

Victor CHARNET

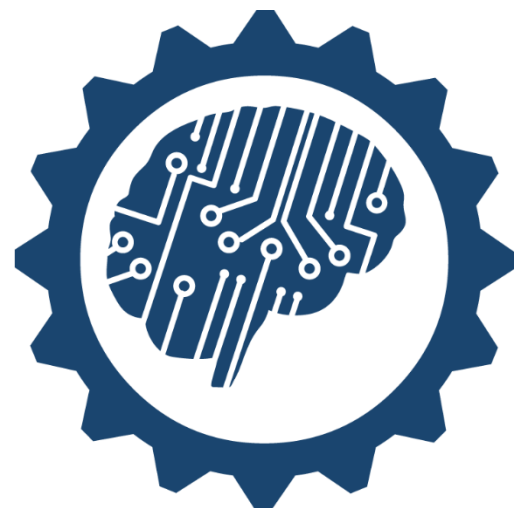
Polytech Lille – 5^{ème} année

Informatique Microélectronique Automatique



Développement d'une Interface Cerveau-Ordinateur

Projet de fin d'études



Rapport intermédiaire – Décembre 2016

Tutrice : LECOCQ Claudine

Responsable laboratoire : CABESTAING François



Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier :

- Madame Lecocq, tutrice de ce projet pour son accompagnement, ses conseils et son aide très précieuse lors de ces premiers mois de projet.
- Monsieur Cabestaing, responsable du pôle BCI du laboratoire CRISAL, pour avoir accepté de lancer ce projet et d'en avoir défini les objectifs.
- Monsieur Duprès, doctorant au pôle BCI du laboratoire CRISAL pour le temps qu'il a su prendre pour m'expliquer le principe de sa thèse et le fonctionnement de son système.

Table des matières

Remerciements	2
Introduction	4
Lexique & notions.....	4
I. Contexte du sujet	5
a) Principe des BCI.....	5
a.1) Acquisition.....	5
a.2) Traitement du signal.....	5
a.3) Classification	8
b) Problématiques des BCI	8
c) Définition des zones d'intérêt	8
d) Applications des BCI.....	10
e) Limites actuelles	10
II. Cahier des charges	10
a) Objectifs	10
b) Présentation du kit OpenBCI	11
c) Présentation des logiciels	12
c.1) OpenBCI (Graphical User Interface - GUI)	12
c.2) OpenVibe	12
III. Organisation et développement du projet	14
a) Plan d'action & livrables associés	14
b) Indicateurs de résultats.....	14
c) Planning prévisionnel.....	15
d) Analyse des risques du projet.....	17
d.1) Risques techniques.....	17
d.2) Risques humains.....	17
d.3) Risques liés à la sécurité.....	18
d.4) Risques sur les délais	18
e) Premières acquisitions.....	18
f) Mise en place de la fiche compte-rendu de manipulation.....	19
g) Problèmes rencontrés et solutions mises en œuvre.....	20
h) Travaux à venir	22
Conclusion	22
ANNEXE 1 / Datasheet ADS1299	23

Introduction

Ce projet est réalisé dans le cadre des projets de fin d'études de cinquième année à l'école d'ingénieur Polytech Lille en formation IMA (informatique, Microélectronique, Automatique).

Le sujet est développé en partenariat avec le pôle BCI (Brain-Computer Interface) du laboratoire CRISAL (Centre de Recherche en Informatique, Signal et Automatique de Lille) se situant à l'Université Lille 1, dirigé par François Cabestaing.

Le lien entre le laboratoire est assuré par la tutrice du projet, Claudine Lecocq, maître de conférences à Polytech Lille.

L'objectif principal de ce projet est de développer une Interface Cerveau-Ordinateur à l'aide d'un kit Recherche & Développement open source, du nom d'OpenBCI. Le principe d'une Interface Cerveau-Ordinateur est de mesurer les signaux cérébraux, les traiter et effectuer une classification des caractéristiques obtenues dans le but de contrôler et piloter un système, qui peut être physique (fauteuil roulant, drone...) ou logiciel (P300 dont le fonctionnement est expliqué dans la partie I.d).

Il est important de préciser que les BCI sont développées principalement pour les personnes paralysées et lourdement handicapées moteur pour qu'elles puissent communiquer ou interagir avec leur environnement par la pensée.

Ce rapport intermédiaire présentera le contexte du projet, l'organisation et les outils mis en place et également le travail effectué actuellement & à venir.

Lexique & notions

BCI : Brain-Computer Interface : Abréviation courante utilisée pour Interface Cerveau-Ordinateur.

EEG : Électroencéphalographie : Méthode d'exploration cérébrale qui mesure l'activité électrique du cerveau par des électrodes placées sur le cuir chevelu.

EMG : Électromyogramme : Examen qui permet d'enregistrer l'activité spontanée d'un muscle ou d'un nerf.

ECG : Électrocardiographie : Représentation graphique de l'activité électrique du cœur.

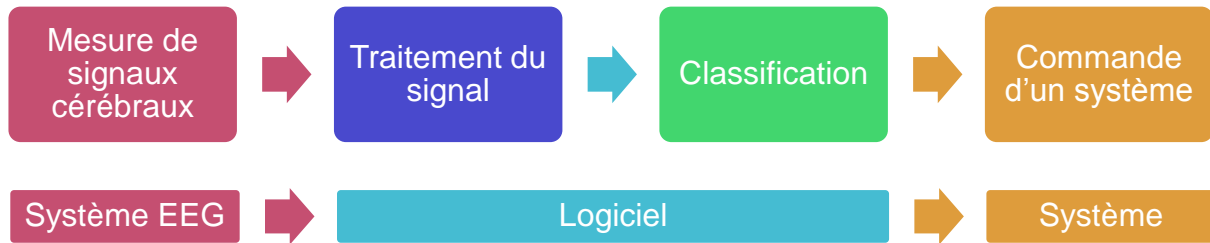
Interface synchrone : Une BCI est dite synchrone quand elle ne permet à l'utilisateur d'interagir avec le système qu'à des instants précis, basés sur des stimulus.

Interface asynchrone : Une interface est asynchrone à partir du moment où l'utilisateur peut changer volontairement certaines caractéristiques de son signal EEG et que l'acquisition de ses données EEG est continue.

I. Contexte du sujet

a) Principe des BCI

L'architecture classique d'une BCI est la suivante :



Sur le premier graphique, on retrouve l'analyse fonctionnelle du système. Chaque bloc représente une fonction principale réalisée par le système. Il s'agit dans un premier temps de mesurer les signaux physiologiques, et dans notre cas les signaux cérébraux de l'utilisateur. Il faut ensuite réaliser une opération de traitement de signal, où les données mesurées seront sélectionnées et traitées en fonction du scénario voulu par l'Interface Cerveau-Ordinateur.

Le second graphique correspond à l'architecture matérielle d'une BCI. Chaque bloc correspond donc au système nécessaire pour réaliser la fonction correspondante au bloc supérieur. Ainsi, la mesure des signaux cérébraux est assurée par un système, casque EEG, le traitement du signal et la classification sont réalisées par une partie logicielle (OpenVibe, OpenBCI, Matlab), puis le système à commander, qui peut être physique (fauteuil roulant, drone, etc..) ou logiciel (P300 dont le fonctionnement est expliqué dans la partie I.d).

a.1) Acquisition

Il existe différents moyens de réaliser de l'acquisition de signaux cérébraux. La méthode la plus classique est la méthode dite « non-invasive ». Cela consiste à installer un système EEG muni d'électrodes sur la surface du crâne. Ce dispositif est très simple à mettre en œuvre et est le plus généralement utilisé. Néanmoins, les signaux sont très bruités car les potentiels mesurés sont extrêmement faibles (ordre du micro volt).

L'acquisition des ondes cérébrales peut également être réalisée par une méthode semi-invasive. Une grille d'électrodes est installée à la surface de la boîte crânienne. Le procédé permet d'obtenir des signaux beaucoup moins bruités, mais nécessite une lourde intervention chirurgicale, il est donc peu utilisé.

La méthode pour obtenir les signaux de la meilleure qualité est la méthode invasive. Lors d'une très lourde opération, des électrodes vont être placées directement dans le cerveau. Les signaux sont alors très peu bruités et très fiables. Néanmoins, la durée de vie des électrodes dans le milieu cérébral est très courte et leur installation provoque de graves séquelles irréversibles au cerveau.

a.2) Traitement du signal

L'étape de traitement du signal est essentielle dans le bon fonctionnement d'une BCI. Elle permet d'extraire ce que l'on appelle des caractéristiques. L'objectif est dans un premier

temps d'éliminer ce que l'on appelle les artefacts (perturbations du signal EEG), qui peuvent être de type électrique, comme la présence du « 50Hz » issu de l'alimentation électrique du secteur, ou de type physiologique comme les clignements des yeux ou bien le pouls. C'est une étape de prétraitement qui utilise généralement des filtres. Les plus courants sont :

- **Filtrage spatial** : On utilise les informations des électrodes voisines. Un filtre spatial commun est le Laplacien. On va soustraire à une électrode la valeur moyenne des électrodes voisines. Si on se place dans la configuration de l'illustration ci-dessous, l'expression de la valeur de l'électrode centrale Cz après un filtrage Laplacien est la suivante :

$$Cz_{Laplacien} = Cz - \frac{Fz + Pz + C4 + C3}{4}$$

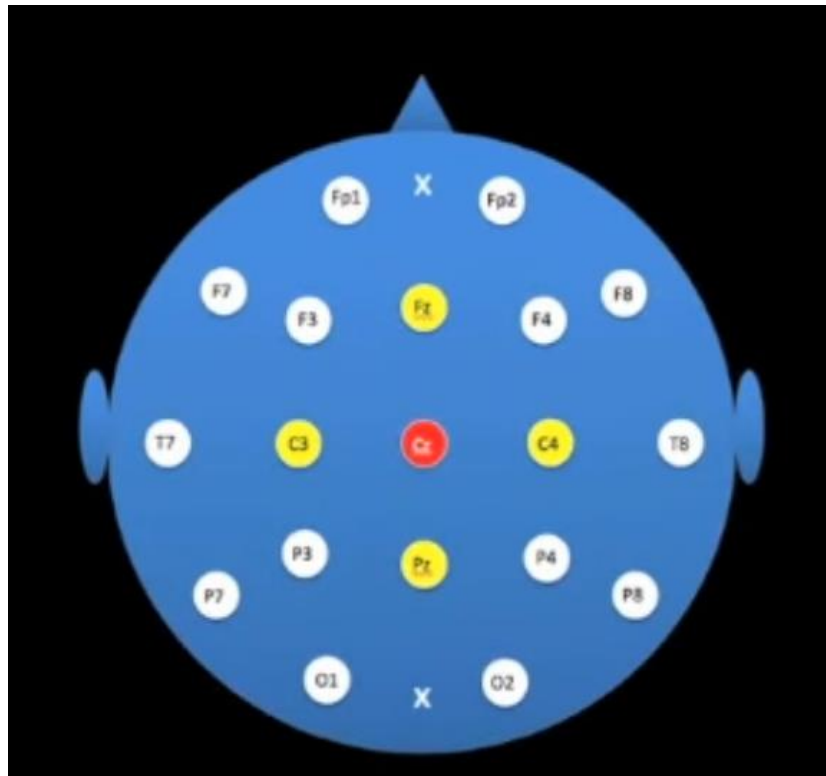


Figure 1 : Illustration du filtrage Laplacien sur un 10-20 system

- **Filtrage fréquentiel** : Le filtrage fréquentiel permet de sélectionner les bandes de fréquence utiles en fonction du scénario voulu par la BCI. En effet on peut classer les activités électriques cérébrales rythmiques en fonction de leur fréquence. Par exemple les ondes α sont généralement comprises entre 9 et 13Hz, elles correspondent à un état physiologique de repos et se manifestent généralement à la fermeture des yeux. L'analyse fréquentielle permet ainsi de remarquer la présence ou non de ces ondes.

Le graphique ci-dessous (Figure 2 : Mise en évidence des ondes alpha sur une FFT) représente mes propres ondes alpha mesurées lors d'une acquisition sur OpenBCI.

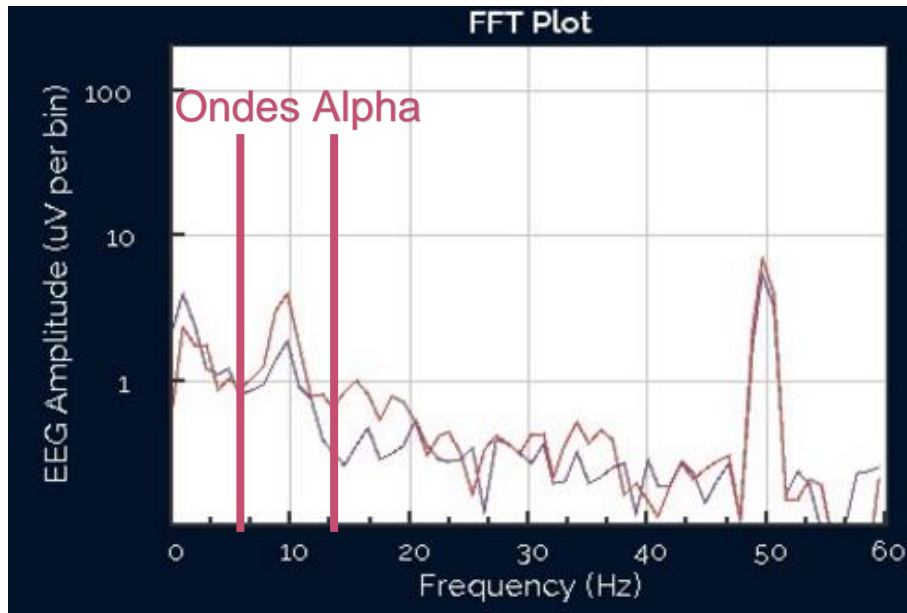
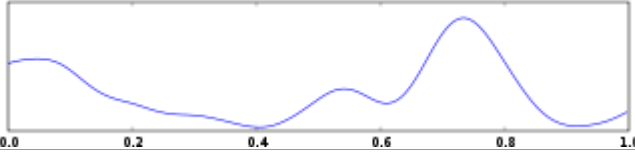
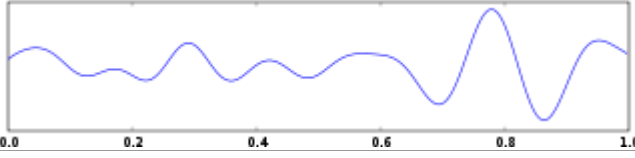
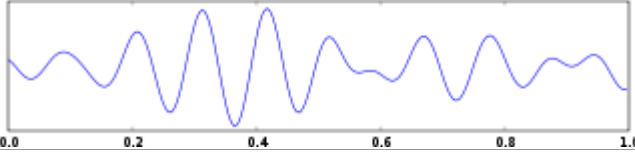
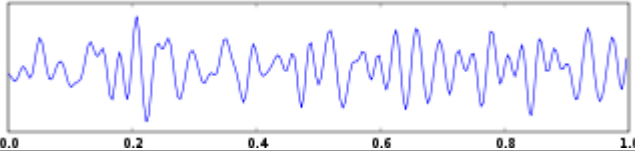
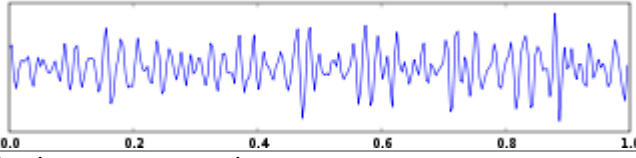


Figure 2 : Mise en évidence des ondes alpha sur une FFT

Le tableau suivant présente les différentes catégories d'ondes cérébrales en fonction de leur fréquence.

Nom	Fréquence (en Hz)	Visuel
Delta	0,5 à 3,5	
Thêta	4 à 9	
Alpha	9 à 13	
Beta	13 à 45	
Gamma	35 à 45	

Graphiques du site « www.mental-waves.com »

a.3) Classification

L'étape de classification est là pour effectuer une décision du système à partir des caractéristiques extraites lors de la phase de traitement du signal. On va donc organiser les données en différentes classes, fonctions des caractéristiques. Les classifieurs les plus courants dans les domaines des BCI sont :

- Classifieur LDA (Analyse linéaire discriminante) : il calcule la décision par combinaison linéaire des échantillons
- Réseaux de neurones : chaque neurone effectue une combinaison linéaire et permet d'attribuer à chaque neurone une classe
- Séparateurs à Vastes Marges (SVM) : Augmente la dimension d'un classifieur LDA pour trouver un hyperplan séparateur

Cette étape de classification est très souvent rattachée à une étape de machine learning, notamment dans le cas des interfaces asynchrones.

b) Problématiques des BCI

Le potentiel électrique mesuré par les électrodes d'un système EEG est lié à l'activité électrique des neurones situés dans le cerveau lorsqu'ils sont excités. On appelle ce phénomène : « Potentiel d'action ». L'idéal serait de pouvoir mesurer le potentiel d'action et de repos de chaque neurone présent, mais c'est technologiquement impossible. Les systèmes EEG actuels mesurent donc l'activité électrique d'une population de neurones dans des zones spécifiques du cerveau (voir partie I.c sur les zones d'intérêt). Les BCI actuelles se basent donc sur une mesure globale d'activité électrique et ne permettent donc qu'une interprétation grossière de l'activité cérébrale, rendant ainsi difficile la commande d'un système très complexe. C'est pourquoi les BCI actuelles se contentent d'environ 3 à 4 opérations simples au maximum sur les systèmes à commander.

c) Définition des zones d'intérêt

Comme expliqué précédemment, il n'est pas possible de mesurer l'activité électrique de chaque neurone, c'est pourquoi les systèmes EEG mesurent une population de neurones. Néanmoins il est connu que le cerveau est décomposé en différentes zones, « cortex » qui sont dédiées aux très nombreuses fonctions de l'Être Humain (Figure 3 : Représentation des différents cortex). On retrouve ainsi le cortex moteur, regroupant les fonctions appartenant aux mouvements du corps. Il existe également par exemple le cortex visuel, se situant à l'arrière du cerveau, dédié aux fonctions visuelles.

Afin de pouvoir mesurer correctement l'activité cérébrale dans ces zones, une méthode reconnue internationalement propose une disposition optimale des électrodes d'un système EEG. Il s'agit du « 10-20 system » et permet de normaliser la répartition des électrodes sur la surface de la tête d'un patient. (Figure 4 : 10-20 system)

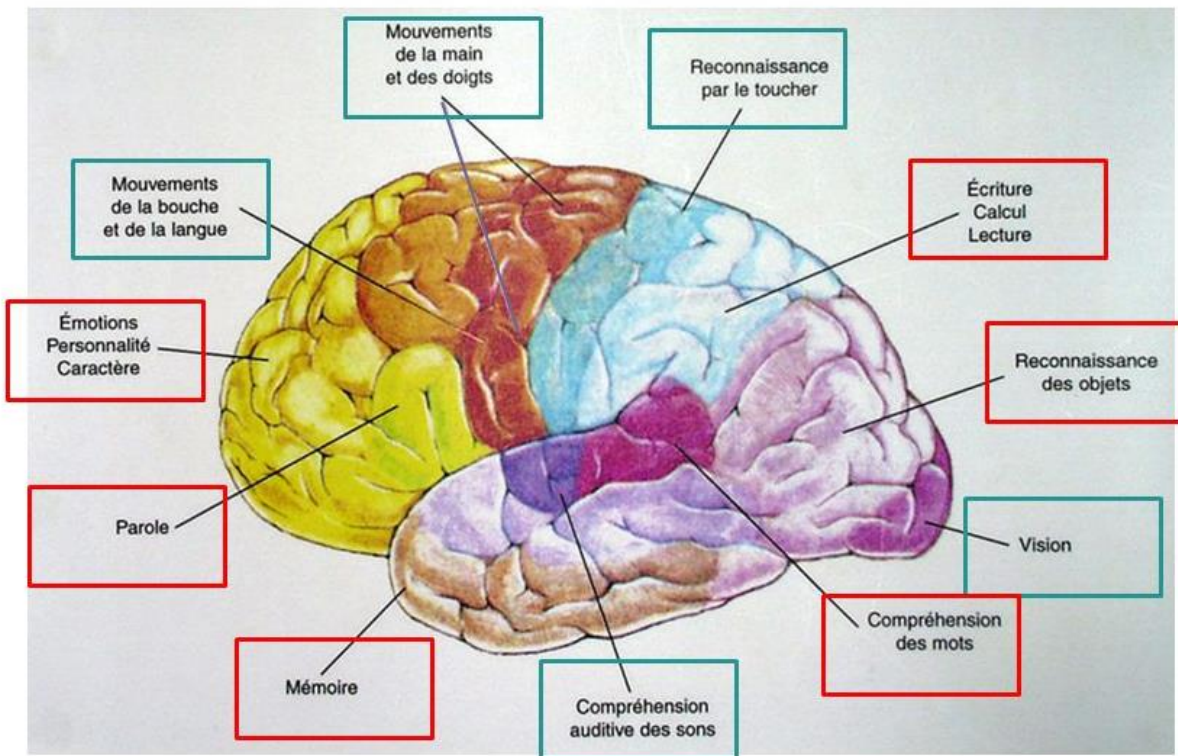


Figure 3 : Représentation des différents cortex

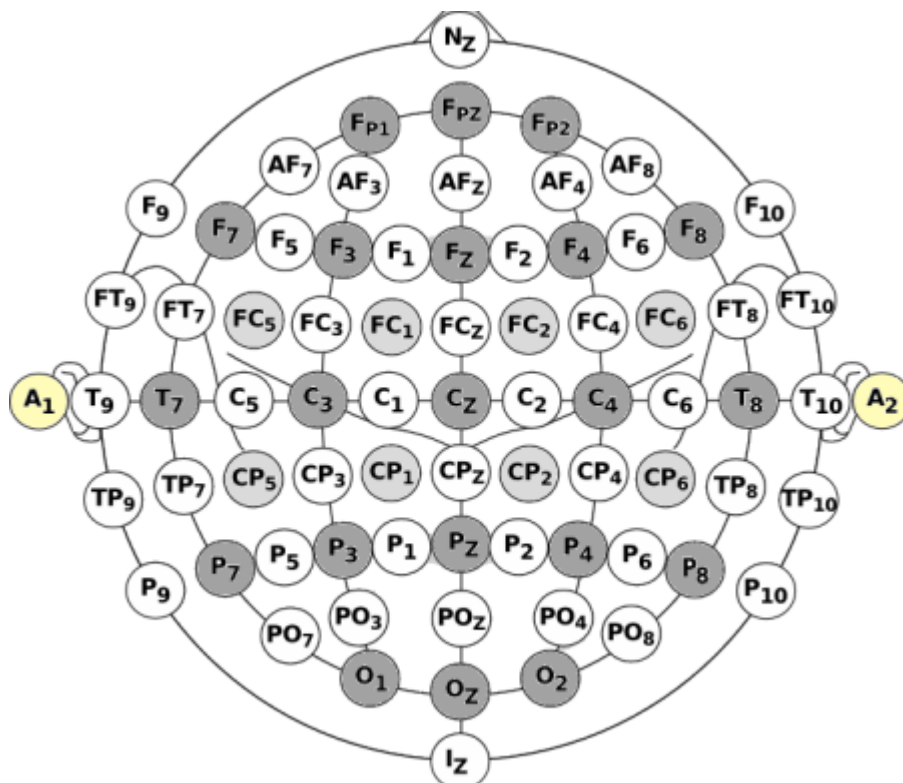


Figure 4 : 10-20 system

d) Applications des BCI

Les applications pour les BCI sont très nombreuses, mais la majorité actuellement reste dans le domaine médical, on y retrouve ainsi des applications telles que :

- Interaction avec un membre : Permet de recréer le lien entre le cerveau et le muscle
- Utilisation d'une prothèse : On utilise les ondes cérébrales pour commander une prothèse
- Moyen de communication : Un système opérationnel actuellement est le P300 speller. Il s'agit d'un système synchrone qui se présente sous la forme d'un tableau où dans chaque case se trouve une lettre. Si l'utilisateur veut écrire « bonjour » par exemple. Il devra se concentrer sur la lettre B dans un premier temps. Le système va ensuite mettre en surbrillance alternativement les différentes colonnes puis les différentes lignes. En se concentrant sur la lettre voulue, à chaque fois que la bonne colonne ou la bonne ligne où se trouve la lettre sera en surbrillance, il y a aura une augmentation du potentiel électrique sur l'électrode Cz du patient 300ms après le stimulus.
- Contrôle d'un fauteuil roulant : Certains patients disposent d'une paralysie complète du corps, un tel système leur permettrait de se déplacer par la pensée en utilisant des fonctions très simples (à droite, à gauche, tout droit). Le système peut être synchrone ou asynchrone.

e) Limites actuelles

Il est important de contredire certaines idées reçues sur la l'étude des signaux cérébraux, il est impossible de lire dans les pensées des gens avec de tels systèmes, les rêves, ou alors de détecter les mensonges. Les moyens d'acquisitions utilisent une détection de l'activité électrique globale, par zones. On ne peut donc distinguer et utiliser que des fonctions simples.

L'acquisition de signaux se fait actuellement majoritairement en surface, le dispositif est simple mais les signaux sont extrêmement bruités. Les acquisitions invasives ou semi-invasives sont très difficiles à mettre en place et sont réservées à des patients atteints de pathologies lourdes étant donné les séquelles irréversibles que peuvent causer des électrodes dans la masse cérébrale.

II. Cahier des charges

a) Objectifs

Les objectifs principaux du projet ont été décidés de part une collaboration entre le laboratoire CRISAL (représenté par Mr Cabestaing), Mme Lecocq et moi-même. Il fallait choisir des objectifs réalisables dans le temps dédié à ce projet de fin d'études, et qui aient un réel apport pour le laboratoire (voir indicateurs de résultats dans la partie III.b)

- **Mise en œuvre du système d'acquisition OpenBCI sur OpenVibe** : OpenVibe est le logiciel majoritairement utilisé par le laboratoire CRISAL. Il est donc très important de rendre le plus rapidement possible le matériel OpenBCI compatible avec ce logiciel.

- **Documentation technique pour utilisation OpenBCI** : il s'agit là de produire une documentation précise des câblages et des caractéristiques du kit afin qu'une personne l'utilisant puisse rapidement trouver les informations dont elle a besoin.
- **Comparaison coût/performances entre les systèmes g.tec & OpenBCI** : En effet, le kit OpenBCI est environ 10 fois moins cher qu'un système g.tec (système aux normes médicales utilisé par CRISStAL). Il est important de pouvoir comparer leurs performances.
- **Utilisation du kit R&D OpenBCI pour commander/piloter un système physique** : L'objectif à terme de ce projet est de pouvoir mettre en œuvre la commande d'un système physique, qu'il soit logiciel ou physique.

b) Présentation du kit OpenBCI

OpenBCI est un système d'acquisition des signaux EEG à bas coût. C'est une plateforme open-source qui donne accès très facilement à la mesure des signaux cérébraux. Il est développé en open source dans le but d'accélérer l'innovation des neurosciences. Le kit R&D en ma possession est composé d'un lot d'électrodes (type goldcup, passives) et d'une carte d'acquisition basée sur un convertisseur analogique/numérique Texas Instruments ADS1299 à faible bruit. Ce convertisseur est conçu pour travailler sur la mesure de faibles signaux EEG (de l'ordre du micro volt). La carte de base permet de fonctionner sur 8 canaux et donc d'utiliser 8 électrodes.

Ce système d'acquisition EEG est basé sur un montage dit « à référence commune ». (Figure 5 : Montage à référence commune.

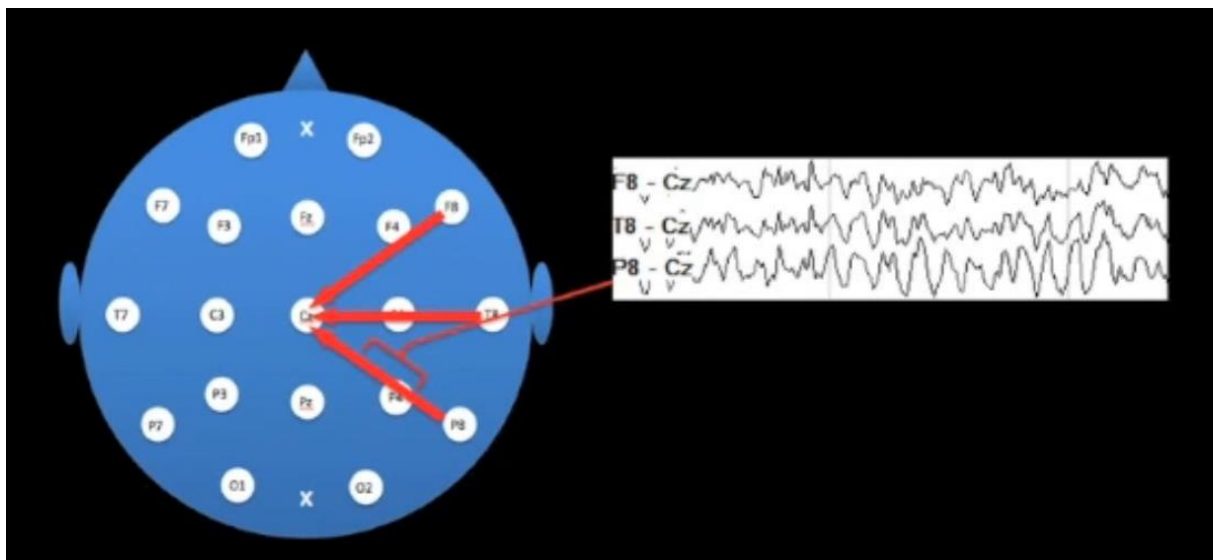


Figure 5 : Montage à référence commune

Le principe d'un tel montage est que le potentiel électrique donné d'une électrode est égal à la différence entre son potentiel mesuré et le potentiel d'une électrode qui sera qualifiée de référence.

On retrouve cette caractéristique dans la fiche technique du convertisseur ADS1299. (voir annexe 1)

c) Présentation des logiciels

c.1) OpenBCI (Graphical User Interface - GUI)

Les chercheurs qui développent le kit OpenBCI fournissent également une interface graphique pour les utilisateurs qui permet d'effectuer quelques opérations de traitement de signal simples, mais surtout de visualiser les signaux. Cette interface est disponible en open source, ce qui permet aux personnes qui en ont le désir de rajouter des modules en fonction de leurs applications.

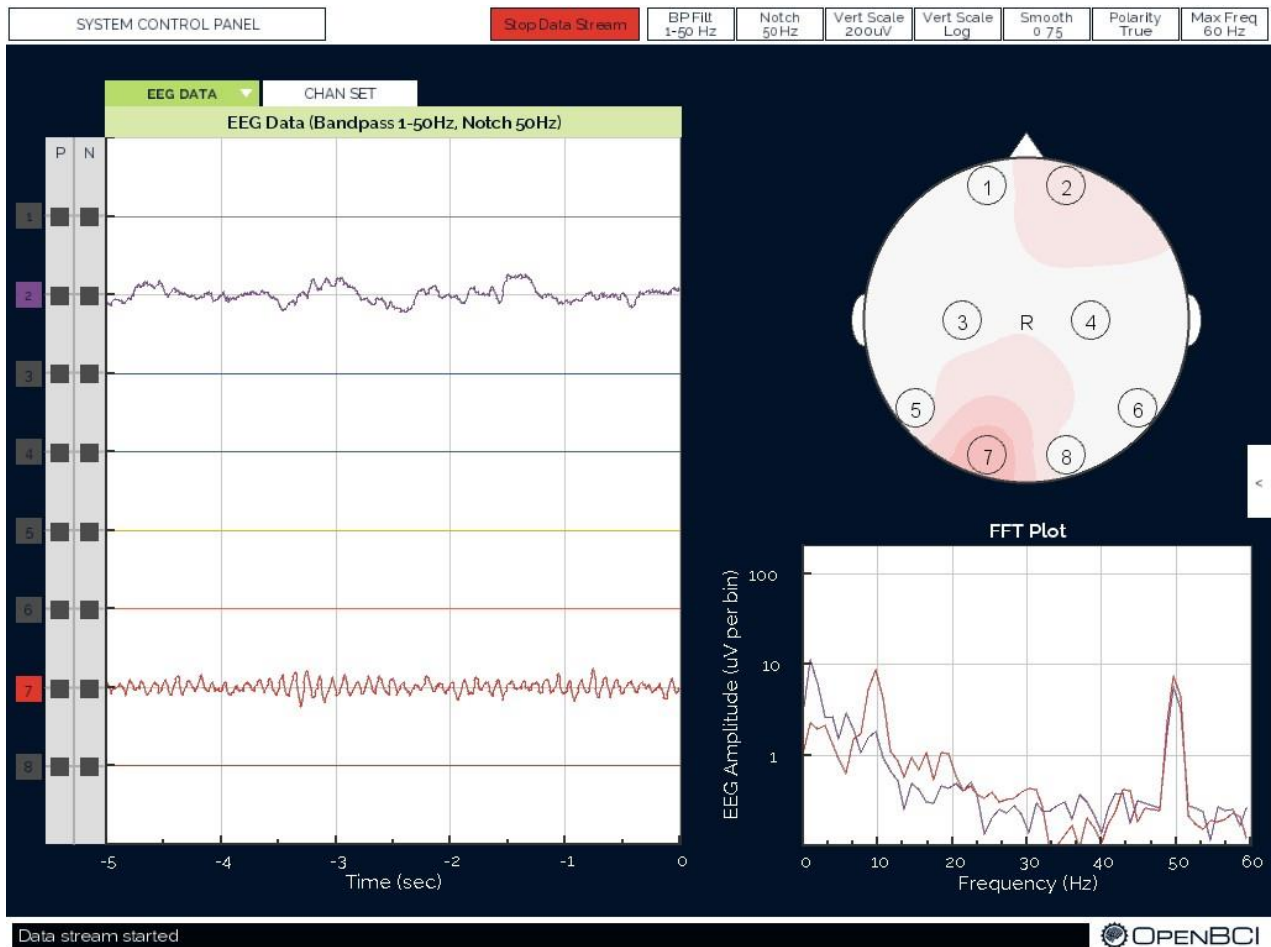


Figure 6 : Aperçu d'OpenBCI GUI

c.2) OpenVibe

OpenVibe est un logiciel entièrement gratuit et open source développé par l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique). Il est spécialement conçu pour la création, le test et l'utilisation d'interfaces cerveau-ordinateur. OpenVibe est un logiciel utilisé pour les applications en temps réel des neurosciences (et tout particulièrement pour les signaux cérébraux). Il peut être utilisé pour l'acquisition de ces signaux, le traitement, la classification, mais également pour les visualiser, en temps réel.

OpenVibe fonctionne sur un système de scénarios qui peuvent être élaborés à partir de différentes boites outils spécifiques.

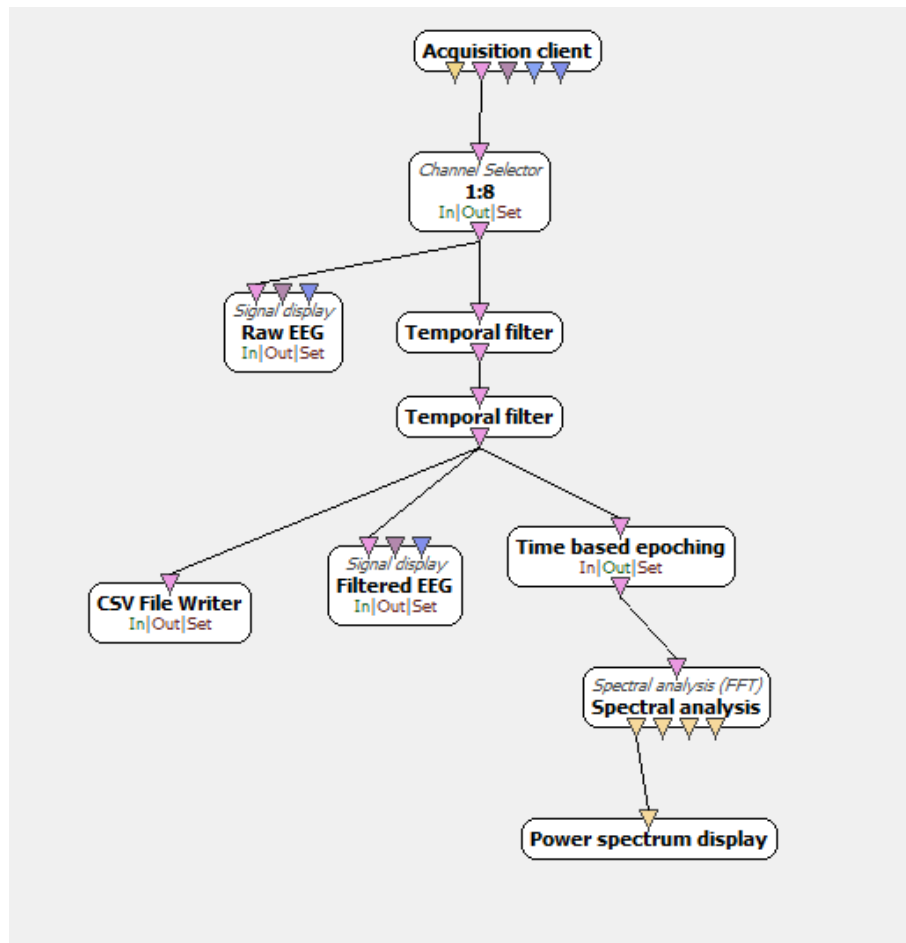


Figure 7 : Exemple de scénario sur OpenVibe (extrait d'une application OpenBCI)

Dans cet exemple d'application, on peut retrouver des éléments essentiels d'un scénario OpenVibe :

- **Acquisition client** : permet l'acquisition des données à partir du casque EEG.
- **Channel Selector** : l'utilisateur peut choisir les canaux qu'il utilisera dans l'application
- **Signal Display** : permet l'affichage des signaux dans une fenêtre dédiée
- **Temporal filter** : l'utilisateur peut utiliser filtres temporels classiques (Passe-bas, passe-haut etc... Un coupe-bande entre 48Hz et 52Hz est fréquemment utilisé pour retirer la fréquence liée au 50Hz du réseau électrique)
- **Time base epoching** : sert à définir une fenêtre glissante pour des calculs par exemple
- **Spectral analysis** : permet d'effectuer une analyse spectrale de type FFT
- **Power spectrum display** : permet l'affichage d'une FFT
- **CSV File Writer** : enregistrement des données sous le format .csv (Comma-separated values) qui permet d'obtenir les données sous forme d'un tableau facilement exploitable (avec des logiciels comme MATLAB par exemple)

III. Organisation et développement du projet

Dans le cadre du projet, plusieurs outils ont été mis en place pour s'assurer du bon déroulement de celui-ci :

a) Plan d'action & livrables associés

Une fois les objectifs définis, il était important de définir le plan d'action à suivre dans ce projet et de définir pour chacune des tâches un livrable.

Tâche	Livrable associé
Documentation sur les BCI & gestion du projet	
Documentation et état de l'art des BCI	Diaporama de connaissances sur le sujet BCI
Utilisation d'outils de gestion de projet	Documents (Analyse des risques, indicateurs etc..)
Mise en œuvre du kit OpenBCI	
Etude du kit OpenBCI	Documentation technique du kit
Prise en main des logiciels OpenBCI et OpenVibe	Rapport sur le fonctionnement des logiciels
Mise en place d'une procédure de câblage	Document décrivant les étapes pour la mise en place du système d'acquisition
Assurer la compatibilité du kit avec OpenVibe	Document décrivant les étapes pour configurer OpenBCI avec OpenVibe
Analyse comparative des deux systèmes	
Sélection des critères de comparaison	Critères de comparaison des deux systèmes (procédure, performances, coût)
Mise en place d'un protocole de mesure	Document décrivant les mesures qui seront effectuées pour la comparaison des systèmes
Elaboration de scénarios OpenVibe	Scénarios OpenVibe
Etude comparative des systèmes	Synthèse des mesures
Intégration d'OpenBCI dans une interface	
Portage du kit OpenBCI sur « le labyrinthe »	Association matériel / logiciel opérationnelle <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fichiers et procédure ▪ Communication opérationnelle (et fichiers)
Développement d'une BCI de démonstration	Interface simple opérationnelle
Mise en place d'une campagne de tests	Résultats & analyse des résultats

b) Indicateurs de résultats

Afin de s'assurer du bon déroulement du projet, il a fallu mettre en place des indicateurs de résultats permettant de mesurer la pertinence et l'avancée de chaque tâche.

Indicateurs de résultat liés aux actions

Documentation sur les BCI & gestion du projet

Temps : Gain de temps pour les prochains utilisateurs du kit OpenBCI. L'analyse des risques permet d'éviter d'éventuelles pertes de temps

Sécurité : Informations concernant les BCI et notamment à usage médical

Qualité : Informations regroupées avec sources. Utilisation des outils de gestion de projet

Profitabilité : Fiabilité, pertinence et justification du projet. Organisation réutilisable

Mise en œuvre du kit OpenBCI

Temps : Gain de temps pour les prochains utilisateurs du kit OpenBCI, que ce soit vis-à-vis de la document technique (gain estimé à 2 semaines) mais également au niveau de l'installation du kit (gain estimé à 1 mois)

Sécurité : Informations concernant le matériel et les manipulations (câblage, manipulations à éviter etc...) Sécurité du système vis-à-vis des patients

Qualité : Garantir la fiabilité de la mesure et obtenir de mesures exploitables sur d'autres logiciels (MATLAB). Identifier les mesures représentatives et exploitables

Profitabilité : Mise en place d'une procédure de mesure. Système compatible avec OpenVibe

Analyse comparative des deux systèmes

Temps : Document exploitable par les prochains utilisateurs du kit OpenBCI (gain estimé à 1 mois).

Sécurité : Prise de conscience des avantages et inconvénients de chaque système sur les mesures (dans le but d'éviter une mauvaise interprétation dans la suite d'un projet)

Qualité : Rendre la mesure précise et juste. Document exploitable par les prochains utilisateurs. Mise en place de scénarios réutilisables

Profitabilité : Tableau de comparaison des deux systèmes selon les critères choisis

Intégration d'OpenBCI dans une interface

Temps : Gain de temps pour le laboratoire (gain estimé à 4 mois). Mise en place d'un protocole et projet réutilisable

Sécurité : Informations disponibles pour le laboratoire

Qualité : Fichiers exploitables. Absence de bugs sur les réalisations. Système fiable et utilisable par le maximum de personnes (avec la campagne de tests)

Profitabilité : Possibilité de présenter une BCI de démonstration

c) Planning prévisionnel

	Octobre					Novembre					Décembre					Janvier					Février			Rendu livrable			
	39	40	41	42	43	44	44	45	46	47	48	48	49	50	51	52	52	1	2	3	4	5	5	6	7	8	
Documentation sur les BCI & gestion du projet																										02/12/2016	
Documentation et état de l'art des BCI																									16/12/2016		
Utilisation d'outils de gestion de projet																										25/11/2016	
Mise en œuvre du kit OpenBCI																										13/01/2017	
Etude du kit OpenBCI																									16/12/2016		
Prise en main des logiciels OpenBCI et OpenVibe																											16/12/2016
Mise en place d'une procédure de câblage																									13/01/2017		
Assurer la compatibilité du kit avec OpenVibe																									13/01/2017		
Analyse comparative des deux systèmes																										10/02/2017	
Sélection des critères de comparaison																											20/01/2017
Mise en place d'un protocole de mesure																											27/01/2017
Elaboration de scénarios OpenVibe																											27/01/2017
Etude comparative des systèmes																											10/02/2017
Integration d'OpenBCI dans une interface																										10/02/2017	
Portage du kit OpenBCI sur « le labyrinthe »																											10/02/2017
Développement d'une BCI de démonstration																											10/02/2017
Mise en place d'une campagne de tests																											17/02/2017

d) Analyse des risques du projet

d.1) Risques techniques

- Défaillance ou détérioration du matériel (kit OpenBCI)
 - Probabilité : Extrêmement rare
 - Effet : Défaut, Destruction ou système inopérant
 - Détection : Immédiate
 - Protection : Matériel rangé dans casier fermé / Manipulations « délicates »
 - Réaction : Réparation ou retour

- Manque de ressources disponibles (documentations, études etc...)
 - Probabilité : Rare
 - Effet : Délai ou annulation d'une tâche, voir action
 - Détection : Quand la ressource est nécessaire
 - Protection : Plan d'action prévu à l'avance, prévoir une aide extérieure
 - Réaction : Modification du planning et du plan d'action, utilisation de l'aide extérieure

- Casque MarkIV non commandable dans les délais
 - Probabilité : Fortement envisageable
 - Effet : Délai ou modification d'une tâche
 - Détection : Prise de décision
 - Protection : Prévoir une solution de secours (impression de casque sur un autre modèle ? Rendre opérationnel sur bonnet CRISAL ?)
 - Réaction : Mettre en place la solution de secours choisie

d.2) Risques humains

- Compétence non maîtrisée
 - Probabilité : Rare
 - Effet : Délai d'une tâche
 - Détection : Quand la compétence est nécessaire
 - Protection : Anticipation des tâches et du plan d'action, prévoir une aide extérieure
 - Réaction : Modification du planning et du plan d'action, utilisation de l'aide extérieure

- Créneaux disponibles pour effectuer des mesures
 - Probabilité : Occasionnelle
 - Effet : Délai d'une tâche
 - Détection : Chaque semaine lors du bilan
 - Protection : Anticiper les séances de projet et planifier les séances de mesures

- Réaction : Mobiliser les ressources et améliorer l'efficacité du processus de mesures

d.3) Risques liés à la sécurité

▪ Système peu fiable pour la sécurité du patient

- Probabilité : Extrêmement rare
- Effet : Danger pour le patient
- Détection : A la manipulation
- Protection : Etude de la documentation technique et évaluation des risques (mise en place d'un protocole « d'urgence ») Se référer aux normes médicales ?
- Réaction : Application du protocole « d'urgence »

d.4) Risques sur les délais

▪ Mauvaise estimation de la durée des tâches et actions

- Probabilité : Fréquente
- Effet : Délai ou modification d'une tâche, voir action
- Détection : Lors des bilans projets
- Protection : Anticiper la charge de travail, efficacité
- Réaction : Modification du planning et du plan d'action. Mobiliser les ressources

e) Premières acquisitions

Au cours de ces premières semaines j'ai pu effectuer mes premières acquisitions avec le système sur le logiciel OpenBCI. En voici quelques-unes :

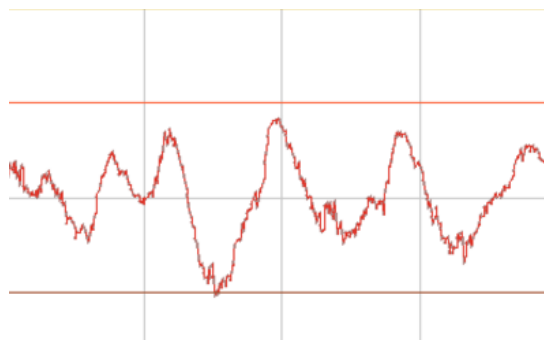


Figure 8 : Mouvements de la mâchoire

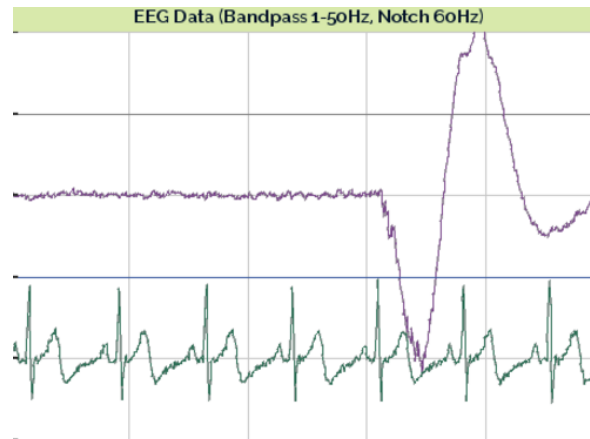


Figure 9 : En violet : Reliquat lié à un clignement d'œil

J'ai également pu prouver la présence d'ondes alpha dans mon cortex moteur et visuel comme présenté sur la Figure 2 : Mise en évidence des ondes alpha sur une FFT.

f) Mise en place de la fiche compte-rendu de manipulation

Le système d'acquisition OpenBCI mis en œuvre dans ce projet utilise des électrodes passives. Il faut donc appliquer du gel sur ces électrodes qui se placera entre celles-ci et le cuir chevelu. Il faut également placer les électrodes sur le bonnet. Le temps de cette préparation du bonnet EEG est estimé à 20 minutes pour une électrode et il est raisonnable de rajouter 5 minutes de préparation par électrode. Il faut également 20 minutes +5min/électrode pour retirer le système, nettoyer le cuir chevelu du patient et les électrodes pour éviter qu'elles se détériorent. Ce temps de préparation et de rangement du matériel est une contrainte importante dans ce projet, car cela implique de devoir trouver des créneaux horaires suffisamment grands afin d'effectuer la manipulation. De plus, une fois le système installé au patient, il devient très difficile de se déplacer.

Il apparaît donc important d'être en mesure de pouvoir effectuer des mesures correctes mais également de retenir un maximum d'informations lors de ces manipulations. J'ai donc mis en place une fiche de compte rendu de manipulation pour conserver et archiver toutes les informations que je juge importantes, mais également pour cerner le but et l'importance de chaque manipulation.

Le document reprend donc :

- Le but de la mesure, ce qu'il était prévu d'effectuer
- Les remarques notées au fur et à mesure de la séance
- Le bilan de la séance avec la mise en avant de points essentiels
- Les actions prévues qui correspondent globalement au but de la prochaine série de mesure

Voici un exemple de la première fiche de compte-rendu :

Elève : Victor CHARNET

23/11/2016

Projet de fin d'études : BCI (Brain Computer Interface)
Compte-rendu de mesures n°1 du 23 novembre 2016

But de la série de mesures :

Connecter le système OpenBCI à l'aide d'OpenVibe
Effectuer les mesures avec le bonnet Gtec et les deux électrodes A1 et A2 aux oreilles

Remarques :

- OpenBCI et OpenVibe ne peuvent pas fonctionner ensemble
- Attention lors de la connexion de l'appareil aux ports (problème à un moment où PC considère le kit comme la souris)
- Connexion possible avec OpenVibe, reste à comprendre ce qui est tracé....
- Electrodes aux oreilles peu stables

Bilan :

- Système connecté sur OpenVibe, mais reste encore à déterminer les valeurs lues (révérer les pilotes etc...)
- Test avec le bonnet Gtec concluant.
- Electrodes scotchées aux oreilles => stabilité moyenne, la mesure peut être facilement faussée.

Actions prévues :

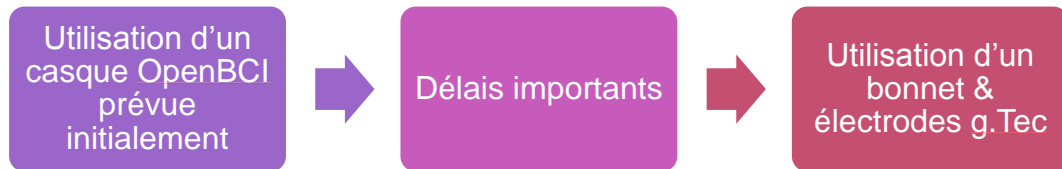
- Continuer les mesures avec le kit sur OpenVibe (comprendre le fonctionnement de l'ihm fournie)
- Regarder comment enregistrer les mesures sur OpenVibe (et format)
- Voir avec le labo pour obtenir une pince électrode pour oreille (mail envoyé à Alban qui doit voir avec François)

Figure 10 : Première fiche de compte-rendu de manipulation

g) Problèmes rencontrés et solutions mises en œuvre

Lors de ces premiers mois de projet, j'ai dû faire face à deux principaux problèmes que j'ai schématisé sous la forme :

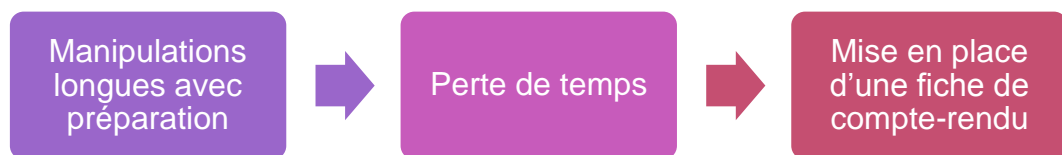
- Problème rencontré
- Influence sur le projet
- Solution mise en place



Le système OpenBCI est sensé fonctionner avec un casque OpenBCI spécifique conçu pour pouvoir accueillir la carte d'acquisition et tout le système d'électrode. Néanmoins, la dernière version de ce casque, qui est encore en prototypage n'est pas encore disponible. Et il semblait peu pertinent d'investir dans la version précédente. Ce risque ayant été évalué dans l'analyse des risques du projet, j'ai mis en place la solution d'utiliser le bonnet g.tec disponible du laboratoire en remplacement du casque OpenBCI. (voir Figure 11 : Bonnet EEG g.tec utilisé dans le projet)



Figure 11 : Bonnet EEG g.tec utilisé dans le projet



Ayant remarqué que les manipulations étaient particulièrement longues (environ 40 minutes pour installation et démontage du système avec une seule électrode, sans compter le temps dédié à la mesure). Il semblait important de mettre en protocole de mesure pour éviter les « pertes de temps », et mieux cibler l'utilité de chaque manipulation. Ce risque ayant également été estimé dans l'analyse des risques, j'ai mis en place la fiche de compte-rendu (voir partie III.f) afin de tirer le maximum d'informations de ces séances de mesures.

h) Travaux à venir

Le système d'acquisition étant opérationnel et en voie d'être compatible sur le logiciel OpenVibe, conformément au planning prévisionnel, la suite du projet consistera à développer la partie dédiée au traitement du signal et à la conception d'un classifieur. Pour cela, il faudra décider d'un scénario à mettre en place.

Les différents types de filtres seront alors introduits en fonction des caractéristiques recherchées et le choix du type de classifieur sera fait en accord avec cela.

Conclusion

A la semaine 12, le projet se développe conformément au planning prévisionnel mis en place. Les outils développés au début du projet, tels que l'analyse des risques et la planification des tâches ont permis de faire face aux premières difficultés rencontrées et ont ainsi permis de ne pas perdre de temps. Les premiers livrables dédiés aux caractéristiques techniques de la carte OpenBCI et au fonctionnement du logiciel OpenVibe seront rendus avant les vacances de Noël.

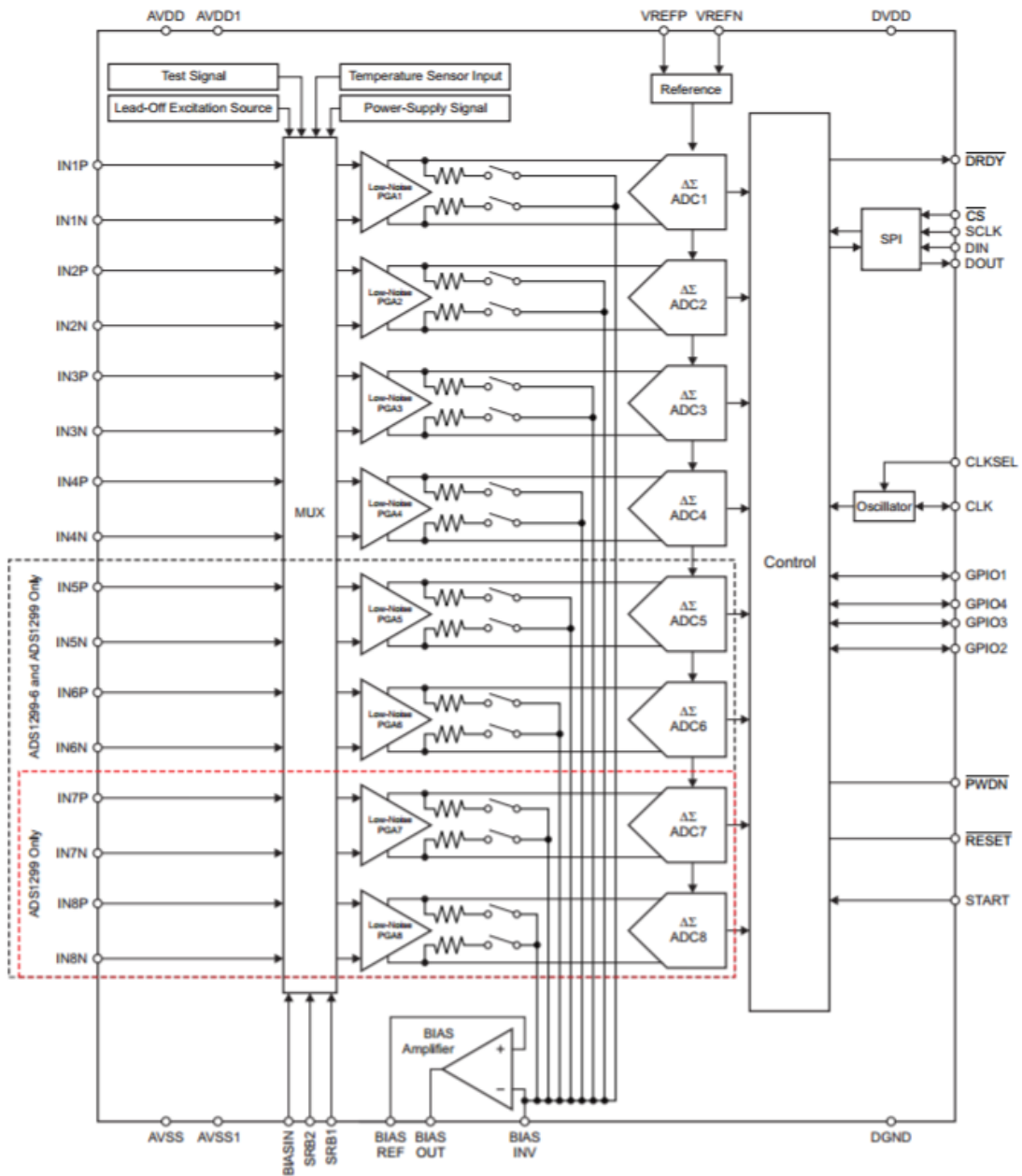
La prochaine étape du projet sera alors de développer la partie traitement du signal et classifieur de cette BCI.

La dernière étape consistera à mesurer les performances de ce système d'acquisition open-source puis de le mettre en œuvre en commandant un système.

Victor Charnet

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'V. Charnet', written over a light grey rectangular background.

ANNEXE 1 / Datasheet ADS1299



<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1299.pdf>