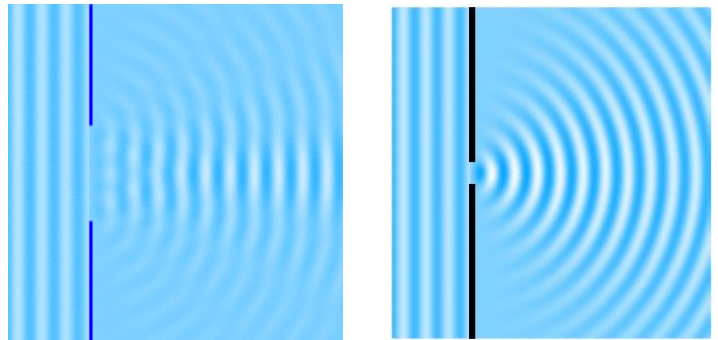


Comportements ondulatoires

I. La diffraction des ondes

Expérience cuve à ondes (cf AE9)

Observation : Au passage de l'ouverture, les ondes subissent un changement de direction sans changement de longueur d'onde. Ce changement est d'autant plus important que l'ouverture est petite.



Définition

La diffraction est une modification de la direction de propagation d'une onde, au passage d'une petite ouverture ou d'un petit obstacle, sans modification de sa fréquence ou de sa longueur d'onde.

Ce phénomène est d'autant plus prononcé que la taille de l'obstacle ou l'ouverture est faible et il n'est à prendre en compte que lorsque la taille de l'obstacle n'est pas très grande par rapport à la longueur d'onde λ de l'onde.

Conséquences :

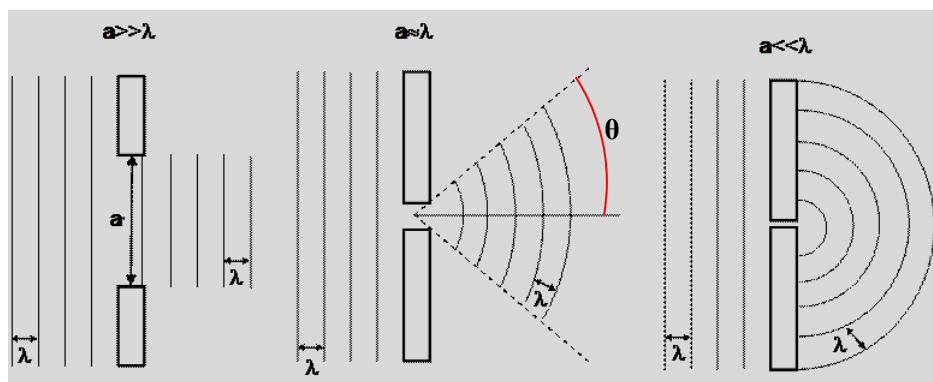
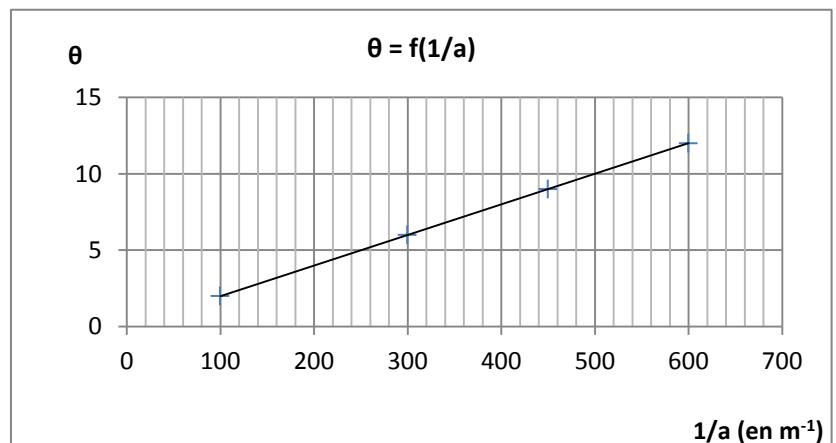
Les ondes sonores audibles ont une longueur d'onde dans l'air comprise entre 17 mm (20 kHz) et 17 m (20 Hz). Tous les obstacles et ouvertures de la vie ayant des dimensions comprises entre ces deux valeurs, il y a constamment diffraction du son. Ceci explique qu'il est difficile de se protéger du son !

Si $a \gg \lambda$, l'angle de demi-ouverture est quasiment nul. La propagation de l'onde est quasi-rectiligne.

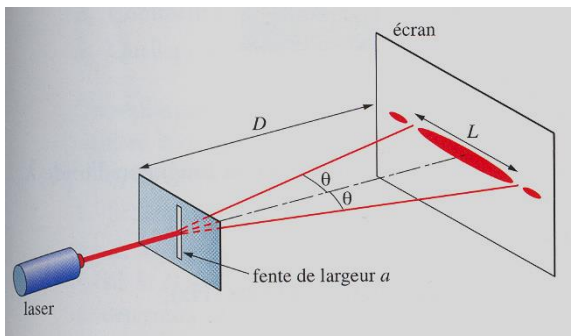
Si $a \approx \lambda$, l'onde diffractée occupe une partie seulement de l'espace qui lui est offert avec un angle de demi-ouverture telle que :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Si $a \ll \lambda$, l'onde diffractée occupe tout l'espace qui lui est offert.



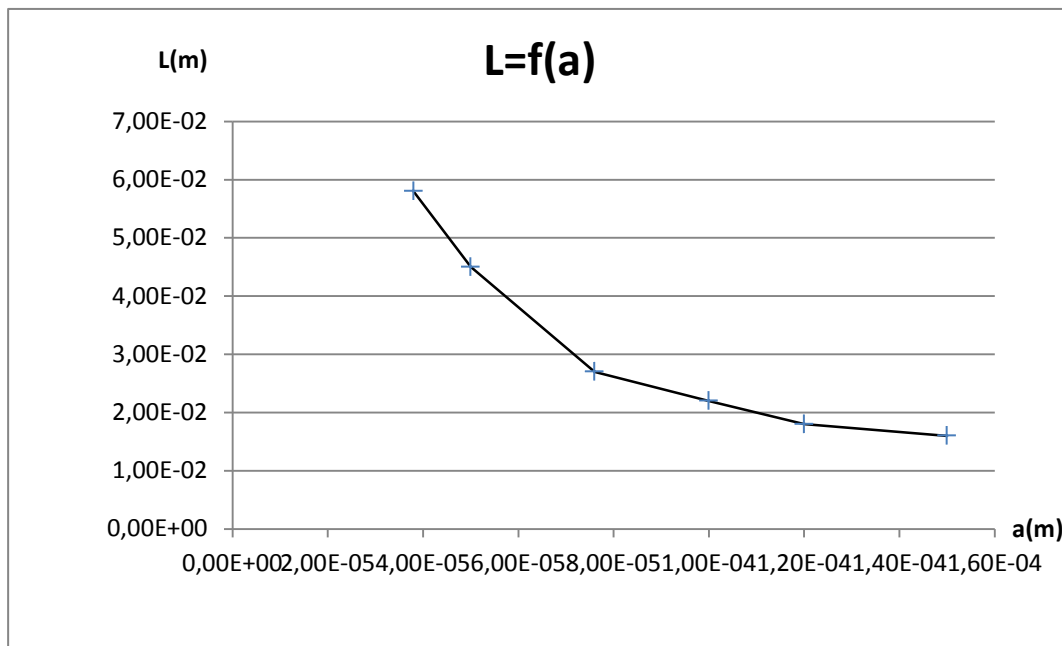
Diffraction des ondes à la surface de l'eau



$$L = 2 \frac{\lambda D}{a}$$

Car $\tan \theta = \theta$ pour les petits angles et que $\tan \theta = \frac{L/2}{D} = \theta$

Or $\theta = \frac{\lambda}{a}$ d'où $L/2 = \frac{\lambda D}{a}$



II. Interférences

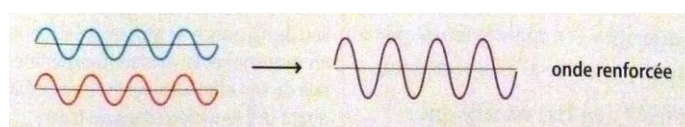
Une figure d'interférences est obtenue lorsque 2 faisceaux de lumière issus d'une même source laser passent par deux ouvertures (fentes d'Young) : on observe des franges d'interférence.



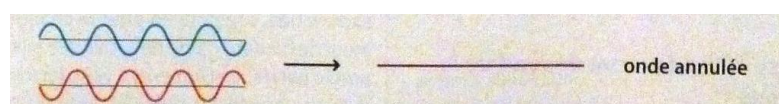
Le phénomène d'interférences se manifeste lorsque deux ondes monochromatiques, synchronisées (cohérentes) se superposent. L'amplitude de l'onde résultante varie dans l'espace.

- Interférences constructives et destructives

Considérons deux ondes qui se superposent. Si les creux et les crêtes coïncident, les ondes se renforcent : elles sont **en phase** et on parle d'**interférences constructives**.

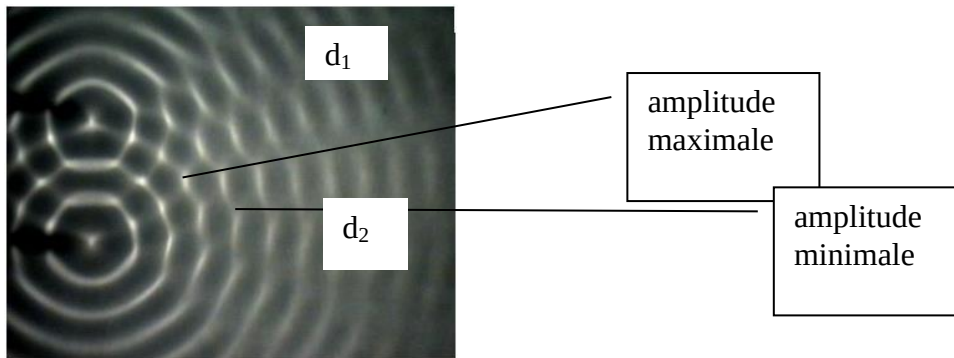
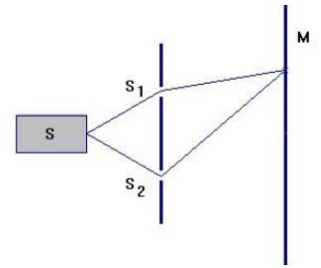


Si un creux de l'une coïncide avec une crête de l'autre, les ondes s'annulent : elles sont en **opposition de phase** et on parle d'**interférences destructives**.



Les ondes issues des sources S_1 et S_2 sont en phase en un point M du milieu si la différence de marche $\delta = d_2 - d_1 = k\lambda$, avec k entier.

Elles sont en opposition de phase si $\delta = d_2 - d_1 = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$



- Interfrange

Lors d'interférences lumineuses, l'interfrange, notée i , est la distance séparant deux franges brillantes ou deux franges sombres consécutives.

Avec un dispositif de fentes d'Young éclairé en lumière monochromatique de longueur d'onde λ , on a :

$$i = \frac{\lambda D}{b}$$

avec b : distance séparant les deux fentes

et D : distance entre le système de fentes et l'écran.

III. Effet Doppler

1. Qu'est-ce que l'effet Doppler ?

Une onde électromagnétique ou mécanique émise avec une fréquence f_E est perçue avec une fréquence f_R différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif : C'est l'effet Doppler.

On appelle décalage Doppler la différence $\Delta f = f_R - f_E$.

Il est positif si émetteur et récepteur se rapprochent et il est négatif s'ils s'éloignent (l'un de l'autre).

Si l'émetteur et le récepteur se rapproche l'un de l'autre, $f_R > f_E$: La fréquence subit un décalage Doppler positif.

Si l'émetteur et le récepteur s'éloigne l'un de l'autre, $f_R < f_E$: La fréquence subit un décalage Doppler négatif.

On peut utiliser ce lien : http://www.ostralo.net/3_animations/swf/doppler.swf

2. Expression du décalage Doppler à faible vitesse

Dans le cas où la vitesse de la source V_e est faible par rapport à la célérité v_{onde} , on montre que la fréquence f_R du signal reçu par le récepteur est liée à la fréquence f_E de l'onde émise par l'émetteur par la relation :

$$f_R = f_E \left(1 + \frac{V_e}{v_{\text{onde}}} \right) \text{ lorsque la source et le récepteur se rapprochent.}$$

$$f_R = f_E \left(1 - \frac{V_e}{v_{\text{onde}}} \right) \text{ lorsque la source et le récepteur s'éloignent.}$$

Remarque importante : Les élèves peuvent exprimer leur étonnement au fait que la fréquence apparente est la même tout au long de l'approche, change brusquement au croisement puis reste constante tout au long de

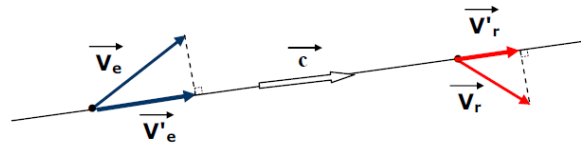
l'éloignement. Ils sont persuadés que plus le camion approche plus le son est aigu. Cette sensation auditive n'est pas fausse.

Elle peut être illustrée avec un GBF et un haut-parleur : A fréquence constante lorsqu'on augmente l'amplitude (le volume) le son semble plus aigu. Ce n'est qu'une sensation.

De nombreux cas sont possibles : l'émetteur se rapproche du récepteur, mais il peut s'en éloigner. Le récepteur peut également être en mouvement. Les deux peuvent aussi être en mouvement.

→ Dans tous les cas : le son perçu est plus aigu lorsque émetteur et récepteur se rapprochent, et il est plus grave lorsqu'ils s'éloignent l'un de l'autre.

Si émetteur et récepteur ne se déplacent pas sur la même droite la relation reste valable pour les normes V_e et V_r des composantes algébriques des vitesses (voir schéma).



Si l'émetteur et le récepteur sont confondus et qu'ils sont en déplacement par rapport à un réflecteur (exemples : radar routier (sauf qu'il faut alors tenir compte de l'angle), imagerie médicale) les expressions deviennent :

$$f_r = f_e \left(1 + \frac{2V_e}{v_{\text{onde}}} \right) \quad \text{lorsque le réflecteur se rapproche.}$$

$$f_r = f_e \left(1 - \frac{2V_e}{v_{\text{onde}}} \right) \quad \text{lorsque le réflecteur s'éloigne.}$$

Animations : http://web.cortial.net/bibliohtml/dpscmb_j.html

http://www.cgenial.org/?n=Fabrication_d'une_balle_sonore_a_effet_Doppler_165_131

Vidéos : <http://www.youtube.com/watch?v=qWKqdevDuss&feature=related>

http://www.dailymotion.com/video/xcaz9_doppler_tech

3. Application à la mesure de vitesses (cf AE6)

a. Mesure de la vitesse du mobile.

- On dispose sur le bureau du matériel suivant : Un mobile électrique pouvant rouler sur rails à vitesse constante.
- Un écran scotché sur le véhicule jouant le rôle de réflecteur.
- 1 émetteur et 1 récepteur d'onde ultrasonore.
- 1 GBF.
- 1 Oscilloscope numérique, des fils électriques.



Nous allons déterminer deux 2 manières la vitesse du train :

- La méthode classique :
- Par l'utilisation de l'effet Doppler.

Pour l'effet Doppler : il faut savoir quoi mesurer lors du passage du train devant le système émetteur - récepteur.

De quelle formule repartir ?

$$f_r = f_e \left(1 + \frac{2V_e}{c_{\text{onde}}} \right) \quad \text{puisque le réflecteur se rapproche.}$$

Chercher une relation entre la vitesse du train V et le décalage Doppler Δf .

On obtient assez vite en partant de $\Delta f = f_R - f_E$ à $V = \Delta f \cdot \frac{v_{\text{onde}}}{2f_e}$

La fréquence des ondes ultrasonores utilisées est de 41,7 KHz.

La vitesse des ondes ultrasonores dans l'air est de 340 m.s^{-1} .

Il reste à mesurer le décalage Doppler.

$\Delta f = \dots\dots\dots$

On en déduit la vitesse du train : $V = \dots\dots\dots$

On peut comparer les 2 résultats mais on ne peut pas conclure sur leur précision relative.

Pour s'entraîner : ex 23 et 24 p 77 Belin et 27p100 Hatier en contrôle ?

b. Mesure de la vitesse radiale d'une étoile.

Activité documentaire 3 : L'Univers et l'effet Doppler-Fizeau



« La loi établie par DOPPLER était une belle loi, mais elle n'avait pas intéressé grand monde jusqu'au jour où un physicien français, Hippolyte FIZEAU (1819-1896), s'avisait d'appliquer cette loi, conçue pour les phénomènes acoustiques, au domaine des radiations électromagnétiques. [...]

Il en résulte que lorsque la source émettrice d'un rayonnement s'éloigne de l'observateur, la longueur d'onde observée se décale vers les infrarouges, et si au contraire la source se rapproche de l'observateur, la longueur d'onde se décale vers les ultraviolets. [...]

L'effet Doppler-Fizeau et les mouvements des galaxies

À la simple observation d'un spectre de raies d'hydrogène venant d'un astre, on peut donc savoir si cet astre s'éloigne – ou se rapproche – de la Terre, et cette information est fondamentale pour les astronomes. [...]

En particulier, l'astronome américain Edwin HUBBLE (1889-1953) [...] constata que toutes ces galaxies s'éloignaient les unes des autres, et cela d'autant plus rapidement qu'elles étaient plus lointaines.

Hubble fit alors l'hypothèse qu'avant de s'éloigner, à une certaine époque, ces galaxies avaient dû être rassemblées dans un même point. »

Extrait de H. et G. WALTER, *Les sciences racontées à ma petite-fille*, Robert Laffont, 2009.

Données : On rappelle la relation entre les fréquences des ondes de célérité V émises et reçues lorsqu'un émetteur est en mouvement à la vitesse V_E par rapport à un récepteur.

Dans le cas où l'émetteur E s'éloigne du récepteur R :

$$\frac{f_E}{f_R} = \left(1 + \frac{V_E}{V}\right)$$

Dans le cas où l'émetteur E se rapproche du récepteur R :

$$\frac{f_E}{f_R} = \left(1 - \frac{V_E}{V}\right)$$

1. Dans le cas du mouvement des galaxies, expliciter la signification de chacun des termes des formules.

2. Comparer les rapports $\frac{f_E}{f_R}$ selon que l'émetteur s'éloigne ou s'approche du récepteur ?

3. Comment est-il possible de déterminer si une galaxie s'approche ou s'éloigne du système solaire ?

4. Quelle conception de l'origine de l'Univers l'effet Doppler-Fizeau permet-il de valider ?

1. f_E est la fréquence des radiations électromagnétiques émise par la source (une étoile par exemple),
 f_R est la fréquence des radiations électromagnétiques reçue par le récepteur (un télescope par exemple),
 V_E est la vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur (si l'étoile s'éloigne ou se rapproche de la Terre ou est le télescope)
 V est la vitesse des radiations électromagnétiques (célérité c)

2. Lorsque l'émetteur s'éloigne du récepteur : $\frac{f_E}{f_R} > \frac{f_E}{f_R}$ lorsque l'émetteur se rapproche du récepteur.

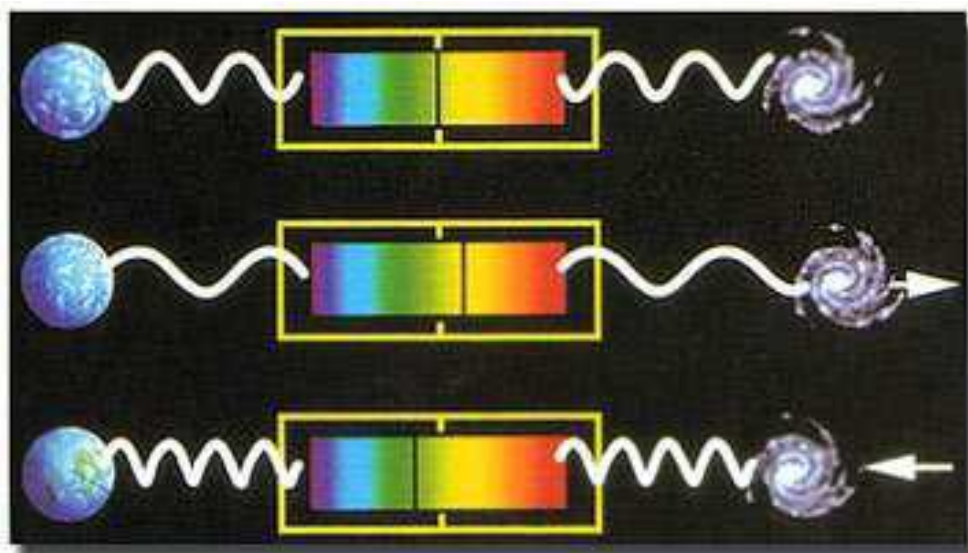
3.
Correction puis synthèse:

L'effet Doppler-Fizeau permet de calculer la valeur de la vitesse radiale d'une étoile en comparant les longueurs d'onde de son spectre d'absorption à celle d'un spectre de référence.

L'effet Doppler permet de déterminer directement la vitesse d'approche ou d'éloignement des objets célestes (étoiles, galaxies, nuages de gaz, etc.).

Une source en mouvement (une étoile par exemple) émet des ondes qui se modifient (ce décalage apparaît dans les raies du spectre). Plus la source va vite par rapport à l'observateur, plus ce décalage sera important. Pour des objets très rapides comme les galaxies ou les quasars, les décalages sont particulièrement importants. Pour simplifier la compréhension, disons que quand la source s'approche de l'observateur, les raies sont décalées vers le bleu ; quand la source s'en éloigne, elles sont décalées vers le rouge.

C'est ce décalage quasiment systématique de la lumière des galaxies vers le rouge qui a démontré que l'univers était en expansion (Loi de Hubble).

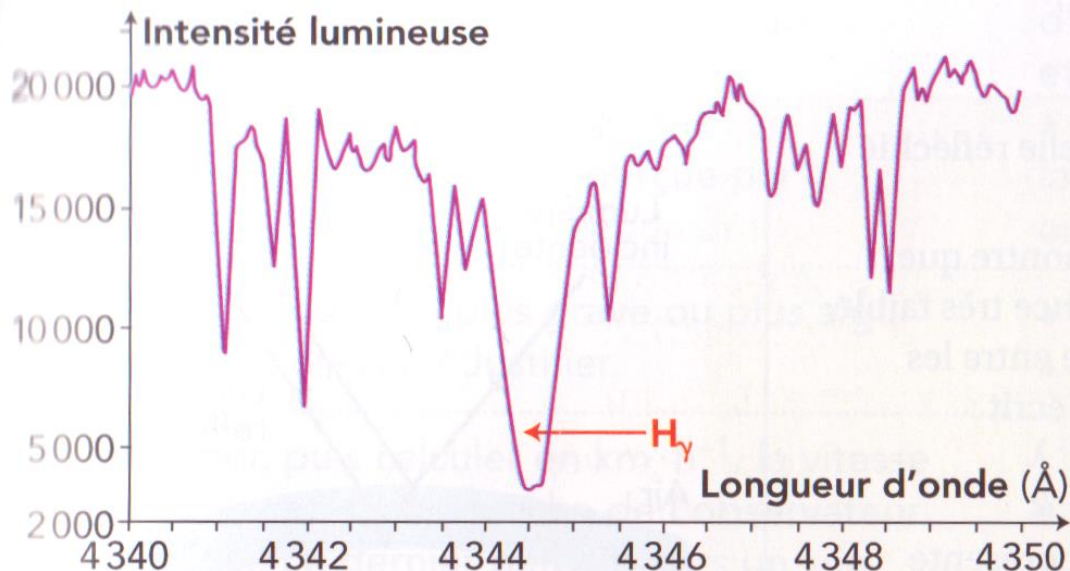


Pour s'entraîner : ex 22p76 Belin
 ex 32p84 du hachette :

Spectre d'une étoile lointaine

COMPÉTENCES Exploiter un graphique ; calculer ; raisonner.

Le graphique ci-dessous représente le spectre de l'étoile HD45282 entre 4340 Å et 4350 Å. On a repéré le pic correspondant à la raie H_γ l'hydrogène dont la longueur d'onde de référence est $\lambda_r = 4\,340,47$ Å.



1. Que représentent les pics de ce graphe ?
2. Quelle est la longueur d'onde observée λ du pic correspondant à l'hydrogène dans le spectre étudié ?
3. Calculer la vitesse radiale de l'étoile HD45282 à partir de l'expression de Doppler-Fizeau :

$$v = c \cdot \frac{\lambda - \lambda_r}{\lambda_r}$$

avec $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

4. a. Le décalage est-il observé vers le bleu (*blueshift*) ou vers le rouge (*redshift*) ?
- b. L'étoile s'éloigne-t-elle ou s'approche-t-elle de la Terre ?

➤ La connaissance de la dimension d'une grandeur G renseigne sur sa nature physique. La dimension de la grandeur G se note $[G]$.

Exemple: si G est une masse, alors $[G] = [M]$, elle a la dimension d'une masse; on dit aussi qu'elle est homogène à une masse.

➤ La relation $[G] = [M]$ correspond à l'équation aux dimensions de la grandeur G .

➤ Pour écrire l'équation aux dimensions de la grandeur G , aucun choix de système d'unités n'est imposé.

Exemple: une distance d a la dimension d'une longueur: $[d] = [L]$ mais elle peut s'exprimer en mètres, en pouces...

➤ Lorsque dans l'écriture de l'équation aux dimensions d'une grandeur G , on obtient $[G] = 1$, la grandeur est dite sans dimension ou de dimension 1.

Remarque : Dans le cas d'un angle, on obtient 1 mais il y a quand même une unité, le radian.

➤ Une équation est dite homogène si ses deux membres ont la même dimension : **une expression non homogène est nécessairement fausse !!**