

*L'effet Doppler constitue un moyen d'investigation utilisé en astrophysique. Il permet de déterminer la vitesse des astres à partir de l'analyse spectrale de la lumière que ceux-ci émettent.*

*Cet exercice s'intéresse à deux applications distinctes, à savoir le modèle d'Univers en expansion et la détection d'une étoile double « spectroscopique ».*

**Les parties 1 et 2 sont indépendantes.**

Les documents utiles à la résolution sont rassemblés en fin d'exercice.

**Donnée :**  $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$

### 1. Preuve de l'expansion de l'Univers

- 1.1. En utilisant le document 3, déterminer la longueur d'onde médiane du doublet de  $\text{Ca}^{2+}$  dans le spectre de la galaxie nommée : NGC 691.  
Sachant que la longueur d'onde médiane  $\lambda_0$  de ce doublet mesurée sur Terre pour une source au repos est de  $5268 \text{ \AA}$ , calculer le « redshift »  $z$  caractérisant le décalage vers le rouge de cette galaxie, défini dans le document 1.
- 1.2. Calculer la vitesse d'éloignement de la galaxie NGC 691 par rapport à la Terre.
- 1.3. À l'aide des documents 1 et 2, établir dans le cas non relativiste, la relation entre la vitesse d'éloignement  $V$  de la galaxie et sa distance  $d$  à la Terre, montrant que  $V$  est proportionnelle à  $d$ .
- 1.4. À partir des valeurs du nombre  $z$  données dans le document 2, montrer que l'expression utilisée pour calculer la vitesse d'éloignement des galaxies donnée dans le document 1 n'est pas applicable dans tous les cas.

## 2. Détection d'une étoile double « spectroscopique ».

*On appelle « étoile double » un système stellaire composé de deux étoiles proches en orbite autour du même point (ce point étant le centre d'inertie  $G$  du système). Une étoile double « spectroscopique » est constituée de deux astres trop proches pour être séparés par un télescope optique et ne peut être détectée que par l'étude de son spectre à haute résolution. Le mouvement des deux étoiles provoque en effet un léger déplacement des raies d'absorption du spectre par effet Doppler.*

Dans les questions suivantes, on suppose que les deux étoiles A et B décrivent des orbites circulaires de même rayon  $R$ , avec la même vitesse  $V = V_A = V_B$ .

La période de rotation commune aux deux étoiles A et B est notée  $T$  : c'est la période de l'étoile double.

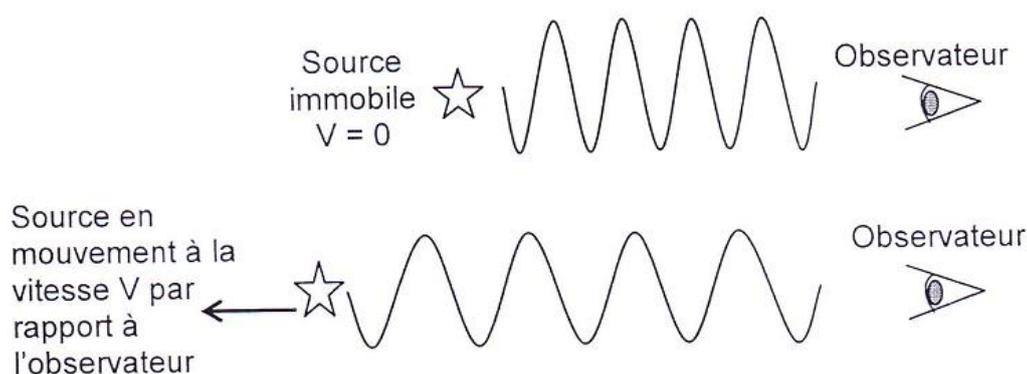
- 2.1. Expliquer pourquoi, dans la situation décrite sur le document 4, on  $\lambda_A > \lambda_B$ .
- 2.2. Sachant que l'effet Doppler ne se manifeste pas lorsque le vecteur vitesse de la source est perpendiculaire à la direction de visée, compléter en justifiant le tableau de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. Schématiser sans souci d'échelle le spectre correspondant à chaque configuration et montrer que l'évolution temporelle de ces spectres est périodique de période  $T/2$ .
- 2.3. En utilisant les spectres du document 5 qui montrent l'évolution temporelle de la position de la raie  $H\alpha$  dans le spectre de l'étoile double HD 80715, vérifier que la période  $T$  de celle-ci est voisine de 3,8 jours.

## DOCUMENTS DE L'EXERCICE II

### Document 1 : principe de l'effet Doppler

On note  $\lambda_0$  la longueur d'onde de référence de la raie étudiée dans le spectre (source immobile par rapport à l'observateur) et  $\lambda$  la longueur d'onde de la radiation émise par la source en mouvement.

Lorsqu'une étoile s'éloigne de la Terre, on observe un décalage vers les grandes longueurs d'onde appelé « redshift » et caractérisé par le nombre  $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$



La formule de Doppler donne la vitesse d'éloignement  $V$  de la source lumineuse par rapport à l'observateur terrestre dans le cas non relativiste :

$$V = c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$c$  est la célérité de la lumière dans le vide ( $c = 2,99792 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

### Document 2 : Décalage vers le rouge

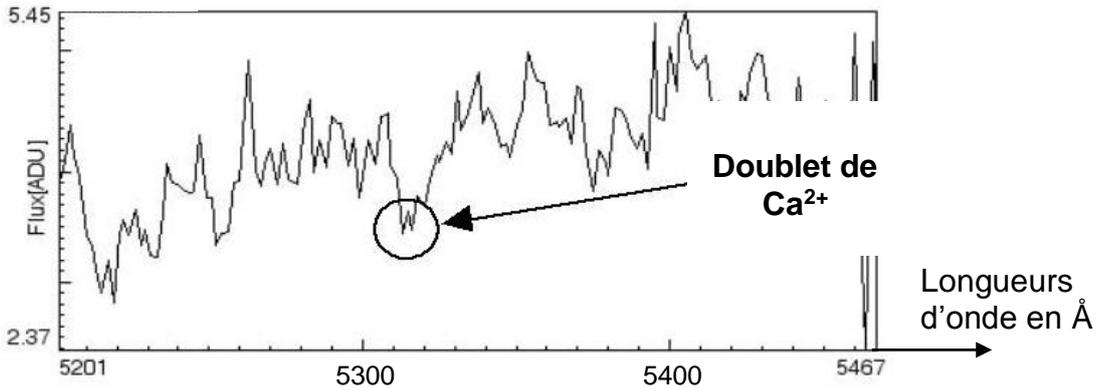
En 1930, Edwin HUBBLE avait constaté expérimentalement que plus les galaxies étaient lointaines, plus leur spectre présentait un décalage vers le rouge important.

Le « décalage vers le rouge », qui sera appelé « redshift » apparaît, quand il est petit, comme proportionnel à la distance :  $z = \frac{H_0 d}{c}$  où  $H_0$  est une constante appelée constante de Hubble.

Ce décalage est traditionnellement interprété comme étant dû à la vitesse d'éloignement des galaxies. Cette interprétation, si elle est vraie pour les « redshifts » petits est en fait fondamentalement erronée dans une perspective de relativité générale. Les « redshifts » observés vont d'une fraction de l'unité pour la plupart des galaxies, à 4 ou 5 pour les objets plus lointains, quasars, ou certaines autres galaxies.

D'après « Cosmologie : Des fondements théoriques aux observations »  
Francis Bernardeau (CNRS Éditions – EDP sciences)

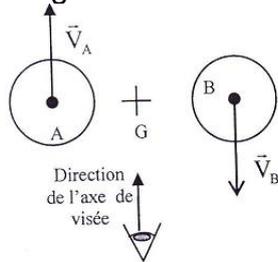
**Document 3 : Extrait du spectre NGC 691**



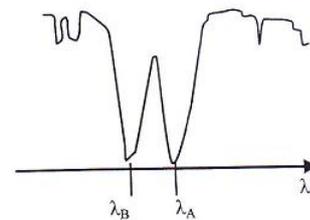
Source : observatoire de Haute Provence, logiciel libre SalsaJ.

**Document 4 : Effet du mouvement des deux composantes d'une étoile double sur une raie d'absorption si l'axe reliant les deux étoiles est perpendiculaire à l'axe de visée.**

a) Configuration :

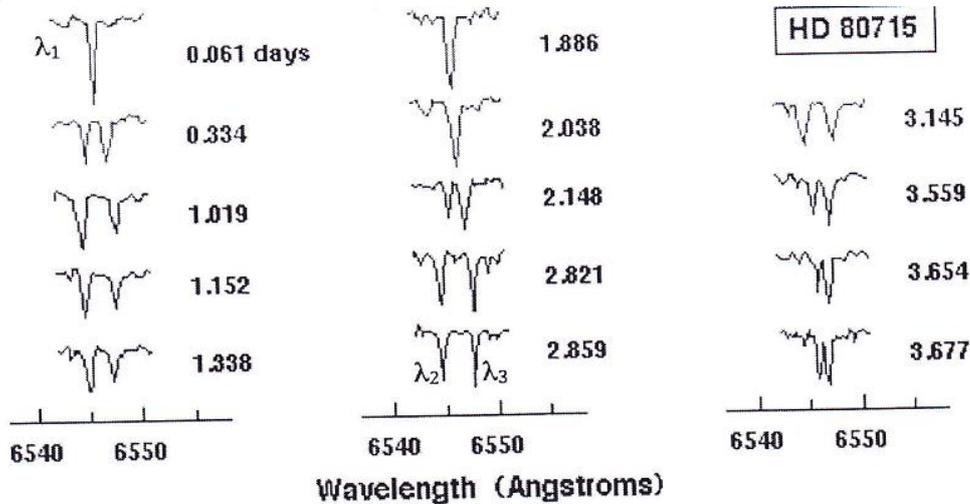


b) Spectre observé (extrait) :



On note :  $\lambda_A$  la longueur d'onde de la raie provenant du spectre de l'étoile A et  $\lambda_B$  la longueur d'onde de la raie provenant du spectre de l'étoile B.

**Document 5 : Évolution temporelle de la position de la raie  $\text{H}\alpha$  dans le spectre de l'étoile HD 80715.**



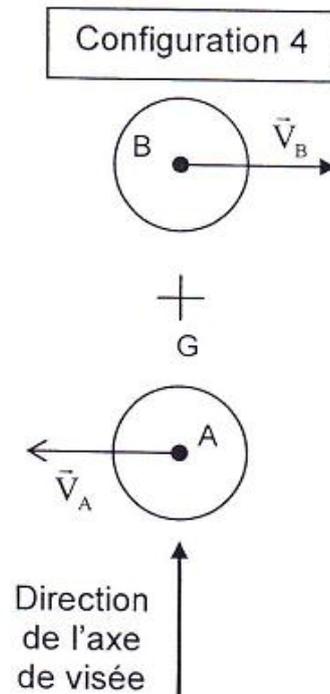
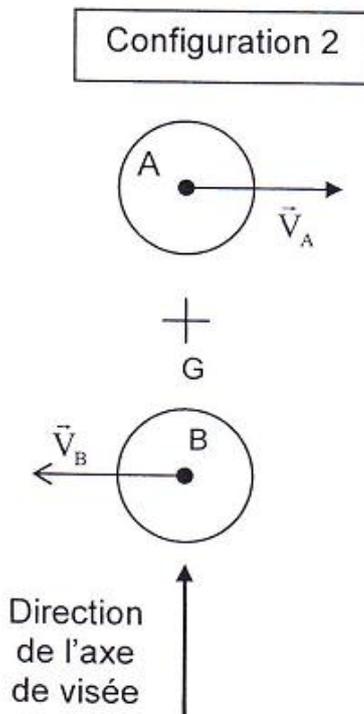
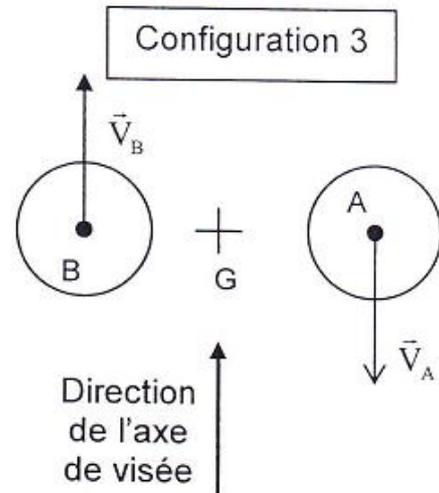
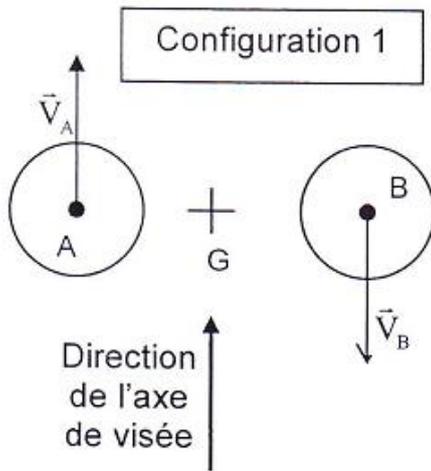
Crédit : « Observatoire de Paris / U.F.E. »

## ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Question 2.2.

Pour chaque proposition, indiquer la (les) configurations correcte(s).

Relation entre $\lambda_A$ et $\lambda_B$	$\lambda_A = \lambda_B$	$\lambda_A > \lambda_B$	$\lambda_A < \lambda_B$
Configuration(s)			



Sur ces schémas, l'observateur n'est pas représenté car il est à une très grande distance.