EXERCICE I : Comment prévoir la météo, faire de la musique, calculer l'âge de l'univers et caractériser des planètes grâce à l'EFFET DOPPLER

1. Effet Doppler (document 1)

1.1-Quand une source d'onde lumineuse se rapproche d'un observateur immobile, la longueur d'onde λ perçue par l'observateur est-elle plus grande ou plus petite que λo si la source était immobile. Peut-on parler de décalage vers le rouge (red shift) ou de décalage vers le bleu (blue shift) ?

Si la source se rapproche alors v<0

$$z = \frac{\lambda - \lambda o}{\lambda o} = \frac{v}{c}$$

Donc λ- λo <0 ⇨ λ< λo

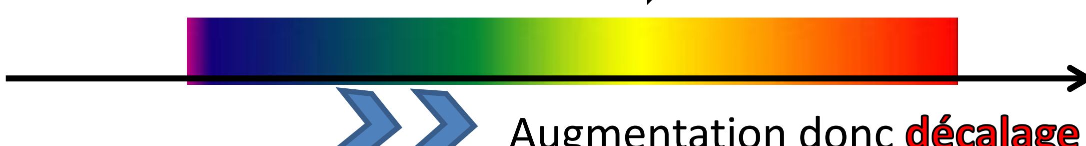
La longueur d'onde perçue est donc plus petite que si la source était immobile

Diminution donc **décalage vers le bleu** (blue shift)

1.2- Même question si la source s'éloigne.

Si la source se rapproche alors v>0

Donc λ- λo >0 ⇨ λ> λo



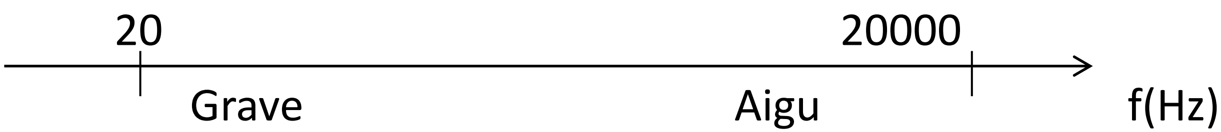
Augmentation donc **décalage vers le rouge**(red shift)

1.3- On montre que $V_R = c \cdot \frac{f_0 - f}{f}$ (avec f_0 : fréquence émise au repos, f : fréquence mesurée provenant d'un objet en mouvement). Déduire de cette formule si un son qui se rapproche devient plus aigu ou plus grave ?

$$V_R = c \cdot \frac{f_0 - f}{f}$$

Si rapprochement : v <0 ➡ $f_0 - f < 0$ donc $f > f_0$ La fréquence augmente

Si éloignement : v >0 ➡ $f_0 - f > 0$ donc $f < f_0$ La fréquence diminue



Un son qui se rapproche est donc plus aigu qu'au repos
Un son qui s'éloigne est donc plus grave qu'au repos

2-Radar météo (document 2)

2.1- Quelle est la gamme de longueurs d'ondes utilisée par ce radar météo ?

le radar météorologique de précipitation utilise des ondes radios de fréquences élevées **(3 à 5 GHz)**

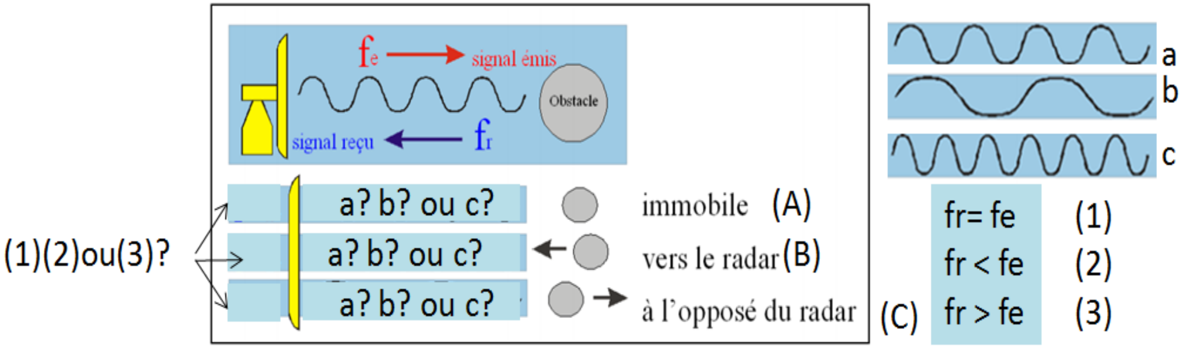
$$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$$

Pour f = 3 GHz = 3×10^9 Hz $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^9} = 0.1$ m = 10 cm

Pour f = 5 GHz = 5×10^9 Hz $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^9} = 0.06$ m = 6 cm

6 cm<λ<10 cm

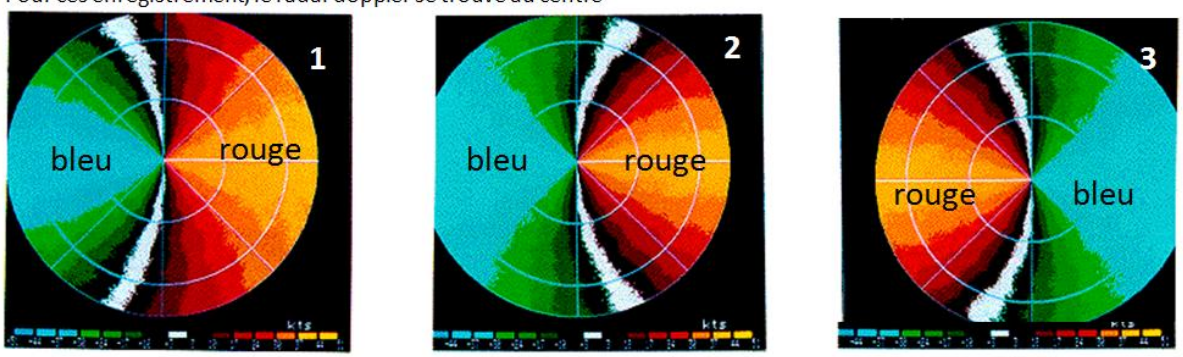
2.2- Observer le schéma « principe du Radar Doppler » Faire correspondre les situations (A), (B) et (C) avec les affirmations (1), (2) et (3) et les schémas a, b et c.

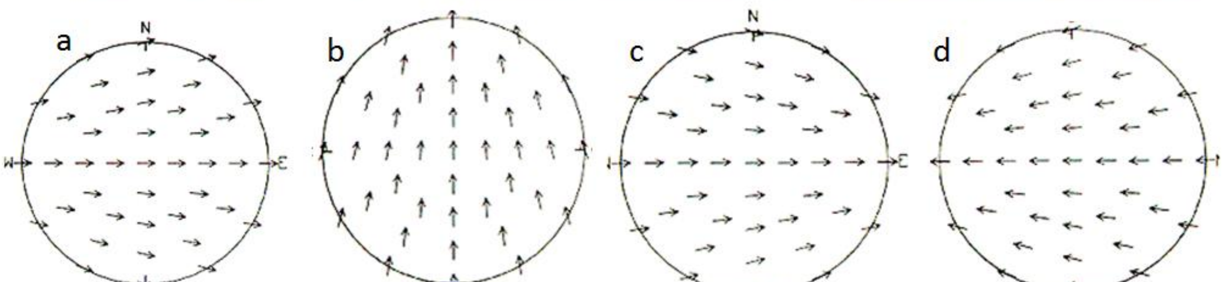


A	1	a
B	3	c
C	2	b

3.3- Faire correspondre les enregistrements radar 1,2,3 avec les directions des vents déduites a, b, c ou d.

Pour ces enregistrement, le radar doppler se trouve au centre



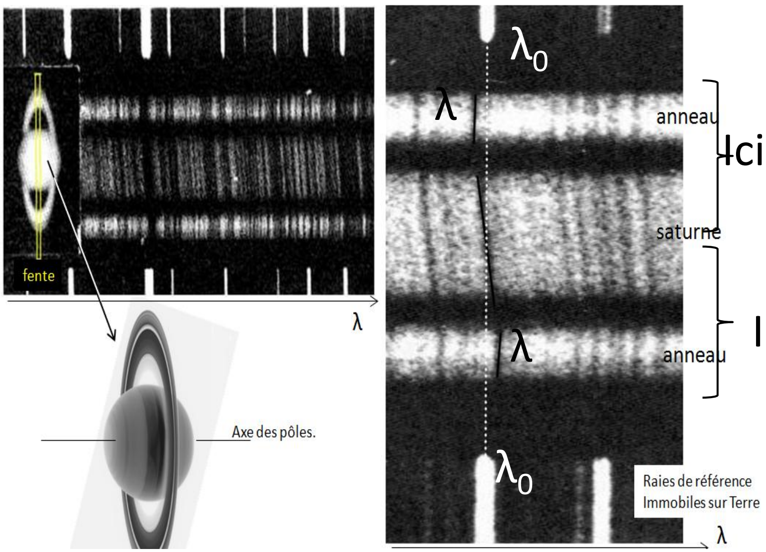


Orientation des vents

1	a
2	c
3	d

rotation du seigneur des anneaux : Trouver par un raisonnement clair où est le pôle nord de la planète Saturne.

Pour déterminer l'emplacement du pole nord de saturne, il suffit de trouver son sens de rotation

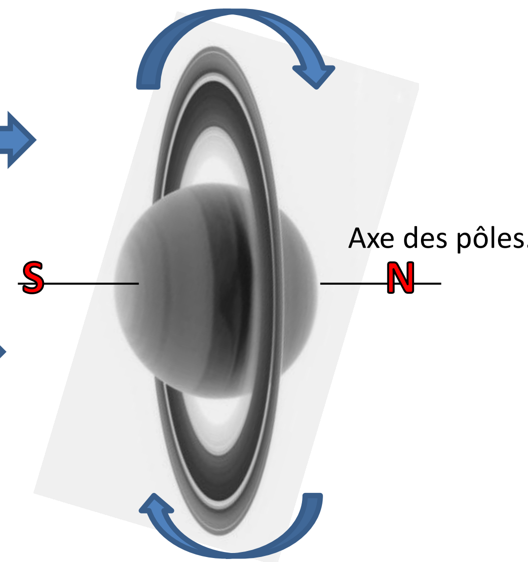


Ici $\lambda < \lambda_0$

Décalage vers le bleu donc rapprochement .

Ici $\lambda > \lambda_0$

Décalage vers le rouge donc éloignement .



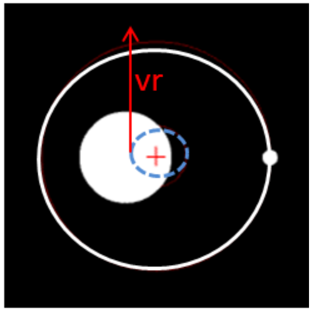
<u>définition des pôles d'une planète :</u>

Si on regarde la planète au dessus du pôle sud, on la voit tourner dans le sens des aiguilles d'une montre.

Si on regarde la planète au dessus du pôle nord on la voit tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

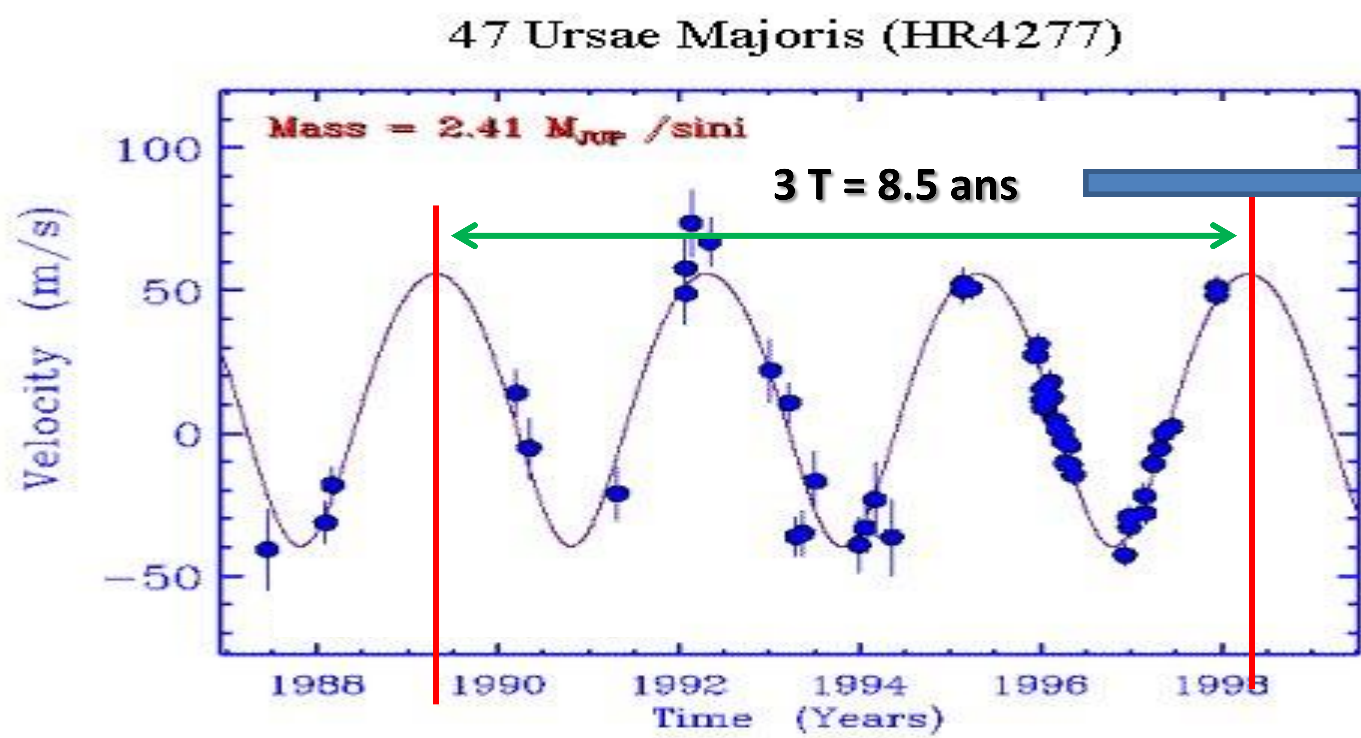
4- **47 Ursae Majoris** (document 4)

4.1- Expliquer pourquoi l'allure de ce graphique implique la présence d'une exoplanète suffisamment massive autour de l'étoile. Trouver sa période de révolution.



observateur

La vitesse radiale oscille périodiquement au cours du temps, cela indique la présence d'un corps suffisamment massif qui tourne autour de l'étoile. Car l'étoile tourne également autour du centre d'inertie du système



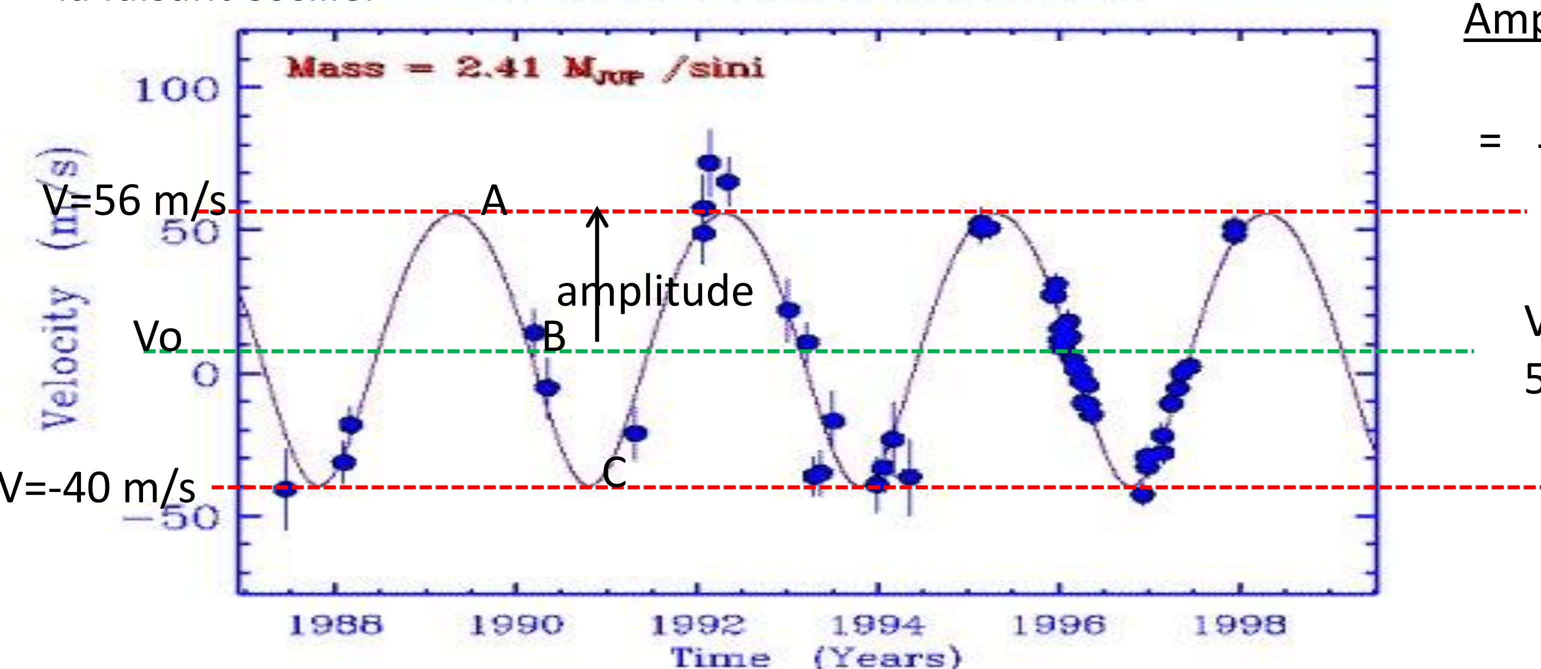
T = 2.83 ans

T= 2 ans 10 mois

4.2- Trouver la valeur de la vitesse radiale propre de l’étoile par rapport à la Terre.

La vitesse propre de l’étoile Vo est la vitesse qu’aurait l’étoile s’il n’y avait pas d’exoplanète la faisant osciller

47 Ursae Majoris (HR4277)

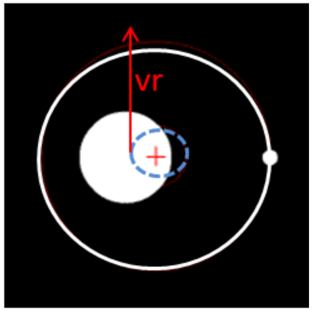


<u>Amplitude de vitesse :</u>

$$= \frac{56 + 40}{2} = 48 \text{ m/s}$$

Vitesse propre = 56-48 = **8 m/s**

4.3- La situation du schéma de droite peut-elle correspondre au point A, B ou C sur le graphe ?



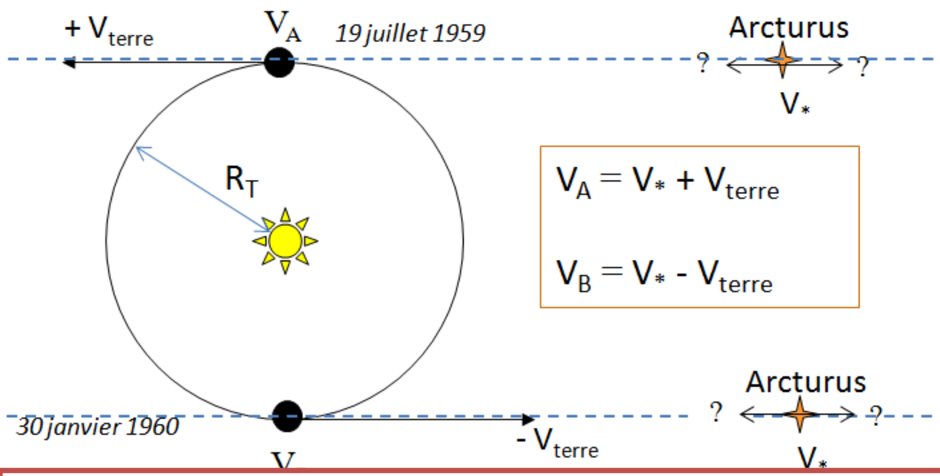
observateur

L’étoile s’éloigne avec une vitesse radiale maximum positive par rapport à l’observateur. Cela correspond à la situation du point A.

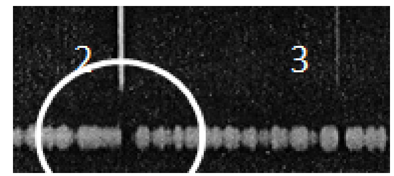
5- **<u>Arcturus Ἀρκτοῦρος le gardien de la Grande Ourse</u>** (document 6)

5.1- Pourquoi observe-t-on deux décalages spectraux opposés à 6 mois d'intervalle ?

A cause du mouvement de la Terre autour du Soleil

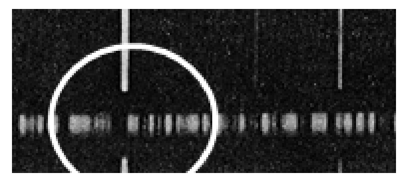


19 juillet 1959



La Terre s'éloigne d'Arcturus
(Décalage vers le rouge)

30 janvier 1960



La Terre se rapproche d'Arcturus
(Décalage vers le bleu)

5.2- Montrer que Vterre = $0.5(V_A - V_B)$ et que $V^* = 0.5(V_A + V_B)$. Calculer V* et calculer l'écart relatif avec la valeur indiquée dans le document réalisée par un spectrographe beaucoup plus précis.

$$V_A = V_* + V_{terre} \quad (1)$$

$$V_B = V_* - V_{terre} \quad (2)$$

$$(1) + (2) \Rightarrow V_A + V_B = 2\,V^* \Rightarrow V^* = \frac{1}{2}(V_A + V_B)$$

$$(1) - (2) \Rightarrow V_A - V_B = 2\,V_{terre} \Rightarrow V_{terre} = \frac{1}{2}(V_A - V_B)$$

V_A= 19.59 km/s
V_B=-29.64 km/s

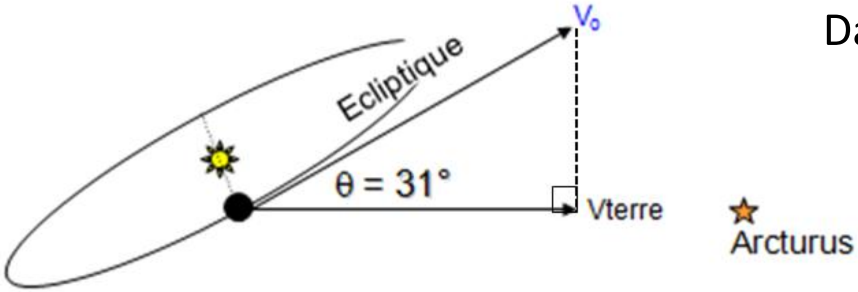
$$V^* = \frac{1}{2}(V_A + V_B) \quad = 0.5 \times (19.59 + -29.64)\ \mathbf{= -5.025\ km/s}$$

V* précise = -5.2 km/s

Précision de la mesure : $\dfrac{5.2-5.025}{5.2}$ =0.033 = **3.3%**

5.3- Calculer la vitesse de la Terre Vterre. Mais le plan de l'écliptique terrestre est incliné de θ= 31° par rapport à la direction Soleil-Arcturus. Montrer qu'il faut diviser Vterre par 0.86 pour obtenir la vitesse orbitale de la Terre V_0.

$$V_{terre} = \frac{1}{2}(V_A - V_B) \quad = 0.5\,(19.59 - -29.64) = 24.6 \text{ km/s}$$



Dans le triangle rectangle :

$$\frac{Vterre}{Vo} = \cos\theta \qquad Vo = \frac{Vterre}{\cos\theta}$$

Avec cos θ = cos 31 = 0.857

$$Vo = \frac{Vterre}{0.86} = \mathbf{28.7\ km/s}$$

5.4- En déduire le rayon de l'orbite de la Terre R_T autour du Soleil. (un tour de Soleil = $2\pi R_T$)

Durée d'une révolution (1 tour de Soleil) T= 1an = 365.25x24x60x3600 = **3.16 x 10^7 s**

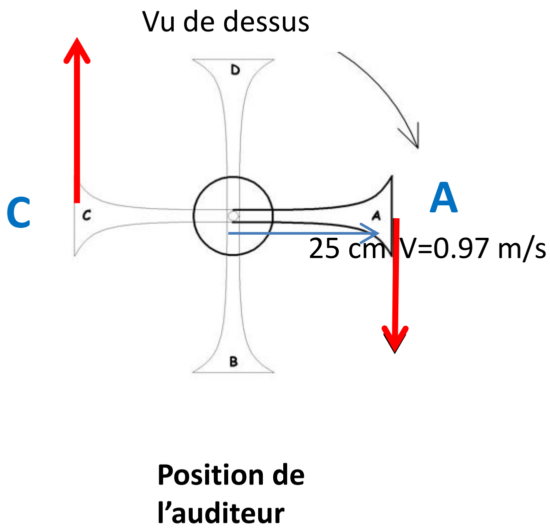
Vitesse : Vo =**28.7 km/s**

Chemin parcouru : d = Vo x T = $2\pi R_T$ ⇨ $R_T = \frac{Vo \times T}{2\pi} = \frac{28.7 \times 3.16 \times 10^7}{2\pi}$ =**144,3millions de km**

(assez proche de 149.6 millions de km la valeur réelle)

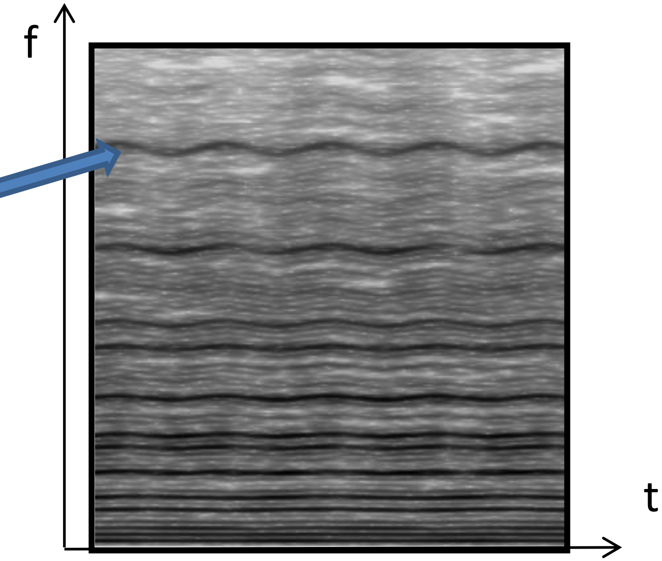
6- **Effet LESLIE** (document 7)

6.1- Justifier les fluctuations de fréquences observées sur le spectrogramme. Le son enregistré est-il un son simple ou un son complexe ?



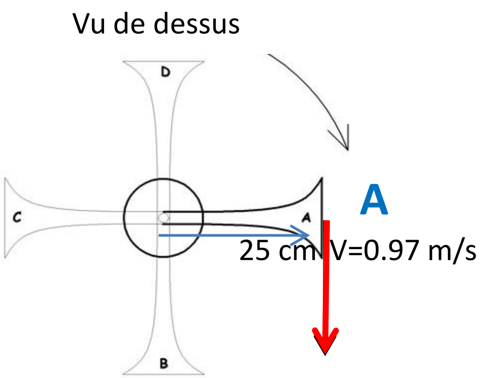
Suivant que la source se rapproche (position A) ou s'éloigne (position B) de l'observateur, le son perçue est plus aigu ou plus grave et cela de façon périodique à chaque tour.

(on observe bien les fréquences augmenter et diminuer périodiquement)



Si le son enregistré était simple, il n'y aurait qu'une seule fréquence sur le spectrogramme. Ici on observe une multitude de fréquence ce qui montre que ce son enregistré possède une multitude d'harmoniques.

6.2- Quelle est la fréquence du son perçu par l’auditeur quand le cornet se trouve en position A ?



Position de l’auditeur

En A , V = -0.97 m/s (rapprochement)
c= 340 m/s pour le son dans l’air
fo= 73.4 Hz

$$V = c \cdot \frac{f_0 - f}{f} \qquad f \times \frac{V}{c} = f_0 - f \qquad \left(f \times \frac{V}{c} \right) + f = f_0$$

$$f \times \left(\frac{V}{c} + 1 \right) = f_0 \qquad f = f_0 \times \left(\frac{1}{\frac{V}{c} + 1} \right)$$

$$f = 73.4 \times \left(\frac{1}{\frac{-0.97}{340} + 1} \right) = \mathbf{73.6\ Hz}$$

Le son perçu est donc légèrement plus aigu comme prévu question 1.3-