

28 ECE Evaluation des compétences expérimentales

Cet exercice permet de travailler les compétences expérimentales suivantes : S'approprier ; Analyser ; Réaliser ; Valider

L'exercice s'appuie sur des ressources disponibles sur le site élève :

www.nathan.fr/siriuslycee/eleve-termS

Le dossier comprend :

- une fiche d'énoncé et de réponses du candidat ;
- une grille d'évaluation ;
- un cliché en format .jpeg d'une série de cinq spectres ;
- deux fiches techniques.

Cette activité nécessite l'utilisation de logiciels de traitement d'images et de données téléchargeables gratuitement.

DOCUMENT 1. Fiche d'énoncé

Contexte du sujet

La loi de Hubble indique que la valeur v de la vitesse d'éloignement des galaxies est proportionnelle à la distance D qui nous sépare d'elles : $v = H_0 \times D$ où H_0 est appelée constante de Hubble.

L'unité légale de la constante de Hubble est le s^{-1} mais le **parsec** (symbole **pc**) étant une unité de longueur utilisée en astronomie ($1 \text{ pc} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m}$), il est courant d'exprimer H_0 en $(\text{km/s})/\text{Mpc}$.

Au début des années 2000, l'utilisation du télescope spatial Chandra a conduit à la valeur suivante :

$$H_0 = 77 \text{ (km/s)/Mpc, avec une incertitude de 15 \% .}$$

Cela signifie qu'une galaxie, située à 1 Mpc de nous, s'échappe avec une vitesse d'environ $77 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le but de l'épreuve est d'utiliser le spectre de la lumière émise par cinq galaxies pour vérifier que la loi de Hubble s'applique dans leur cas, et de déterminer une valeur de la constante de Hubble.

Matériel mis à disposition

Le candidat dispose :

- d'un ordinateur muni du logiciel de traitement d'images Salsa et d'un logiciel de traitement de données ;
- d'une image au format jpeg.

Documents mis à disposition du candidat

L'image fournie (ci-contre) présente les spectres relatifs à cinq galaxies.

On a identifié dans chaque spectre deux raies d'absorption (K et H) du calcium ionisé. Ces raies sont indiquées le spectre de Virgo par la flèche verticale.

On retrouve ces raies sur les autres spectres.

Dans tous les cas, on les observe décalées vers les grandes longueurs d'onde.

Pour ces galaxies lointaines, on considèrera que ce décalage (indiqués par la flèche horizontale) est dû uniquement à l'effet Doppler-Fizeau créé par l'expansion de l'Univers (c'est-à-dire par la fuite des galaxies).

Le décalage Doppler $\Delta\lambda$ en longueur d'onde de la raie H dans le spectre de la lumière d'une galaxie s'éloignant à la vitesse v dans la direction de visée est donnée par la relation :

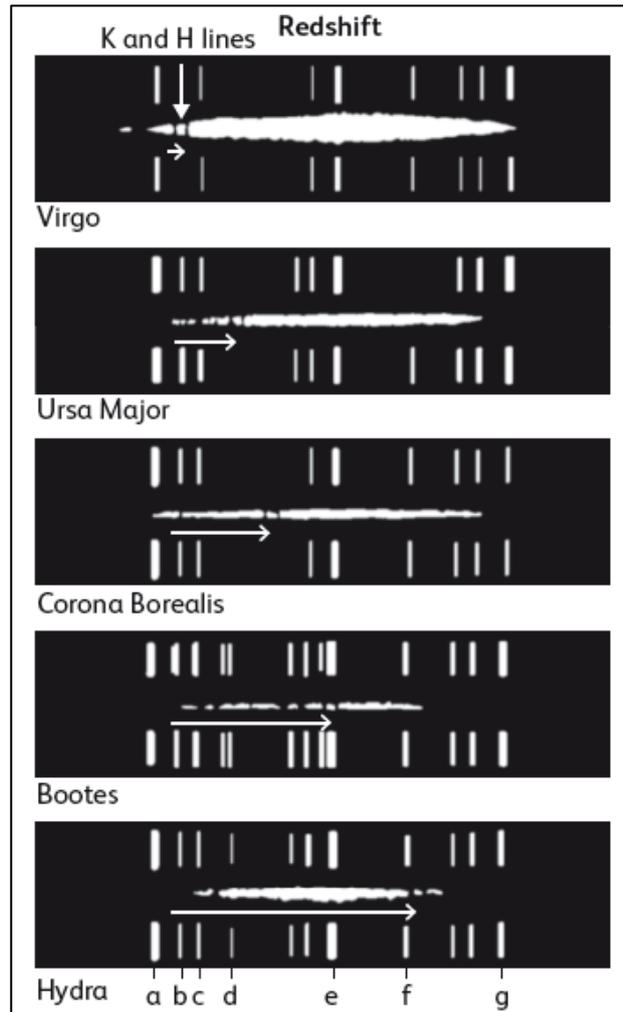
$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad \text{avec } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

- La raie H est, parmi les deux raies, celle de droite. Sa longueur d'onde lorsque la source de lumière est au repos est égale à $\lambda = 396,85 \text{ nm}$. Son déplacement vers le rouge (« Redshift ») est indiqué par une flèche horizontale.

- Chaque spectre est entouré d'un spectre de référence pris en laboratoire, sur le même cliché que la galaxie, et dans les mêmes conditions. Les raies a, b, c, d, e, f, et g du spectre de référence ont respectivement les longueurs d'ondes suivantes (en nm) :

388,87 / 396,47 / 402,62 / 414,38 / 447,15 / 471,31 / 501,57.

- Le tableau ci-dessous indique la distance D qui sépare la Terre de chaque galaxie à la date de la réalisation de leur spectre.



Galaxie	Hydra	Bootes	Corona Boréalis	Ursa Major	Virgo
$D \text{ (m)}$	$2,4 \times 10^{25}$	$1,4 \times 10^{25}$	$1,0 \times 10^{25}$	$4,5 \times 10^{24}$	$1,3 \times 10^{24}$

DOCUMENT 2. Grilled'évaluation

1. a. Rédiger un protocole appelé **(1)** qui permet, à l'aide du logiciel de traitement d'images, de déterminer la longueur d'onde de la raie H dans le spectre d'Hydra et la vitesse d'éloignement (**récession**) de cette galaxie.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Appeler l'examineur pour vérifier le protocole 1 (appel 1).

Mettre en œuvre le protocole.

b. Résultat obtenu après la mise en œuvre du protocole
Quelle est la valeur de la longueur d'onde de la raie H dans le spectre de la lumière d'Hydra ?
Réponse : $\lambda =$

c. Exploitation
A partir du résultat précédent et des données de l'énoncé, déterminer la valeur de la vitesse v de récession d'Hydra.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. a. Rédiger un protocole appelé **(2)** qui permet, à l'aide des logiciels de traitement d'images et de données, de vérifier que la loi de Hubble s'applique dans le cas des cinq galaxies.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

.....

Appeler l'examineur pour vérifier le protocole 2 (appel 2).

Mettre en œuvre le protocole.

b. Résultats obtenus après la mise en œuvre du protocole

Galaxie	Hydra	Bootes	Corona Boréalis	Ursa Major	Virgo
D (m)	$2,4 \times 10^{25}$	$1,4 \times 10^{25}$	$1,0 \times 10^{25}$	$4,5 \times 10^{24}$	$1,3 \times 10^{24}$
v (m·s ⁻¹)					

Quelles grandeurs sont placées en abscisse et en ordonnée pour vérifier la loi de Hubble ?

.....

Quelle est l'expression littérale du modèle choisi vérifier la loi de Hubble ?

.....

c. Exploitation

On considère ici que le modèle convient si les points expérimentaux suivent l'évolution donnée par le modèle avec un écart relatif inférieure à 15 %. Le modèle choisi convient-il ?

.....

Quelle est la valeur obtenue pour la constante de Hubble ?

.....

Cette valeur est-elle compatible avec celle indiquée dans le document introductif ?

.....

DOCUMENT 3. Fiche Technique du logiciel SalsaJ (traitement d'images)

- Pour lancer *SalsaJ*
Cliquez l'icône de raccourci « SalsaJ » :



- Quelques boutons et fonctions associées



Ouvrir un fichier image



Annuler la dernière opération



Tracer un trait



Zoom avant/arrière



Déplacement dans le cadre de l'image

- Pour ouvrir un fichier image
 - 1) Effectuer « Fichier » puis « Ouvrir » ou cliquer sur le bouton adapté (voir tableau ci-dessus).
 - 2) Rechercher le fichier en se déplaçant dans l'arborescence.
 - 3) Cliquer sur le fichier désiré puis « Ouvrir ».
- Pour étalonner l'échelle d'une image
 - 1) Tracer un trait entre deux points séparés d'une distance connue. Pour cela, cliquer sur le bouton adapté (voir tableau ci-dessus) puis cliquer et glisser entre les deux points. Penser à utiliser le zoom avant (voir tableau ci-dessus) au préalable pour gagner en précision.
 - 2) Dans la barre de menu du logiciel, cliquer « Analyse » et « Indiquer l'échelle... ».
 - 3) Compléter ou modifier les informations dans la fenêtre qui apparaît, cocher « Global » puis cliquer « OUI ».
- Pour obtenir le graphe donnant l'intensité des pixels d'une image le long d'une ligne
 - 1) Tracer un trait le long de la ligne désiré. Pour cela, cliquer sur le bouton adapté (voir tableau ci-dessus) puis cliquer et glisser entre les deux points. Penser à utiliser le zoom avant (voir tableau ci-dessus) au préalable pour gagner en précision.
 - 2) Dans la barre de menu du logiciel, cliquer « Analyse » et « Coupe ».
 - 3) Déplacer le pointeur sur le graphe qui apparaît pour accéder au coordonnées des points.
 - 4) Cliquer le bouton « Liste » dans la fenêtre du graphique permet d'accéder aux coordonnées de chaque pixel de la ligne tracée.
Remarque : la valeur de l'abscisse tient compte de l'étalonnage de l'échelle de l'image si celui-ci a été réalisé au préalable.

DOCUMENT 4. Fiche Technique du logiciel Regressi (traitement de données)

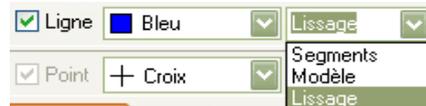
- Pour lancer *Regressi*
Cliquez sur l'icône de raccourci « Regressi » : 

- Pour préparer un tableau de données saisies au clavier
 - 1) Effectuer « Fichier » puis « Nouveau » et « Clavier ».
 - 2) Renseigner chaque ligne de la fenêtre qui apparaît :
 - nom des grandeurs, dont les valeurs seront saisies au clavier ;
 - unité. Choisir celle du système international et pas un sous multiple. Exemple : m et non km ;
 - Remarque : les lettres grecs sont accessibles par la touche Ctrl.
 - Exemple : Ctrl + Maj + w permet d'écrire Ω .
 - ne pas indiquer de minimum et de maximum.
 - 3) Cliquer « OK » une fois le nom de chaque grandeur et unité bien définies.
 - 4) Saisir les valeurs au clavier. La puissance de 10 se note « E ». Exemple : pour $2,0 \times 10^{-3}$, taper « 2E-3 ».

- Pour créer une grandeur
 - 1) Dans la fenêtre du tableur, cliquer sur l'icône « Y+ ».
 - 2) Choisir le type de grandeur (expérimentale, calculée, dérivée...) puis entrer le nom de la grandeur et son unité, pas de commentaire sauf si cela est demandé.
 - 3) Entrer la formule permettant le calcul de la nouvelle grandeur (la puissance de 10 se note "E"). Valider.

- Pour supprimer ou modifier l'expression d'une grandeur créée
 - 1) Dans la fenêtre du tableur, mettre l'intercalaire « Expressions » au premier plan.
 - 2) Supprimer ou modifier l'expression de la grandeur.
 - 3) Effectuer une mise à jour en cliquant sur l'icône  qui clignote.

- Pour afficher une courbe
 - 1) Dans la fenêtre du grapheur, cliquer sur l'icône « Coordonnées ». 
 - 2) Choisir la grandeur à placer en abscisse puis la grandeur à placer en ordonnée.
Cliquez sur  si plusieurs grandeurs doivent être en ordonnée.
 - 3) Choisir le type de tracé (points et/ou lignes : segments, modèle, lissage) et valider.



- Pour modéliser une courbe
 - 1) Dans la fenêtre du grapheur, afficher uniquement la courbe à modéliser
 - 2) Cliquer sur l'icône « Modélisation » (icône ci-contre) pour ouvrir l'encadré destiné à saisir l'expression du modèle.
 - 3) Il y a alors deux possibilités :
 - 1^{re} possibilité : dans l'encadré blanc de la fenêtre de modélisation qui apparaît, saisir au clavier l'expression du modèle. Effectuer une mise à jour en cliquant sur l'icône  qui clignote ;
 - 2^e possibilité : dans la fenêtre de modélisation qui apparaît, cliquer sur l'icône « Modèle prédéfini » et choisir parmi les neuf modèles proposés celui qui convient le mieux à la courbe que l'on souhaite modéliser puis valider.
 - 4) Ajuster.
 - 5) Les paramètres de la modélisation apparaissent (expression du modèle, valeurs numériques des coefficients, erreurs...).



- Pour accéder aux coordonnées d'un point du graphe

Dans la fenêtre du grapheur, cliquer sur la flèche  « Outils gr. » en haut à gauche pour dérouler le menu « Outils graphiques » ou « Curdeur » et choisir  Réticule .
Les coordonnées du curseur sont indiquées en bas à gauche de la fenêtre graphique.

Remarques

Pour affiner le déplacement, appuyer sur les flèches du clavier plutôt que de déplacer la souris.

Pour accéder à l'écart horizontal (de durée par exemple, si l'axe des abscisses est un axe des temps t) entre deux points, cliquer sur le point de départ, et sans relâcher la pression sur le clic gauche de la souris, aller jusqu'au deuxième point. Sans relâcher la pression, lire l'écart en bas à gauche de la fenêtre graphique (exemples : « $\delta t = \dots$ » ou « $\Delta t = \dots$ »).