## EXERCICE II : EFFET DOPPLER ET ASTROPHYSIQUE (6 points)

*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 Å = 0,1 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 $Ca^{2+}$ 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 Å, 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 $\lambda_A > \lambda_B$.

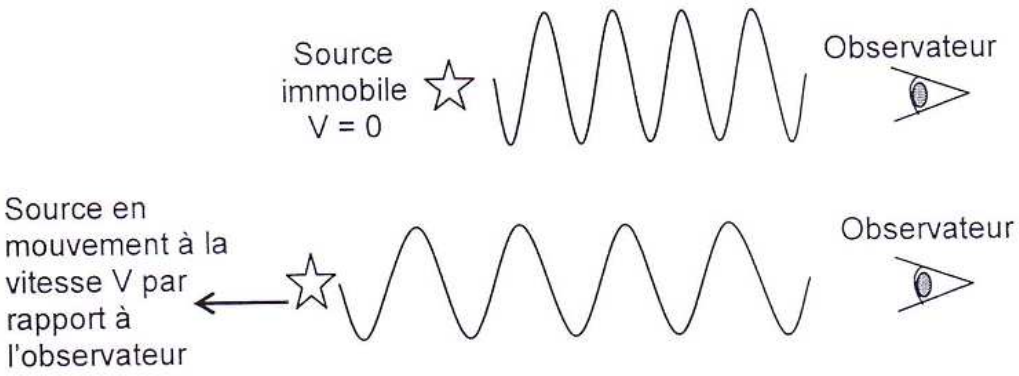
2.2. Sachant que l'effet Doppler ne se manifeste pas lorsque le vecteur vitesse de la source est perpendiculaire à la direction de visée, compléter en justifiant le tableau de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. Schématiser sans souci d'échelle le spectre correspondant à chaque configuration et montrer 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 Hα 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 :

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

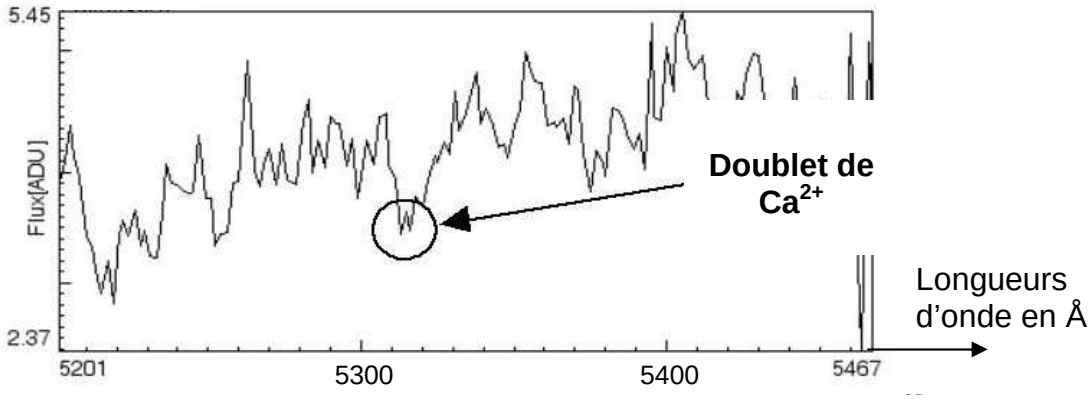
c est la célérité de la lumière dans le vide ($c = 2.99792 \times 10^8$ m.s$^{-1}$)

**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)

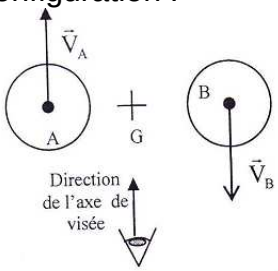
**Document 3** : Extrait du spectre NGC 691



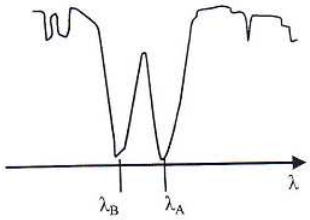

Source : observatoire de Haute Provence, logiciel libre SalsaJ.

**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 :

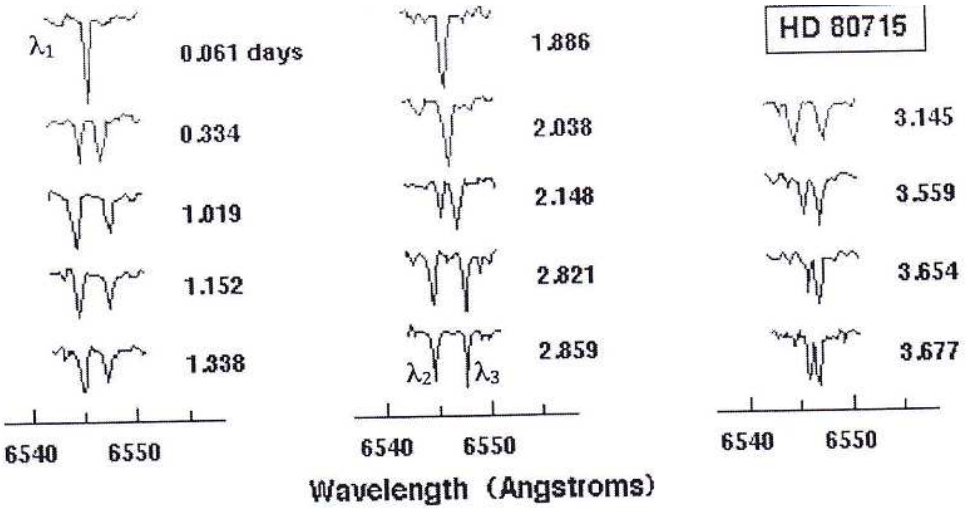



b) Spectre observé (extrait) :




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 Hα dans le spectre de l'étoile HD 80715.



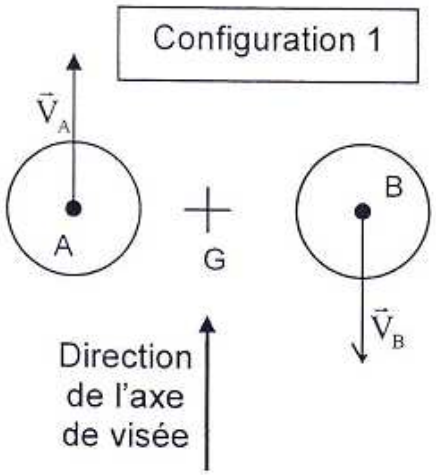

Crédit : « Observatoire de Paris / U.F.E. »

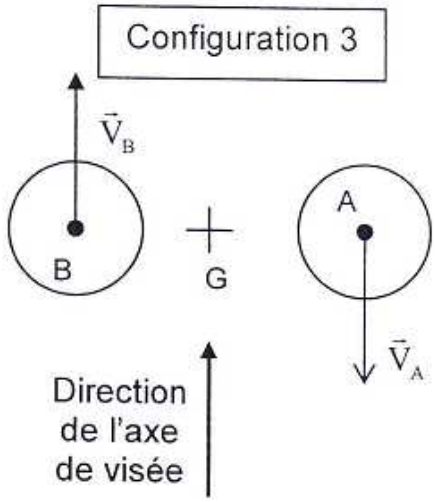
## ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

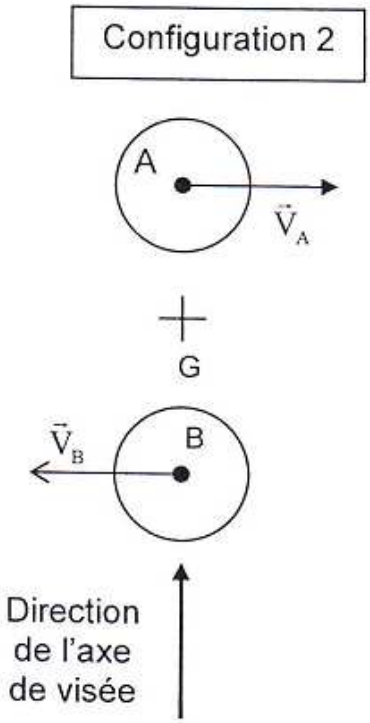
Question 2.2.

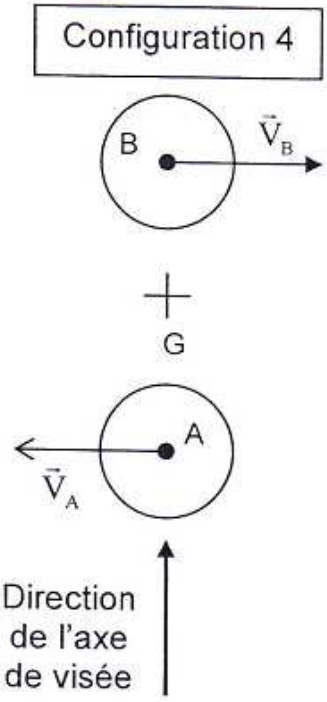
Pour chaque proposition, indiquer la (les) configurations correcte(s).

| 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.