



# **MESURE DU FLUX SANGUIN PAR EFFET DOPPLER**

**Thème : Santé et  
prévention**

**MAZOUZ SAFIA  
SCEI 23276  
TIPE 2021 / 2022**

# PROBLEMATIQUE RETENUE

Comment peut on diagnostiquer certaines maladies tels que la valvulopathie , les sténoses ...en utilisant l'effet Doppler ??

# PLAN

## **1. INTRODUCTION**

## 2. DEFINITION DE L'EFFET DOPPLER

a . EXEMPLE

b . APPLICATION AU DOMAINE MEDICAL

## 3. PROFIL D'ECOULEMENT

## 4. PHENOMENE D'ALIASING

## 5. MODES DOPPLER

## 6. PARAMETRES D'OPTIMISATION

## 7. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

# INTRODUCTION

L'échographie Doppler est devenue , ces dernières années , une méthode de tout premier ordre pour l'examen non invasif des vaisseaux , aussi bien superficiels que profonds.

L'application médicale de l'effet Doppler , découvert en 1843 par Johann Christian Doppler , apparue que dans les années 1960 .

# PLAN

1. INTRODUCTION

**2. DEFINITION DE L'EFFET DOPPLER**

a . EXEMPLE

b . APPLICATION AU DOMAINE MEDICAL

3. PROFIL D'ECOULEMENT

4. PHENOMENE D'ALIASING

5. MODES DOPPLER

6. PARAMETRES D'OPTIMISATION

7. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

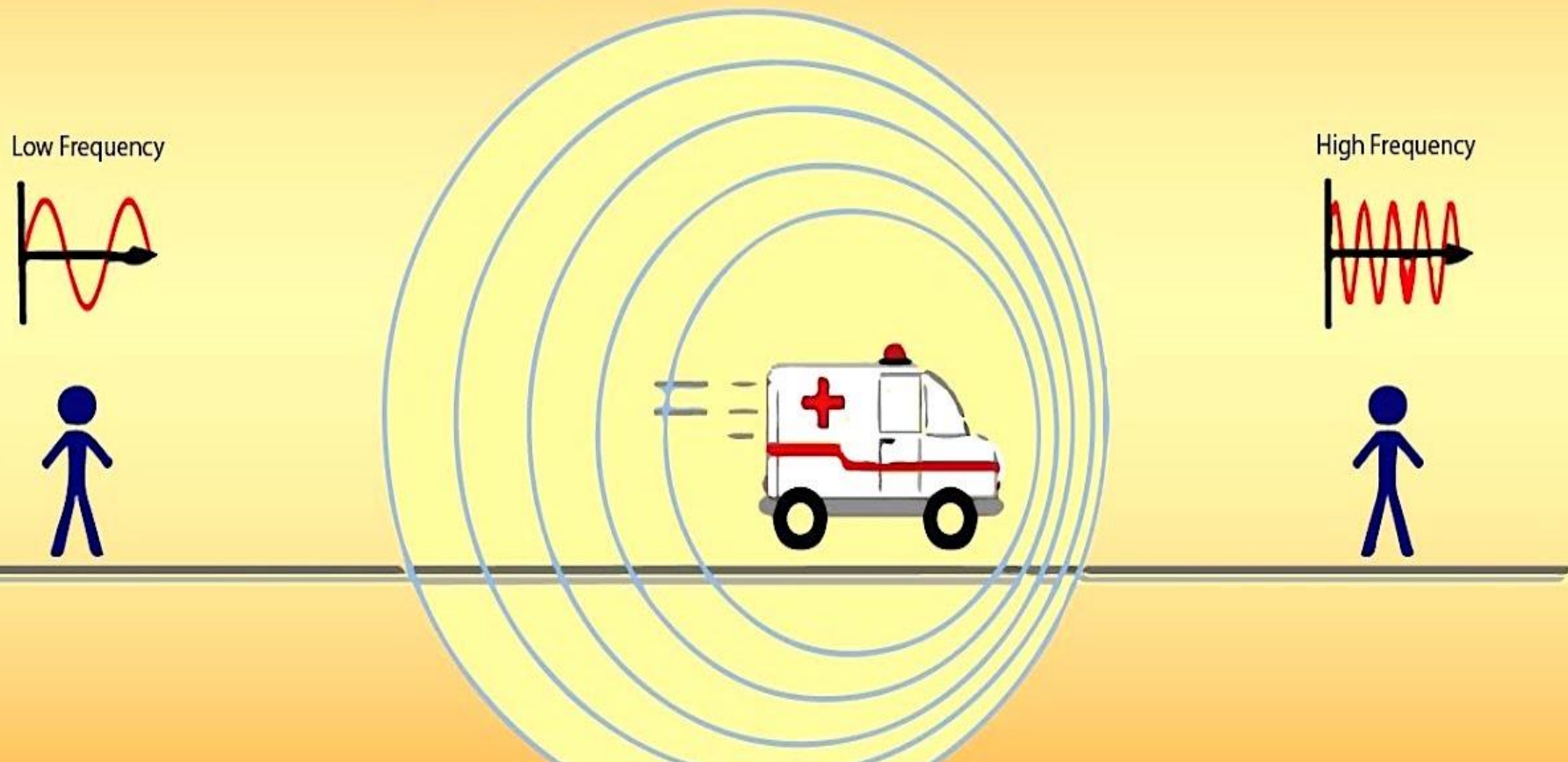
# DEFINITION DE L'EFFET DOPPLER

L'effet Doppler est un changement de fréquence d'une source d'ondes lorsqu'il y a déplacement relatif de la source ou de l'observateur .

# EXEMPLE DE LA VIE QUOTIDIENNE

❖ Sirène d'une ambulance

# Effet Doppler



*Figure 1 : ambulance en mouvement*



# APPLICATION AU DOMAINE MEDICAL

Lorsqu'un faisceau d'ultrasons émis par une source rencontre une cible mobile (les globules rouges du sang) , la fréquence réfléchie est différente de la fréquence émise . Cette différence ( $\Delta F$ ) entre la fréquence d'émission ( $F_e$ ) et la fréquence de réception ( $F_r$ ) s'appelle fréquence Doppler.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\Delta F = 2 \cdot F_e \cdot V \cdot \frac{\cos \theta}{c}$$

$\Delta F$  : Variation de fréquence liée à l'effet Doppler

$F_e$  : Fréquence d'émission

$V$  : Vitesse de déplacement

$\theta$  : Angle entre le faisceau et la direction du flux sanguin

$c$  : Célérité , vitesse de propagation US dans les milieux biologiques

# PLAN

1. INTRODUCTION

2. DEFINITION DE L'EFFET DOPPLER

a . EXEMPLE

b . APPLICATION AU DOMAINE MEDICAL

**3. PROFIL D'ECOULEMENT**

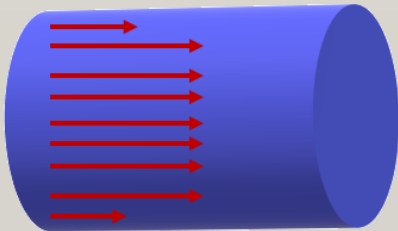
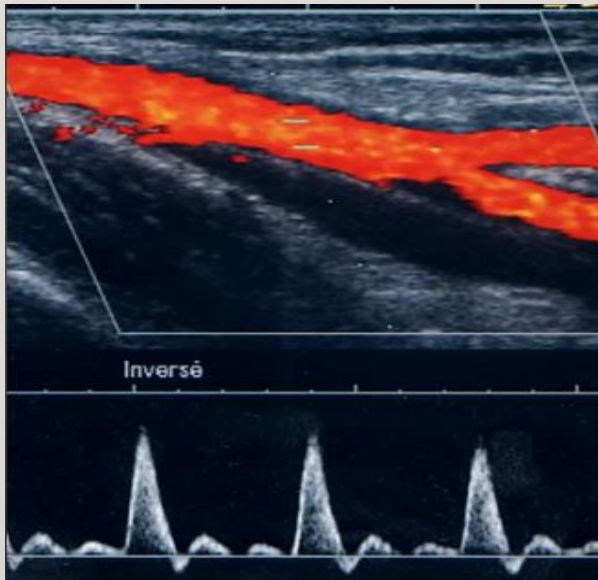
4. PHENOMENE D'ALIASING

5. MODES DOPPLER

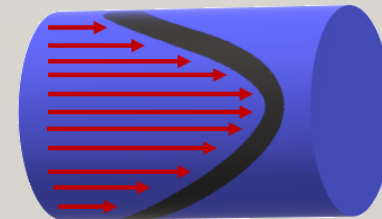
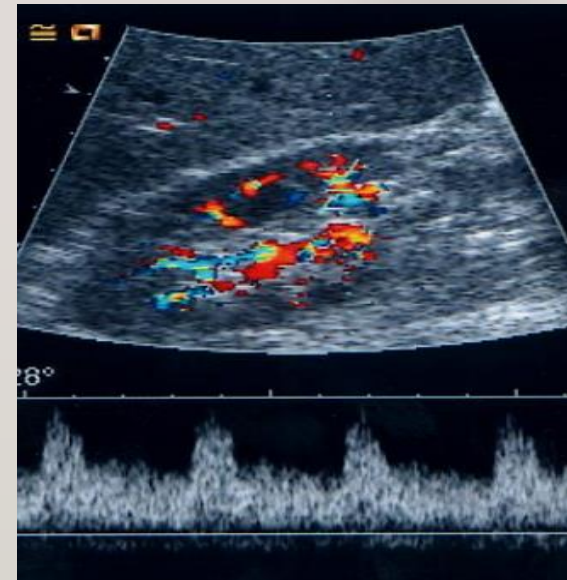
6. PARAMETRES D'OPTIMISATION

7. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

# PROFIL D'ÉCOULEMENT



*Figure 2 : FLUX PLATEAU*



*Figure 3 : FLUX LAMINAIRE*

# Théorème de Bernoulli

$$Em = P + \rho . g . h + \frac{\rho . V^2}{2}$$

*Em* : énergie mécanique

*P* : la pression en Pa

$\rho$  : la masse volumique en g/mol

*h* : la hauteur en m

*g* : intensité de la pesanteur en  $m . s^{-2}$

*V* : vitesse d'écoulement en  $m . s^{-1}$

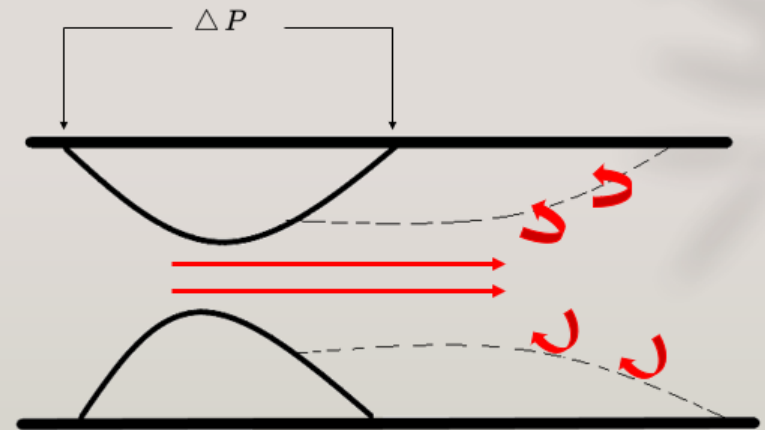
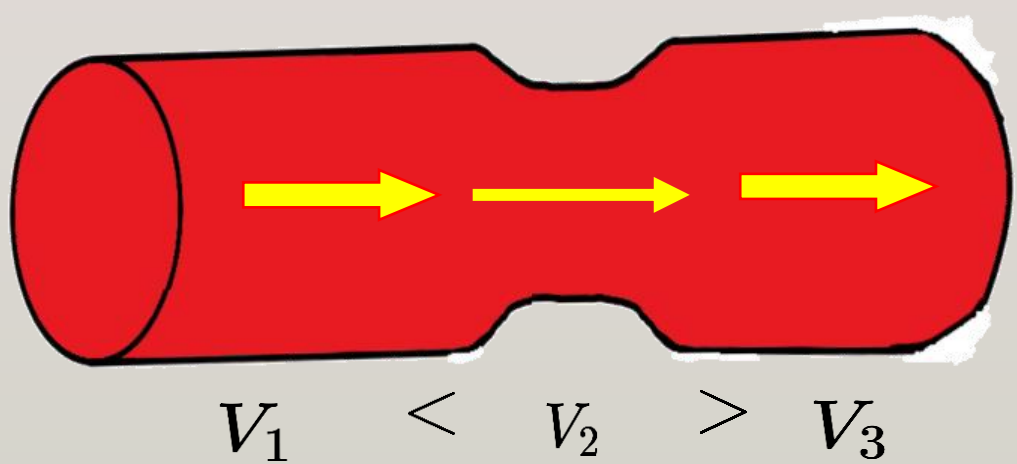


Figure 4 : Représentation d'une sténose

Dans une sténose , l'accélération circulatoire entraine une augmentation de l'énergie cinétique , donc la pression diminue .

$$P_1 > P_2 < P_3$$



*Figure 5 : Sténose (réduction du diamètre)*

# PLAN

1. INTRODUCTION

2. DEFINITION DE L'EFFET DOPPLER

a . EXEMPLE

b . APPLICATION AU DOMAINE MEDICAL

3. PROFIL D'ECOULEMENT

**4. PHENOMENE D'ALIASING**

5. MODES DOPPLER

6. PARAMETRES D'OPTIMISATION

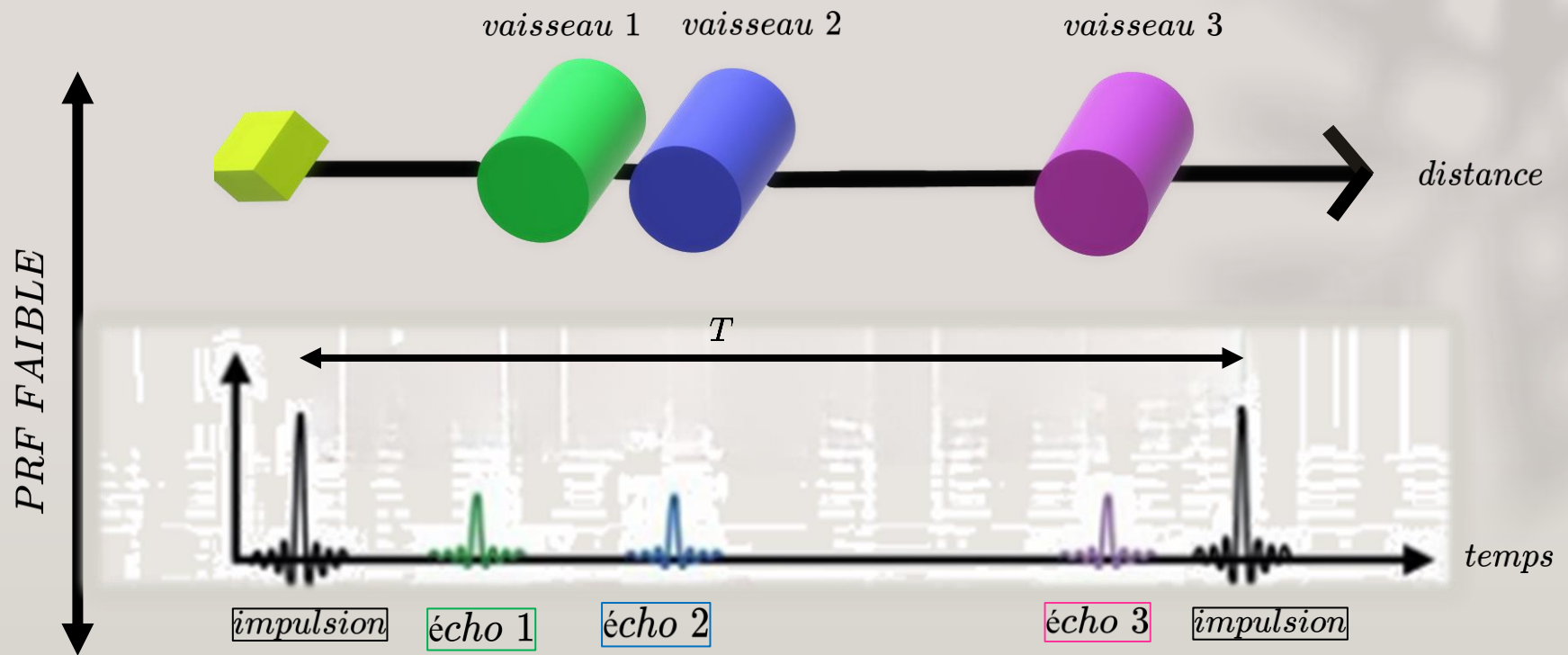
7. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

# PHENOMENE D'ALIASING



*Figure 6 : Inversion de couleur (phénomène d'aliasing)*

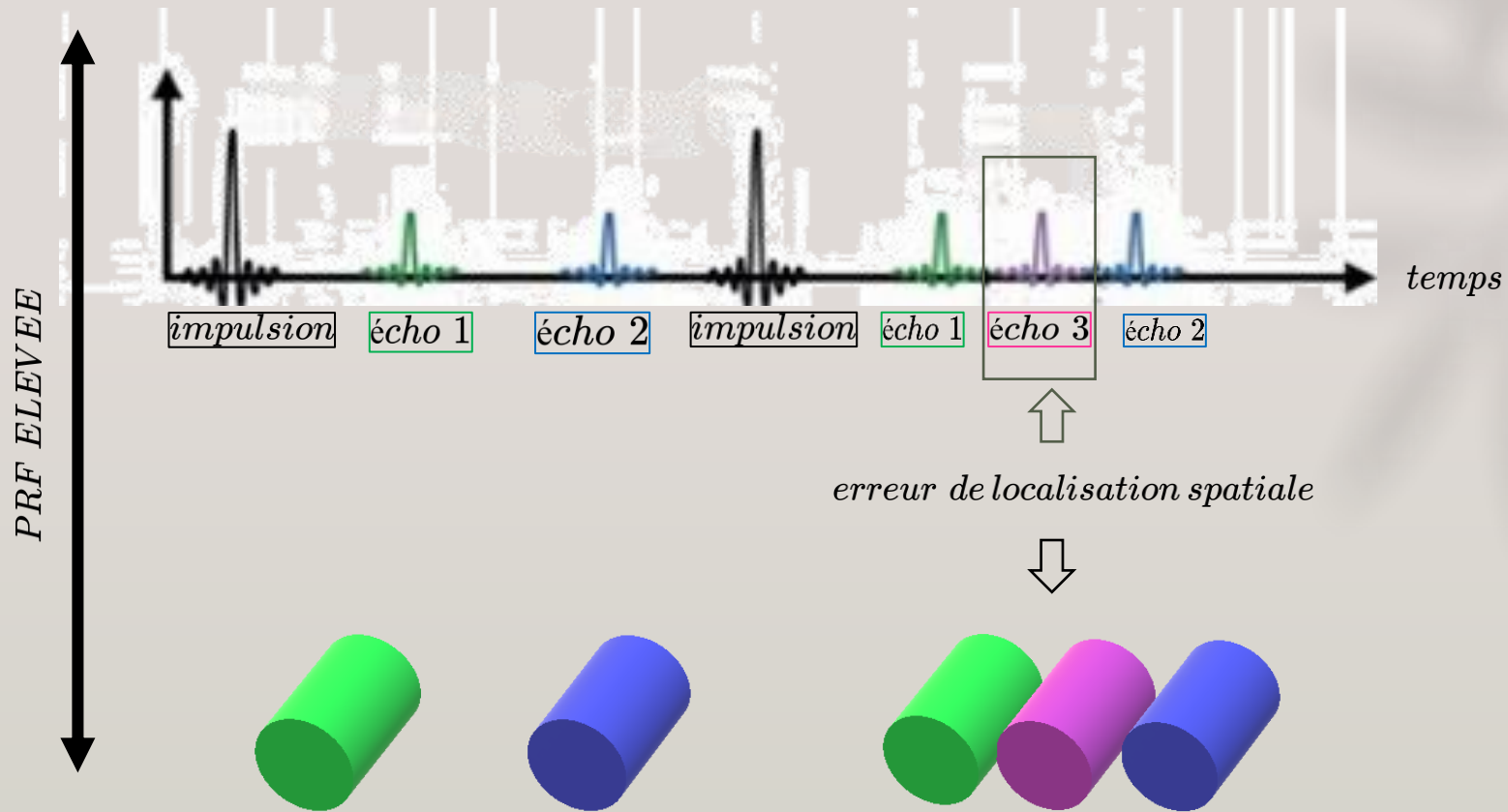




*Figure 7.a : PRF faible et profondeur d'exploration*

$T$  : durée séparant 2 impulsions

on note PRF la fréquence de répétition des impulsions et on a  $PRF = \frac{1}{T}$



*Figure7.b : PRF élevée et profondeur d'exploration*

# THEOREME DE SHANNON

## ENONCE

« Pour échantillonner sans ambiguïté un signal fréquentiel , la fréquence d'échantillonnage (PRF) doit être au moins égale au double de celle du signal »

$$PRF = 2.\Delta F$$

$\Delta F$  : *Fréquence du signal*

# FREQUENCE DE NYQUIST

« La fréquence maximale échantillonnable est la moitié de la PRF »

$$\Delta F = \frac{PRF}{2}$$

$\Delta F$  : *Fréquence du signal*

# PLAN

1. INTRODUCTION

2. DEFINITION DE L'EFFET DOPPLER

a . EXEMPLE

b . APPLICATION AU DOMAINE MEDICAL

3. PROFIL D'ECOULEMENT

4. PHENOMENE D'ALIASING

**5. MODES DOPPLER**

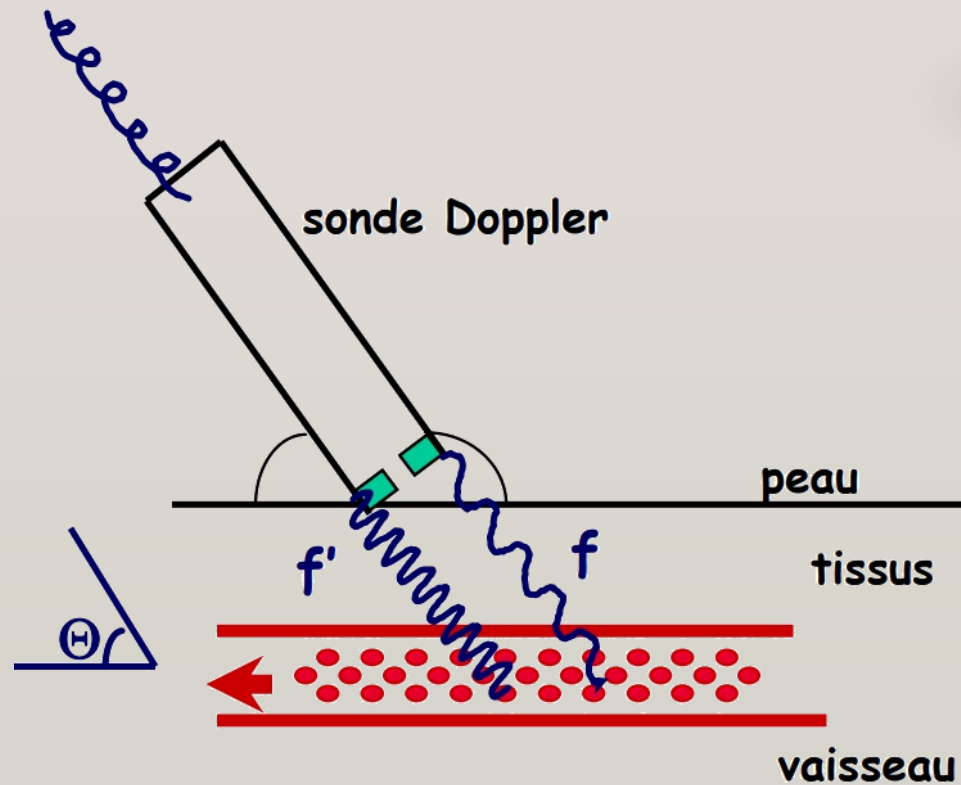
6. PARAMETRES D'OPTIMISATION

7. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

# MODES D'EMISSION DOPPLER

- ❖ DOPPLER CONTINU
- ❖ DOPPLER PULSE
- ❖ DOPPLER COULEUR
- ❖ DOPPLER ENERGIE
- ❖ DOPPLER MODE CVI

## a. DOPPLER CONTINU



Émission :  $F_0$



Réception :  $F_0 + \Delta F$



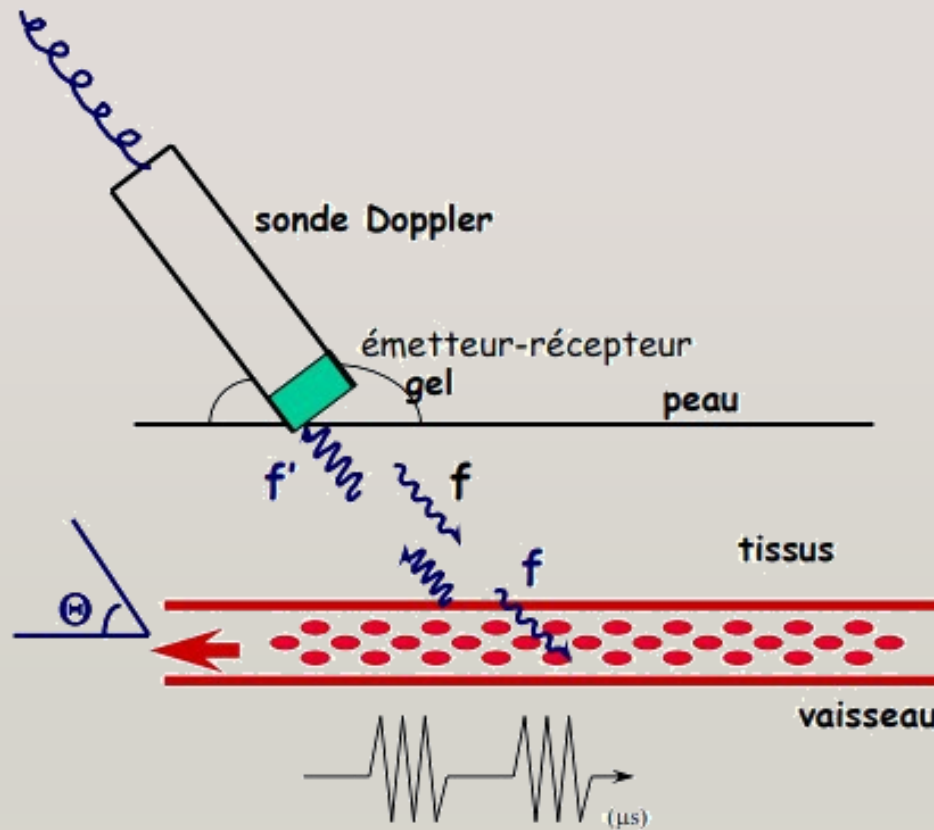
Signal doppler :  $\Delta F$



Figure 8 : Courbes de vitesses obtenues sur un doppler continu



## b. DOPPLER PULSE



Le délai entre deux impulsions détermine la fréquence de répétition (PRF) "Pulse repetition frequency"  
La PRF détermine la profondeur du champ d'exploration !!!

Elle est donnée par la formule suivante :

$$PRF = \frac{c}{2.d}$$

$c$  : vitesse des ultrasons

$d$  : profondeur du vaisseau

L'intérêt du Doppler pulsé par rapport au Doppler continu est de pouvoir bénéficier de la résolution spatiale et de focaliser l'examen sur un vaisseau à analyser !!!

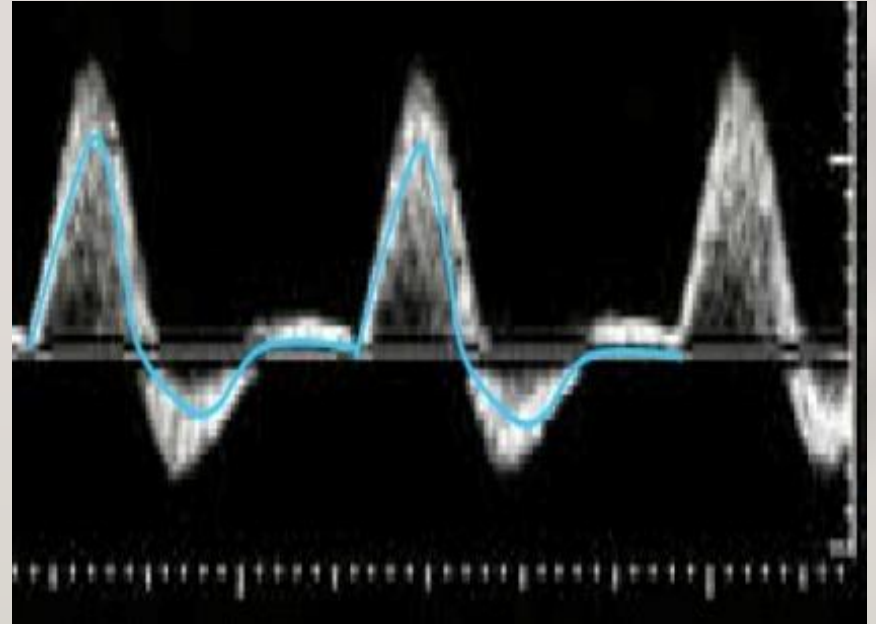


Figure 9 : Doppler , émission pulsée avec analyse spectrale

## c. DOPPLER COULEUR

Doppler couleur fréquentiel permet de représenter l'analyse spectrale du signal sous forme d'image . Les variations temporelles de vitesse se manifesteront sous forme de fluctuation colorimétrique.

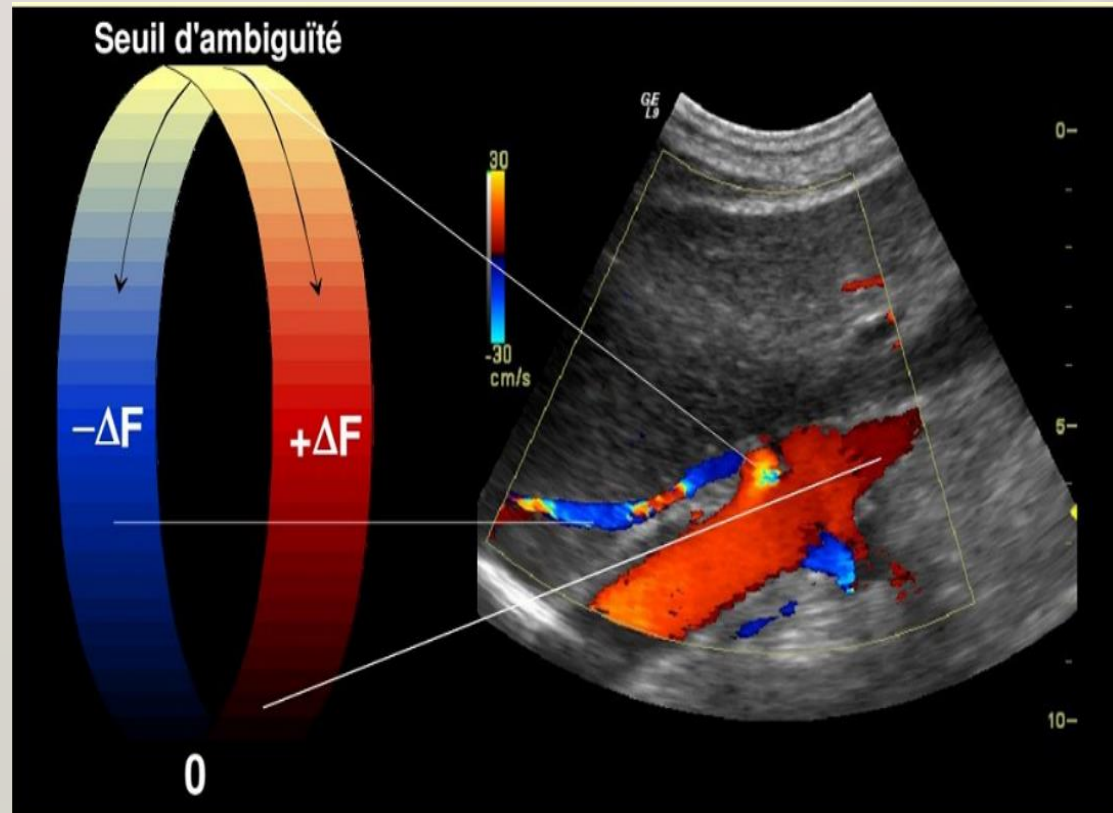


Figure 10: codage de vitesses circulatoires

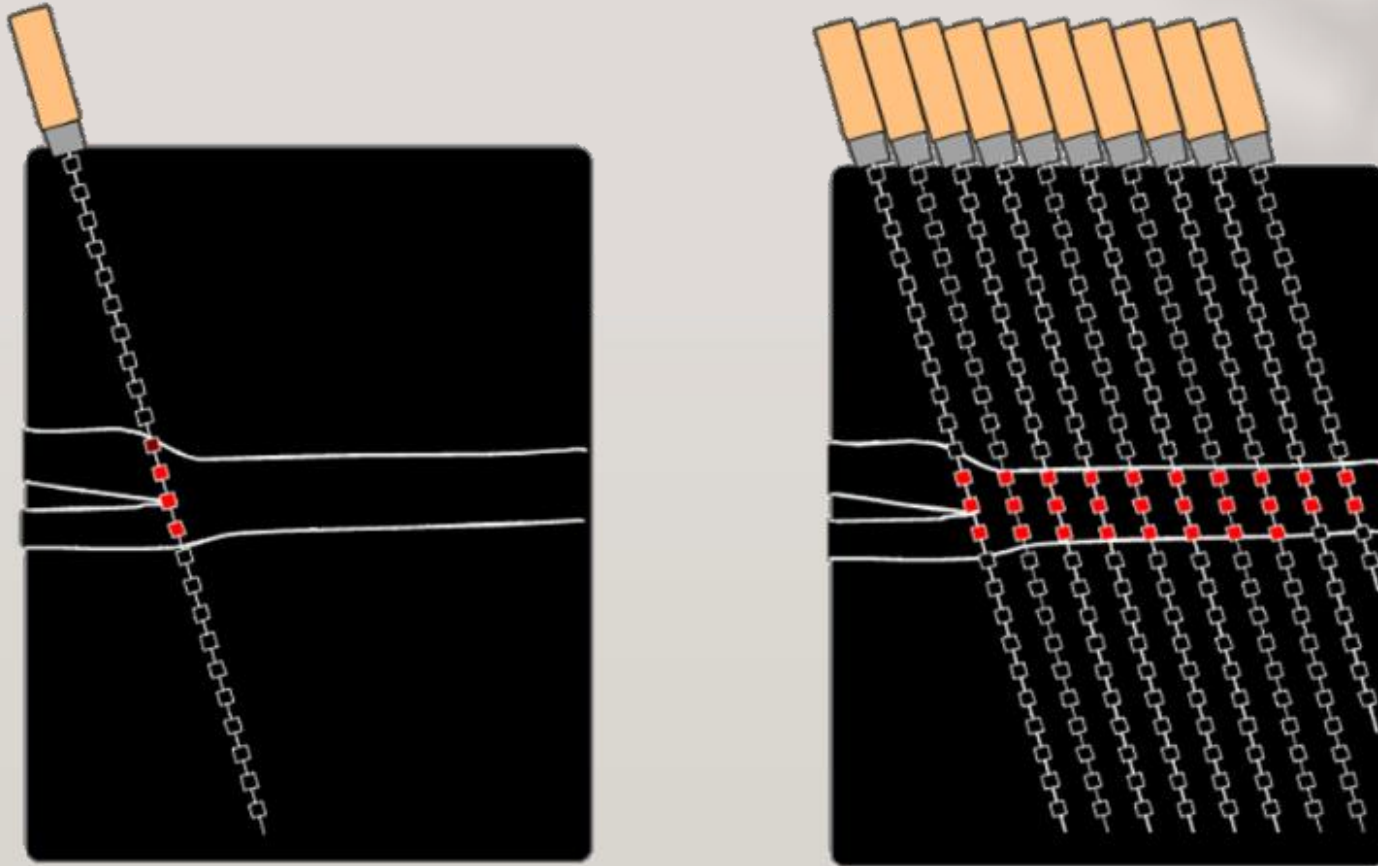


Figure 11 : Exploration unidimensionnelle et bidimensionnelle

## d. DOPPLER ENERGIE



Le codage du signal ne se fait pas par l'analyse des fréquences Doppler, mais sur l'intensité du signal.

Figure 12 : Bonne analyse d'une artère en doppler énergie

## e. DOPPLER CVI

Il consiste à mesurer le décalage temporel «  $t$  » entre deux échos successifs réfléchis par une même cible en mouvement .

$$t = \frac{2.T.V.\cos(\theta)}{c}$$

$t$  : décalage temporel

$T$  : intervalle entre deux tirs CVI

$\theta$  : angle entre le faisceau US et le vaisseau

$c$  : 1540m/s, célérité des ultrasons dans le corps

# TABLEAU RECAPITULATIF

AVANTAGES

DOPPLER CONTINU	DOPPLER PULSE	DOPPLER COULEUR	DOPPLER ENERGIE	DOPPLER CVI
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Simple .</li> <li>* Pas cher .</li> <li>* Sensibilité élevée pour la détection des flux lents.</li> <li>* Aucune limitation de fréquences</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Connaissance topographique des signaux Doppler.</li> <li>* Identification précise du vaisseau sur une image échographique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Affichage rapide des propriétés du flux sanguin et de la distribution de la vitesse d'écoulement ainsi que le sens d'écoulement .</li> <li>* Distinction de différentes vitesses par des couleurs différentes .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La quasi-indépendance vis - à - vis de l'angle <math>\theta</math>.</li> <li>* Sensibilité plus élevée aux flux.</li> <li>* Absence d'Aliasing.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Meilleure cadence image.</li> <li>* Meilleure résolution couleur.</li> <li>* Résolution spatiale excellente.</li> <li>* L'aliasing est moins important.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Pas de focalisation en profondeur .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Difficulté à étudier les flux très rapides.</li> <li>* Difficulté d'étude des vaisseaux profonds.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mauvaise quantification du flux sanguin .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Perte d'information sur le sens du flux.</li> <li>* Non précision de l'hémodynamique vasculaire.</li> <li>* Sensibilité élevée aux artefacts de mouvements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Les échos fixes, intenses, doivent être filtrés.</li> <li>* Obligation d'effectuer un plus grand nombre de tirs sur la même ligne.</li> </ul>

INCONVENIENTS



# PLAN

1. INTRODUCTION

2. DEFINITION DE L'EFFET DOPPLER

a . EXEMPLE

b . APPLICATION AU DOMAINE MEDICAL

3. PROFIL D'ECOULEMENT

4. PHENOMENE D'ALIASING

5. MODES DOPPLER

**6. PARAMETRES D'OPTIMISATION**

7. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

# PARAMETRES D'OPTIMISATION

- ❖ Choix de la sonde
- ❖ Angle de tir
- ❖ Choix de la gamme de vitesses
- ❖ Réglage de la taille de la fenêtre couleur
- ❖ Réglage de la taille de la porte Doppler

# 1. Choix de la sonde

La fréquence d'émission de la sonde doit être adaptée à la région étudiée :

- Vaisseaux profonds (2 à 3 MHz )
- Vaisseaux superficiels (5 à 13 MHz )

# 2. Angle de tir

Toute mesure de vitesse ou de débit impose

:

- Une optimisation et correction de l'angle Doppler ( si possible  $< 40^\circ$  )

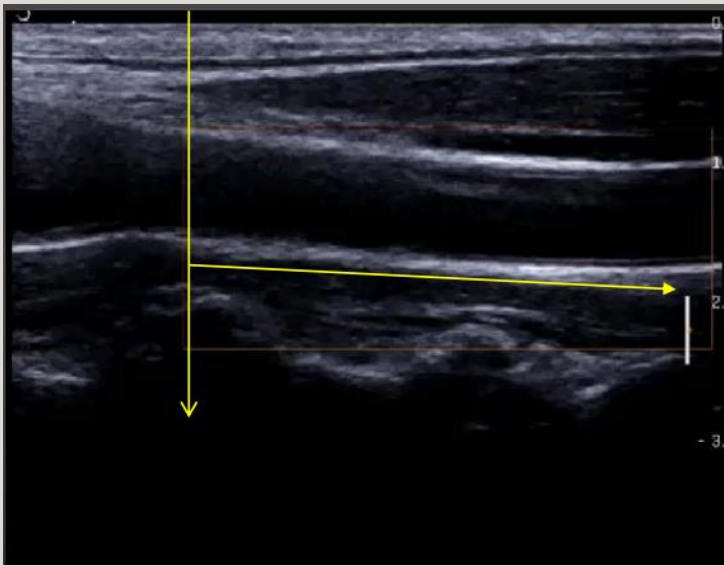


Figure 13 : Angle Doppler proche de  $90^\circ$

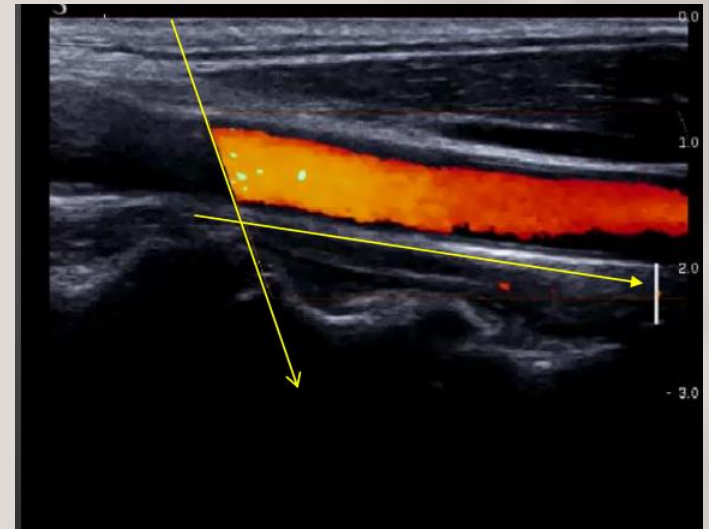


Figure 15 : Angle Doppler proche de  $60^\circ$

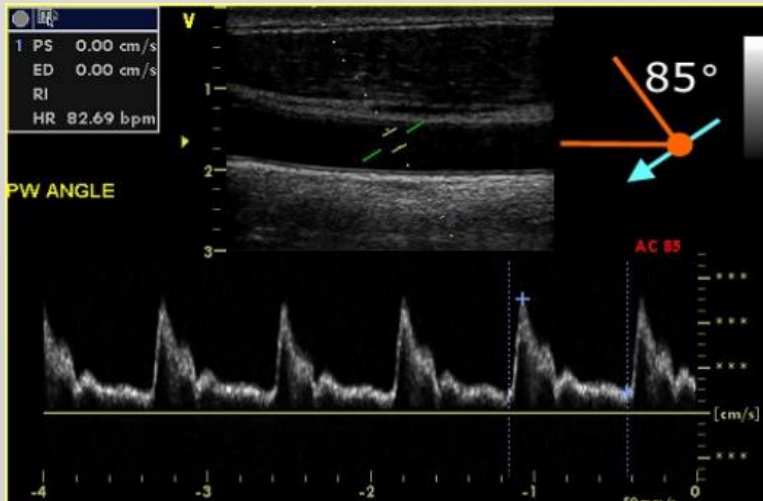


Figure 14 : Mesure erronée, vitesse circulatoire non déterminable

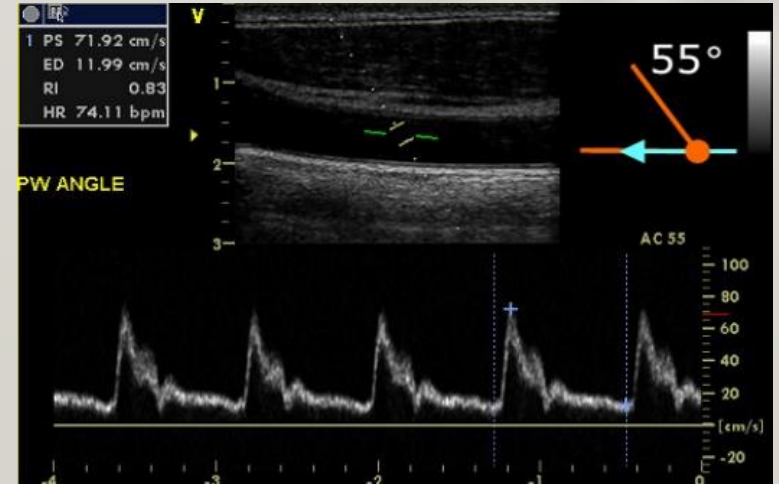
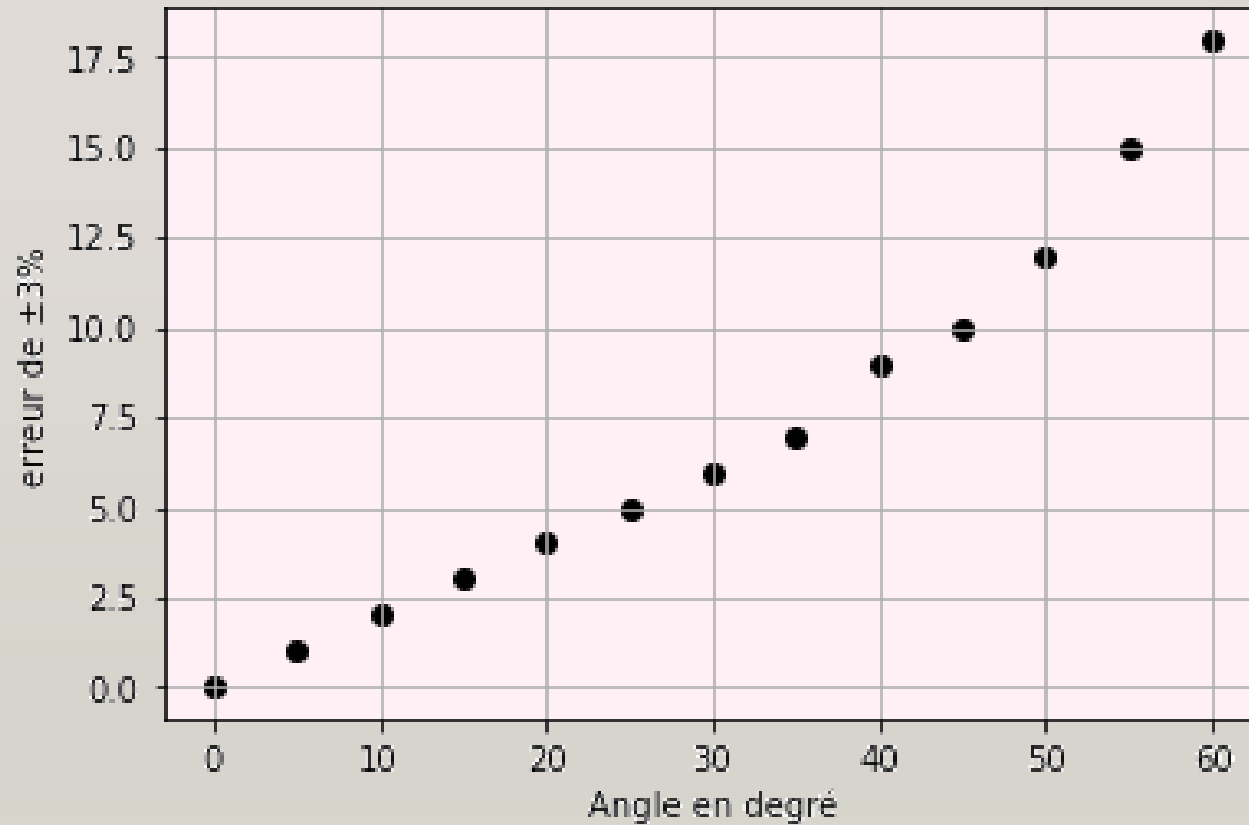


Figure 16 : Mesure correcte, vitesse circulatoire déterminable

Angle en degré	cos	Erreur de +-3%
0	1,00	0
5	1,00	1
10	0,98	2
15	0,97	3
20	0,94	4
25	0,91	5
30	0,87	6
35	0,82	7
40	0,77	9
45	0,71	10 (+-5%)
50	0,64	12
55	0,57	15
60	0,50	18

Figure 17 :Erreur de précision sur la mesure des vitesses en valeur absolue en rapport avec l'erreur sur la correction angulaire ( $\theta$ )

Tracé représentatif des données de la figure 17



### **3.Choix de la gamme de vitesses**

- Une gamme de vitesses trop basse entraine un phénomène d'aliasing gênant l'interprétation.
- Une gamme de vitesses trop élevée peut gêner l'analyse des flux plus lents.

### **4. Réglage de la taille de la fenêtre couleur**

- Pour conserver une cadence image satisfaisante , la taille de la fenêtre couleur ne doit pas être trop importante , mais être restreinte au vaisseau étudié.

## 5. Réglage de la taille de la porte Doppler

Pour obtenir des informations sur l'ensemble des vitesses du vaisseau, la porte Doppler doit être suffisamment large et ne pas se situer uniquement au centre du vaisseau.

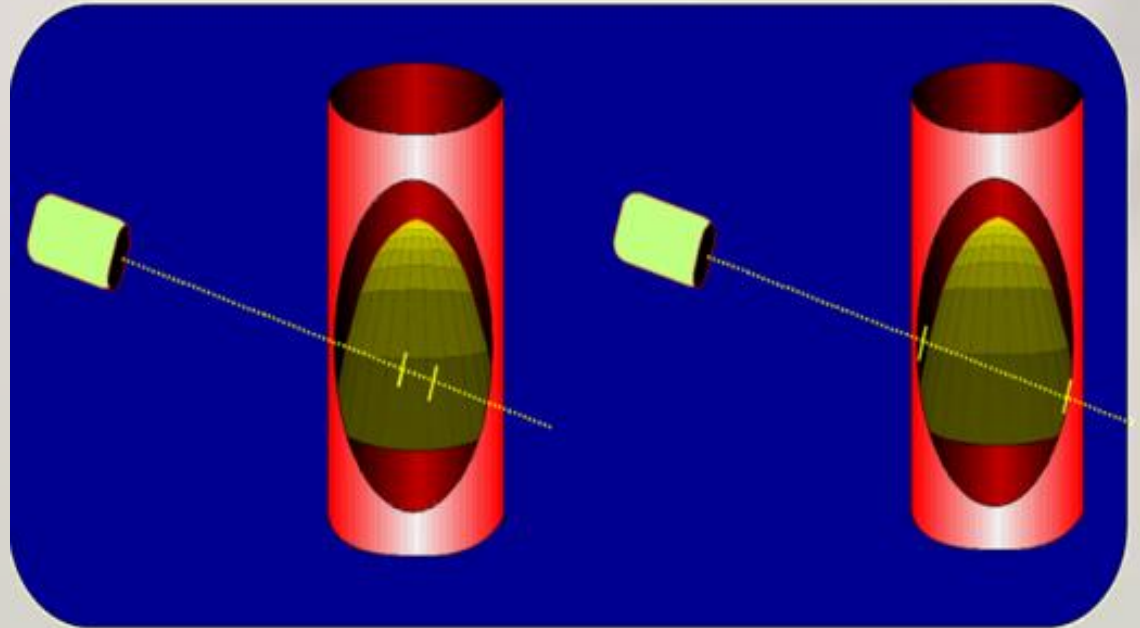


Figure 18 : Volume de mesure en doppler pulsé



# PLAN

1. INTRODUCTION

2. DEFINITION DE L'EFFET DOPPLER

a . EXEMPLE

b . APPLICATION AU DOMAINE MEDICAL

3. PROFIL D'ECOULEMENT

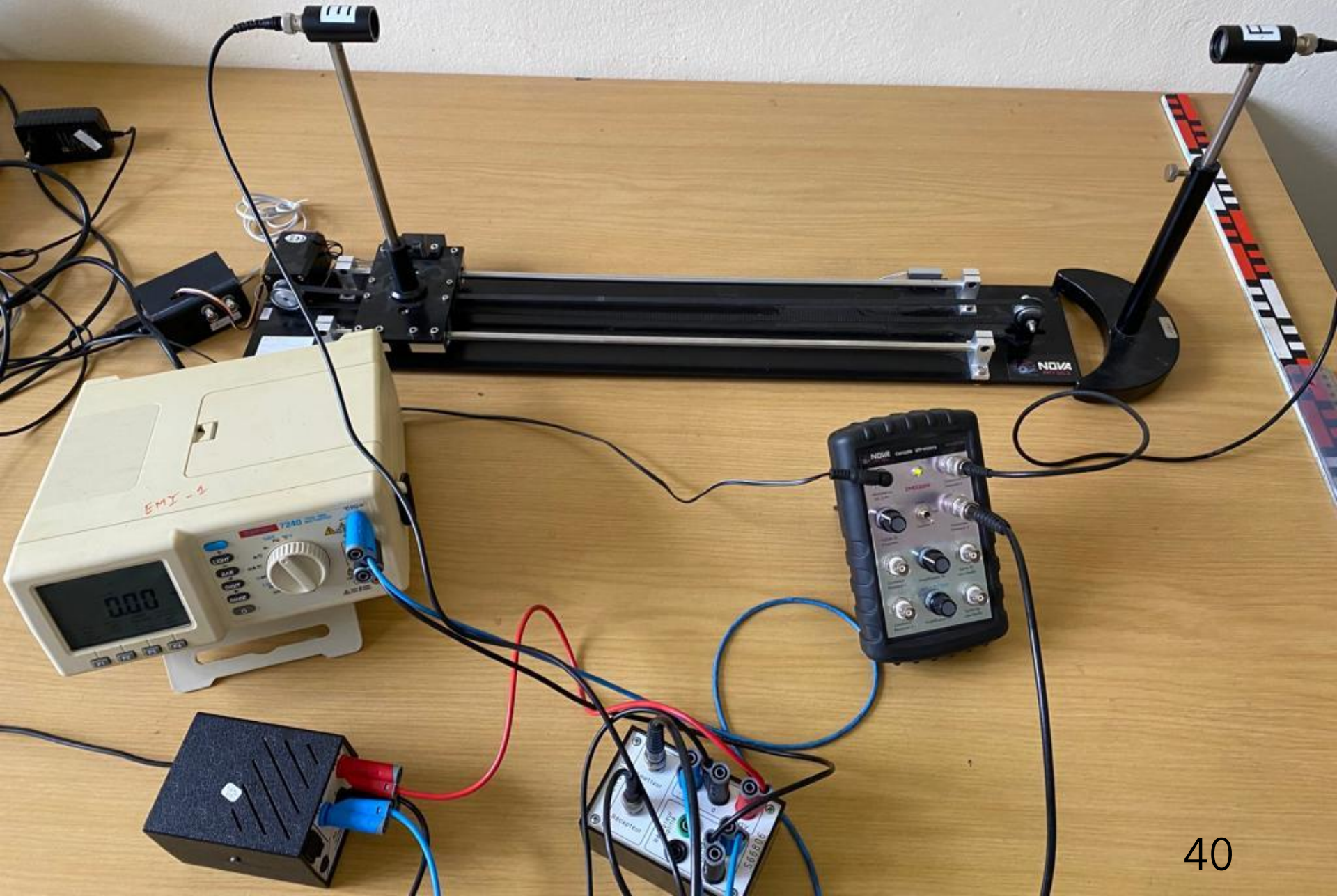
4. PHENOMENE D'ALIASING

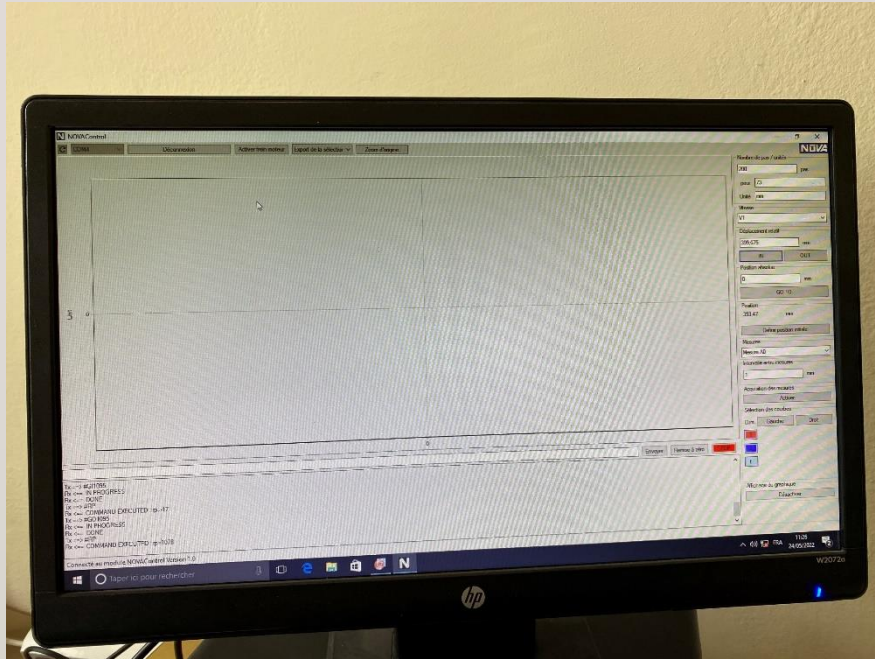
5. MODES DOPPLER

6. PARAMETRES D'OPTIMISATION

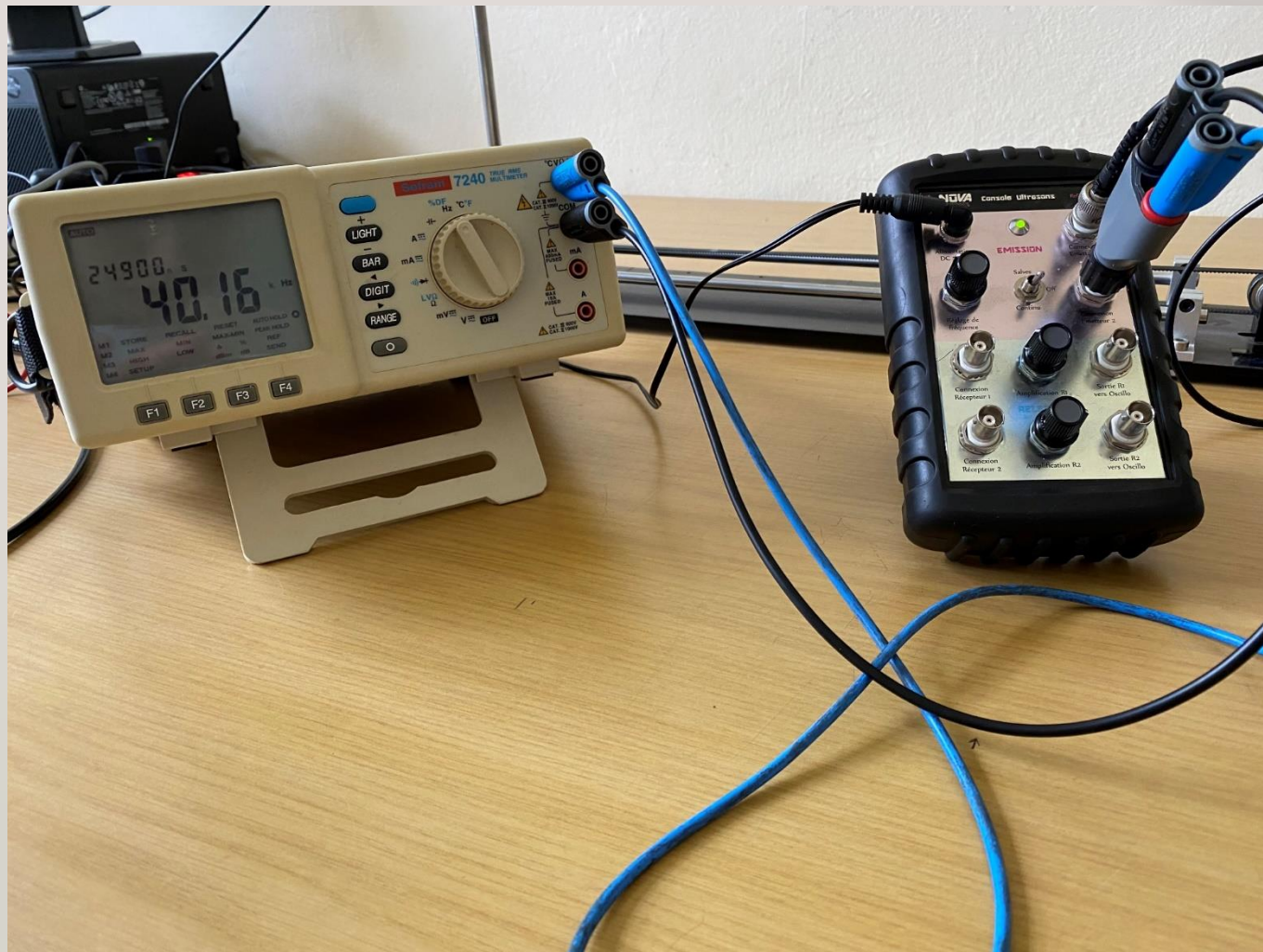
**7. DISPOSITIF EXPERIMENTAL**

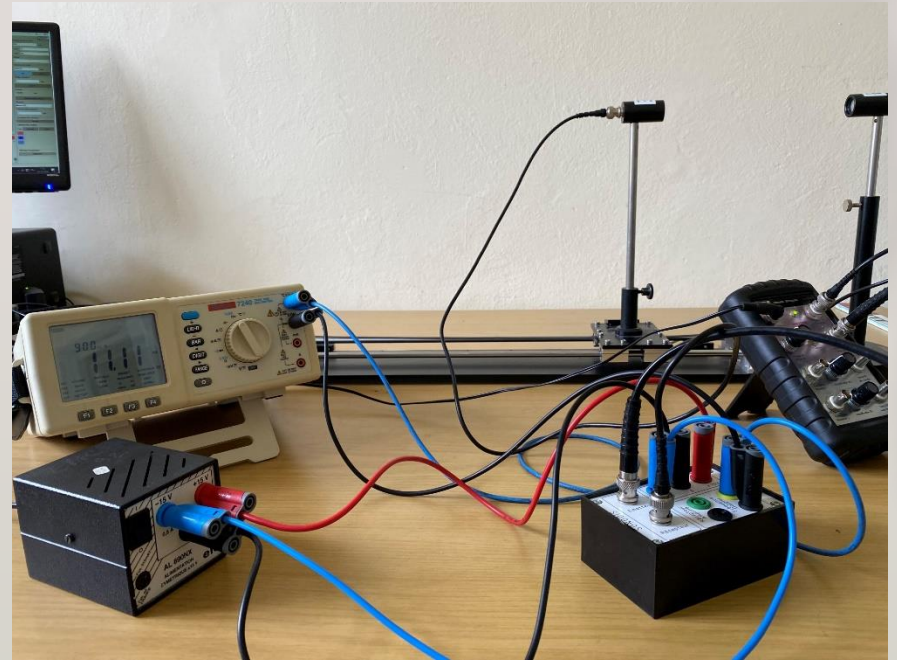
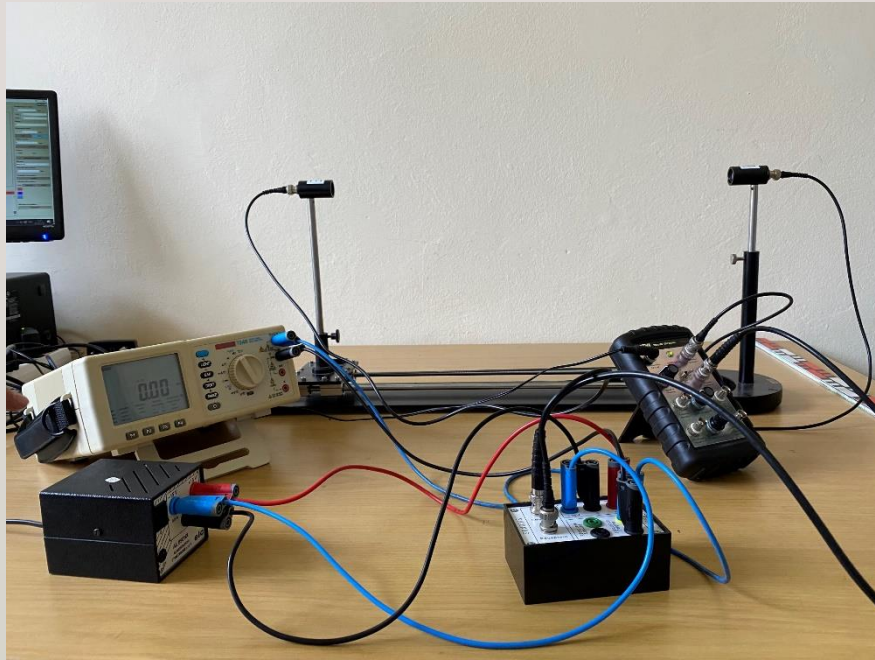
# DISPOSITIF EXPERIMENTAL











## *Résultats expérimentaux*

$$* Fe = 40,16 \text{ kHz}$$

$$* \Delta F = 11,1 \text{ Hz}$$

*Calculons la vitesse à l'aide de la formule suivante :*

$$Fr = Fe * \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

où :

$Fr$  : fréquence reçue

$Fe$  : fréquence émise

$c$  : célérité du son ( $340 \text{ m. s}^{-1}$ )

$v$  : vitesse de déplacement

$$\text{On a } v = \frac{\Delta F}{F_e} * c$$

$$\begin{aligned} A. N : v &= \frac{11,1}{40,16} * 340 \\ &= 93,9 \text{ cm. s}^{-1} \end{aligned}$$

— *vitesse de déplacement* :  $v_{théorique} = 90.9 \text{ cm. s}^{-1}$

— *calculons l'erreur relative* :

$$\begin{aligned} A. N : \frac{\Delta v}{v} &= \frac{3}{90,9} \\ &= 3\% \end{aligned}$$

# CONCLUSION

Chacun de ces modes présente des propriétés intéressantes , il commence à apparaître des combinaisons de ces différentes modalités, qui permettent de réunir sur une même image les avantages des différentes techniques .



# ANNEXE

```
1  import matplotlib.pyplot as plt
2  import numpy as np
3
4  X=np.linspace(0,60,13)
5  Y=[0,1,2,3,4,5,6,7,9,9.95,12,15,18]
6
7  plt.scatter(X,Y,color='k')
8  plt.xlabel('Angle en degré')
9  plt.ylabel('erreur de  $\pm 3\%$ ')
10
11  ax = plt.gca()
12  ax.set_facecolor('lavenderblush')
13
14
15  plt.grid()
16  plt.show()
```

# FIN

MERCI POUR VOTRE ATTENTION