

PARIS CENTRE FOR COSMOLOGICAL PHYSICS

PROJET

F3

FILLES ET  
FEMMES AUX  
FRONTIÈRES DE  
L'UNIVERS

Recueil d'articles scientifiques écrits par  
les chercheuses de demain





Quel est l'âge de l'Univers ? Pourquoi les muons se désintègrent-ils plus lentement lorsqu'ils sont en mouvement ? Epaulées par les chercheuses du laboratoire Astroparticule et Cosmologie, 15 lycéennes ont entrepris de répondre par elles-mêmes à ces grandes questions de la physique de l'Univers en reproduisant les expériences qui les ont résolues.

*Action financée par la région Ile-de-France*





# Les muons atmosphériques

M. Koundi<sup>1</sup>, Z. Oukacha<sup>1</sup>, J. Varoteaux-Lavigne<sup>2</sup>

1 Lycée plaine de neauphle ; 2 Lycée Edouard Branly

---

## ABSTRACT

*Dans cet article, nous allons étudier la désintégration des muons atmosphériques produits par la collision des rayons cosmiques et des molécules de l'atmosphère. Les muons ont une vie moyenne  $\tau = 2.2 \mu\text{s}$ . Afin de connaître le nombre de muons qui arrivent au niveau de la mer, une expérience a été réalisée. Des mesures ont été effectuées tous les 100 mètres, du haut d'une montagne, depuis une altitude de 2000 m jusqu'au niveau de la mer. A l'aide de ces données nous avons construit des tableaux excels et obtenu des graphiques. Les valeurs obtenues ne coïncidaient pas avec le tau théorique. Nous avons alors émis plusieurs hypothèses. La théorie de la relativité restreinte d'Einstein nous a permis d'expliquer la différence obtenue.*

---

### 1. Introduction

Il y a plus d'un siècle, des physiciens observaient une fine pluie de particules venant du cosmos [1]. Ce sont les rayons cosmiques qui, en entrant en collision avec les noyaux des molécules de l'atmosphère, produisent des cascades de particules. Parmi les produits de ces désintégrations se trouvent les muons. Le muon est une particule élémentaire de charge négative. Il a presque les mêmes particularités physiques que l'électron, mis à part sa masse, qui est 200 fois plus importante. Il se forme dans les hautes couches de l'atmosphère, à une altitude d'environ 10 000 à 20 000 m. Les muons ont une durée de vie moyenne finie de 2,2 milliardièmes de seconde/ $\mu\text{s}$ . Ils se désintègrent naturellement selon la loi de désintégration radioactive. Certains plus rapidement, d'autres plus lentement [2].

### 2. Sujet de l'étude

Dans cette étude nous cherchons à calculer combien de muons atmosphériques arrivent sur Terre (au niveau de la mer), et à comparer ce résultat avec les prédictions théoriques.

### 3. Méthode

Nous avons mesuré l'afflux de muons sur 10 secondes tous les 100 mètres (de 2000 à 0 mètres). Ces données sont répertoriées dans un tableau excel représentant les flux de muons en fonction de la distance.

### 4. Analyse des données

Après avoir retranscrit toutes ces informations dans notre tableau, nous avons calculé le temps de vol des muons. Nous savons que la vitesse de la lumière

est de 300 000 km/s. La vitesse des muons est de l'ordre de la vitesse de la lumière (99,52% soit 298 000 km/s), soit légèrement inférieure à la vitesse de la lumière. Pour calculer leur temps de vol, nous avons utilisé la formule  $v = d/t$ , avec  $t = 0,999 \cdot 300 \mu\text{s}$ . Pour cette partie, le flux de muons a été multiplié par 10 s, afin d'avoir le nombre total de muons récoltés (Tab. 1).

Temps vol ( $\mu\text{s}$ )	No Muons (Flux * 10)
0	10013,5
0,3336670003	9895,3
0,6639973307	9768,9
0,997664331	9667,2
1,331331331	9528,1
1,651651652	9462,2
1,998665332	9352,2
2,332332332	9209,4
2,665999333	9119
2,986319653	9024,6
3,333333333	8882,5
3,653653654	8788,4
4,000667334	8695,9
4,334334334	8616,3
4,668001335	8478,2
5,001668335	8415,7
5,335335335	8325,3
5,655655656	8233,8
6,002669336	8104,8
6,336336336	8028,4
6,673340007	7918,8

Tab. 1 Numéro de muons mesuré par rapport à leur temps de vol en microsecondes.

Finalement, nous avons représenté ces données dans le graphique en Fig. 1.

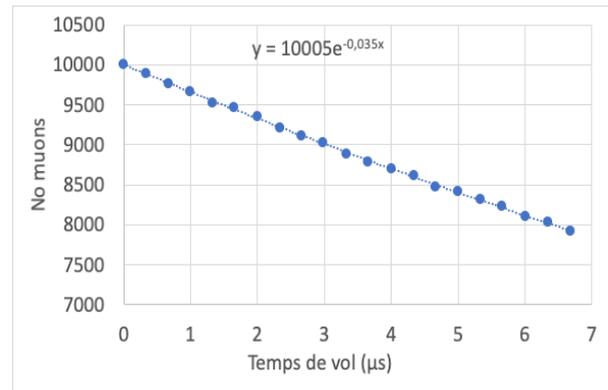


Fig. 1 Représentation du nombre de muons présents en fonction du temps de vol.

## 5. Résultats et conclusions

Nous voulons connaître le nombre de muons atmosphériques qui arrivent au niveau de la mer et calculer leur temps de vie moyen  $\tau$ .

Les muons se désintègrent selon la loi de la désintégration radioactive  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ , où  $N_0$  est le numéro de muon à  $t = 0$ ,  $\lambda = 1/\tau$ . On trace donc la courbe des tendances exponentielles. On trouve  $\lambda = 0,035 \mu\text{s}^{-1}$ , ce qui nous donne un tau  $\tau = 28,57 \mu\text{s}$ . Le tau théorique était de 2,2 microsecondes. La différence constatée entre ces deux valeurs de tau nous a incitées à nous remettre en question car elle était trop élevée pour être due au hasard. Nous nous sommes alors demandé s'il était possible que des muons aient été formés sur les 2000 m, par exemple par désintégration. Nous nous sommes également demandé si le nombre de muons initialement présents pouvait avoir un impact. Enfin, nous avons remis en question nos mesures, notamment la calibration, ainsi que les calculs que nous avons effectués.

Pour comprendre ces différences, il faut en fait prendre en compte la théorie de la relativité restreinte d'Einstein. C'est la formule sur la dilatation du temps qui

permet de les expliquer. Il affirme que le temps est relatif et dépend du mouvement de l'observateur. Ainsi, pour un observateur au repos, la durée de vie du muon en mouvement, dont la vitesse s'approche de celle de la lumière, va paraître plus longue qu'elle ne l'est actuellement.

### Remerciements

Nous remercions la Région Ile-de-France pour le financement du projet F3 - Filles et Femmes au Frontières de l'Univers. Nous souhaitons aussi remercier le Labex UnivEarths et le Fonds de dotation RFPU pour leur soutien financier. Nous souhaitons également remercier nos professeurs du lycée de La Plaine de Neauphle, Mme. Belhaddad qui nous a encouragés à participer à ce projet, et du lycée Edouard Branly, notamment M. Reset, qui nous ont fait découvrir ce projet. Enfin nous remercions Ariane Mureau ainsi que Giulia Vannoni qui nous ont accompagnées tout au long de cette expérience très enrichissante.

### Bibliographie

- [1] [Vidéo Youtube : "Les rayons cosmiques", Livres et Science](#)
- [2] [Site web : "Muons", Wikipedia](#)



# Combien de muons atmosphériques arrivent sur Terre ?

S. Adam<sup>1</sup> , Oumaima Brighich<sup>2</sup>, L. Ouchaou-Amroussi<sup>3</sup>, M. Saf Saf<sup>2</sup>

1 Lycée Edouard Branly ; 2 Lycée de la plaine de Neauphle ; 3 Lycée polyvalent de Cachan

---

## ABSTRACT

*Dans cet article nous allons présenter une mesure de la vie moyenne des muons atmosphériques. Ces particules sont créées lors de l'interaction des rayons cosmiques avec l'atmosphère de la Terre. Nous allons discuter de notre résultat en le comparant avec la vie moyenne des muons mesurée en laboratoire. Nous allons montrer que ces deux mesures ne sont pas contradictoires si l'on prend en compte la théorie de la relativité.*

---

### 1. Introduction

En août 1912, le physicien autrichien Victor Hess fit un vol en montgolfière historique, qui ouvrit de nouvelles perspectives pour l'étude de la matière dans l'Univers. En montant à une altitude de 5 300 mètres, il mesura le taux d'ionisation dans l'atmosphère et découvrit que celui-ci était trois fois plus élevé qu'au niveau de la mer [1]. Il en conclut qu'un rayonnement pénétrant entraînait dans l'atmosphère depuis le ciel. En fait, il avait découvert les rayons cosmiques. Aujourd'hui, on sait que les rayons cosmiques sont des particules chargées venant de l'extérieur de la terre. En arrivant dans l'atmosphère, ils engendrent des cascades de particules au moment où ils rencontrent les molécules de l'atmosphère [2]. Parmi les produits de cette collision des rayons

cosmiques avec les particules de l'atmosphère, on compte les muons, qui sont des particules fondamentales. Les muons se désintègrent avec un temps de vie moyen de  $\tau = 2,2 \mu\text{s}$  [3].

### 2. Sujet de l'étude

Dans cette étude, nous chercherons combien de muons atmosphériques arrivent sur Terre (au niveau de la mer). Nous allons aussi discuter des résultats obtenus.

### 3. Méthode

Nous avons utilisé un détecteur que nous avons placé à 2000 mètres d'altitude puis tous les 100 mètres environ, jusqu'au niveau de la mer. A chaque prise de données, nous avons mesuré le flux de muons (nombre de muons par secondes) pendant 10 secondes.

#### 4. Analyse des données

Une fois les données recueillies, nous avons calculé le temps de vol en utilisant la formule  $t = d/v$ , avec la vitesse  $v$  qui est égale à la vitesse des muons. Nous estimons que la vitesse des muons est égale à  $0,999c$ , où  $c$  est la vitesse de la lumière, c'est à dire  $3,0 \cdot 10^8$  m/s. La distance  $d$  correspond à la distance parcourue par les muons. Nous avons également cherché à connaître le nombre de muons. Pour ce faire, nous avons multiplié le flux de muons par 10 puisque les données étaient recueillies sur 10 secondes.

Temps vol ( $\mu s$ )	No Muons (Flux * 10)
0	10013,5
0,3336670003	9895,3
0,6639973307	9768,9
0,997664331	9667,2
1,321321321	9528,1
1,651651652	9462,2
1,998665332	9352,2
2,332332332	9209,4
2,665999333	9119
2,986319653	9024,6
3,333333333	8882,5
3,653653654	8788,4
4,000667334	8695,9
4,334334334	8616,3
4,668001335	8478,2
5,001668335	8415,7
5,335335335	8325,3
5,655655656	8233,8
6,002669336	8104,8
6,336336336	8028,4
6,673340007	7918,8

Tab. 1 Muons détectés et leur temps de vol.

Nous avons ainsi obtenu différentes données que nous avons représentées graphiquement (voir Fig. 1) :

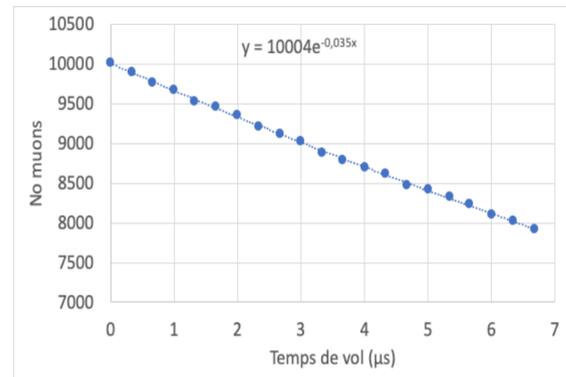


Fig. 1 Muons détectés en fonction de leur temps de vol.

Nous avons tracé la courbe de tendance qui correspond le mieux aux données recueillies. On obtient ainsi une valeur  $\tau = 28,7 \mu s$ .

#### 5. Résultats et conclusions

Nous constatons un décalage entre la valeur de tau mesurée dans cette expérience et la valeur connue  $\tau = 2,2 \mu s$ . Avec une vie moyenne de  $2,2 \mu s$  nous nous attendions à une quantité de muons beaucoup plus faible arrivant au niveau de la mer : 483 muons au lieu de 7918.

Le seul moyen d'expliquer cette quantité de muons au sol est de considérer le déplacement des muons au regard de la relativité restreinte. La relation établie par Einstein est la suivante :

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

où  $t'$  est le temps mesuré dans le référentiel du muon,  $t$  est le temps mesuré à terre,  $v$  est la vitesse du muon et  $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide.

En faisant les calculs permettant de quantifier le nombre de muons au sol du point de vue relativiste, nous retrouvons

bien la quantité de muons créés dans la haute atmosphère. Cette prédiction est en accord avec les mesures expérimentales. En effet, dans notre expérience, les muons que l'on considère et qui se désintègrent dans le scintillateur sont des muons se déplaçant à une vitesse proche de celle de la lumière. Cela a lieu également dans le cas des accélérateurs de particules comme celui de Genève, le Grand collisionneur de hadrons. Les physiciens travaillent aussi sur des faisceaux accélérés, pour lesquels ils sont obligés de corriger les mesures qu'ils font d'un rayon, afin de tenir compte de la vitesse des particules lorsqu'elles se désintègrent [4].

#### Remerciements

Nous remercions la Région Ile-de-France pour le financement du projet F3 - Filles et Femmes au Frontières de l'Univers. Nous souhaitons aussi remercier le Labex UnivEarths et le Fonds de dotation RFPU pour leur soutien financier. Nous remercions également le lycée de la Plaine de Neauphle, en particulier Mme Belhaddad qui nous a proposé ce stage. Nous remercions aussi le lycée Édouard Branly de Nogent sur Marne et plus particulièrement Mr Reset, professeur de physique-chimie. Enfin, nous remercions le lycée polyvalent de Cachan et Mr Henry qui a insisté pour que l'une des autrices puisse participer à ce stage.

#### Bibliographie

[1] [Site web : "Rayons cosmiques : particules de l'espace", CERN](#)

[2] ["Cosmic ray measurements in the atmosphere", Y.I. Stozhkov, N.S. Svirzhevsky, and V.S. Makhmutov Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia](#)

[3] ["Particle Physics Booklet". Review of Particle Physics](#)

[4] [Site web : "Muons relativistes et dilatation du temps". Inspiring Science](#)



# Estimation de l'âge de l'Univers grâce à la constante de Hubble

S. Gauvin<sup>1</sup>, N. Ibrahim<sup>2</sup>, F. Rudowski<sup>3</sup>

1 Lycée Louise Michel ; 2 Lycée polyvalent de Cachan ; 3 Lycée Édouard Branly

---

## ABSTRACT

*Dans les années 20, Edwin Hubble s'intéressait à ces points lumineux étendus qu'il pouvait observer dans le ciel. Ses travaux l'ont mené à découvrir que l'Univers est en expansion, découverte qui a bouleversé la conception de l'Univers de l'homme. A travers cet article, notre objectif est de vérifier les travaux de Hubble. D'abord, nous allons voir comment ont été déterminées expérimentalement les magnitudes apparentes et les décalages des raies H et K du calcium dûs à l'effet Doppler pour 6 galaxies différentes. Ensuite, nous allons chercher à comprendre comment la distance et la vitesse de chaque galaxie ont été déduites de ces valeurs. Nous présenterons alors le diagramme de Hubble obtenu à partir duquel la constante de Hubble et l'âge de l'Univers ont pu être déterminés. Enfin, nous finirons par discuter des résultats obtenus.*

---

### 1. Introduction

Dans l'Antiquité, les astronomes notaient les étoiles par rapport à leur magnitude apparente. La première étoile observée à la tombée de la nuit a une magnitude apparente de 1. Cette magnitude dépend de la distance par rapport à la Terre et de la luminosité intrinsèque de l'étoile [1].

Les découvertes sur le ciel n'ont cessé d'évoluer au cours des siècles. Par exemple, un scientifique du nom de Vesto Slipher avait commencé à observer les spectres d'étoiles et de galaxies encore inconnues chez les scientifiques. En comparant les spectres caractéristiques

sur Terre, il observe un décalage vers le rouge de certaines longueurs d'ondes caractéristiques [2].

Dans les années 1920, Edwin Hubble s'interroge sur des points lumineux et plus étendus que certaines étoiles. Les scientifiques concluent que ces points brumeux sont des nébuleuses, des nuages stellaires où les étoiles naissent.

Hubble se questionne sur la distance de certaines étoiles et décide d'observer des nébuleuses avec le télescope Hooker. Ces mesures lui révèlent l'existence

d'autres galaxies. À cette époque, les Hommes pensaient qu'il n'existait qu'une galaxie, la leur. En reprenant les travaux de Vesto Slipher et en les étudiant avec comme appui les différentes galaxies, Hubble découvre que l'Univers est en expansion.

Nos scientifiques ont voulu vérifier les travaux d'Edwin Hubble.

## 2. Sujet de l'étude

Dans cet article, les autrices vont reproduire les travaux de Hubble sur l'expansion de l'Univers. Elles donneront aussi une estimation de l'âge de l'Univers.

## 3. Méthode

Le télescope optique est un instrument de mesure qui permet d'observer les étoiles, les nébuleuses ou encore les galaxies. Il est mis sur "finder", instrument suivant la rotation de la Terre. Pour étudier des objets célestes, il faut connaître leur longitude et leur latitude précises. Toutes ces données nous apportent des réponses à nos questions sur l'Univers.

Dans l'observatoire du Chili, grâce au télescope et au spectromètre, une équipe de scientifiques a pu observer 6 galaxies de différentes magnitudes dans différentes zones sélectionnées du ciel. Pour chaque galaxie, ils ont obtenu leur spectre respectif.

Il s'agissait alors de déterminer les positions des raies d'absorption H et K du calcium sur chaque spectre pour ensuite les comparer avec celles obtenues en laboratoire. Nos scientifiques ont observé des spectres très intéressants. Au début, à cause des signaux de bruit, ils avaient beaucoup de difficultés à observer les spectres. Il leur a donc fallu recueillir de nombreux photons pour mieux lire les

longueurs d'onde des raies d'absorption. Ils ont constaté que les raies d'absorption de l'hydrogène et du calcium ne se trouvaient pas à la même longueur d'onde que celles sur Terre. Ils ont ainsi pu observer un décalage vers le rouge. Les travaux de Doppler ont pu expliquer ces étranges observations. Prenons un exemple simple, une ambulance émettant un signal propage des ondes dans le milieu. Lorsqu'elle est immobile, le son perçu est constant. Mais lorsqu'elle se déplace et qu'elle s'éloigne de nous, les sons nous paraissent plus graves. Les longueurs d'onde qui nous parviennent s'éloignent de plus en plus de nous. C'est pour cela que la fréquence perçue est inférieure à la fréquence émise.

Pour ce même effet (appelé effet Doppler), le décalage des longueurs d'onde nous apporte de l'information sur la vitesse de l'objet observé.

Le spectromètre permet également de mesurer la magnitude apparente de chaque galaxie en prenant en compte le nombre de photons reçus. On parle de magnitude apparente puisqu'il s'agit de la luminosité de l'objet telle qu'elle nous apparaît dans le ciel depuis la Terre, sachant que plus l'objet est éloigné moins il nous paraît lumineux. La magnitude absolue diffère alors de la magnitude apparente puisque l'on détermine la luminosité de sans prendre en compte sa distance vis-à-vis de la Terre. Les scientifiques ont ainsi pu relever les magnitudes apparentes de chaque galaxie, dans l'objectif de les comparer avec leur magnitude absolue. Les données extraites de chaque spectre, c'est-à-dire les longueurs d'onde des raies K et H et les magnitudes apparentes, ont ensuite été notées sur une feuille de calcul pour pouvoir être analysées.

#### 4. Analyse des données

De retour dans leur laboratoire, nos scientifiques ont commencé à analyser les données recueillies, l'objectif étant de déterminer la distance en Mpc de chaque galaxie ainsi que leur vitesse en km/s.

Dans un premier temps, il a fallu déterminer la distance de chaque galaxie en utilisant leur magnitude apparente et absolue. Pour ce faire, nos scientifiques ont utilisé l'équation suivante :

$$\log D = (m - M + 5)/5$$

où D est la distance de la galaxie, M sa magnitude absolue et m sa magnitude apparente.

Sachant que  $D = 10^{\log D}$ , on obtient la distance de chaque galaxie en parsecs (pc), que l'on peut aussi avoir en mégaparsecs (Mpc). Les données obtenues ont été rassemblées dans le tableau ci-dessous (Tab. 1) :

Nom galaxie	Mag abs M	No photons	Mag app m	Distance (pc)	Distance (Mpc)
36747	-22	250566	15,6	331131121,5	331,1311215
NGC4874	-22	541005	12,9	95499258,6	95,4992586
51976	-22		17,9	954992586	954,992586
NGC7499	-22		14,1	165958690,7	165,9586907
54876	-22		16	398107170,6	398,1071706
NGC4889	-22		12,5	79432823,47	79,43282347

Tab. 1 Tableau présentant les magnitudes et les distances des galaxies étudiées.

Ensuite, les scientifiques ont calculé les vitesses des galaxies en km/s en se basant sur l'effet Doppler. Ils ont également déterminé les décalages des longueurs d'onde K et H à partir des longueurs d'onde des raies mesurées en laboratoire, soit  $L_H = 396,8$  nm et  $L_K = 393,4$  nm, et de celles observées sur les spectres en utilisant les équations suivantes :

$$\Delta L_H = L_H \text{ measured} - L_H \text{ lab}$$

$$\Delta L_K = L_K \text{ measured} - L_K \text{ lab}$$

Il a alors été possible de déterminer les vitesses pour chaque longueur d'onde à l'aide des formules suivantes :

$$V_H = c \cdot \Delta L_H / L_H$$

$$V_K = c \cdot \Delta L_K / L_K$$

Pour obtenir la vitesse moyenne de chaque galaxie, il faut calculer la moyenne des deux valeurs de vitesse obtenues.

Les résultats obtenus lors de cette étape d'analyse de données sont répertoriés dans le tableau ci-dessous (Tab. 2) :

Nom galaxie	Raie H $\lambda_H$ mes	Raie K $\lambda_K$ mes	$\Delta \lambda_H$	$\Delta \lambda_K$	$V_H$	$V_K$	Vitesse moyenne
36747	4166	4127	198	193	14969,76	14717,83	14843,80125
NGC4874	4063	4026	95	92	7182,457	7015,761	7099,109859
51976	4486	4444	518	510	39163,3064	38891,7132	39027,50986

					5	7	
					116	116	
					43,1	67,5	
NGC7	412	408			451	139	11655,3
499	2	7	154	153	6	8	2957
					207	206	
					91,3	65,9	
	424	420			306	888	20728,6
54876	3	5	275	271	5	2	5973
					680		
					4,43	640	
NGC4	405	401			548	5,69	6605,06
889	8	8	90	84	4	395	4717

Tab. 2 Tableau présentant les longueurs d'ondes K et H et les vitesses des galaxies étudiées.

Tout d'abord, on peut remarquer que les longueurs d'onde des raies sont décalées vers le rouge et donc que la fréquence perçue est de plus en plus petite par rapport à la fréquence émise. Les galaxies s'éloignent donc toutes de nous dans toutes les directions. Nos scientifiques en tirent une première conclusion : l'Univers s'étend.

A ce stade de leur expérience, les scientifiques approchent du résultat final puisqu'ils disposent enfin de toutes les données nécessaires au tracé du diagramme de Hubble. Après que les distances et vitesses des galaxies aient été répertoriées dans un tableau, un graphique de la vitesse des galaxies en km/s en fonction de leur distance en Mpc a pu être obtenu. C'est ce graphique que l'on appelle le diagramme de Hubble (Fig. 1).

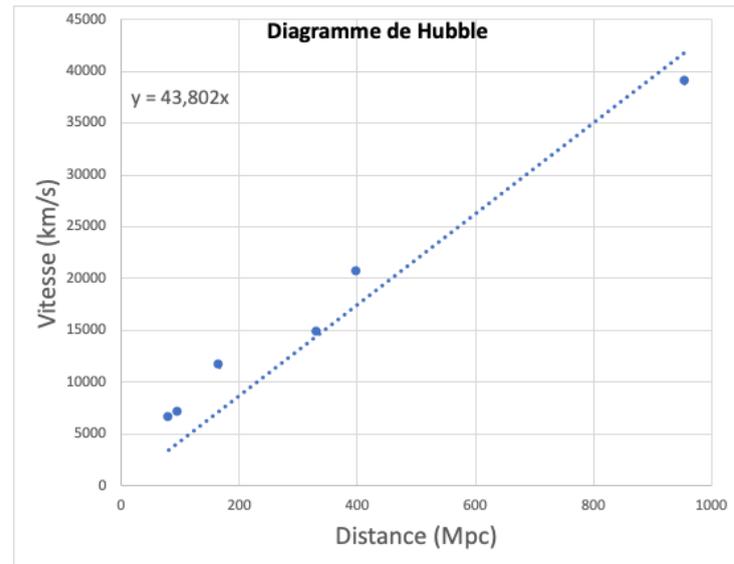


Fig. 1 Diagramme de Hubble.

La constante de Hubble  $H_0$  en km/Mpc/s correspond donc à la pente de la droite linéaire obtenue et passant par l'origine.

La constante de Hubble permet de déterminer l'âge de l'Univers. Pour ce faire, il faut considérer la fonction réciproque de la constante de Hubble qui a les unités d'un temps pour estimer l'âge de l'univers  $T$  tel que :

$$T = 1/H_0$$

Il ne reste qu'à régler le problème des unités, puisque  $H_0$  se mesure en km/Mpc/s alors que l'on souhaite déterminer l'âge de l'Univers en années. C'est en utilisant ces deux facteurs de conversion :  $1 \text{ Mpc} \sim 3.1 \times 10^{19} \text{ km}$  et  $1 \text{ an} \sim 3.1 \times 10^7 \text{ s}$  que les scientifiques peuvent atteindre leur but : estimer l'âge de l'univers en années.

## 5. Résultats et conclusions

En suivant l'analyse présentée au point précédent, les scientifiques ont estimé la constante de Hubble à 43.80 km/s/Mpc. Grâce à cette donnée, ils ont pu calculer l'âge de l'Univers : 23 milliard d'années.

D'autres expériences avec d'autres méthodes ont estimé l'âge de l'Univers à 13.8 milliard d'années [3]. Le décalage entre ces deux estimations n'est pas étonnant. En effet, les valeurs des fréquences trouvées par les scientifiques avec leur spectromètre n'étaient pas fiables, l'erreur de pointage étant trop importante. Cette inexactitude explique ce décalage entre la valeur estimée par les scientifiques et la valeur obtenue avec une méthode différente.

### Remerciements

Nous remercions la Région Ile-de-France pour le financement du projet F3 - Filles et Femmes au Frontières de l'Univers. Nous souhaitons aussi remercier le Labex UnivEarths et le Fonds de dotation RFPU pour leur soutien financier. Nous remercions également nos professeurs et nos établissements de nous avoir permis de participer à ce stage enrichissant et peut-être déterminant dans l'orientation de nos études supérieures. Pour finir, nous aimerions, plus particulièrement, remercier Giulia Viannoni et Ariane Mureau, qui nous ont apporté des connaissances sur l'Univers, conduit aux mesures de la constante d'Hubble et de l'âge de l'Univers, en nous considérant comme de vraies scientifiques.

### Bibliographie

[1] Site web :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Magnitude\\_absolue](https://fr.wikipedia.org/wiki/Magnitude_absolue)

[2] Site web :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Vesto\\_Slipher](https://fr.wikipedia.org/wiki/Vesto_Slipher)

[3] Site web :

[https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/France/Planck\\_revele\\_un\\_Univers\\_perfekte](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/France/Planck_revele_un_Univers_perfekte)



# La constante de Hubble, au plus proche du commencement

M. Cordier<sup>1</sup>, L. Monfopa<sup>2</sup>, A. Sritharan<sup>3</sup>

1 Lycée Polyvalent de Cachan ; 2 Lycée Internationale de Saint Germain en Laye ;  
3 Lycée Louise Michel de Champigny

---

## ABSTRACT

Le Big-Bang est un phénomène connu de tous, du moins l'est son nom. L'expansion accélérée de l'Univers y est associée et on imagine alors trous-noirs, étoiles et galaxies s'éloigner de nous de plus en plus rapidement. Cette vision de l'Univers démarre avec les observations de Hubble, qui mesure pour la première fois la relation entre la vitesse d'éloignement des galaxies et leur distance par rapport à nous. La constante reliant ces deux variables porte son nom. Il s'agit ici de refaire ses travaux et de retrouver cette constante qui, appliquée à l'expansion déjà produite, nous permettra de retrouver l'âge approximatif de l'univers.

---

### 1. Introduction

On observe depuis un siècle déjà que les galaxies s'éloignent en tout point les unes des autres. On imagine alors, en remontant le temps, qu'il y ait eu une "origine" de l'Univers, contenue dans un point dense, avant que tout ne se dilate - phénomène qu'on a baptisé Big-Bang.

Ces dernières années, les astrophysiciens ont montré un intérêt croissant pour les travaux de Hubble. De grands progrès techniques ont été faits et on a pu approfondir les travaux de Hubble ainsi que les démontrer.

### 2. Sujet de l'étude

Dans cet article nous chercherons à retrouver la constante de Hubble et, grâce à celle-ci, à retrouver l'âge approximatif de l'Univers.

### 3. Méthode

Avec une simulation sur ordinateur d'un télescope optique, nous avons observé 6 différentes galaxies dans le ciel. En pointant les centres des galaxies (qui émettent plus de lumière), nous avons calculé leur vitesse d'éloignement, à l'aide de l'effet Doppler. Plus précisément, c'est en observant le décalage des raies H et K du calcium que nous avons pu retrouver leur vitesse d'éloignement.

Enfin, grâce à nos mesures de magnitude apparente des galaxies, nous avons pu calculer leur distance.

Nous exprimerons la distance des galaxies proches en Mpc (mégaparsecs), et la magnitude apparente (m), sans unité.

#### 4. Analyse des données

Nous présentons les données recueillies, les passages de l'analyse, les graphiques et les résultats numériques.

Les caractéristiques des galaxies observées (distance et magnitude apparente) nous permettent de dresser un graphique représentant la vitesse d'éloignement des différentes galaxies (km/s) en fonction de leur distance d'éloignement (Mpc).

En supposant que l'expansion de l'Univers est valable tout le temps et en tout point, elle devrait donc suivre une loi d'ordre 1, modélisée par une droite passant par l'origine (car à distance nulle on ne s'éloigne pas de nous-même, donc la vitesse d'éloignement est également nulle). Nous mesurons donc les redshifts des raies H et K des spectres, et nous en déduisons la vitesse de la source, selon la formule [1] :

$$v = c\Delta\lambda/\lambda$$

où  $v$  est la vitesse de la galaxie,  $c$  la vitesse de la lumière et  $\lambda$  la longueur d'onde de la raie.

La distance des galaxies est obtenue en comparant la magnitude apparente et la absolue, selon la formule [2]:

$$\log D = (m - M + 5)/5$$

Nous obtenons finalement le graphique en Fig. 1:

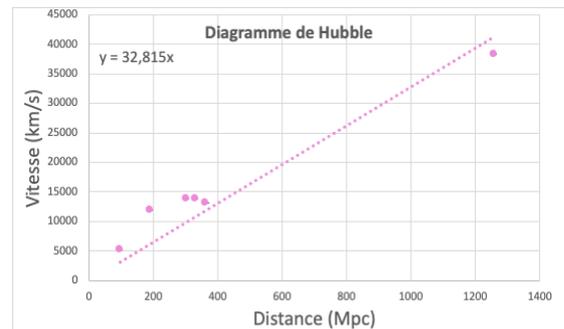


Fig. 1 Vitesse des galaxies en fonction de leur distance.

Nous choisissons de passer par 0.0 avec la distance ( $d$ ) égale à 0 et la vitesse ( $v$ ) à 0 également, tout en sachant que Hubble n'avait pas la liberté de le faire.

Comme nous sommes en train de reporter des mesures, nous faisons l'hypothèse que les estimations sont en lien avec l'expansion de l'Univers.

De ce fait, si l'on se prend soi-même comme référentiel : on ne bouge pas par rapport à soi-même et on n'a aucune vitesse donc on ne s'éloigne pas de soi-même

#### 5. Résultats et conclusions

En résumant la question initiale, nous présentons ici les résultats quantitatifs. Nous allons ensuite discuter de leur interprétation et de nos conclusions.

Grâce à nos données, nous obtenons une estimation de  $H_0 = 32,8 \text{ km/sec/Mpc}$ . Nous pouvons donc estimer l'âge de l'Univers comme  $T = 1/H_0$  et obtenir :

$T = 30$  milliards d'années.

Avec d'autres expériences et d'autres mesures, nous trouvons des valeurs

différentes allant de 13,4 à 14 milliards d'années.

La différence peut être expliquée par nos erreurs de mesure. On aurait pu obtenir des résultats plus précis à condition que les galaxies étudiées soient plus éloignées les unes des autres, puisque les galaxies choisies étaient très rapprochées. Comme nos mesures ont des erreurs importantes, l'incertitude augmente si les galaxies sont trop proches.

### Remerciements

Nous remercions la Région Ile-de-France pour le financement du projet F3 - Filles et Femmes aux Frontières de l'Univers. Nous souhaitons aussi remercier le Labex UnivEarths et le Fonds de dotation RFPU pour leur soutien financier. Nous remercions également les lycées de Cachan, Louise Michel de Champigny et le lycée Internationale de Saint Germain en Laye, ainsi que nos professeur.e.s de physique-chimie M. Henry, Mme. Lucide, Mme. Couanon et M. Agostino qui nous ont permis de découvrir ce dispositif féminin dans un domaine passionnant, et évidemment Giulia Vannoni, Ariane Mureau, Yvonne Becherini, Daniele Steer, Sylvie Blin et toutes les autres chercheuses, ingénieures, laborantines, informaticiennes, professeures... qui font des métiers extraordinaires et indispensables, qui ont inspiré, inspirent et inspireront beaucoup de filles et de femmes, qui repousseront encore longtemps les frontières connues de l'univers.

### Bibliographie

[1]

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet\\_Doppler](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Doppler)

[2]

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Magnitude\\_absolue](https://fr.wikipedia.org/wiki/Magnitude_absolue).

