



ELEC-H-314 – Instrumentation

Laboratoire 1 : Dimensionnement analytique et par simulation d'une chaîne d'acquisition

Objectifs du laboratoire

Ce laboratoire vise à vous familiariser avec les éléments composant une chaîne d'acquisition, et leur dimensionnement, par la simulation sur ordinateur d'une chaîne d'acquisition classique, suivi de l'observation matérielle (hardware) de cette dernière sur un signal typique.

Une seconde partie du laboratoire est dédiée au dimensionnement analytique de l'étage d'amplification et de la conversion analogique/numérique de la chaîne d'acquisition.

Ces deux problématiques correspondent aux étapes principales typiquement rencontrées lors de la réalisation de chaînes d'acquisition, tant dans l'industrie qu'en recherche.

Utilisation de l'interface graphique

L'interface graphique est composée de 8 étages pouvant être remplis par divers modules représentant des éléments d'une chaîne d'acquisition.

A chaque étage de la chaîne d'acquisition, une représentation du signal est donnée. La FFT du signal peut être visualisée en changeant l'option sous l'onglet « Temporal » pour chaque étage. Le SNR est calculé et affiché sous la représentation du signal (NB : un SNR > 300 dB est considéré comme infini).

Les modules prédéfinis de la chaîne d'acquisition sont les suivants :

- Amplificateur : Il s'agit d'un amplificateur non-différentiel (*single-ended*) dont le gain et les tensions d'alimentation sont réglables.
- Amplificateur différentiel : Gain et tensions d'alimentations réglables.
- Filtres passe-haut et passe-bas : ordre du filtre et fréquence de coupure réglables.
- CAN : Convertisseur analogique-numérique dont la résolution (bits), la fréquence d'échantillonnage (Hz) et les tensions d'alimentations sont réglables.
- Câble : Il s'agit d'un module simulant un câble non blindé entre deux composants.

Les caractéristiques réglables des composants sont limitées à des ordres de grandeur réalistes. Les caractéristiques des composants sont initialement réglées sur des valeurs arbitraires.

Le premier exercice consiste en l'acquisition d'un signal sinusoïdal différentiel.



Partie 1 : Simulation

1. Acquisition d'un signal sinusoïdal

1. Sélectionnez un signal **sinusoïdal** à l'entrée de la chaîne d'acquisition (via le bouton de sélection du premier bloc). Par défaut, l'amplitude est de 1 V. Ce signal est **différentiel** (il contient 2 sinus en opposition de phase) et **analogique**.
2. En rajoutant un module à la chaîne d'acquisition, obtenez (en sortie de ce nouveau module) un signal qui soit **non-différentiel** et égal à la différence des deux canaux différentiels en entrée.
3. En rajoutant un second module à la chaîne d'acquisition, obtenez un signal **numérique (digitalisé)**. Adaptez les paramètres de ce second module afin que le signal numérique soit fidèle au signal analogique !
4. Réduisez ensuite l'amplitude de la sinusoïde en entrée à 0.1 V. Si besoin, adaptez les paramètres de votre chaîne d'acquisition afin d'obtenir un signal numérique en sortie qui soit le plus **fidèle** possible au signal en entrée ?
5. Changez les paramètres des électrodes (symbolisant un transducteur) afin de simuler qu'elles génèrent un bruit d'une valeur de 20 μV (RMS). Que remarquez-vous ?
6. Réduisez l'amplitude du signal d'entrée à 1 mV. Que remarquez-vous ?
7. Changez les paramètres des **électrodes** afin de rajouter une tension continue **d'offset** en mode différentiel de **1V** au signal. Quelles modifications devez-vous apporter à votre chaîne d'acquisition (changement des paramètres et/ou ajouter de nouveaux modules) ?
8. En pratique, les différents éléments d'une chaîne d'acquisition sont généralement topologiquement séparés et reliés par des fils ou des pistes sur un circuit imprimé. Rajoutez un élément « Câble » en position 4 (en haut à droite) pour simuler un câble non blindé entre l'amplificateur différentiel et le reste de la chaîne d'acquisition. Testez l'impact de différentes longueurs de câble et le gain de l'amplificateur sur le SNR.
9. En rajoutant un dernier module, maximiser le rapport signal-bruit (SNR) en sortie de la chaîne d'acquisition, en tenant compte de toutes les contraintes précédentes.

2. Acquisition d'un signal EEG

Contexte

Le signal à acquérir ici est celui d'un électroencéphalographe (EEG). Il va donc falloir réaliser une chaîne d'acquisition permettant d'enregistrer l'activité cérébrale.

L'électroencéphalographie est une technique de diagnostic médical. Elle consiste à mesurer les bio-potentiels émis par les couches supérieures du cerveau à divers endroits standardisés sur le crâne.

Cette technique inclut :

- La captation des bio-potentiels par les électrodes et une pré-amplification,
- Le rapatriement du signal jusqu'à l'électroencéphalographe via un ensemble de câbles,



- Le conditionnement du signal par l'électroencéphalographe (amplification et filtrage),
- La numérisation du signal.

Le tracé obtenu, appelé électroencéphalogramme, reflète la topographie de l'activité électrique à la surface du cerveau. Les bio-potentiels émis par les couches supérieures du cerveau étant de l'ordre du microvolt, réaliser un EEG nécessite une chaîne d'acquisition robuste et efficace.



Figure 1: Mise en place de 128 électrodes EEG¹

Acquisition du signal

Cette partie du laboratoire concerne la phase de conception de la chaîne d'acquisition d'un signal EEG. C'est-à-dire que vous devez proposer une chaîne d'acquisition virtuelle permettant d'obtenir un signal numérique filtré de bonne qualité à partir d'un signal d'entrée différentiel analogique provenant d'un examen EEG typique.

Vous êtes limité à un total de 8 éléments (signal d'entrée et électrodes compris) pour former l'ensemble de la chaîne d'acquisition. Dans un cas réel, le coût de production, le bruit et la puissance consommée par le circuit augmentent avec le nombre de composants et d'étages, ce qui doit être généralement limité.

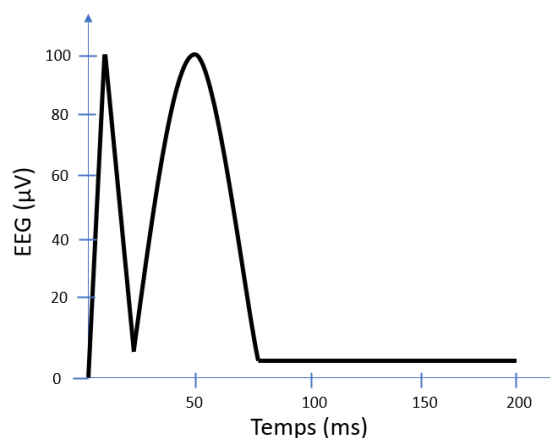


Figure 2: Signal typique (simplifié) d'un EEG

¹ <https://www.flickr.com/photos/sfupamr/13878767643>



La chaîne que vous réaliserez devra être capable de traiter un signal ayant les caractéristiques réalistes suivantes :

- Le signal utile est le signal représenté sur la Figure 2.
- La tension continue d'offset différentiel au niveau de l'électrode est de 100 mV.
- L'amplitude du bruit au niveau des électrodes est de $1\mu\text{V RMS}$.
- La tension de mode commun au niveau de l'électrode a une amplitude de 2 V et une fréquence de 50 Hz (*proposez une origine probable de cette tension*).
- Il est demandé une résolution minimale de 0.05 μV sur le **signal d'entrée**.

Tous les composants actifs sont classiquement alimentés avec une alimentation symétrique $\pm 5\text{V}$.

Considérez que les éléments de la chaîne d'acquisition n'ont ni bruit en courant ni bruit en tension et qu'ils sont parfaits (mais gardez en tête que ce n'est pas le cas en réalité !).

Sélection de composants adaptés

Parmi les composants ci-dessous, lesquels pourraient être utilisés pour implémenter cette chaîne d'acquisition ? Justifiez.

Nom	Produit Gain Bande Passante (MHz)	Bruit RMS (μV)	CMRR (dB)
Ampli 1	0.5	5	120
Ampli 2	2	10	100
Ampli 3	5	10	90

Nom	Fréquence d'échantillonnage (kHz)	Résolutions (bits)	Bruit RMS (μV)
CAN 1	0.5	8	20
CAN 2	0.5	10	20
CAN 3	0.5	12	40
CAN 4	5	8	20
CAN 5	5	10	30
CAN 6	5	12	40

Nom	Fréquence de coupure (Hz)	Ordre	Bruit RMS (μV)
Filtre PH1	1	1	10
Filtre PH2	50	3	10
Filtre PB1	500	1	10
Filtre PB2	200	3	10

Démonstration hardware :

Une fois la chaîne virtuelle réalisée, vous pouvez observer une démonstration matérielle d'une chaîne d'acquisition réelle. Demandez à l'assistant.



Partie 2 : Dimensionnement analytique

Problème posé

Il vous est demandé de dimensionner les composants d'un EEG typique dont le cahier des charges est donné ci-dessous et de justifier vos réponses.

Cahier des charges

Les spécifications (tirées d'un EEG d'une firme privée) sont :

- 32-Channel System
- AC Input Signal Range: 4 mV peak-to-peak full-scale
- Input Characteristics: $\geq 20 \text{ M}\Omega$ impedance
- Frequency Response: 0.5 Hz to 100 Hz
- Amplification: 1200 V/V
- Resolution: 16 bits (0.06 μV resolution on the input signal)
- Sampling Rate: 800 samples/second
- CMRR: $> 80 \text{ dB}$
- Noise: $< 2 \mu\text{V}$ peak-to-peak referred to input

De plus, une résistance de 50 k Ω sera placée en série à l'entrée de la chaîne, pour limiter le courant en cas de défaut. On s'attend à un offset différentiel physiologique de maximum $\pm 250 \text{ mV}$. Des sources d'alimentation +5 V et -5 V sont disponibles de sorte que les amplificateurs soient alimentés symétriquement et les ADC sont alimentés par une alimentation unipolaire en +5 V.

Composants à disposition

Vous avez à disposition différents amplificateurs et convertisseurs analogique/numérique. Il ne vous est pas demandé de dimensionner les filtres, mais vous pouvez considérer que vous disposez des composants adéquats pour réaliser les filtres nécessaires.

Vous avez à disposition les amplificateurs suivants pour réaliser l'étage d'amplification de tête :

- LT1167
- LT1793
- INA116

Vous avez à disposition les convertisseurs analogique/numérique suivants :

- AD7651
- AD7788
- MAX11100



Toutes les datasheets sont disponibles en annexe.

Déterminez quel(s) amplificateur(s) et quel(s) convertisseur(s) permettent de réaliser une chaîne d'acquisition répondant au cahier des charges.