

BCI : DETECTION ET CLASSIFICATION DES
ACTIVITÉS CÉRÉBRALES

Rapport I projet tuteuré

Auteurs :

Nizar ABAK-KALI

11290569

Alexis

ZURAWSKA

12310497

Tuteur :

M. Larbi BOUBCHIR

19 janvier 2016

Table des matières

I	Introduction : généralités et contexte	3
1	BCI	3
2	EEG	3
3	Généralités	3
3.1	Les réseaux de neurones	4
3.2	Notions en lien avec BCI	4
4	Contexte	5
II	Etat de l’art	6
5	SSVEP	6
6	P300	6
7	BCI	7
8	Applications Médicales	8
III	Classification automatique des activités cérébrales	9
9	Schéma Général	9
10	Pré-Traitement du signal	9
11	Extraction des caractéristiques	9
12	Classification par réseaux de neurones	9

IV	Architecture de l'application	11
13	Composants de l'application	11
14	Explication Technique	14
15	Idées	14
16	Outils	14
17	Algorithmes	15
V	Conclusion	16
18	Objectifs atteints	16
19	Objectifs restants et prévisions	16
VI	Références	17

Table des figures

1	ci-dessus une seconde de signal EEG	3
2	position des capteurs	4
3	Photo d'un sujet en face d'une interface BCI	7
4	Organigramme du fonctionnement générale de l'application . .	10
5	Packages composant l'application	11
6	Classe EEG_time_signal	11
7	Classes pour les calculs mathématiques	12
8	Classe Caractéristique	13
9	Classe Graphique	13
10	Classe RecupFichier	14

Introduction

Durant notre première année de master en informatique à l'université Paris 8 Vincennes - Saint-Denis, nous devions développer des applications au cours d'un module intitulé "Projets tuteurés". Ce travail devait être effectué sur toute l'année et faire l'objet d'une présentation en plus de ce rapport-ci. Nous devions choisir une thématique parmi celles proposées. Ensuite, notre tuteur attitré nous attribuait un projet en nous expliquant ce qu'il attendait de nous. En ce qui nous concerne, nous devions développer un réseau de neurones capable de reconnaître différents d'activité d'une personne de par son activité cérébrale. C'est après vous avoir présenté certaines généralités touchant au BCI, puis sur l'utilité et l'implémentation des réseaux de neurones et des interfaces cerveaux-machines que nous exposerons l'état de l'art en ce qui concerne la détection et la classification d'activités cérébrales. Puis, nous expliquerons le fonctionnement du système. Ensuite, nous détaillerons l'architecture de l'application. Enfin nous conclurons sur les objectifs atteints et les prévisions futures .

Première partie

Introduction : généralités et contexte

1 BCI

BCI : Brain Computer Interface (ou Interface Cerveau-Machine en français). Aussi appelée Interface Neuronale Directe (abrégée IND), il s'agit d'une interface de communication directe entre un cerveau et un composant externe (généralement un ordinateur).

2 EEG

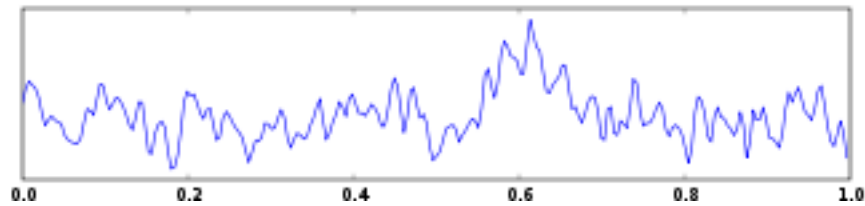


FIGURE 1 – ci-dessus une seconde de signal EEG

EEG ou électroencéphalographie est une technique de mesure de l'activité électrique du cerveau mesurée à l'aide d'électrodes placées sur le cuir chevelu. L'EEG est un examen indolore et non-invasif comparativement à l'iEEG (électroencéphalographie intracrânienne) qui, elle, place les électrodes sous la surface du crâne. Le signal EEG obtenu est la résultante de la sommation d'un potentiel d'action post-synaptique synchrone issu d'un grand nombre de neurones.

3 Généralités

Ici, certains concepts clés doivent être définis pour comprendre en quoi consiste notre projet :

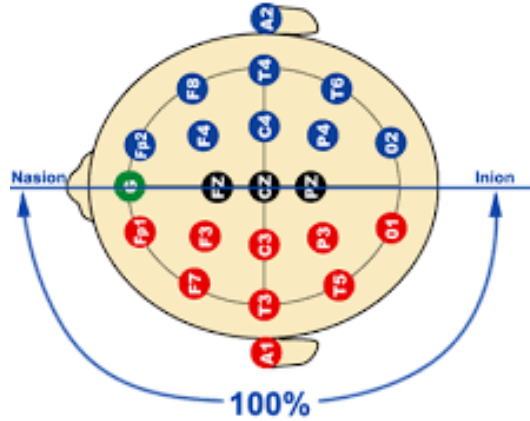


FIGURE 2 – position des capteurs

3.1 Les réseaux de neurones

Les réseaux de neurones sont un modèle de calcul représentant schématiquement les réseaux de neurones biologiques. C'est à celui-ci que l'on va imposer l'apprentissage d'un échantillon de données. Pour cela, nous allons utiliser l'algorithme du gradient, le gradient étant, en mathématiques, un vecteur qui représente la variation d'une fonction en fonction de la variation de ses paramètres. Tout comme nous, le réseau de neurones n'est pas parfait et fera des erreurs lors de son apprentissage. Il faudra donc utiliser la rétro-propagation du gradient qui est un algorithme servant à corriger les erreurs du réseau de neurones pour qu'il ne les reproduise pas.

3.2 Notions en lien avec BCI

Certaines notions sont importantes à connaître lorsque l'on s'intéresse au BCI, entre autres le SSVEP et le P300. Ce sont tous les deux des réponses naturelles à une stimulation visuelle. Pour le SSVEP, la réponse est détectée lors d'une stimulation visuelle lorsque la rétine est excitée par un stimulus visuel dont la fréquence d'affichage est entre 3.5Hz et 75Hz. Le P300, par contre, est une réponse qui apparaît 300ms après stimulation visuelle.

4 Contexte

Dans le cadre de ce projet, nous devons développer un réseau de neurones afin de contrôler automatiquement les activités cérébrales d'un sujet. Ainsi, le système pourrait nous dire grâce au signal EEG du patient quelle activité il est en train de faire ou bien quel son état. Notre système pourrait donc par exemple connaître l'activité d'un malade d'Alzheimer telle que :

- la lecture ;
- l'attention sur un film ;
- l'écriture ;
- la discussion ;
- le repos.

Deuxième partie

Etat de l'art

5 SSVEP

SSVEP est l'abréviation de Steady State Visually Evoked Potential, traduite en français par l'état potentiel stable visuellement évoqué. Cela désigne, en neurologie, un ensemble de signaux représentant des réponses naturelles à des stimulus visuels à des fréquences spécifiques. La fréquence dépend de la puissance en Hz du stimulus visuel reçu par la rétine, celui-ci variant entre 3,5 et 75 Hz. La réponse se traduit par une activité électrique générée par le cerveau de même fréquence. Cette réponse est directe car elle se produit dès que le stimulus visuel est présenté. Cette technique est très utilisée en même temps que l'électroencéphalographie en ce qui concerne la vision. Elle est beaucoup appréciée pour son absence d'artefacts qui sont des effets artificiels parfois indésirables en plus du fait que les bruits alentours ne soient pas pris en compte.

6 P300

Le P300 est un potentiel évoqué (modification du potentiel électrique produite par le système nerveux en réponse à une simulation externe (son, image, etc...) ou interne attention, préparation motrice, etc...), et plus généralement une onde positive et d'amplitude 300 ms. Cela signifie que la réponse n'est pas directe et qu'elle n'intervient que 300 ms après que la simulation ait eu lieu. Cette technique est notamment beaucoup utilisée dans l'électroencéphalographie. On distingue deux sous-types de P300 au sein de cette onde P300 aussi notée P3 :

- la P3a, généralement provoquée par un stimulus lors d'un effet de surprise ;
- la P3b où le sujet se trouve face à un stimulus non prévisible où il doit apporter une réponse (prise de décision, action réalisée grâce à la mémoire, etc...).

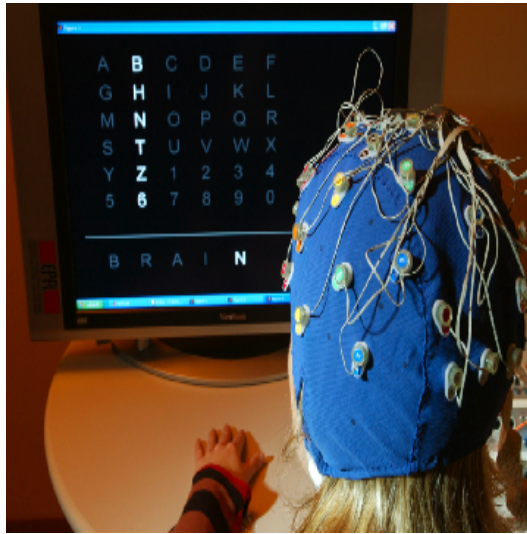


FIGURE 3 – Photo d'un sujet en face d'une interface BCI

7 BCI

Ce procédé consiste en fait à restaurer, au moins partiellement des facultés perdues, voire non connues (dans le cas d'un handicap de naissance). C'est le cas notamment d'une personne ayant perdu totalement la vue à qui on a implanté un tel procédé au niveau de son cortex visuel, ce qui lui a permis de percevoir de nouveau la lumière. Si ces procédés ne sont pas miraculeux pour le moment, ils peuvent également permettre d'effectuer des actions par l'intermédiaire de la pensée. Ainsi, des personnes ont pu écrire sur un écran d'ordinateur ou déplacer le curseur d'une souris en imaginant simplement l'action de le faire. D'autres ont pu déplacer un bras robotisé pour qu'il leur ramène quelque chose par exemple.

Ce procédé peut être unidirectionnel (la machine envoie des données au cerveau ou le contraire mais pas les deux en même temps) ou bidirectionnel. Ces interfaces neuronales directes présentent toutefois plusieurs limites :

- chacune d'elles ne fait qu'une tâche précise et non plusieurs ;
- elles étaient initialement développées dans un but médical rendant l'accès difficile au grand public ;
- à cela s'ajoute le fait que les populations défavorisées n'auront pas les moyens de se procurer de tels équipements, le prix étant très élevé.

8 Applications Médicales

Les applications du programme que nous avons développé peut servir pour des études très variées sur plusieurs types de pathologies telles que la maladie d'Alzheimer ou encore les crises d'épilepsies que l'on peut prévoir et minimiser notamment, pour ne citer que ces deux exemples. On peut aussi l'utiliser comme moyen ludique pour détecter la concentration des élèves en classe en temps réel. On pourrait aussi, à l'avenir, contrôler notre PC à l'aide de notre seule pensée au moyen d'un casque EEG.

Troisième partie

Classification automatique des activités cérébrales

9 Schéma Général

cf 4, page 10.

10 Pré-Traitement du signal

Cette étape consiste en un traitement sur le signal EEG obtenu afin de réduire les "bruits" (ou artefact) créés par les activités du sujet lors de l'acquisition du signal, telles : la position du sujet (sachant que un EEG standard se fait en position allongée ou assise avec un sujet relaxé), les mouvements des muscles du visage (exemple : clignement des yeux). Ainsi on applique une transformée de Fourier au signal afin d'éliminer les bruits .

11 Extraction des caractéristiques

Cette étape est très importante car elle permet de déduire des caractéristiques notables du signal, elle se déroule lors de la phase d'apprentissage du réseau de neurones. Ainsi, un signal sera caractérisé par un vecteur de caractéristiques. On peut déduire plusieurs types de caractéristiques : temporelles, fréquentielles, tempo-fréquentielles.

12 Classification par réseaux de neurones

Pour la prise de décision nous avons choisi d'utiliser un réseau de neurones SOM, ainsi le signal sera classifié selon différents types de classes. Ces classes seront les activités du sujet que l'on veut détecter.

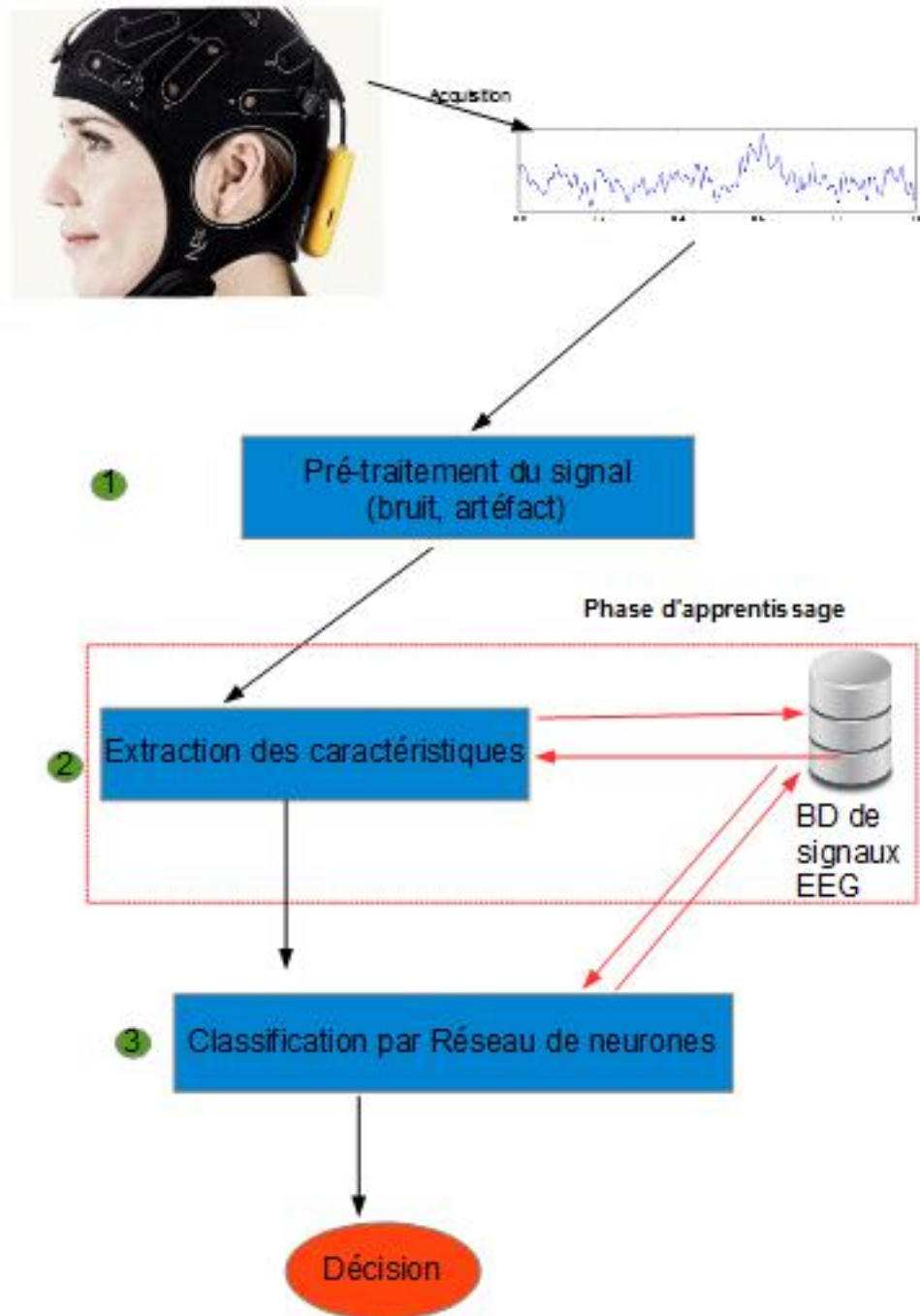


FIGURE 4 – Organigramme du fonctionnement générale de l'application

Quatrième partie

Architecture de l'application

13 Composants de l'application



FIGURE 5 – Packages composant l'application

L'application est composée de cinq packages : eeg, math, neuron, charts et donnees. Nous allons donc décrire le contenu de chacun de ces packages ainsi que le rôle des classes qui les composent :

- eeg : contient la classe EEG_time_signal qui contiendra les fonctions

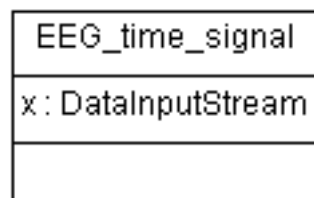


FIGURE 6 – Classe EEG_time_signal

concernant le traitement du signal en fonction des données reçues et traitées ;

- math : contient toutes les fonctions mathématiques avec la classe ComplexNumber permettant de créer et gérer les nombres complexes, la classe ComplexArray qui permet de stocker les valeurs réelles et imaginaires des nombres complexes, la classe Hilbert qui contient les fonctions concernant les espaces d'Hilbert (extension des espaces euclidiens à des dimensions finies quelconques ou infinies) et enfin la classe Fft

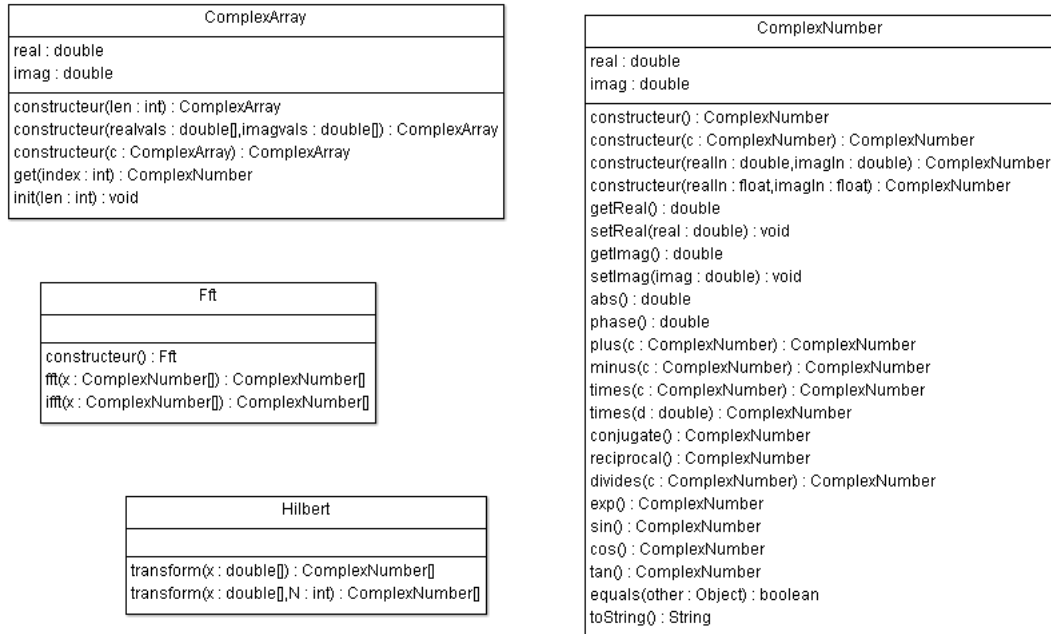


FIGURE 7 – Classes pour les calculs mathématiques

qui contient les fonctions en rapport avec la Transformée Rapide de Fourier(ou Fast Fourier Transform) ;

- neurone : contient la classe `CaracteristiqueTemporel` qui contient toutes

CaracteristiqueTemporel
f1 : double f2 : double f3 : double f4 : double
constructeur() : CaracteristiqueTemporel init() : void mean() : void variance() : void skewness() : void kurtosis() : void

FIGURE 8 – Classe Caractéristique

les fonctions ayant attrait aux caractéristiques temporelles d'un neurone pour le réseau qui sera par la suite créé. Ces caractéristiques temporelles regroupent notamment la moyenne des données, la variance, etc...;

- charts : contient la classe `Graphique` afin de générer les graphiques

Graphique.java
main(args : String[]) : void start(primaryStage : Stage) : void

FIGURE 9 – Classe Graphique

une fois les résultats obtenus à partir des données grâce à la librairie `JFreeCharts`;

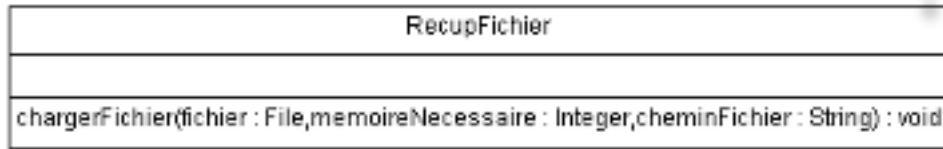


FIGURE 10 – Classe RecupFichier

- donnees : contient la classe RecupFichier permettant de récupérer la base de données pour la stocker en mémoire afin de permettre au programme de travailler avec.

14 Explication Technique

15 Idées

Nous avons eu l'idée, pour ce projet, de créer un "classifieur" représenté par un réseau de neurones afin d'obtenir des résultats à partir d'un flux de données que nous stockerons en mémoire dans un tableau. Chaque donnée sera représentée par un vecteur. Pour chaque vecteur, chacune de ses dimensions représentera une caractéristique du signal EEG du sujet que nous chercherons à reconnaître (le tout afin de reconnaître les états tels : lecture, repos, regarder un film, etc...). Nous sommes partis de ces idées là car, lors de nos lectures sur les interfaces cerveau-machine, il s'est avéré que ce mode de traitement du signal est très utilisé .

16 Outils

Nous avons développé notre application au moyen du langage Java et nous avons utilisé l'IDE IntelliJ qui est très pratique car très ergonomique et très intuitif. De plus nous avons utilisé Git comme gestionnaire de versions, le code étant hébergé sur les serveurs de Github. De surcroît, nous avons utilisé JavaDoc pour générer une documentation du code. Par ailleurs, nous avons inclus la librairie JFreeCharts pour réaliser des graphiques sans les contraintes de la bibliothèque Swing pour créer des interfaces. Nous avons LaTex afin de

rédiger plus facilement nos rapports . Par ailleurs, nous avons utilisé le logiciel argoUML pour réaliser le diagramme de classes de l'application et OpenOffice Draw pour réaliser l'organigramme.

17 Algorithmes

Par rapport à notre avancement courant, les algorithmes les plus intéressants à présenter sont la `fft`¹ et la transformée de Hilbert qui utilise la `fft` . La `fft` est un algorithme de calcul de la transformation de Fourier discrète il nous sert lors de la partie de post-traitement du signal, mais aussi dans la transformée d'Hilbert.

La transformée d'Hilbert est utilisée dans le traitement du signal pour passer le signal réel dans le domaine complexe d'où la classe `ComplexNumber`. Cette transformée est utilisée lors des calculs des caractéristiques temporelles .

1. Fast Fourier Transform

Cinquième partie

Conclusion

18 Objectifs atteints

Toutes les fonctions mathématiques sur les complexes ont été développées ainsi que les fonctions concernant l'espace d'Hilbert et la Fast Fourier Transform. Par ailleurs, nous avons terminé la classe de récupération du fichier qui sera modifiée une fois en possession de la base de données sur laquelle nous travaillerons. Nous avons également développé une classe permettant de réaliser les graphiques qui représenteront les résultats de notre programme avec cette base de données.

19 Objectifs restants et prévisions

Pour conclure, nous pouvons dire que ce projet est très intéressant car il nous a permis de découvrir des domaines concrets insoupçonnés où l'informatique pouvait intervenir afin de faciliter la vie, notamment des personnes lourdement handicapées. Nous n'avons pas encore fini mais pensons vite arriver à nos fins si nous travaillons régulièrement, à raison de une à deux fois par semaine afin de vous fournir un projet fonctionnel lors de la deuxième soutenance, sachant que l'on espère terminer début mars. Il nous reste à développer les caractéristiques temporelles ainsi que la classe du signal EEG et le réseau de neurones.

Sixième partie

Références

Dans cette partie nous exposons les différentes sources que nous avons trouvées utiles lors de la première partie du projet tuteuré .

- "ON THE USE OF TIME-FREQUENCY FEATURES FOR DETECTING AND CLASSIFYING EPILEPTIC SEIZURE ACTIVITIES IN NON-STATIONNARY EEG SIGNALS" - Larbi Boubchir, Somaya Al-Maadeed et Ahmed Bourdane.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Feedforward_neural_network;
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gradient>;
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_du_gradient;
- https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9tropropagation_du_gradient;
- <https://takinginitiative.wordpress.com/2008/04/03/basic-neural-network-tutorial-theory/>
- <https://takinginitiative.wordpress.com/2008/04/23/basic-neural-network-tutorial-c-implementation-and-source-code/>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface_neuronale_directe
- <http://www.inserm.fr/thematiques/technologies-pour-la-sante/dossiers-d-information/1-interface-cerveau-machine-ou-agir-par-la-pensee>
- <http://www.internetactu.net/2012/11/21/interfaces-cerveau-machines-defis-et-promesses/>
- <https://github.com/marytts/marytts/blob/master/marytts-signalproc/src/main/java/marytts/util/math/FFTMixedRadix.java>
- <http://www.tangentex.com/FFT.htm>
- <http://www.javaworld.com/article/2074798/build-ci-sdlc/chart-a-new-course-with-jfreechart.html>
- <http://introcs.cs.princeton.edu/java/97data/FFT.java.html>
- <https://moodle.umons.ac.be/mod/resource/view.php?id=11577>
- <http://www.java2s.com/Code/Java/Chart/JFreeChartLineChartDemo1.htm>
- <http://jcharts.sourceforge.net/samples/scatter.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Steady_state_visually_evoked_potential
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/P300>