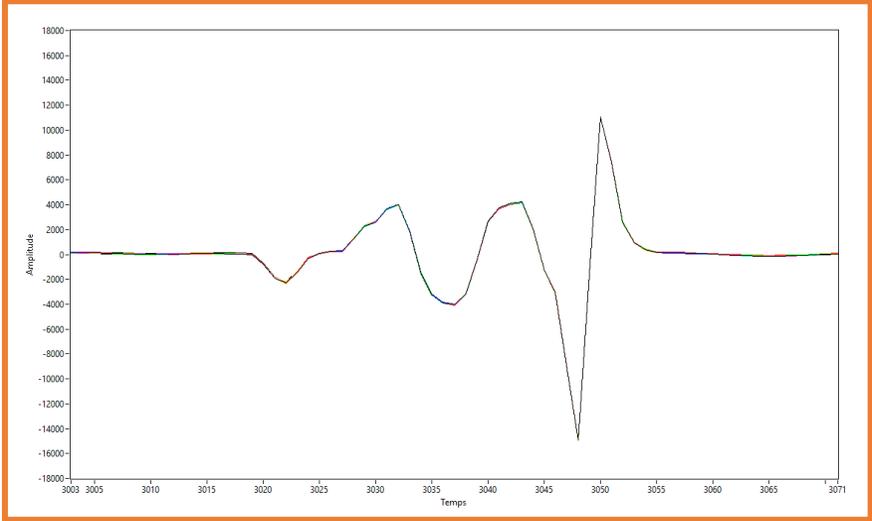


Acquisition re-synchronisée du signal

Plus besoin de segmenter les « trains »

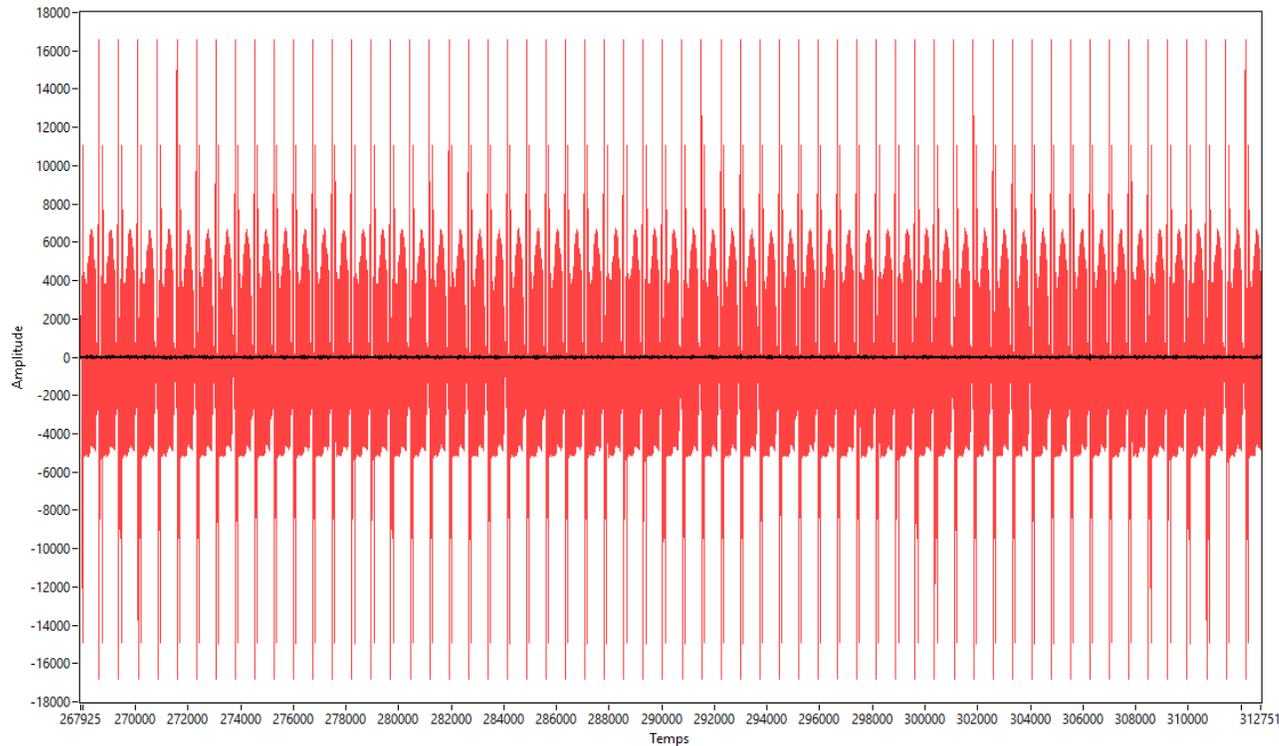


1800 trains superposés



Acquisition re-synchronisée du signal

Un nettoyage de l'artefact beaucoup plus performant



Outil « technique » au point

Plus besoin de segmenter les trains

Le principe de stationnarité est utilisé pour **piloter directement** l'acquisition

Le modèle de l'artefact peut-être calculé de façon **globale** ou **locale**

Méthodologie concluante

Outils matériels et logiciels éprouvés

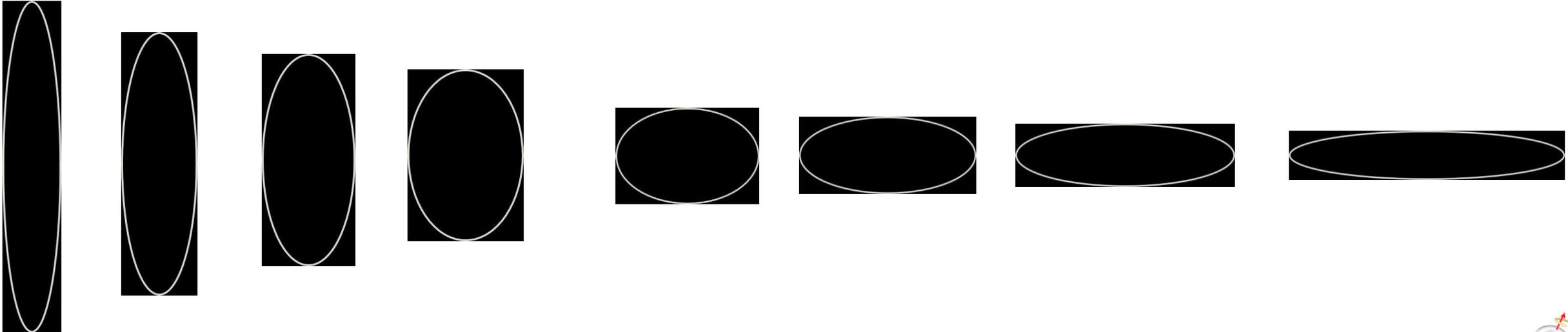
Prêts pour la suite ...

Validation : Un protocole basé sur les processus d'inhibition

François-Xavier ALARIO
Jean-Luc ANTON
Nathalie BARIL
Jenny COULL
Thierry HASBROUCQ
Julien SEIN
Franck VIDAL
Marianne VOGOYEAU

Deux tâches :

- Réponse de choix latéral (4 runs)
- Go / NoGo
 - 2 runs « gauche »
 - 2 runs « droite »



Validation : Un protocole basé sur les processus d'inhibition

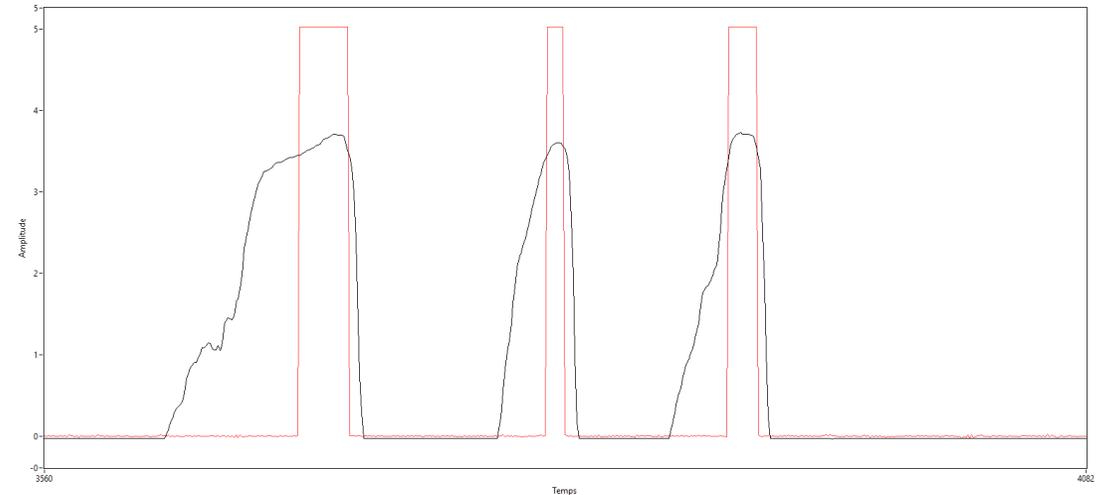
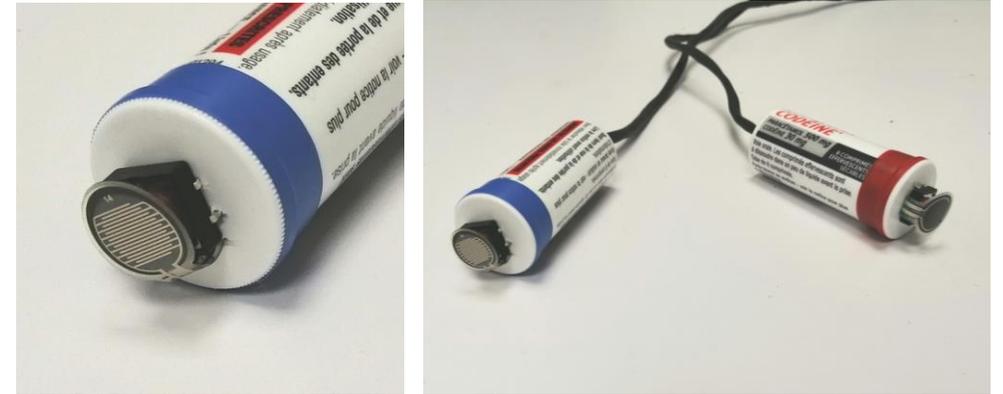
Motivations

- Capter ce qu'un bouton ne peut pas capter
- Ebauches d'appui (erreurs)

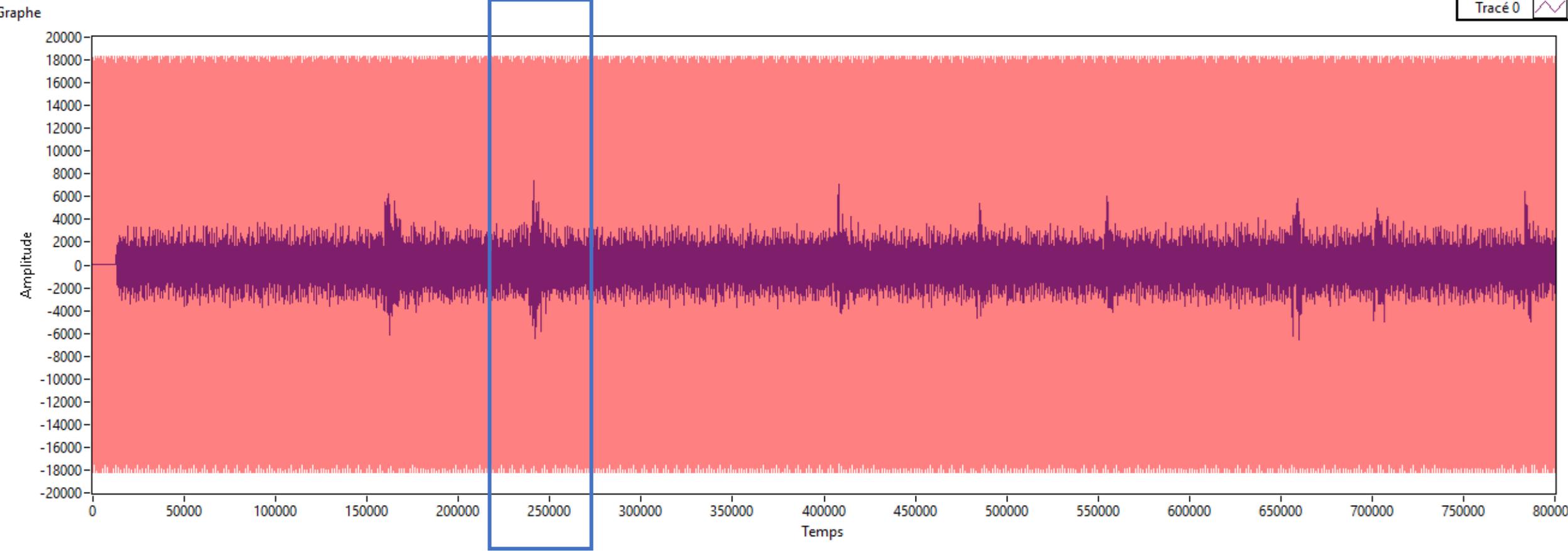
Outils de mesure

- Boutons numériques
- Capteurs de pression FSR
- EMG

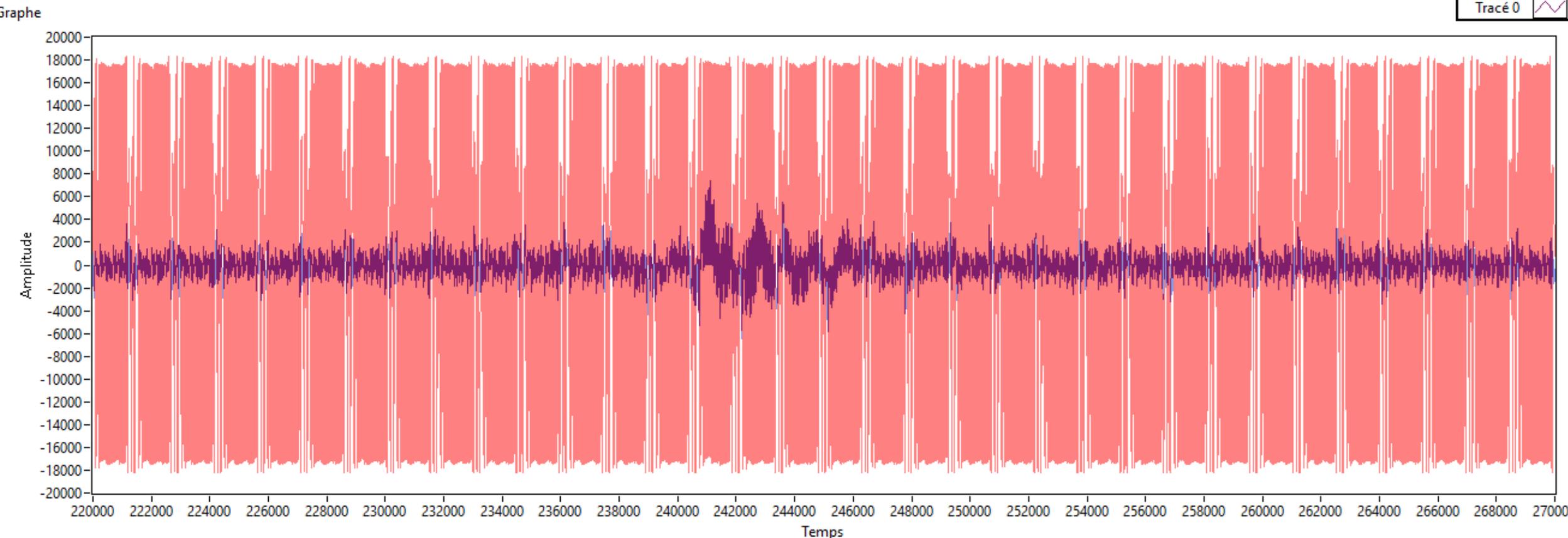
Valider la qualité de l'EMG par les FSR



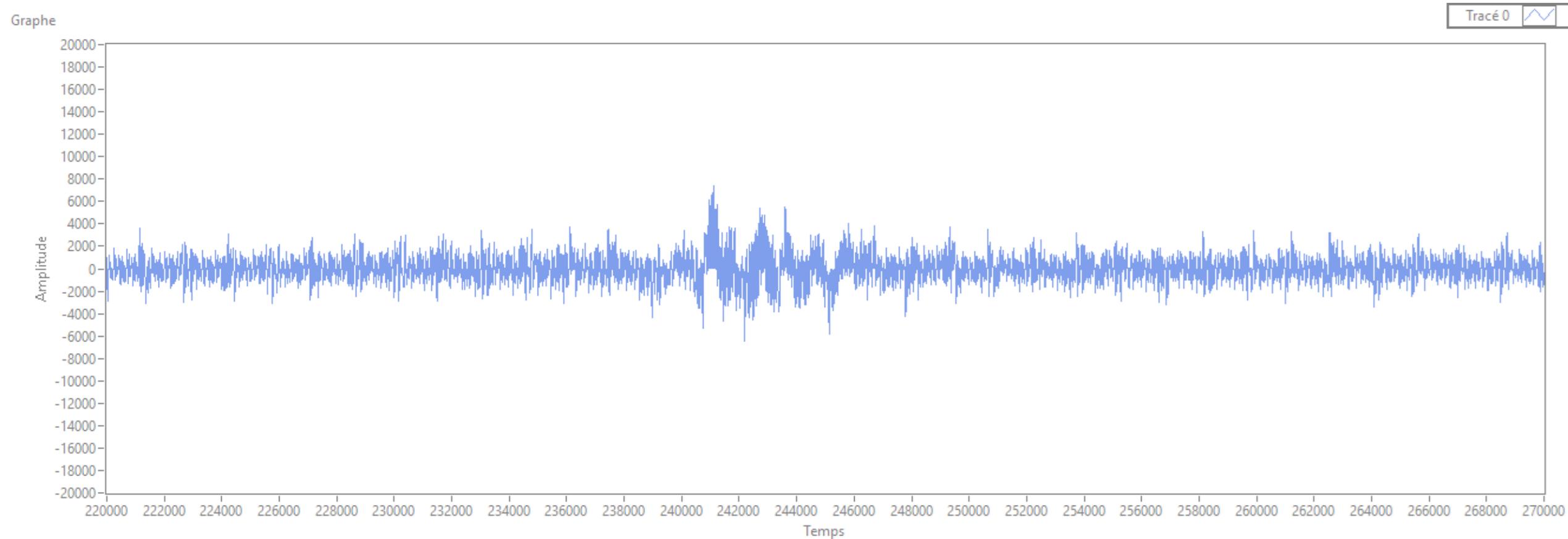
Résultats ... bruts



Résultats ... bruts



Résultats ... bruts



Il **reste un bruit** indubitablement lié à l'IRM, qui n'a pu être modélisé ET enlevé par soustraction

Petit point d'étape

Pourquoi le débruitage fonctionne-t-il moins bien

- Les résultats antérieurs ont été réalisés sur une boucle « idéale » ...
- ... et immobile

Le dilemme

- Arrêter le traitement à ce point
- Essayer d'améliorer le rapport S/B



Nous avons réalisé un débruitage par **la soustraction d'un motif (pattern)**

Il faudrait un **deuxième étage de filtrage**, adapté à la nature riche mais globalement stationnaire du bruit

Filtrage spectral

Une technique classique pour le filtrage de signaux audio

- Identifier une zone (segment) caractéristique du bruit (pas de signal d'intérêt)
- Réaliser une analyse spectrale du segment
- Eliminer (réduire) les fréquences caractéristiques en effectuant un « lissage fréquentiel »

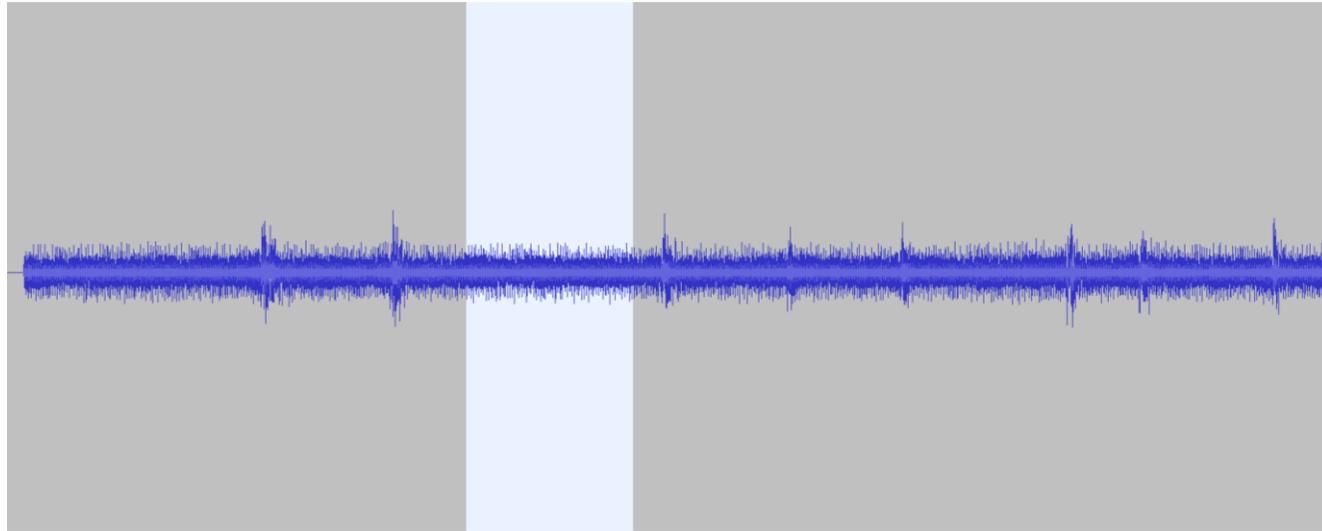
Deux problèmes

- De nombreux paramètres à régler (gain, fenêtrage, sensibilité)
- Cela va forcément altérer le signal EMG qui a un contenu fréquentiel riche

Filtrage spectral : le premier outil

Audacity

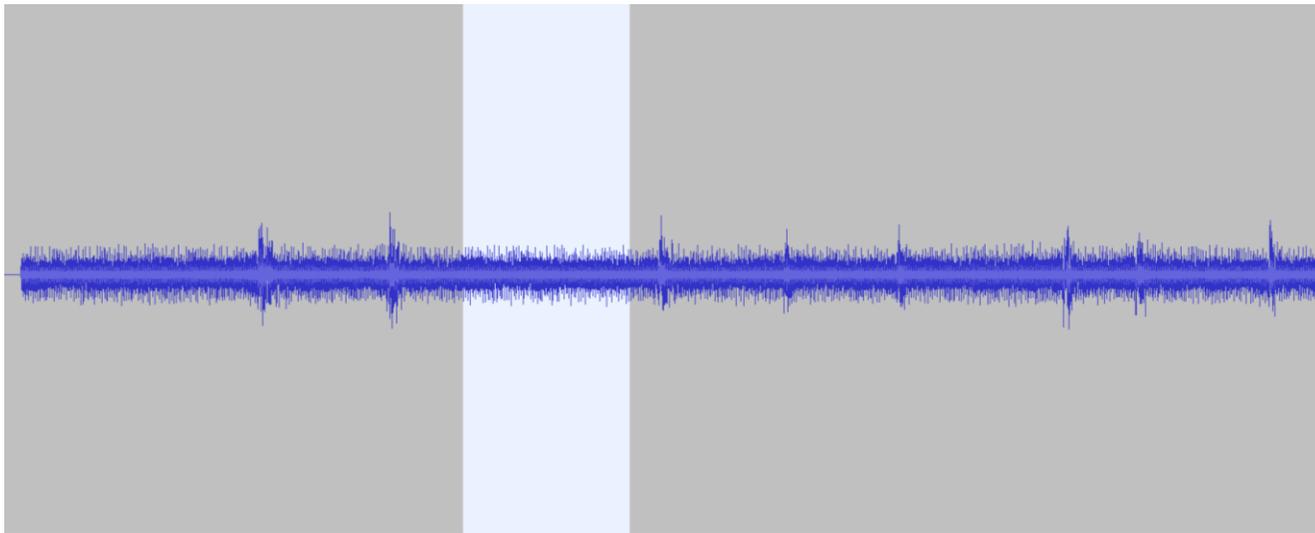
- Conversion des signaux déjà traités en fichiers audio (WAV)
- Identification d'un segment bruit
- Traitement de l'intégralité du signal



Filtrage spectral : le premier outil

Audacity

- Conversion des signaux déjà traités en fichiers audio (WAV)
- Identification d'un segment bruit
- Traitement de l'intégralité du signal

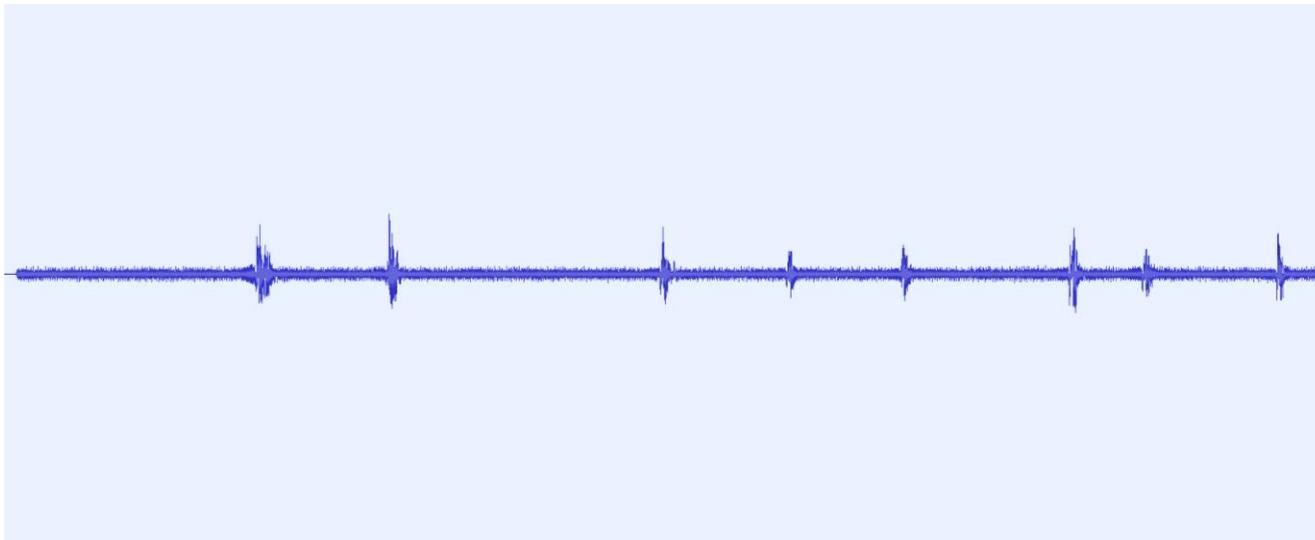


L'identification d'un segment du pur bruit nécessite une certaine **expertise**

Filtrage spectral : le premier outil

Audacity

- Conversion des signaux déjà traités en fichiers audio (WAV)
- Identification d'un segment bruit
- Traitement de l'intégralité du signal

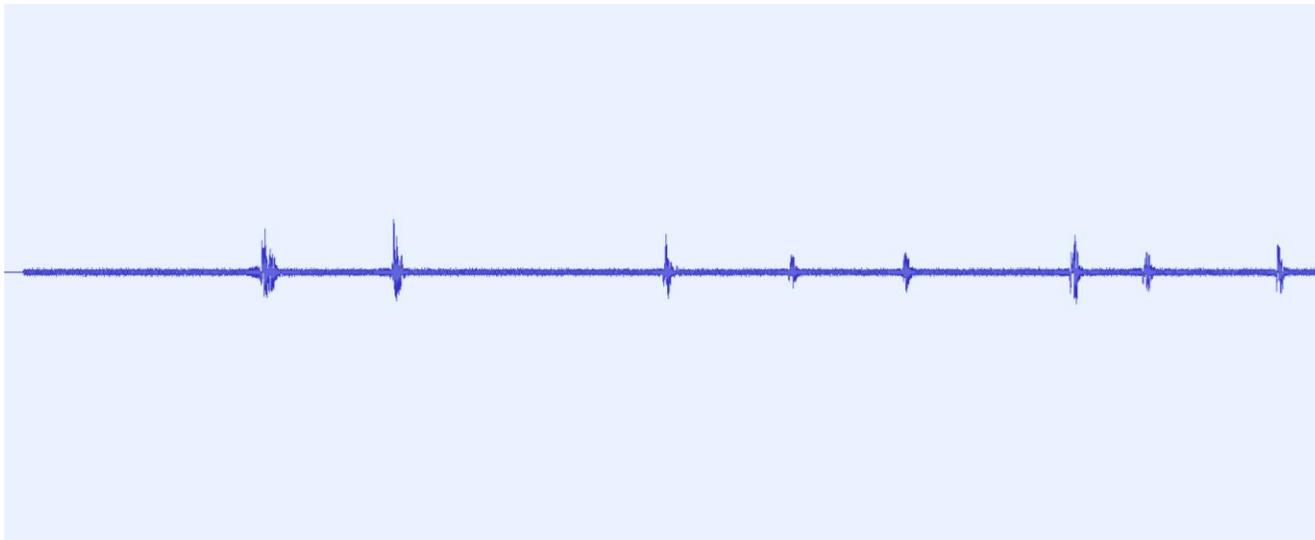


L'identification d'un segment du pur bruit nécessite une certaine **expertise**

Filtrage spectral : le premier outil

Audacity

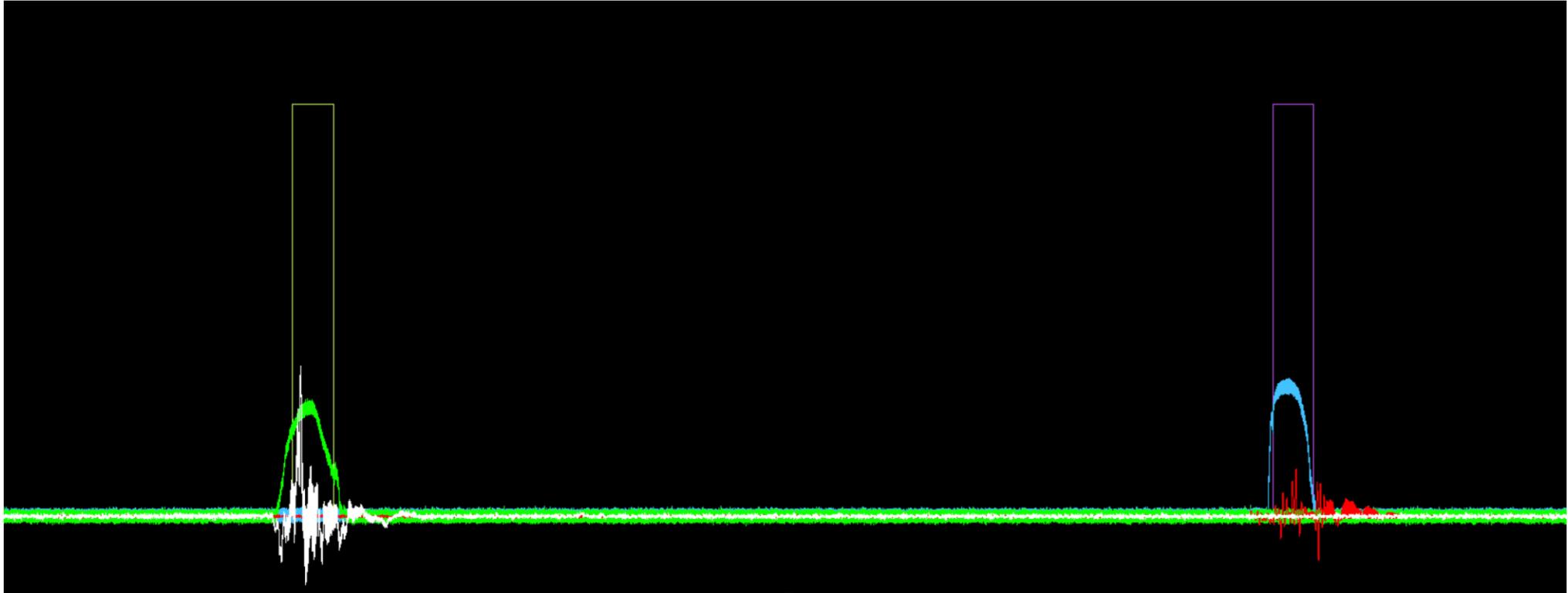
- Conversion des signaux déjà traités en fichiers audio (WAV)
- Identification d'un segment bruit
- Traitement de l'intégralité du signal



Les paramètres de filtrage nécessitent également une certaine expertise

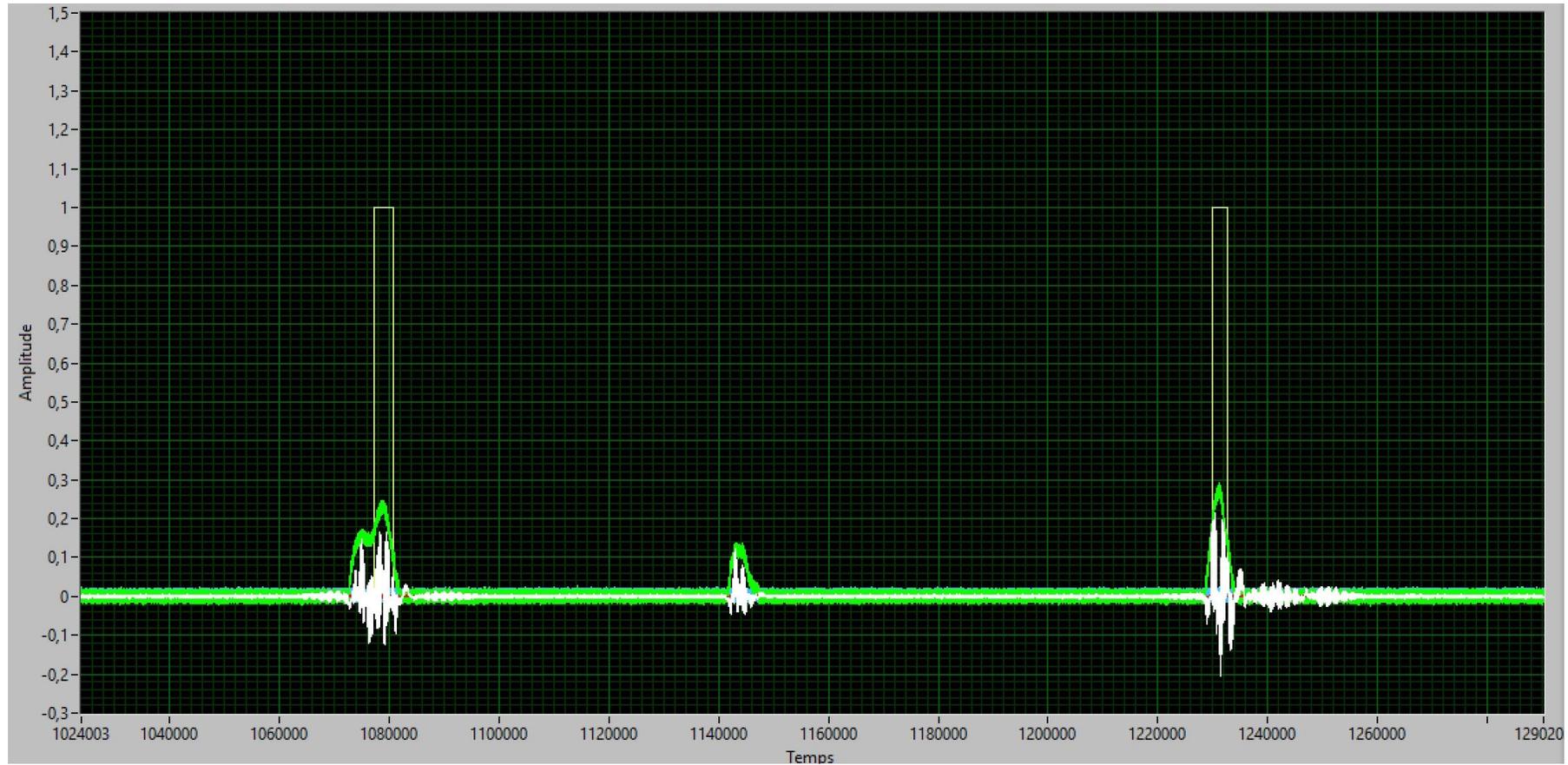
Fusion des données comportementales

EMG / FSR / Boutons



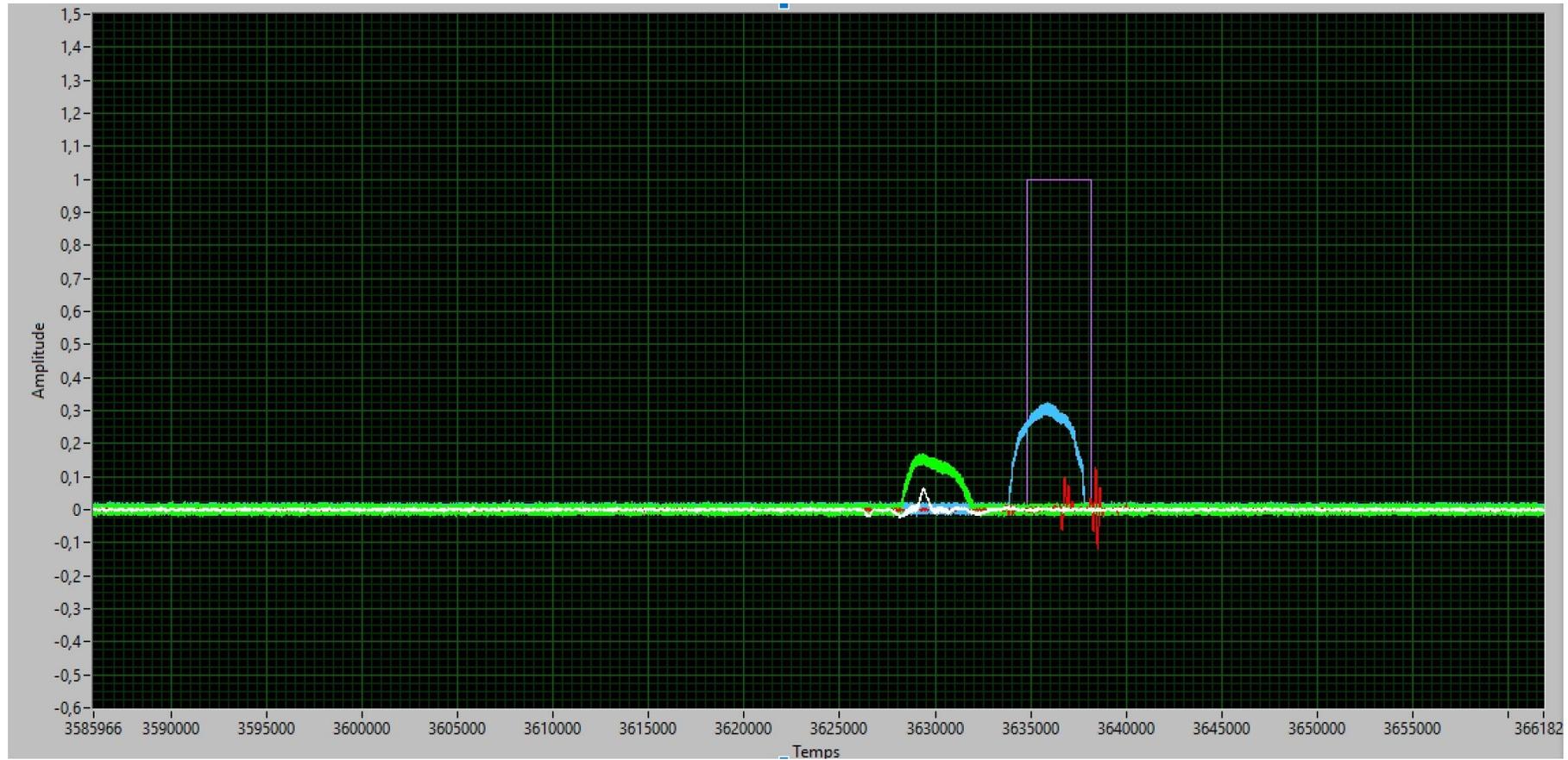
Quelques résultats

Ebauche d'appui sur une tache GoNoGo



Quelques résultats

Ebauche d'erreur sur une tâche de choix latéral



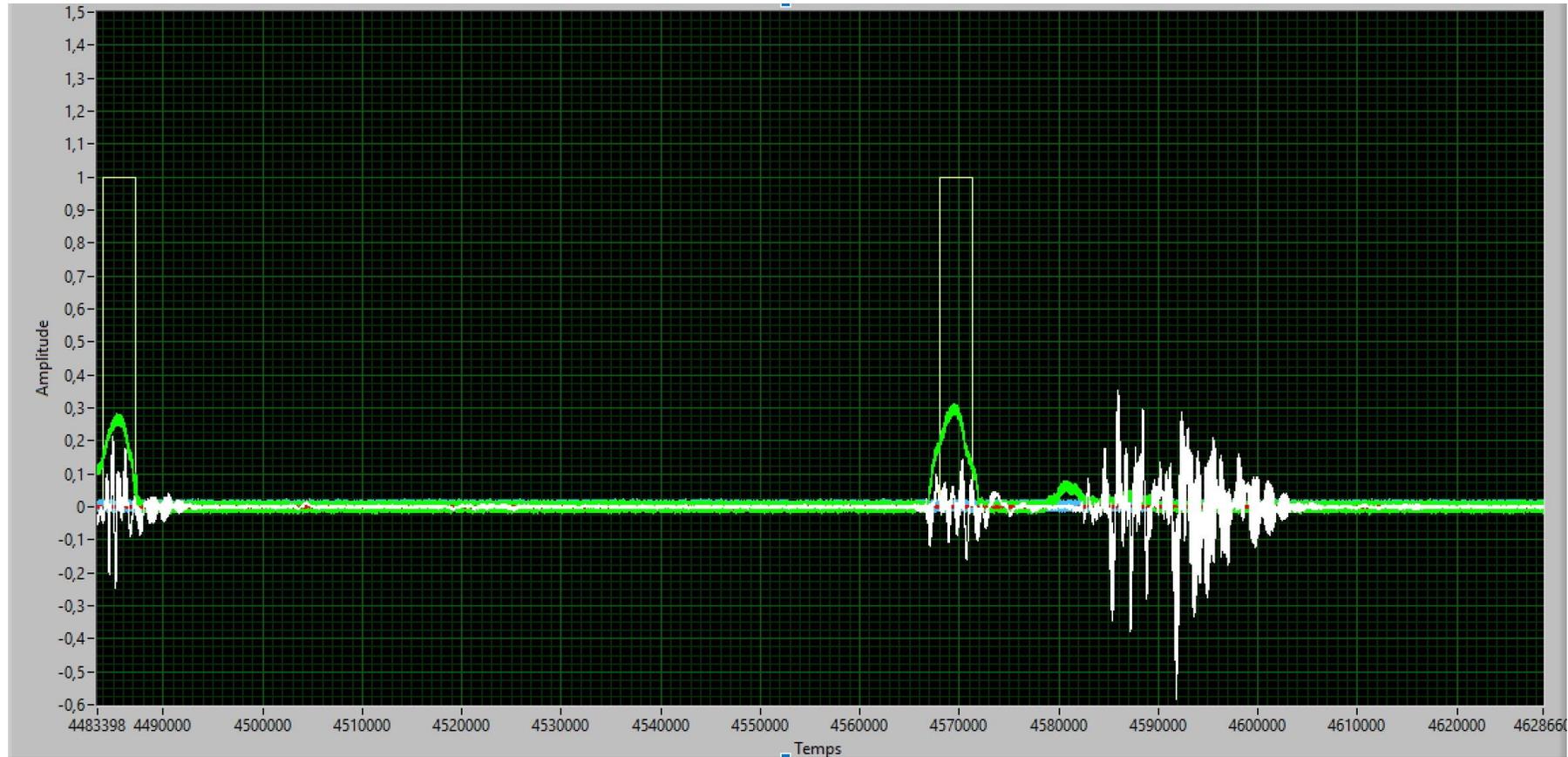
Quelques résultats

Ebauche d'appui sur une tache GoNoGo



Quelques résultats

Evènement « post-essai »



Discussion

Résultats

- Qualité de nettoyage plutôt encourageante
- Bonne corrélation entre capteur FSR et signal EMG
- Permet d'aller au-delà de la simple réponse binaire ON / OFF

Mais ... Work in Progress

- Paramètres de filtrage à optimiser
- Identification automatique de segments de bruit (protocole ?)
- Automatiser l'ensemble du processus

Une bonne **preuve de concept** pour un outil quasiment finalisé



Perspectives

IRMf

- Un nouvel outil qui permettra d'intégrer de nouveaux indicateurs comportementaux et de raffiner les modèles (encore de nouveaux régresseurs !!!)
- De nouveaux protocoles ouvrant sur des questions (encore plus) subtiles

Instrumentation

- Un nouveau chantier qui s'ouvre
 - Electrodes optimisées pour les muscles à étudier
 - S'orienter vers un contrôleur temps-réel qui pourrait réaliser le nettoyage on-line

Et surtout .. merci

François-Xavier ALARIO
Jean-Luc ANTON
Nathalie BARIL
Jenny COULL
Thierry HASBROUCQ
Julien SEIN
Laure SPIESER
Franck VIDAL
Marianne VOGOYEAU

Et Patricia ROMAIGUERE



Michel FIOCCHI



Éric PAYEN

