

Projet électronique 2 - 2025

Domaine biomédical : détection des arythmies cardiaque

A. Le contexte :

1. Présentation des méthodes de mesure du cœur.
2. Détection des arythmies à partir d'un électrocardiogramme
3. Les modules étudiés

B. Les analyses

1. Simulation de l'AOP LT1356
2. Conception et simulation du module de conditionnement
3. Conception et simulation du système d'échantillonnage/blocage
4. Conception du circuit de conversion, mais pas de simulation
5. Dimensionnement et simulation du circuit d'interfaçage entre le convertisseur et le processeur
6. Algorithme de détection des arythmies

Présentation des méthodes de mesure du cœur



La tension est mesurée autour du cœur par des électrodes fixées sur la peau (au minimum deux comme dans le projet proposé)

V_0 est la tension moyenne du corps que l'on doit éliminer et l'on va détecter des variations ΔV_{IN} entre les deux électrodes

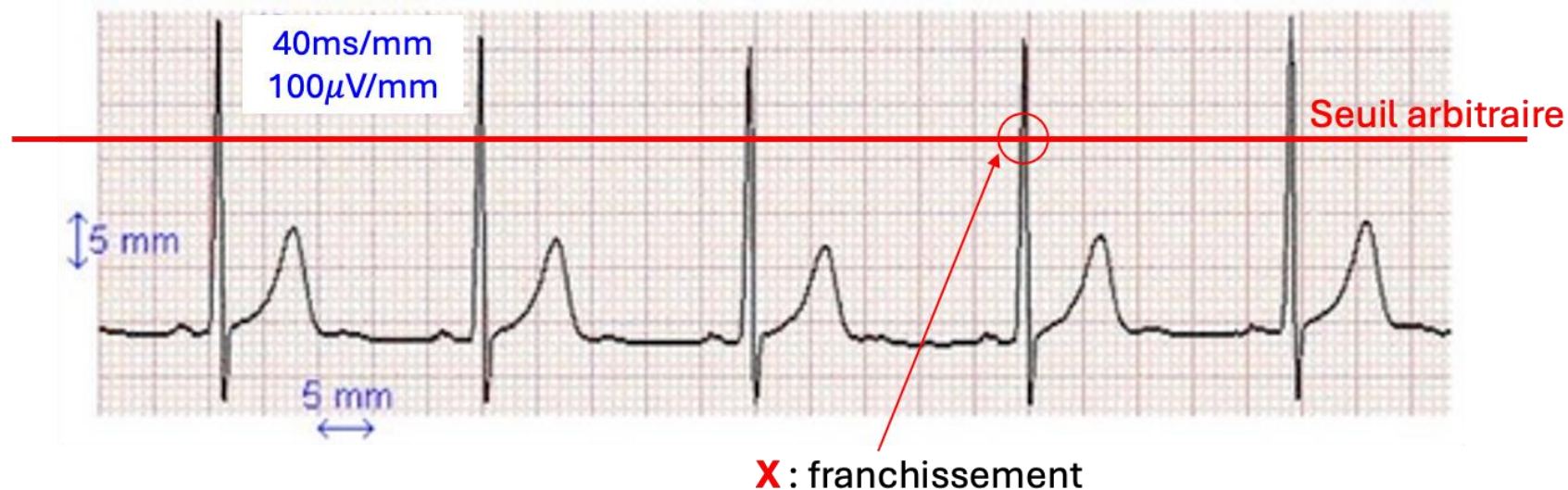
- $V_{IN-} = V_0 - \Delta V_{IN}$
- $V_{IN+} = V_0 + \Delta V_{IN}$

Le système est sensible au bruit qu'il faudra éliminer

- **Basse fréquence** (en principe des fréquences proches de 0, courants et tensions d'offset)
- **Haute fréquence** (principalement la lumière des néons) supérieure à 100 Hz

Profil d'électrocardiogramme

On prend pour exemple un cœur qui bat à 60 pulsations par minute



Au franchissement du seuil, on détecte un écart de 10 ms entre les flans montant et descendant du signal. Pour respecter le **théorème de Shannon** il faudrait un échantillonnage minimum à 200 Hz pour être sûr de détecter le franchissement du seuil.

Cependant, afin d'améliorer la précision on **échantillonnera à 1KHz** (voir dia suivante)

Échantillonnage du rythme cardiaque

Au franchissement du seuil, on détecte un écart de 10 ms entre les flans montant et descendant du signal. Pour respecter le **théorème de Shannon** il faudrait un échantillonnage minimum à 200 Hz pour être sûr de détecter le franchissement du seuil.

Cependant, afin d'améliorer la précision on **échantillonnera à 1KHz**

- Cœur le plus lent : 30 battements par minute soit 0.5 Hz
- Cœur le plus rapide : 300 battements par minute soit 5 Hz
- Pour être en mesure d'analyser un profil (qui n'est pas demandé dans le projet) et un temps précis entre deux battements, **on souhaite prélever au minimum 100 échantillons**. Sachant que la durée la plus rapide entre deux battements est de 200ms (5Hz), on en déduit que la période d'échantillonnage pourrait être fixée à 2 ms

On analyse les écarts entre deux franchissements de seuil

On obtient sur N échantillons un écart-type avec la formule suivante

$$\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{N} (X_i - \bar{X})^2}$$

Solution proposée pour le nombre de mesures

Analyse en temps réel

Proposition : Le calcul de l'arythmie s'effectuera en continue, **tous les 32 échantillons**.

Une série de 32 battements donne déjà un bon diagnostic

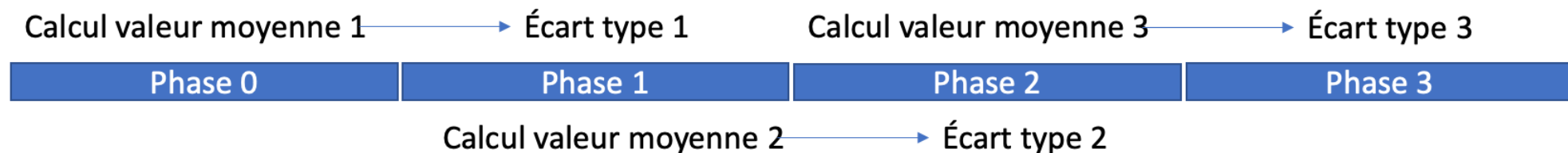
- 32 battements correspondent à 64 secondes pour un cœur très lent battant à 30 battements par minute ou
- 6.4 secondes pour une cadence extrême à 300 battements par minute.

La valeur de 32 battements est une puissance de 2, ce qui simplifie le calcul de la moyenne

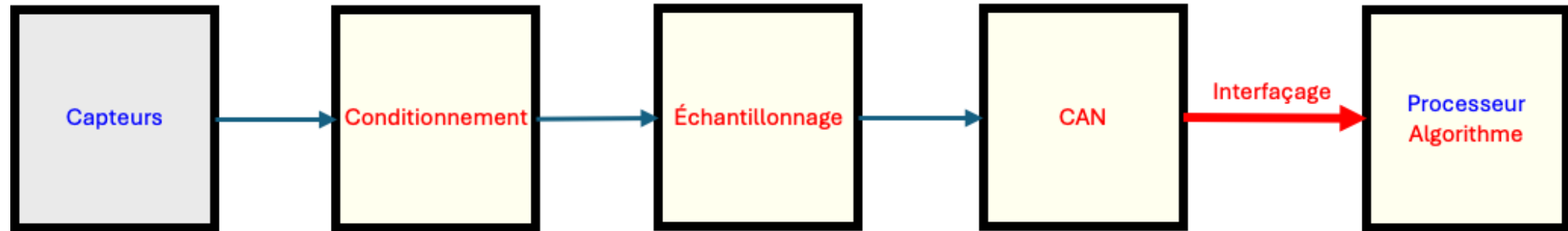
$Moyenne = \frac{\text{Somme des écarts}}{32}$ or diviser par 32 revient à faire un décalage de 5 positions

Pas besoin d'un diviseur câblé ni d'un algorithme de division.

Avec au minimum 100 échantillons entre deux battements \Rightarrow Pour le cœur le plus rapide (battant à 5Hz), il faut travailler à une fréquence d'échantillonnage de 500 Hz. Or on a choisi une fréquence de 1 kHz.



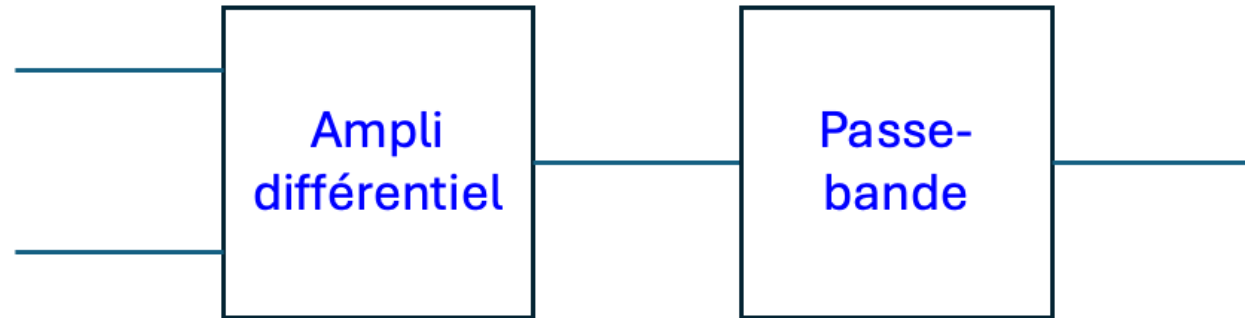
Modules du système étudié



Caractérisation de l'AOP LT1356

- Expérience pour mettre en évidence la limitation de courant de sortie de l'AOP.
- Quantifiez les courants de "fuite" sur les entrées $V+$ et $V-$.
- Observation du slew-rate : Mettre sur l'entrée $V+$ un signal carré avec une montée de 1 ns et observer à quelle vitesse le signal de sortie réagit.
- Mesurer la bande passante de l'AOP

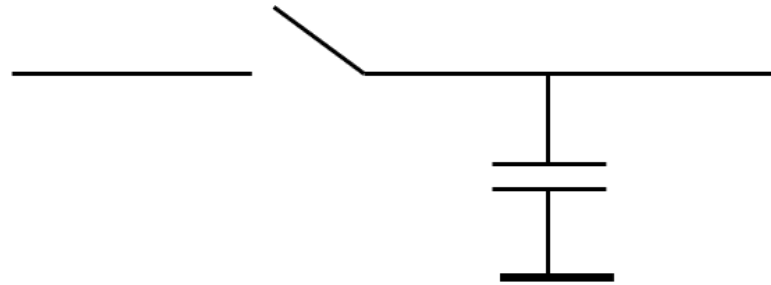
Circuit de conditionnement



L'amplificateur différentiel est un circuit à 3 AOP

Circuit d'échantillonnage/blocage

Modèle proposé en cours



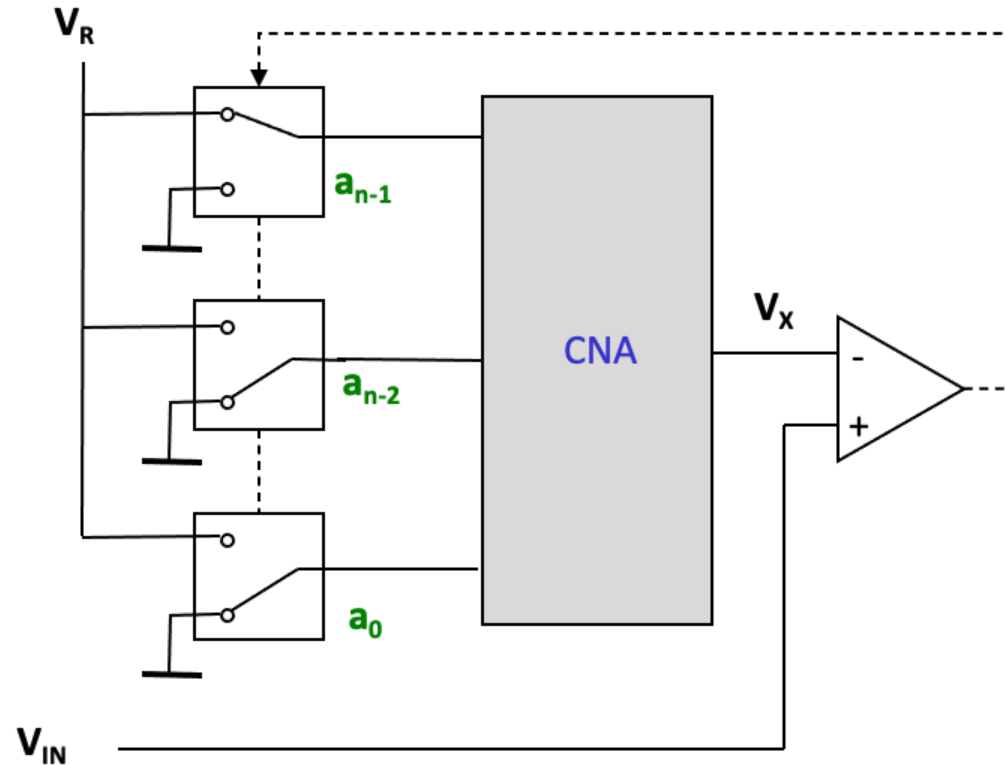
L'interrupteur sera réalisé à l'aide d'une implémentation **CMOS** (NMOS et PMOS en parallèle)

On impose une valeur de 1 nF pour la capacité.

Sachant que l'échantillonnage est fixé à 1 ms, il faut prévoir :

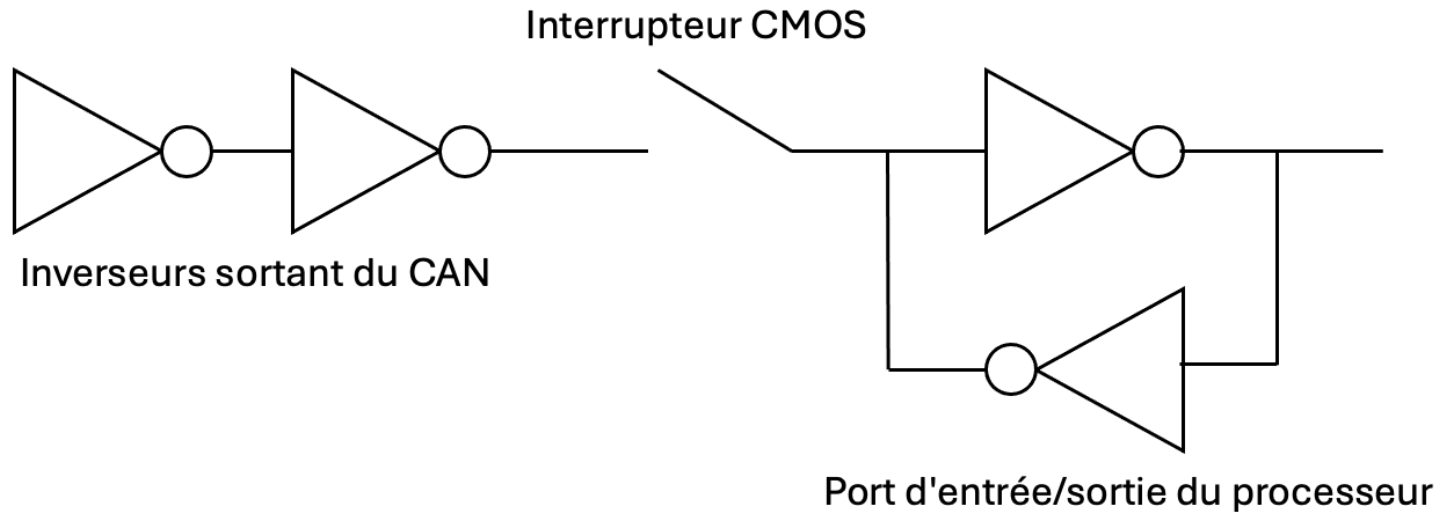
- Un signal de commande de fermeture de l'interrupteur très court ($10 \mu\text{s}$ maximal) permettant de disposer de $990 \mu\text{s}$ pour convertir le signal analogique en numérique.
- Il faut dimensionner correctement les transistors NMOS et PMOS de l'interrupteur pour que la valeur analogique puisse être disponible sur la capacité.

Circuit de conversion à approximations successives



Conception logique uniquement

Circuit d'interfaçage entre convertisseur et processeur



Le CAN doit être capable de forcer sa valeur dans le point mémoire statique
La taille (largeur) des inverseurs du CAN augmentent d'un facteur 3

Algorithme

- Le format des données doit être judicieux :

➤ **pas de calcul en virgule flottante**

- A chaque échantillon on calcule :

$$Somme1 += \frac{1}{N} (X_i - \overline{X_{PREC}})^2$$

on prépare la moyenne : Somme2 += X_i

- Au dernier échantillon on calcule :

$$\overline{X_{SUIV}} = \frac{Somme2}{N}$$

$$\sqrt{Somme1}$$