

# Propriétés des ondes

Quelles sont les propriétés des ondes ?

## 1) Qu'est-ce que la diffraction ?

### 1) Observation avec des ondes lumineuses

→ T.P. : La diffraction de la lumière

Lorsqu'on éclaire une fente avec une lumière monochromatique, une partie de cette lumière atteint une zone qui aurait dû être dans l'ombre ; c'est le phénomène de **diffraction**. L'alternance de zones lumineuses et de zones sombres est appelée « figure de diffraction ». Elle dépend de l'ouverture ou de l'obstacle.

L'angle  $\theta$ , appelé « demi-angle de diffraction ou « écart angulaire », est défini à partir de la tache centrale, la plus lumineuse, et de la première extinction.

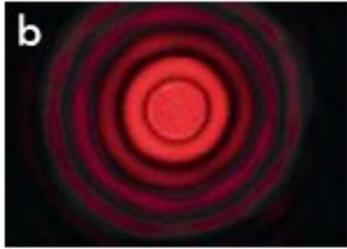
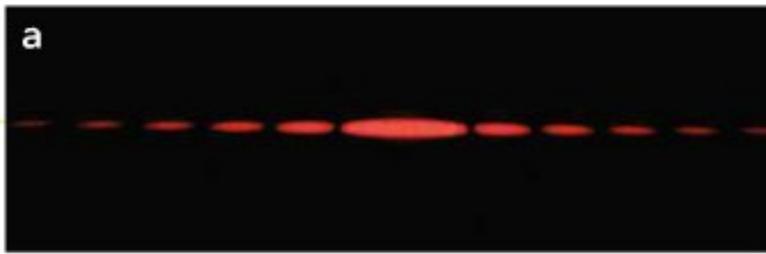


Figure de diffraction obtenue

avec :

**a.** une fente verticale ; **b.** un trou circulaire.

L'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde et aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle. Ainsi le demi angle de diffraction est  $\theta \approx \lambda / a$  avec  $\lambda$  la longueur d'onde et  $a$  la largeur de l'ouverture ou de l'obstacle  $\lambda$  et  $a$  sont dans les mêmes unités et  $\theta$  s'exprime en radian (rad). On a également  $\theta \approx \tan \theta = l / 2D$ .

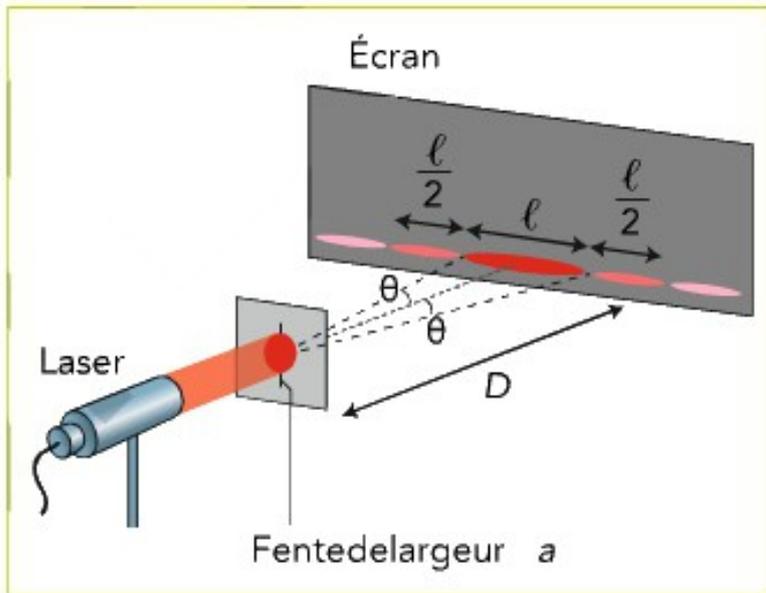


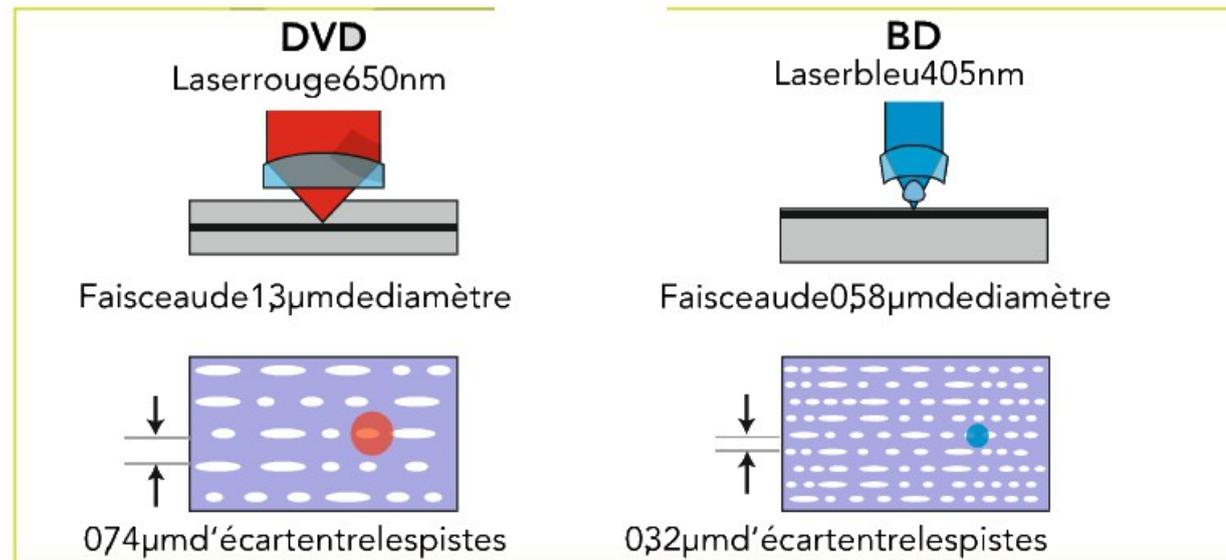
Schéma de l'expérience de diffraction de la lumière par une fente.

Remarque : En lumière polychromatique, chaque radiation de longueur d'onde  $\lambda$ , donne sa propre figure de diffraction. La superposition des ces figures conduit à l'observation de zones colorées.

## 2) La diffraction dans diverses situations

→ Activité : Approche historique du caractère ondulatoire de la lumière

Le phénomène de diffraction s'observe aussi bien avec des ondes électromagnétiques qu'avec des ondes mécaniques. L'observation de la diffraction de la lumière a contribué à la validation du modèle ondulatoire de la lumière.



**Doc. 4** Sur un support numérique à lecture optique, la capacité de stockage est limitée par le phénomène de diffraction : l'augmentation de cette capacité nécessite des pistes plus serrées ( $a$  diminue). Pour limiter la diffraction, il est nécessaire d'utiliser un rayonnement de plus petite longueur d'onde. On est ainsi passé d'un faisceau rouge (DVD) à un faisceau bleu (Blu-ray Disc, BD).

**Conclusion :** La diffraction intervient dans de nombreuses situations physiques mettant en œuvre des ondes.

## 2) Que sont les interférences ?

### 1) Observation d'interférences en lumière monochromatique

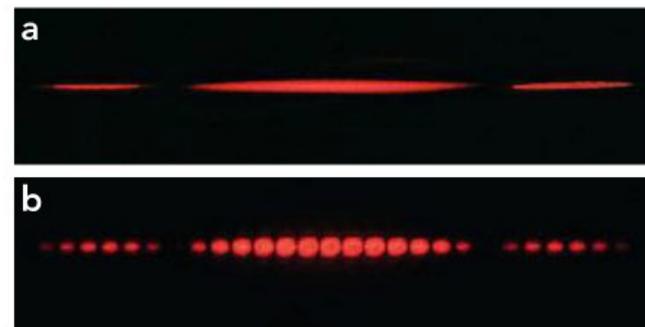
→ T.P. : Interférences lumineuses

Lorsqu'on éclaire deux fentes proches et parallèles (fentes d'Young) avec une lumière monochromatique, on observe une figure de diffraction striée d'une alternance de bandes noires et lumineuses appelées « franges d'interférences ».

Chaque fente se comporte comme une source lumineuse ponctuelle. La superposition des ondes issues de ces fentes est à l'origine de ce phénomène.

Deux ondes de même fréquence qui se superposent peuvent interférer. On observe alors des franges d'interférences.

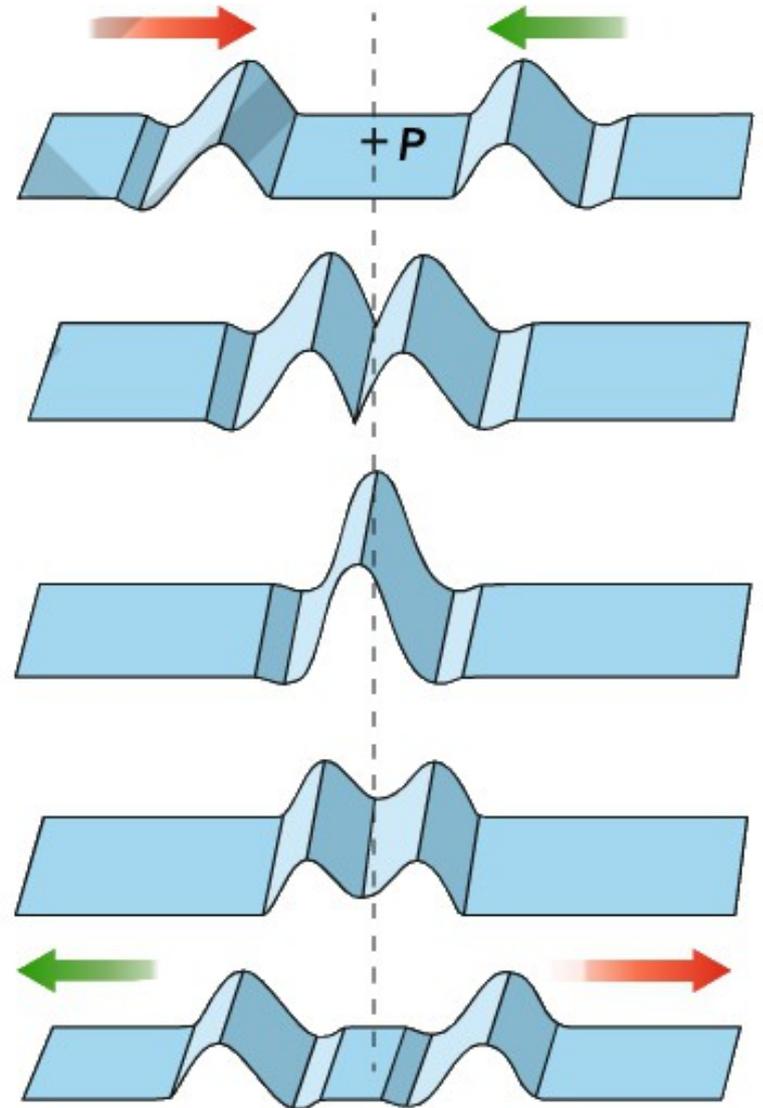
Figure obtenue avec une fente (a) et avec deux fentes parallèles (b). Les fentes parallèles sont appelées des fentes d'Young.



## 2) Interprétation avec des ondes à la surface de l'eau

Le doc. ci-contre illustre le croisement de 2 ondes à la surface de l'eau. L'élongation d'un point P de la surface est égale à la somme des élongations de chacune des ondes incidentes en ce point.

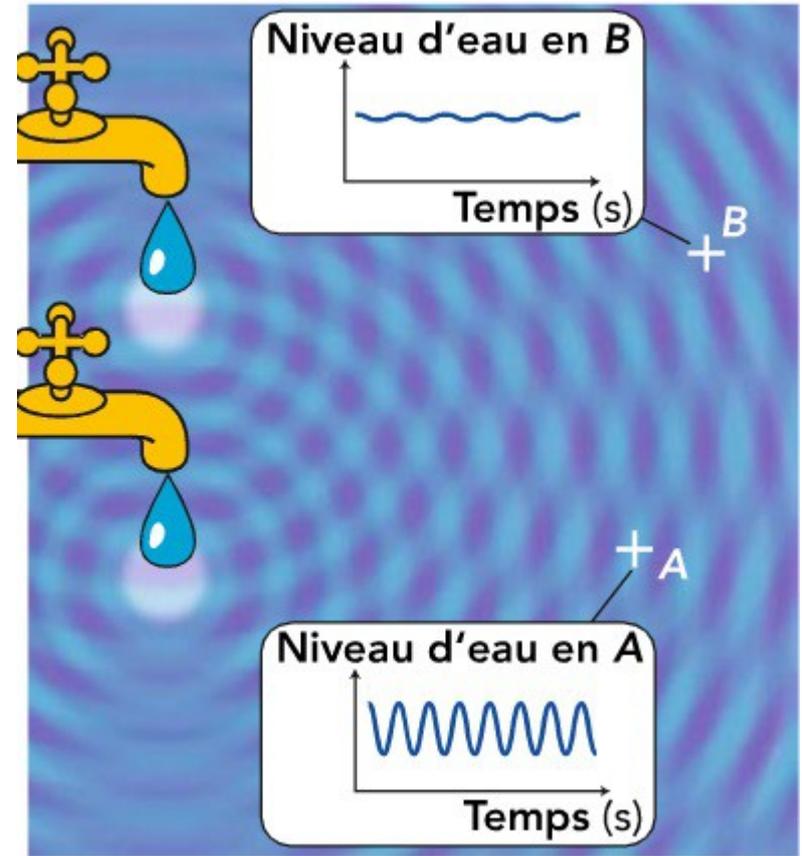
Lorsque deux ondes se superposent, leurs élongations s'ajoutent.



Le document ci-contre montre la superposition des ondes circulaires créées à la surface de l'eau par deux sources périodiques de même fréquence.

Au point A, ces ondes peuvent arriver en phase. La vibration résultante a alors une amplitude maximale. Les interférences sont constructives.

Au point B, ces ondes peuvent arriver en opposition de phase. La vibration résultante a alors une amplitude minimale. Les interférences sont dites destructives.



En tout autre point du milieu, les vibrations sont d'amplitude intermédiaires.

**Conclusion** : Les interférences sont constructives en tout point où les ondes qui interfèrent sont en phase.

Les interférences sont destructives en tout point où les ondes qui interfèrent sont en opposition de phase.

Un raisonnement analogue permet de comprendre les figures d'interférences lumineuses observées sur un écran avec la lumière d'un laser traversant les fentes d'Young :

- les interférences destructives correspondent à l'absence de lumière sur l'écran de projection
- les interférences constructives correspondent aux zones les plus lumineuses

### 3) Nécessité de sources cohérentes

Une figure d'interférences est stable dans le temps si les interférences constructives et destructives se produisent respectivement aux mêmes points. Pour cela, il faut que les ondes qui se superposent aient la même fréquence.

L'expérience montre que des interférences lumineuses ne peuvent pas être observées si la lumière provient de sources indépendantes, même si ces sources émettent des ondes de même fréquence. En effet, la lumière étant émise par trains d'ondes de courtes durées bien que de même fréquence, les ondes ne conservent pas le même déphasage en un point  $P$  donné. La figure d'interférences n'est alors pas stable.

Pour observer une figure d'interférences stable avec de la lumière, il faut éclairer deux **sources secondaires** avec de la lumière venant d'une source unique. Ces sources secondaires émettent alors des ondes de même fréquence et de déphasage constant ; elles sont **cohérentes**.

Conclusion : Une figure d'interférences stable s'obtient avec des ondes de même fréquence et présentant un déphasage constant. Ce sont des ondes cohérentes ; elles sont émises par des sources cohérentes.

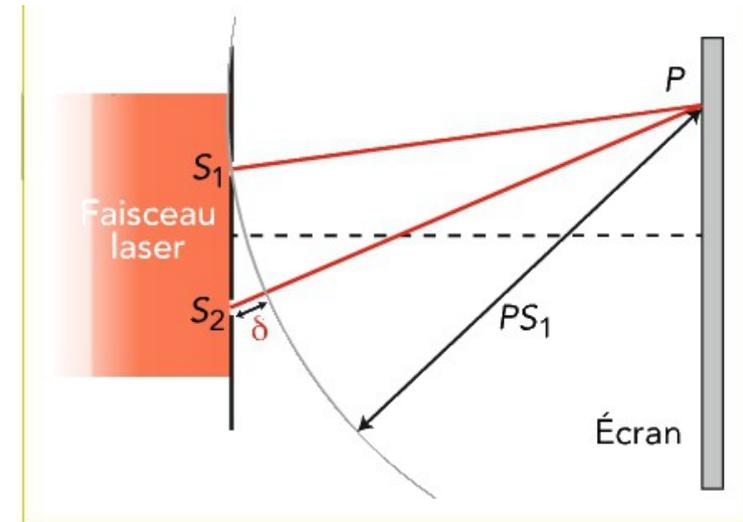
## 4) Différence de marche

Deux ondes émises par des sources cohérentes situées en  $S_1$  et  $S_2$  ont, en un point  $P$  du milieu de propagation, un déphasage constant qui dépend de la durée de leurs trajets respectifs et du déphasage entre les sources. Le déphasage observé au point  $P$  est lié à la **différence de marche**  $\delta$  de ces ondes.

Dans le cas particulier des interférences obtenues par des fentes d'Young placées dans l'air, d'indice de réfraction  $n = 1,00$ , la **différence de marche** s'écrit  $\delta = S_2P - S_1P$

Dans d'autres situations, l'expression de la différence de marche prend en compte d'autres paramètres

- ▶ On observe des **interférences constructives** quand  $\delta = k \cdot \lambda$ .
  - ▶ On observe des **interférences destructives** quand  $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ .
- $k$  est un nombre entier positif ou négatif appelé ordre d'interférences.



📌 **Doc. 10** Dans le cas de l'expérience des fentes d'Young dans l'air, la différence de marche des ondes qui interfèrent en  $P$  est  $\delta = S_2P - S_1P$ .

## 5) Interfrange

Lors d'interférences lumineuses, l'**interfrange**, noté  $i$ , 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  $\lambda$ , l'interfrange  $i$  s'exprime par :

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

$b$  étant la distance séparant les deux fentes et  $D$  la distance entre le système de fentes et l'écran

La mesure de l'interfrange permet de déterminer expérimentalement la longueur d'onde de la lumière monochromatique

## 6) Interférences en lumière blanche

Des taches d'huile, des CD ou des DVD, des ailes d'insectes ou des bulles de savon éclairées en lumière blanche font apparaître des irisations.

La couche d'huile, l'aile ou la paroi de la bulle sont des couches minces. Avec de telles couches, les ondes lumineuses réfléchies sur les parois interne et externe peuvent interférer. Chaque radiation de longueur d'onde  $\lambda$  donne sa propre figure d'interférences. La superposition de ces figures conduit à l'observation de zones colorées

Éclairées en lumière blanche, les couches minces font apparaître des **couleurs interférentielles**.

### 3) Qu'est-ce que l'effet Doppler ?

→ activité : Effet Doppler

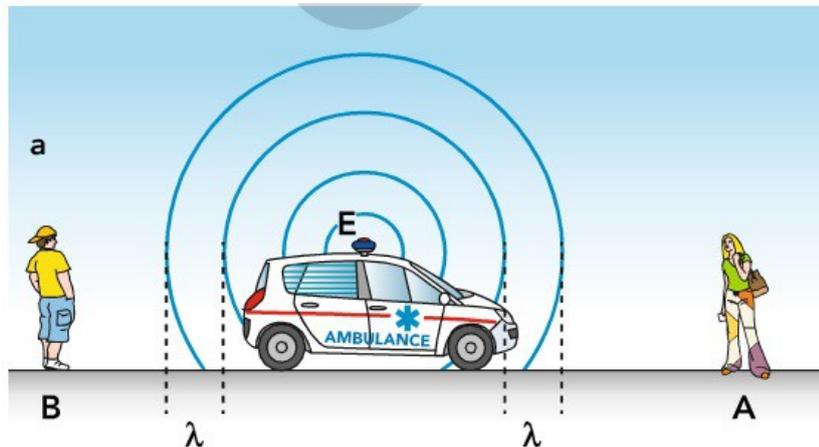
#### 1) Présentation

Le son d'un moteur est perçu plus aigu quand le véhicule qui l'émet s'approche et plus grave quand il s'en éloigne. Ce phénomène a été prévue en 1842 par C. DOPPLER.

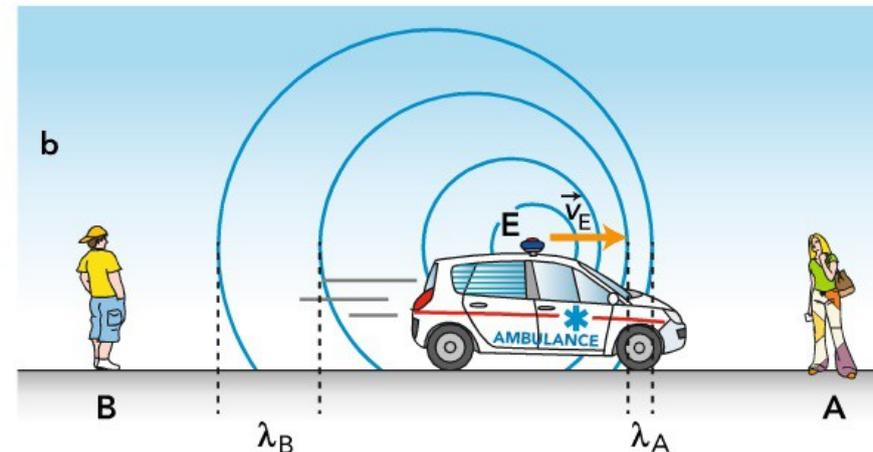
Une onde électromagnétique ou mécanique émise avec une fréquence  $f_E$  est perçue avec une fréquence  $f_R$  différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif : c'est l'effet Doppler.

## 2) Vitesse relative d'un émetteur par rapport à un récepteur

La comparaison entre la fréquence  $f_R$  de l'onde perçue et la fréquence  $f_E$  de l'onde émise permet de déterminer la valeur de la vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur. **L'effet Doppler constitue une méthode de mesure de vitesses.**



**Doc. 13** Lorsque l'émetteur est immobile, les observateurs immobiles A et B perçoivent des ondes de même longueur d'onde :  $\lambda = \frac{v}{f_E}$ .



**Doc. 14** Lorsque l'émetteur se déplace à la vitesse  $v_E$  en s'approchant de l'observateur A et en s'éloignant de l'observateur B, ceux-ci perçoivent des ondes de longueurs d'onde  $\lambda_A < \lambda$  et  $\lambda_B > \lambda$ .

Mais pourquoi lorsque l'émetteur s'approche de l'observateur, le son de la sirène est perçu plus aigu ?

Lorsque l'émetteur s'approche de l'observateur, la longueur d'onde perçue par l'observateur est plus petite que la longueur d'onde émise :  $\lambda_A < \lambda$  soit  $\lambda_A / v < \lambda / v$  et d'où en prenant l'inverse :  $f_A > f_E$ . La fréquence reçue est plus élevée que la fréquence émise, donc le son perçu est plus aigu.

De la même façon, on pourrait montrer que lorsque l'émetteur s'éloigne de l'observateur, le son est perçu plus grave.

Les relations ci-dessous permettent de calculer la valeur de la vitesse  $v_E$  de l'émetteur à partir de la fréquence perçue par l'observateur.

– pour l'observateur A :

$$v_E = v \cdot \frac{f_A - f_E}{f_A}$$

$v$  = vitesse de propagation de l'onde.

– pour l'observateur B :

$$v_E = v \cdot \frac{f_E - f_B}{f_B}$$

Les radars routiers utilisent l'effet Doppler avec des ondes électromagnétiques pour mesurer la vitesse des véhicules.

### 3) L'effet Doppler-Fizeau en astronomie

Le spectre de la lumière émise par une étoile comporte des raies d'absorption caractéristiques des éléments de son atmosphère.

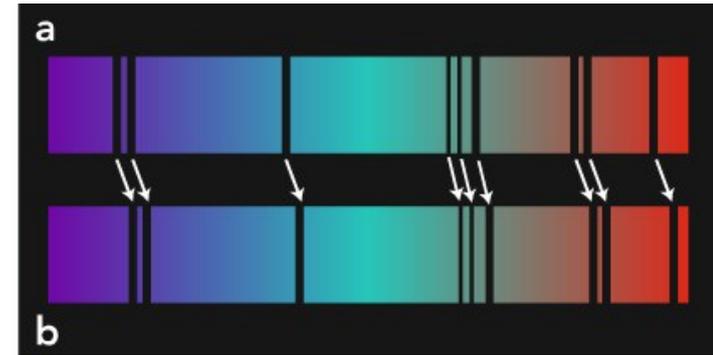
En appliquant l'effet Doppler à la lumière, si une étoile ou une galaxie s'éloigne ou s'approche de la Terre, on doit observer un décalage de ses raies d'absorption.

L'effet Doppler-Fizeau permet de calculer la valeur de la vitesse radiale (vitesse à laquelle une étoile s'éloigne ou se rapproche de la Terre) d'une étoile en comparant les longueurs d'onde de son spectre d'absorption à celles d'un spectre de référence.

Les télescopes modernes et les outils informatiques permettent de calculer les valeurs des vitesses radiales d'étoiles ou de galaxies en analysant de très nombreuses raies.

Lorsqu'une étoile ou une galaxie s'éloigne de la Terre, on observe un décalage vers les grandes longueurs d'onde (vers le rouge pour les raies du visible); ce décalage vers le rouge est appelé « *redshift* ».

Inversement, lorsqu'une étoile ou une galaxie se rapproche de la Terre, on observe un décalage vers les petites longueurs d'onde ; ce décalage vers le bleu est appelé « *blueshift* ».



**Doc. 16 a.** Spectre de référence obtenu avec une source immobile par rapport à l'observateur ;  
**b.** spectre obtenu avec une source s'éloignant de l'observateur.

Cette technique est utilisée dans la recherche d'exoplanètes à l'observateur de Haute-Provence car ces exoplanètes donnent un léger mouvement à leur étoile qui se rapproche ou s'éloigne de la Terre.