

# Cosmologie Moderne 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 : Lentille gravitationnelle
  - 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



**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 Moderne et Relativité Générale : Activités pour les élèves du Secondaire II, Activité expérimentale 1 : Effet Doppler cosmologique***

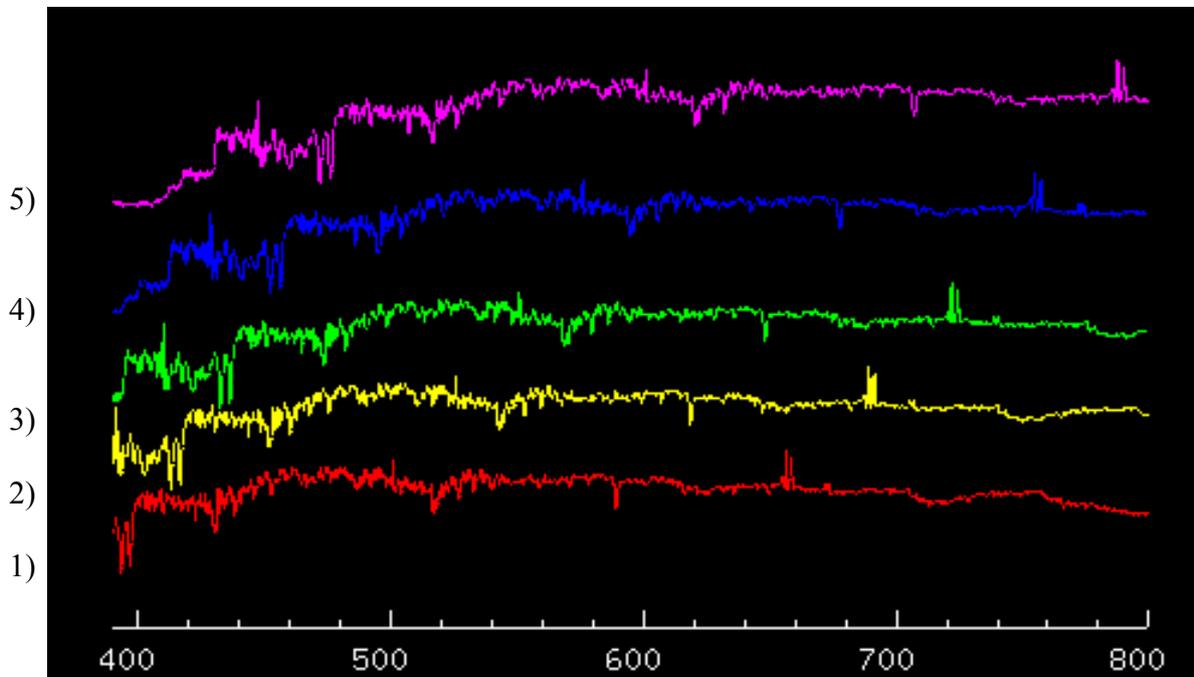
(NCCR SwissMAP/Education, Genève 2016) ; <http://www.nccr-swissmap.ch/education>

## 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  $\lambda_o$  plus grande que celle émise par la source,  $\lambda$ . Expliquer pourquoi.

L'image suivante montre l'exemple d'un spectre émission typique d'une galaxie, mais à cinq distances différentes. Il s'agit de l'intensité reçue en fonction de la longueur d'onde, mesurée en nm. Du bas jusqu'en haut :

- 1) comment il serait si observé à distance nulle, en rouge ( $\lambda_o = \lambda$ )
- 2) à une distance  $r$  de  $6,0 \cdot 10^8$  al (en jaune) ;
- 3) à une distance  $r$  de  $12 \cdot 10^8$  al (en vert) ;
- 4) à une distance  $r$  de  $18 \cdot 10^8$  al (en bleu) ;
- 5) à une distance  $r$  de  $21 \cdot 10^8$  al (en violet).



b) En utilisant le décalage du pic d'émission le plus prononcé (celui qui varie entre les 640nm et les 800nm) compléter le tableau suivant. Utiliser la notation scientifique pour les  $\lambda$  et les  $r$ .

	$\lambda_o(\text{pic})$ [nm] incertitude = ... nm	$\lambda_o - \lambda$ [nm] incertitude = ... nm	$z$ [-]	$r$ [Mpc]
Pic du spectre 1)				
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  $r$ ). Pourquoi  $b$  doit être égal à zéro ?
- g)** Quelle relation entre  $x$  et  $y$  (ou entre  $z$  et  $r$ ) est représentée par cette droite ? Qu'est-ce la constante  $a$  dans l'équation  $y = a \cdot x$  (ou  $z = a \cdot r$ ) et quelle est sa valeur numérique (avec un nombre pertinent de chiffres significatifs et la bonne unité) ?
- h)** Quelle relation existe entre le redshift  $z$  et la vitesse d'une galaxie  $v$  ?
- i)** Utiliser cette relation pour exprimer la loi reliant la vitesse d'une galaxie  $v$  à sa distance. Comment interpréter ce résultat d'un point de vue cosmologique ?

# Cosmologie Moderne 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 : Lentille gravitationnelle
  - 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 Moderne et Relativité Générale : Activités pour les élèves du Secondaire II, Activité expérimentale 2 : La courbure du cône***

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

## La courbure du cône

Nous avons vu dans l'exercice 1 qu'un cône est un solide avec courbure de Gauss nulle partout, sauf 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  $\theta$  dans le milieu de la feuille et le mesurer, (en degrés et en radians).
2. Découper cet angle à l'aide de ciseaux.
3. Coller les deux bords de la feuille ainsi découpés.

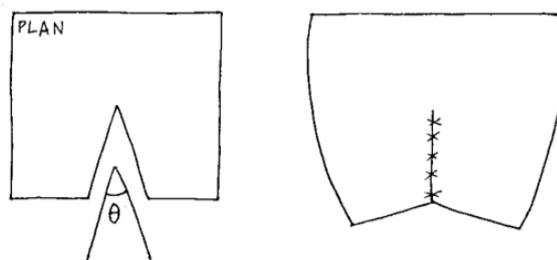


image : [http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/trou\\_noir.htm](http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/trou_noir.htm)



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. Elles 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. Quelle est la relation entre  $K$  et  $\theta$  ?

e) Mesurer les angles internes du triangle dessiné (les appeler  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ ) et calculer leur somme. Quelle est la relation entre  $\alpha + \beta + \gamma$  et l'angle  $\theta$  ôté au point a)? *Démonstration mathématique facultative.*

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 la théorie.

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

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

