

L'âge de l'univers

Red shift or blue shift, that is the question.

a) Quand une source d'onde se rapproche d'un observateur immobile, la longueur d'onde λ perçue par l'observateur est-elle plus grande ou plus petite que λ_0 si la source était immobile. Peut-on parler de décalage vers le rouge (red shift) ou de décalage vers le bleu (blue shift) ?

Document2 : décalage Doppler.

z = décalage Doppler

λ : longueur d'onde mesurée (corps en mouvement)

λ_0 : longueur d'onde mesurée (corps immobile)

v = vitesse du corps ($v > 0$ si éloignement ; $v < 0$ si rapprochement)

c = vitesse de la lumière (300 000 km/s)

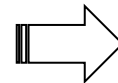
(cette formule n'est exacte que si la vitesse ' v ' est très petite devant la vitesse de la lumière ' c ')

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

Si la source se rapproche
alors $v < 0$

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

Donc $\lambda - \lambda_0 < 0$



$\lambda < \lambda_0$

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



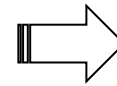
Diminution donc **décalage vers le bleu** (blue shift)

b) Même question si la source s'éloigne.

Si la source s'éloigne
alors $v > 0$

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

Donc $\lambda - \lambda_0 > 0$



$$\lambda > \lambda_0$$

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



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

c) Vérification (document 2) : Trouver l'expression de v en fonction de λ , λ_0 et c . En déduire le signe de v pour un décalage vers le rouge puis pour un décalage vers le bleu.

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad \Rightarrow \quad v = c \times \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

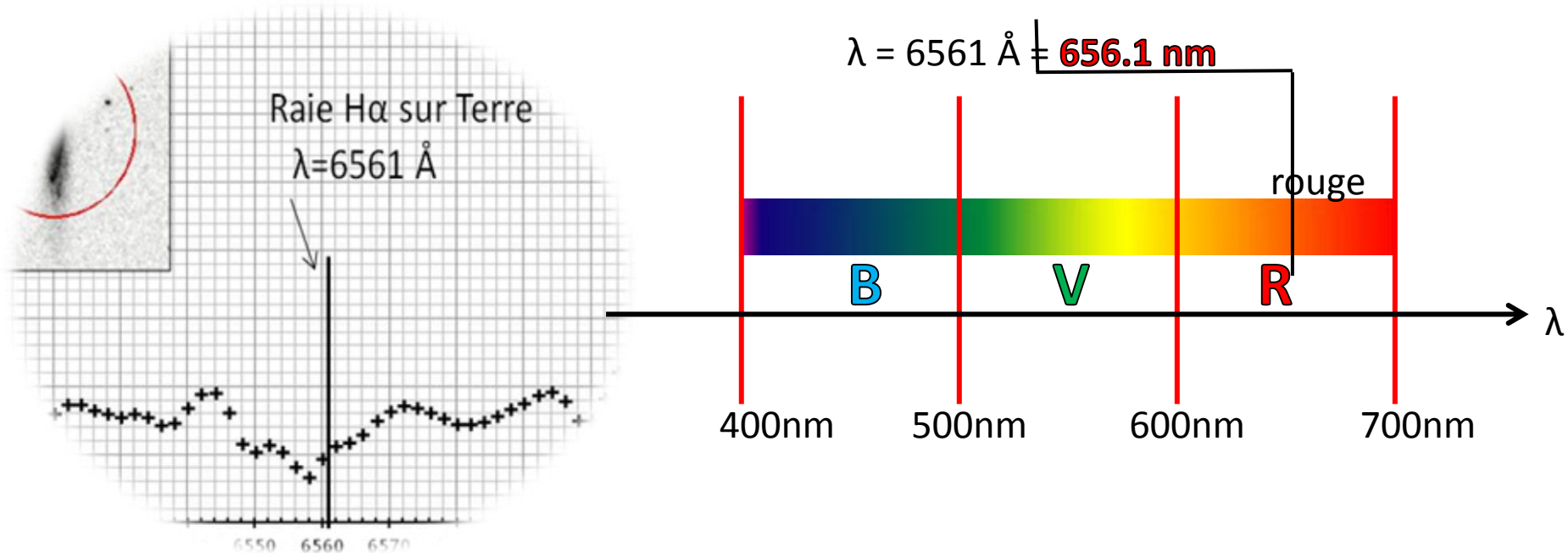
{	décalage vers le rouge	$\lambda - \lambda_0 > 0$		$v > 0$
	décalage vers le bleu	$\lambda - \lambda_0 < 0$		$v < 0$

2-Mesures sur la galaxie NGC 3147

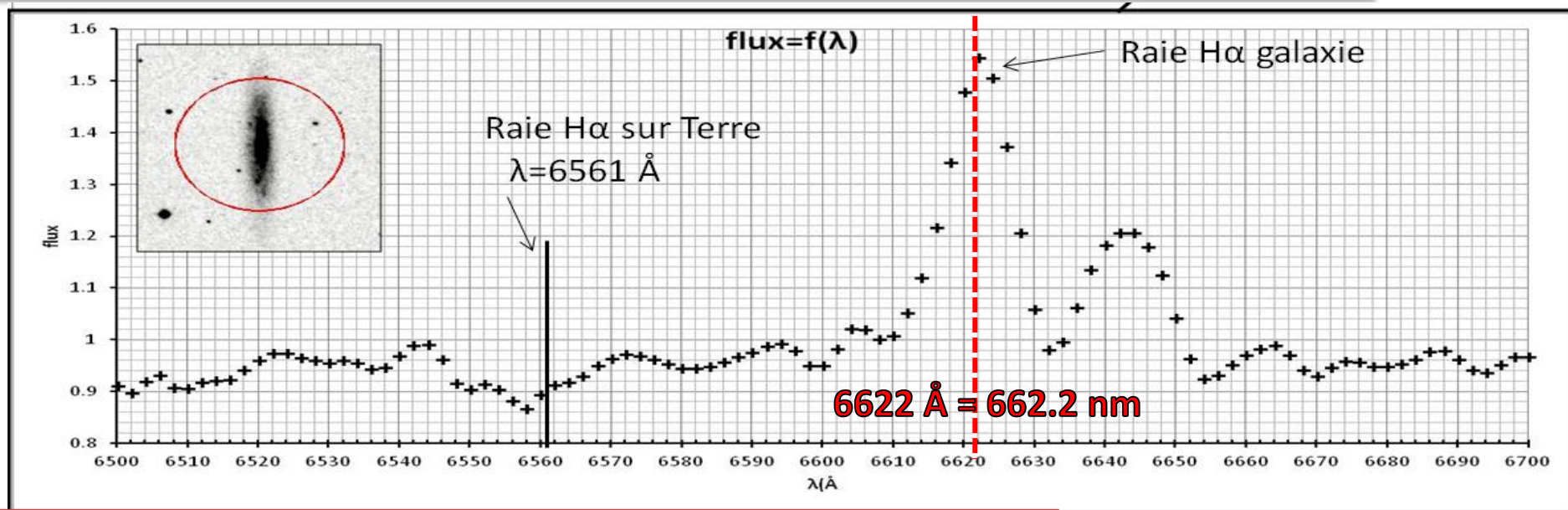
a) NGC 3147 est une galaxie spirale se trouvant dans la constellation du dragon à 135 millions d'années lumière d'ici. Les astrophysiciens utilisent plus volontiers le parsec (pc) comme unité de distance. Sachant qu' $1\text{pc} = 3.26\text{ al}$, trouver la distance de cette galaxie en Mpc (mégaparsec).

$$D = 135 \times 10^6 \text{ al} = 135 \times 10^6 / 3.26 = 4.14 \times 10^7 \text{ pc} = 41.4 \times 10^6 \text{ pc} = \mathbf{41.4 \text{ Mpc}}$$

b) Le spectre du document 3 montre le spectre d'émission de la galaxie entre 3700 et 7000Å (370 et 700 nm). Quelle est la longueur d'onde en nm de la raie H α sur Terre en nm ? De quelle couleur apparaîtrait cette raie si on avait une photographie ?



c) Par une mesure trouver la longueur d'onde de la raie H α provenant de la galaxie.



d) Compléter ensuite la ligne concernant NGC 3147 sur l'annexe.

Numéro NGC galaxie	Distance (Mpc)	(λ mesurée)	Décalage(z)	Vitesse (km/sec)
		(Å)		
1357	24.7	6608.2	6.900E-03	2075.3
1832	26.15	6605.1		2016.5
3034	3.77	6565	6.097E-04	182.9
3147	41.5	6622	9.297 x 10 ⁻³	2789.2
3310	18.1	6578	2.316E-03	694.8

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$$z = \frac{6622 - 6561}{6561} = 9.297 \times 10^{-3}$$

$$V = c \times \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = c \times z = 300\,000 \times 9.297 \times 10^{-3} = 2789.2 \text{ km/s}$$

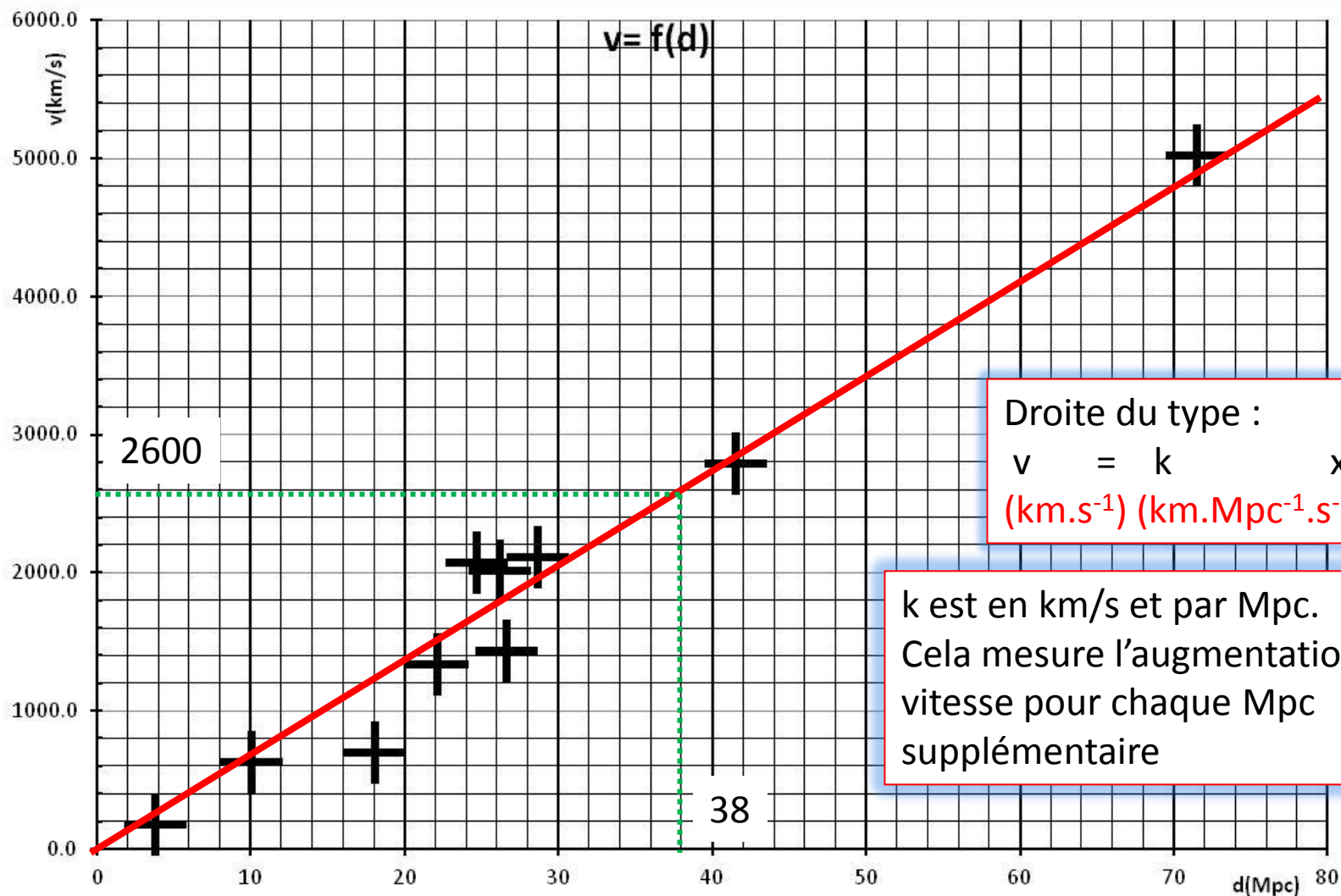
e) Compléter les autres cellules vides de ce tableau pour les galaxies NGC 1832 et NGC 4775.

Numéro NGC galaxie	Distance (Mpc)	(λ mesurée)	Décalage(z)	Vitesse (km/sec)
		(Å)		
1357	24.7	6608.2	6.900E-03	2075.3
1832	26.15	6605.1	6.72×10^{-3}	2016.5
3034	3.77	6565	6.097E-04	182.9
3147	41.5	6622	9.297×10^{-3}	2789.2
3310	18.1	6578	2.316E-03	694.8
3471	28.6	6609	7.040E-03	2111.9
3627	10.01	6576.5	2.088E-03	626.3
4775	26.6	6594.3	4.800E-03	1440
5548	71.5	6672.6	1.673E-02	5019.2
6643	22.09	6592	4.449E-03	1334.8

NGC 4775 : $V = c \times z = 300\,000 \times 4.800 \times 10^{-3} = 1440 \text{ km/s}$

NGC 1832 : $z = v/c = 2016.5/300000 = 6.72 \times 10^{-3}$

f) Tracer sur le graphe de l'annexe $v(\text{km/s}) = f(d \text{ (Mpc)})$ pour ces 10 galaxies



g) Tracer la droite moyenne et trouver le coefficient directeur de cette droite.

$$K = 2600 / 38 = 68.4 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$$

La loi de Hubble et l'expansion de l'univers

a) Le résultat de la question précédente est-il compatible avec la loi de Hubble : $V = H_0 \times d$ ou H_0 est la constante de Hubble ? Quelle est l'unité et la valeur de H_0 déterminé question 2-g) ?

Nous avons trouvé une droite d'équation $v = k \times d$

Loi de Hubble : $v = H_0 \times d$

Donc $k = H_0 = \mathbf{68.4 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}}$

b) Ces résultats sont-ils compatibles avec ce que disait Edwin Hubble (document 1) ?

« Edwin Hubble découvrit en 1929 que plus une galaxie est loin, plus sa vitesse d'éloignement est élevée. Il constate qu'en reportant la vitesse des galaxies en fonction de leur distance, les points se répartissent approximativement le long d'une droite. »

Nous avons obtenu une droite également

$H_0 = \mathbf{68.4 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}}$

Ce qui signifie que la vitesse augmente de 68.4 km/s pour chaque Mpc d'éloignement

Donc plus une galaxie est loin plus elle s'éloigne vite

c) Si on fait l'hypothèse que la valeur de H_0 est constante depuis le début de l'expansion de l'univers, alors la durée de l'expansion peut être calculée en divisant la distance d par la vitesse v : $d/v = 1/H_0$. Trouver l'âge de l'univers (en milliard d'années) (donnée $1 \text{ Mpc} = 3.09 \times 10^{19} \text{ km}$)

$$\text{Age de l'univers } T = \frac{d}{v} \quad \begin{matrix} (\text{km}) \\ (\text{s}) \end{matrix} \quad \begin{matrix} (\text{km/s}) \end{matrix} \quad T \text{ est en s si } d \text{ est en km et } v \text{ en km/s}$$

$$T = \frac{1}{H_0} \quad \begin{matrix} (\text{s}) \end{matrix} \quad \begin{matrix} (\text{s}^{-1}) \end{matrix} \quad \text{Avec } H_0 = 68.4 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$$

$$H_0 = \frac{68.4 \text{ km.s}^{-1}}{1 \text{ Mpc}} = \frac{68.4 \text{ km.s}^{-1}}{3.09 \times 10^{19} \text{ km}} = 2.21 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

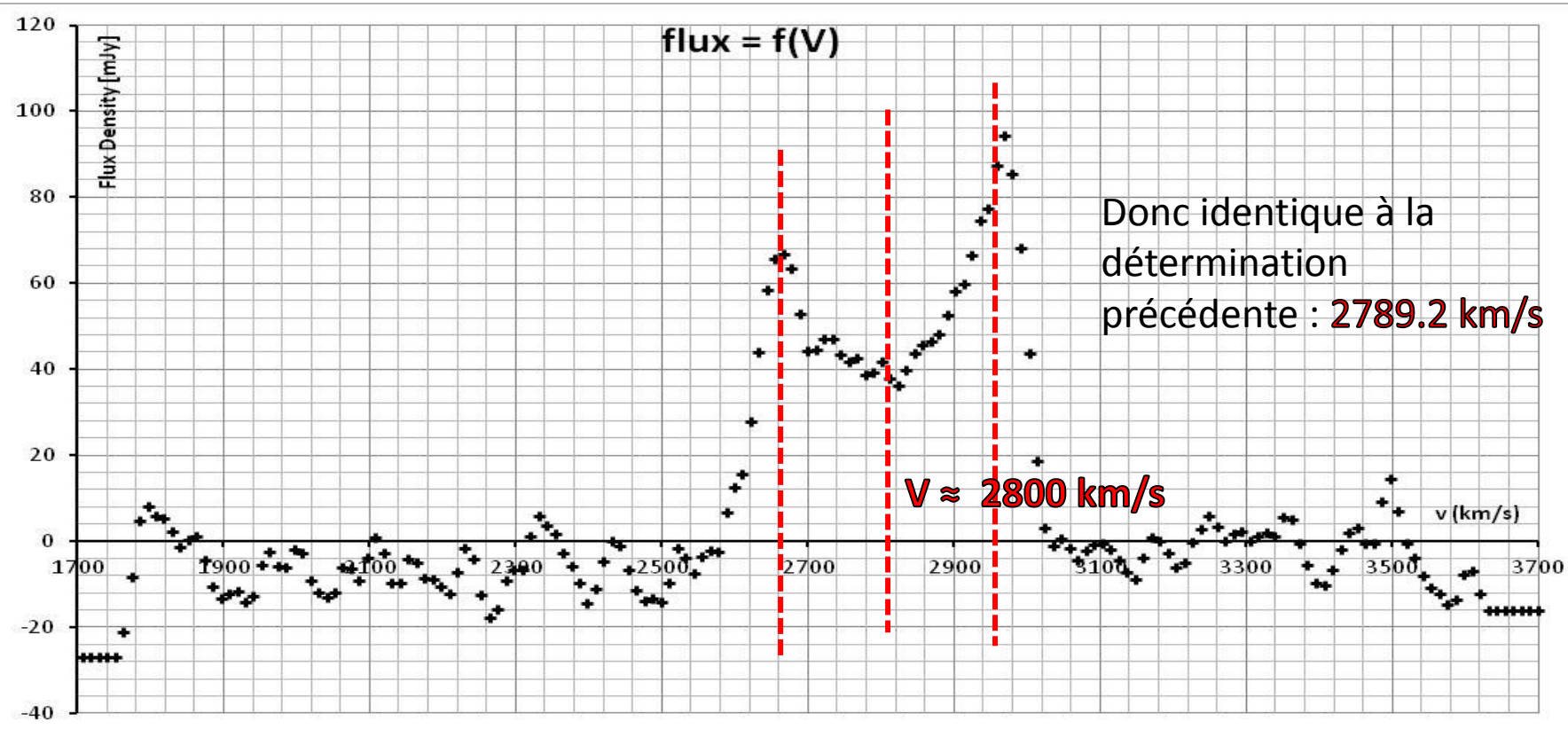
$$T = \frac{1}{H_0} = \frac{1}{2.21 \times 10^{-18}} = 4.52 \times 10^{17} \text{ s}$$

$$1 \text{ an} = 365.25 \times 24 \times 60 \times 3600 = 3.16 \times 10^7 \text{ s}$$

$$T = \frac{4.52 \times 10^{17}}{3.16 \times 10^7} = 1.43 \times 10^{10} \text{ ans} = 14.3 \times 10^9 \text{ ans} = 14.3 \text{ milliards d'années}$$

4- Vitesse de rotation de NGC 3147

a) A l'aide du document 4, retrouver la vitesse de fuite de la galaxie NGC 3147.

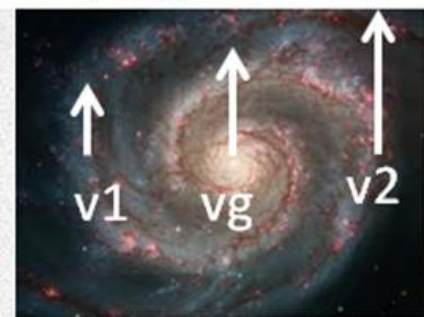
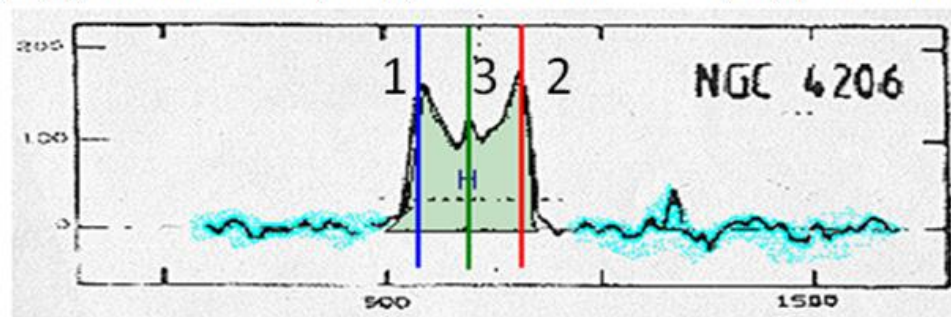


Cet enregistrement est obtenu en utilisant l'effet Doppler. La variation de longueur d'onde est directement transformée en vitesse radiale héliocentrique.

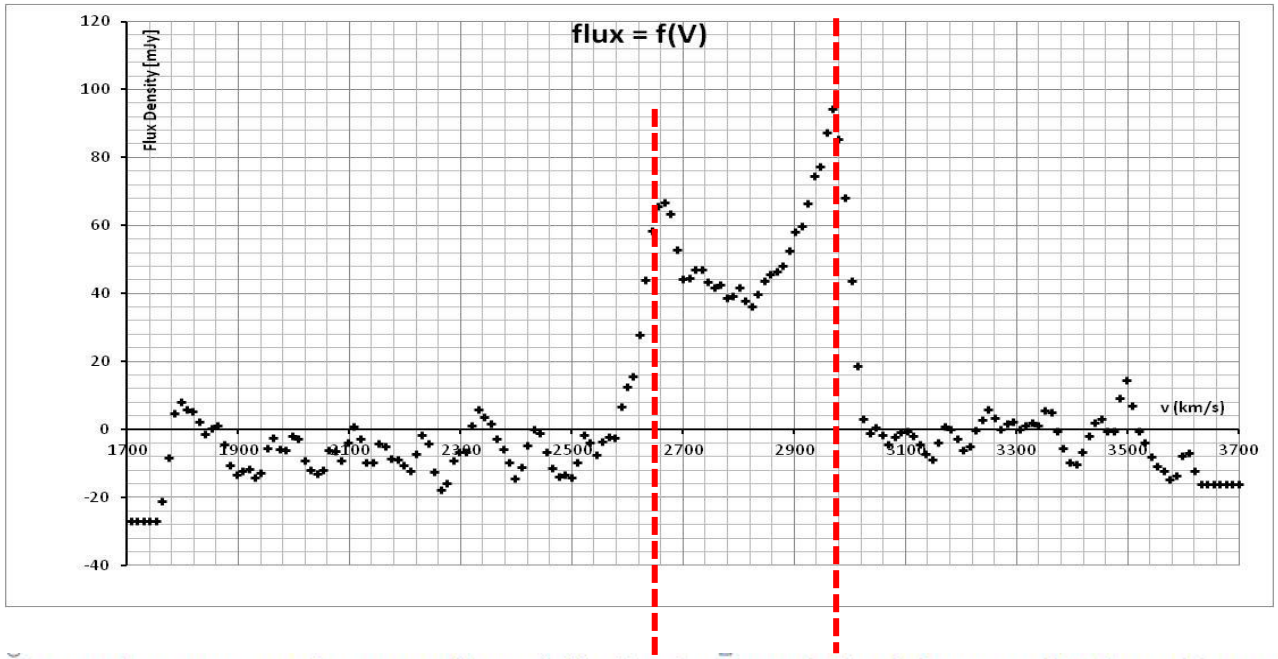
Pic (1) : vitesse minimum par rapport au Soleil v_1

Pic central (3) : vitesse globale de fuite de la galaxie v_g

Pic (2) : vitesse maximum par rapport au Soleil v_2



b) Comment peut-on déduire de ce graphe que cette galaxie est en rotation sur elle-même ?



La vitesse de déplacement n'est pas constante.

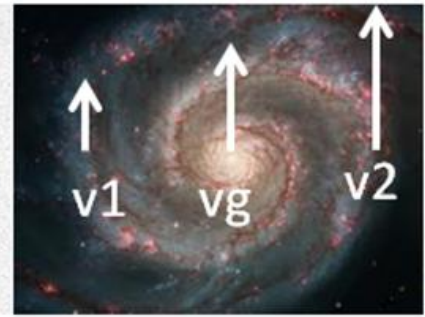
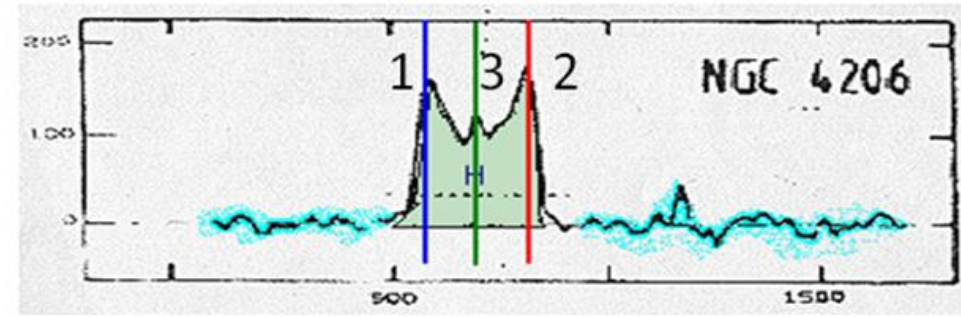
Elle est comprise entre 2680 km/s et 2960 km/s pour chaque extrémité de cette galaxie. Elle est donc en rotation sur elle-même.

Cet enregistrement est obtenu en utilisant l'effet Doppler. La variation de longueur d'onde est directement transformée en vitesse radiale héliocentrique.

Pic (1) : vitesse minimum par rapport au Soleil v_1

Pic central (3) : vitesse globale de fuite de la galaxie V_g

Pic (2) : vitesse maximum par rapport au Soleil v_2



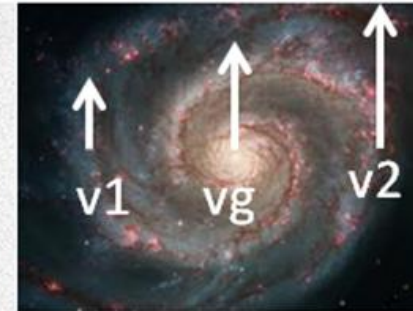
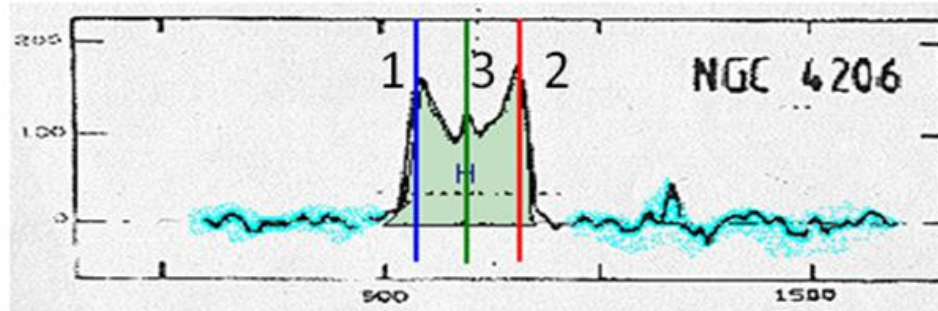
c) Trouver la vitesse de rotation d'un point externe de cette galaxie par rapport à son centre.

Cet enregistrement est obtenu en utilisant l'effet Doppler. **La variation de longueur d'onde est directement transformée en vitesse radiale héliocentrique.**

Pic (1) : vitesse minimum par rapport au Soleil v_1

Pic central (3) : vitesse globale de fuite de la galaxie v_g

Pic (2) : vitesse maximum par rapport au Soleil v_2



La vitesse de rotation d'un point extérieur est donc $v_g - v_1$ ou $v_2 - v_g$

$$V(\text{rotation}) = 2800 - 2680 = 120 \text{ km/s}$$

ou

$$V(\text{rotation}) = 2960 - 2800 = 160 \text{ km/s}$$

La vitesse de rotation doit être comprise entre 120 et 160 km/s

