

Cosmologie et relativité générale

Activités pour les élèves du Secondaire II

Alice Gasparini, Andreas Müller

- Série 1 : Grandeurs
 - Série 2 : Expansion
 - Série 3 : Principe d'équivalence
 - Série 4 : Courbure
 - Série 5 : Lentilles gravitationnelles
 - Série 6 : Trous noirs
 - Série 7 : Equations cosmologiques
 - Série 8 : Chronologie du Big Bang
 - Série 9 : Ondes gravitationnelles
-
- Activité expérimentale 1 : L'effet Doppler cosmologique
 - Activité expérimentale 2 : La courbure du cône



SwissMAP

The Mathematics of Physics
National Centre of Competence in Research



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

Didactique de la physique

©Terms of use

You are free to copy and redistribute the present material, as well as to adapt it and or build upon it in any medium or format under the following terms:

- You must give appropriate credit, provide a link to the original, and indicate if changes were made.
- You may not use the material for commercial purposes.
- If you adapt the material or build on, you must distribute your contribution under the same condition as this original

Suggested citation:

A. Gasparini (UniGE, SwissMAP) et A. Müller (UniGE, Didactique de la Physique)

Cosmologie et relativité générale : Activités pour les élèves du Secondaire II

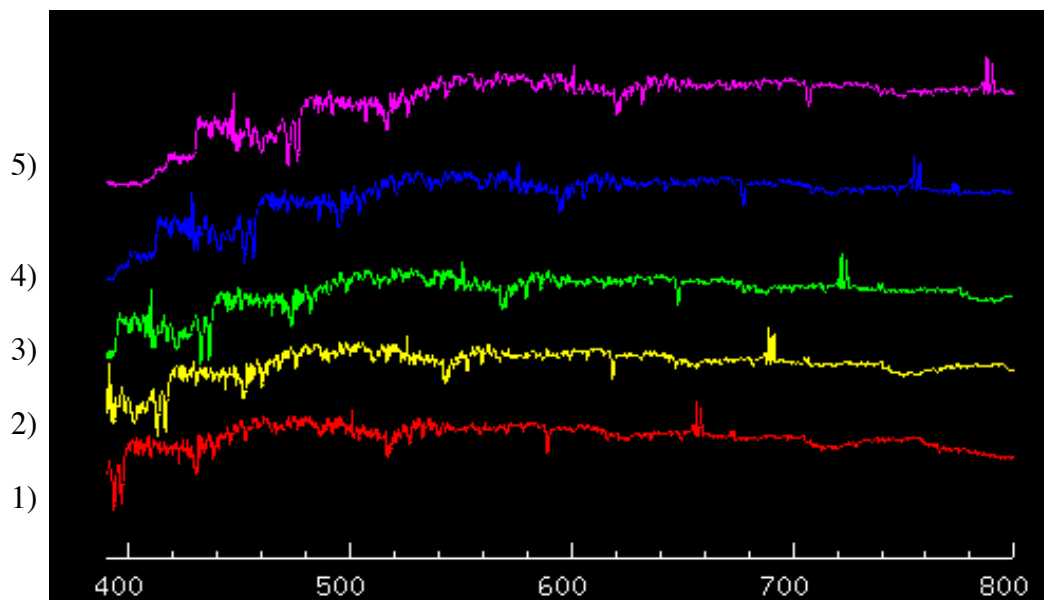
(NCCR SwissMAP/Education, Genève 2016) ; <http://www.nccr-swissmap.ch/education>

L'effet Doppler cosmologique

a) En observant les galaxies lointaines, la lumière que nous recevons est systématiquement décalée vers le rouge: les ondes que nous recevons ont toujours une longueur d'onde λ_o plus grande que celle émise par la source, λ . Expliquer pourquoi.

L'image suivante montre l'exemple d'un *spectre d'émission* typique d'un type de galaxie à des distances différentes. Il s'agit de l'intensité de radiation reçue (axe y, en [W]) pour chaque longueur d'onde (axe x, en [nm]). Du bas jusqu'en haut, on observe

- 1) Le spectre d'émission que l'on observe à la distance $r = 0\text{al}$. Celui-ci représente donc le spectre tel qu'il est à l'émission, non décalé ($\lambda_{em} = \lambda$);
- 2) Le même spectre, reçu à une distance $r = 6,0 \cdot 10^8 \text{ al}$, observé avec la longueur d'onde décalée vers le rouge ($\lambda_o > \lambda$);
- 3) Le même spectre, reçu à une distance $r = 12 \cdot 10^8 \text{ al}$;
- 4) Le même spectre, reçu à une distance $r = 18 \cdot 10^8 \text{ al}$;
- 5) Le même spectre, reçu à une distance $r = 21 \cdot 10^8 \text{ al}$.



b) En utilisant le décalage du pic d'émission le plus prononcé, celui qu'à l'émission est $\lambda \cong 650\text{nm}$, compléter le tableau suivant :

	$\lambda_o(\text{pic})$ [nm] incertitude = ... nm	$\lambda_o - \lambda$ [nm] incertitude = ... nm	$z = (\lambda_o - \lambda) / \lambda$ [-]	r [Mpc]
Pic du spectre 2)				
Pic du spectre 3)				
Pic du spectre 4)				
Pic du spectre 5)				

c) Combien de chiffres significatifs ont les données les moins précises de ce tableau ?

d) À l'aide des données du tableau, positionner sur un graphique les points correspondants du redshift (axe y) en fonction de la distance (axe x) pour ces cinq spectres.

Ne pas oublier d'indiquer le titre, les grandeurs et les unités sur les axes. Utiliser un tableur, comme Calc ou Excel.

e) Peut-on supposer qu'il existe une corrélation entre z et r ? Si oui, de quel type ?

f) Insérer une courbe de tendance dans ce graphique: une droite d'équation $y = a \cdot x + b$, avec $b = 0$ (où y correspond à z et x correspond à r). Expliquer pourquoi b doit être égal à zéro.

g) Quelle relation entre x et y (ou entre z et r) est représentée par cette droite? Quelle est la valeur numérique (avec un nombre pertinent de chiffres significatifs et la bonne unité) de la constante a dans l'équation $y = a \cdot x$ (ou $z = a \cdot r$) ? A quoi correspond elle physiquement ?

h) À partir de la réponse donnée au point g), déduire quelle relation existe entre le redshift z et la vitesse d'une galaxie v ?

i) Utiliser les relations trouvées au point g) et h) pour exprimer la loi reliant la vitesse d'une galaxie v à sa distance r avec vos données : $v = \text{constante} \cdot r$.

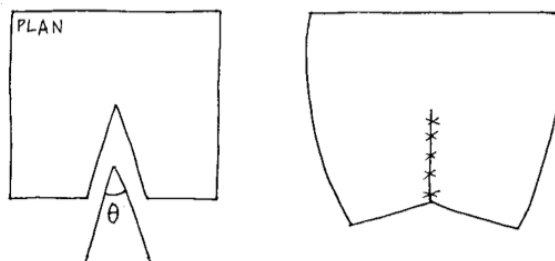
j) Quelle est la valeur numérique de cette constante (avec un nombre pertinent de chiffres significatifs et la bonne unité)? Comment interpréter ce résultat d'un point de vue cosmologique ?

La courbure du cône

Un cône est un solide avec courbure de Gauss nulle partout, sauf dans le sommet.

a) À partir d'une feuille plate, où on a préalablement tracé un quadrillage de géodésiques (de lignes droites), construire un cône de la manière suivante:

1. Dessiner un angle arbitraire θ dans le milieu de la feuille et le mesurer, (en degrés et convertir en radians).
2. Découper cet angle à l'aide de ciseaux.
3. Coller les deux bords de la feuille ainsi découpés (sans les superposer).



Crédit : http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/trou_noir.htm



b) Que peut-on dire des géodésiques parallèles sur le cône? Est-ce qu'elles convergent, divergent, ou restent parallèles? *On rappelle que les géodésiques doivent garder le même angle d'intersection avec le quadrillage de départ. Ce sont les droites du plan.*

c) En suivant les géodésiques à la surface du cône ainsi obtenu, dessiner un triangle de sorte que le sommet du cône soit à son intérieur.

d) Par la méthode du **transport parallèle**, mesurer la courbure totale K de la surface du triangle dessiné. A votre avis, existe-t-il une relation entre K et θ ?

e) Mesurer les angles internes du triangle dessiné (les appeler α , β et γ) et calculer leur somme. Quelle est la relation entre $\alpha + \beta + \gamma$ et l'angle θ ôté au point a)? Effectuer la démonstration géométrique de cette relation.

f) En utilisant les résultats trouvés aux points d) et e), donner la formule reliant la somme des angles internes d'un triangle à sa courbure totale, puis la comparer avec celle donnée dans le cours (Chapitre 4).

g) Comment changent les réponses aux points b), c), d), e) et f) si au point a) on rajoute un angle θ plutôt que l'enlever?

h) Expliquer pourquoi la courbure de Gauss du sommet d'un cône est infinie.

