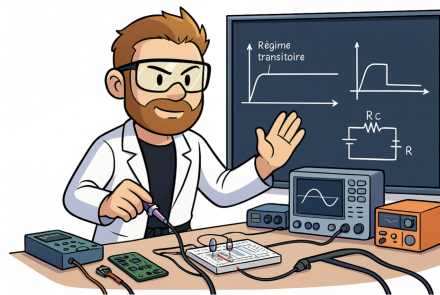


MESURE DE PARAMÈTRES PHYSIOLOGIQUES



Compétences visées:

- Identifier la fonction d'un capteur et d'un transducteur.
- Expliquer les principes physiques : piézoélectricité, photométrie, thermique IR.
- Préparer l'étude de l'effet de l'exercice physique sur des paramètres physiologiques : fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, volume respiratoire courant, pression Artérielle, température, oxymétrie...

Table des matières

I Des premiers instruments aux capteurs électriques	3
A Mesurer le corps : les premiers instruments médicaux	3
B La révolution électrique : naissance des capteurs biomédicaux	3
C Définition et principe	3
II Pneumographes	4
A La ceinture respiratoire piézoélectrique	4
B Spirométrie	5
III Capteur de pouls	7
A Fréquence cardiaque	7
B L'Oxymètre de Pouls (SpO2)	8
IV Sphygmomanométrie (Pression Artérielle)	9
V Thermomètre auriculaire Infrarouge	10
VI Réglages des capteurs modernes	11
A Taux d'échantillonnage (f_e)	11



I Des premiers instruments aux capteurs électriques

A Mesurer le corps : les premiers instruments médicaux

Bien avant l'apparition de l'électronique, la médecine cherchait déjà à quantifier les phénomènes biologiques. Les premiers instruments médicaux avaient pour objectif de transformer une **sensation subjective en mesure objective**.

- Le **thermomètre médical** permet de mesurer la température corporelle.
- Le **sphygmomanomètre** mesure la pression artérielle.
- En 1816, René Laennec invente le **stéthoscope**, permettant d'amplifier et d'analyser les sons produits par le cœur et les poumons.

B La révolution électrique : naissance des capteurs biomédicaux

À la fin du XIX^e siècle, le développement de l'électricité transforme profondément les instruments médicaux.

En 1903, le physiologiste néerlandais Willem Einthoven met au point le premier électrocardiographe fiable. Pour la première fois, l'activité électrique du cœur est enregistrée sous forme de signal mesurable et exploitable.

Le principe est nouveau :

Phénomène biologique → **Capteur** → **Signal électrique** → **Analyse**

Cette avancée marque la naissance des capteurs biomédicaux modernes.

Au cours du XX^e siècle apparaissent alors :

- l'électrocardiogramme (ECG),
- l'électroencéphalogramme (EEG),
- les capteurs de pression intracorporelle,
- les premiers capteurs électrochimiques.

La médecine entre ainsi dans une nouvelle ère : celle de la mesure instrumentée du vivant.

C Définition et principe

Définition : Capteur et Transducteur

Un **capteur** est un dispositif qui transforme une grandeur physique (mesurande) en une grandeur exploitable (généralement une tension électrique V).

Il contient souvent un **transducteur** : Élément d'un instrument de mesure qui transforme une grandeur physique en une autre grandeur physique, fonction de la précédente.



II Pneumographes

Remarque

Le terme plus général en médecine pour désigner tout appareil capable d'enregistrer les cycles respiratoires (fréquence et amplitude) est le **pneumographe**.

A La ceinture respiratoire piézoélectrique

Ce capteur mesure l'expansion thoracique.

- **Principe : L'effet piézoélectrique.** Certains cristaux génèrent une charge électrique lorsqu'ils sont comprimés ou étirés.
- **Fonctionnement :** L'inspiration étire la ceinture, le cristal se déforme et produit une tension V proportionnelle à l'amplitude respiratoire.



Exercice 1 Étalonnage d'une ceinture respiratoire piézoélectrique (★ ★)

Afin d'exploiter la ceinture respiratoire en milieu clinique, on souhaite établir la relation entre la tension mesurée V (en V) et le volume d'air inspiré ΔV_{air} (en L).

Un étalonnage est réalisé à l'aide d'un spiromètre de référence.

Q1 Compléter le graphique ci-dessous en plaçant les points expérimentaux.

ΔV_{air} (L)	V (V)
0,20	0,15
0,40	0,31
0,60	0,46
0,80	0,62
1,00	0,77

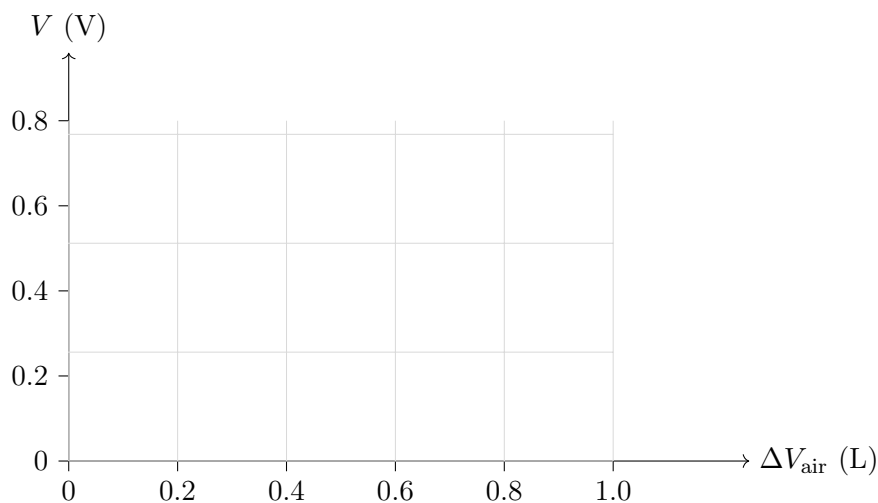


FIGURE 1 – Graphe à compléter

Q2 La relation semble-t-elle linéaire ?



Q3 Déterminer une valeur approchée du coefficient directeur a ainsi que l'ordonnée à l'origine b .

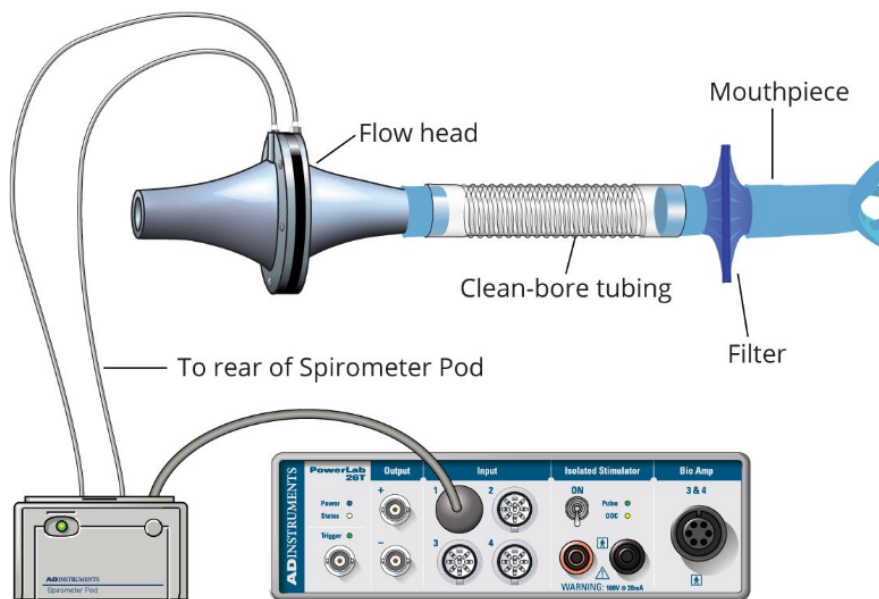
On admet que la loi d'étalonnage est de la forme :

$$V = a \times \Delta V_{\text{air}} + b$$

Q4 En déduire le volume inspiré si la tension mesurée vaut $V = 0,50$ V.

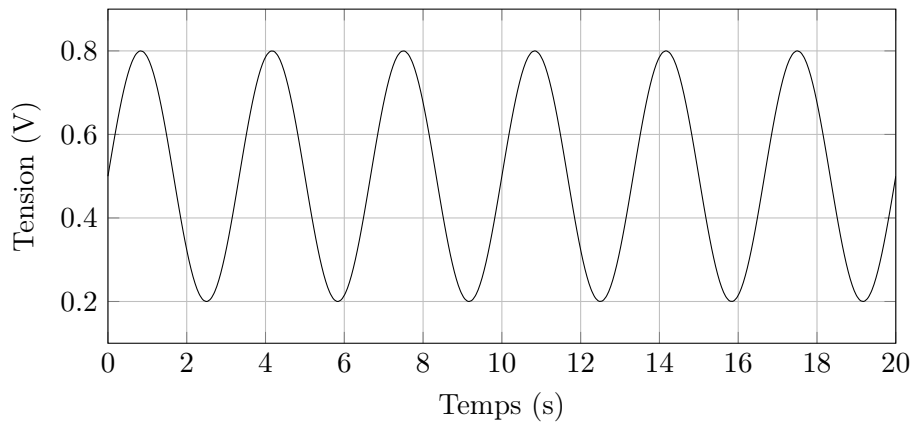
B Spirométrie

Un spiromètre mesure le volume et le débit d'air pendant l'inspiration et l'expiration.



Exercice 2 Analyse d'un enregistrement respiratoire (★ ★)

On enregistre la tension délivrée par une ceinture respiratoire pendant 20 s.



La loi d'étalonnage est :

$$V = 0,75 \Delta V_{air} + 0,05$$

Q1 Déterminer la fréquence respiratoire en cycles par minute.

Q2 Déterminer l'amplitude de variation de tension.

Q3 En déduire le volume courant.

Q4 Le patient est-il au repos ou en hyperventilation ? Justifier.



III Capteur de pouls

A Fréquence cardiaque

Le capteur de pouls utilise un **élément piézoélectrique** pour **convertir la force appliquée** à la surface active du transducteur en un **signal électrique analogique**. Le transducteur est maintenu en place à l'aide d'une **bande auto-agrippante** autour du doigt lors de la mesure du pouls.

Les **changements de la pression sanguine** modifient la **circonférence du doigt** (expansion et concentration), ce qui modifie la **force appliquée** à la surface active du transducteur. Les changements du signal électrique analogique correspondent donc à ces changements de force et peuvent ensuite être utilisés pour déterminer la **fréquence cardiaque**. La **sortie typique est de 50 – 200 mV**.



Exercice 3 Analyse d'un signal pléthysmographique (★ ★)

On enregistre la tension délivrée par un capteur optique placé au bout du doigt (oxymètre de pouls).

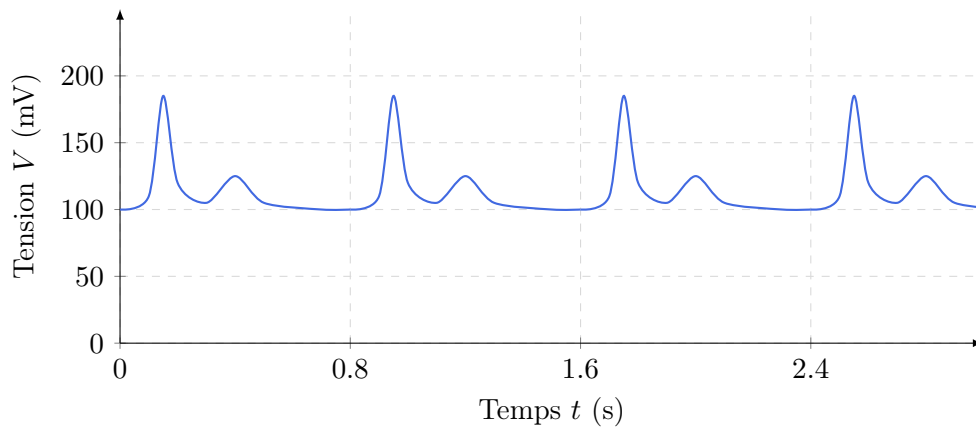


FIGURE 2 – Signal typique d'un capteur de pouls (Onde pléthysmographique)

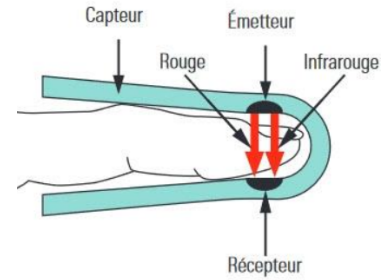
Q1 Déterminer la période du signal.

Q2 En déduire la fréquence cardiaque en battements par minute (bpm).

B L'Oxymètre de Pouls (SpO₂)

Il repose sur l'**absorption lumineuse**.

- Deux LED (Rouge 660nm et Infrarouge 940nm) traversent le doigt.
- L'hémoglobine oxygénée absorbe davantage l'infrarouge, tandis que l'hémoglobine désoxygénée absorbe davantage le rouge.
- Le rapport des intensités reçues permet de calculer le % de saturation en oxygène.



Exercice 4 Détermination de la SpO₂ (★ ★)

On mesure :

$$I_R = 0,40 \text{ mW} \quad I_{IR} = 0,00085 \text{ W}$$

On définit :

$$R = \frac{I_R}{I_{IR}}$$

Relation approchée :

$$SpO_2(\%) = 110 - 25R$$

Q1 Calculer R .

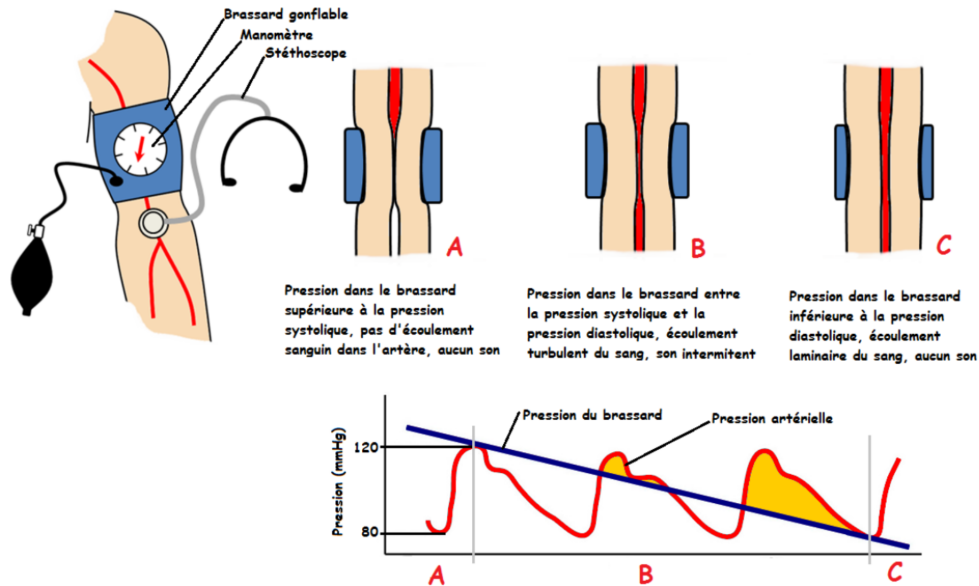
Q2 En déduire la saturation en oxygène.

Q3 Le patient est-il en hypoxie (<92%) ?



IV Sphygmomanométrie (Pression Artérielle)

Méthode de mesure de la pression systolique et diastolique.



- Le fait de gonfler le brassard réalise un garrot (temporaire et léger), la circulation est bloquée et la pression artérielle est maximale en amont du garrot, mais aucun bruit n'est audible au stéthoscope en l'absence de flux sanguin au niveau du brassard ;
- En relâchant doucement et progressivement l'air du brassard, le garrot est levé. Lorsque la pression systolique équilibre la pression du brassard et devient suffisante pour remettre en circulation le sang dans l'artère, le stéthoscope permet de détecter une pulsation (normalement franche et bien audible). En lisant à cet instant la valeur indiquée par le manomètre, on obtient la mesure de la pression artérielle maximale (systole) ;
- Lorsque la pression du brassard devient inférieure à la pression diastolique, le stéthoscope ne permet plus de détecter une pulsation audible et la valeur fournie par la manomètre correspond à la pression artérielle minimale (diastole).

V Thermomètre auriculaire Infrarouge

Contrairement au thermomètre à mercure (dilatation thermique), celui-ci est **sans contact**.

- **Physique** : Tout corps chaud émet un rayonnement infrarouge (Loi de Stefan-Boltzmann).
- **Fonctionnement** : Le capteur mesure le flux infrarouge émis par la membrane du tympan, qui partage la même irrigation sanguine que l'hypothalamus (centre de régulation thermique du corps).



Exercice 5 Rayonnement thermique du tympan (★ ★ ★)

On modélise le tympan comme un corps noir, son rayonnement est caractérisé par la loi de Stefan :

$$P = \sigma S T^4$$

avec :

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \quad ; \quad S = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Q1 Calculer la puissance rayonnée pour $T = 310 \text{ K}$.

Q2 Même question pour $T = 312 \text{ K}$.

Q3 La variation relative de puissance est elle significative ?



VI Réglages des capteurs modernes

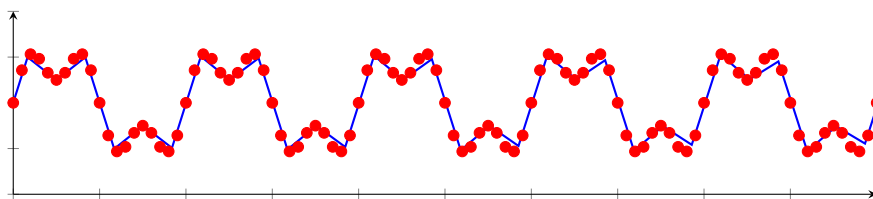
A Taux d'échantillonnage (f_e)

Pour qu'un ordinateur "voit" le signal, il doit prendre des points de mesure à intervalles réguliers.

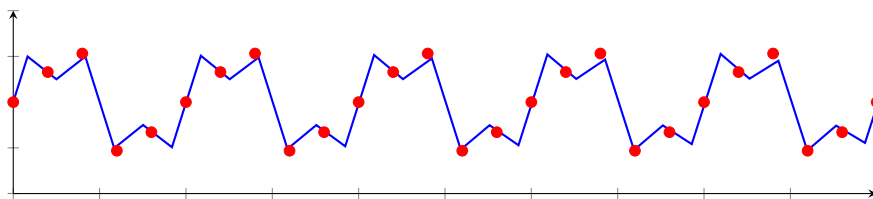
Propriété : Théorème de Shannon

Pour ne pas perdre d'information, la fréquence d'échantillonnage doit être au moins deux fois supérieure à la fréquence maximale attendue du signal ($f_e > 2f_{max}$).

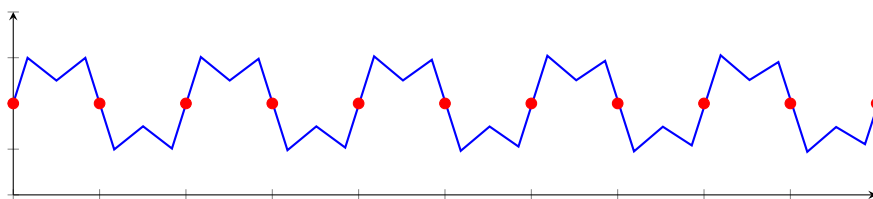
Bien échantillonné ($f_e \gg 2f_{max}$)

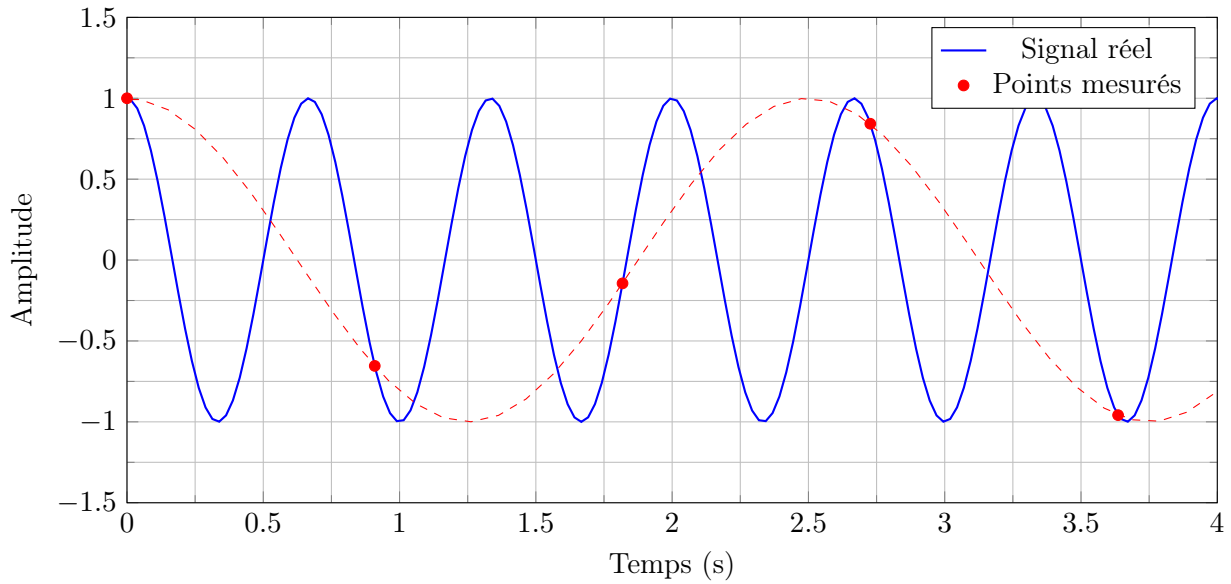


Limite de Shannon ($f_e \approx 2f_{max}$)



Sous-échantillonné ($f_e < 2f_{max}$) — Aliasing



Exercice 6 Analyse d'un défaut d'échantillonnage (★)


Q1 En utilisant le théorème de Shannon cité précédemment, déterminez la fréquence d'échantillonnage minimale f_{min} que l'appareil devrait utiliser pour capturer correctement ce signal. L'appareil réglé sur $f_e = 1,1$ Hz respecte-t-il cette condition ?

Q2 Observez les points rouges et la courbe en pointillés (le signal "vu" par l'ordinateur). Quelle valeur affiche le cardiofréquencemètre ?

Q3 Si le patient subit un effort intense et que son rythme cardiaque monte à 180 bpm, quelle modification immédiate l'infirmier doit-il apporter au réglage du capteur pour maintenir une mesure fiable ?