



Aventures CosmoVerse

Matière Noire



En classe

Introduction: L'insaisissable matière noire



Figure 1: La planète de nuit. L'image a été générée en utilisant l'algorithme NASA VIIRS DNB.

[Clicker pour voir l'image globale avec une résolution à 3 km.](#)

Professeur :

(Éteint les lumières de la classe, allume un projecteur affichant une carte du monde de nuit) Commençons aujourd'hui par un simple exercice d'observation. Que voyez-vous sur cette carte?

Élève 1 :

C'est la Terre la nuit. On peut voir certaines villes illuminées.

Professeur :

Exactement, et qu'en est-il des zones sans lumières ? Que nous indiquent-elles?

Élève 2 :

Il pourrait s'agir d'océans, de forêts, de déserts... des endroits non habités?



Professeur :

Tout à fait ! Cette carte est tout comme notre compréhension de l'univers. La lumière vous donne quelques indices, mais il y a beaucoup de choses que nous ne pouvons pas voir, des êtres humains aux chaînes de montagnes. Nous devons déduire ce qui s'y trouve à partir de ces indices limités.



Élève 3 :

Vous voulez dire qu'il y a dans l'univers plus de choses que ce que nous pouvons voir?



Professeur :

Beaucoup plus. La cosmologie est un domaine qui incite à l'humilité. Nous ne sommes qu'une infime partie d'un cosmos gigantesque. Notre planète orbite autour d'une étoile parmi des centaines de milliards d'autres dans une galaxie qui fait partie de centaines de milliards d'autres. Et pourtant, tout cela, tout ce qui compose les étoiles, les planètes et même nous-mêmes, ne représente qu'environ 5 % de la masse et de l'énergie totales de l'univers. C'est ce que nous appelons la matière baryonique ou matière ordinaire. (Voir figure 2).

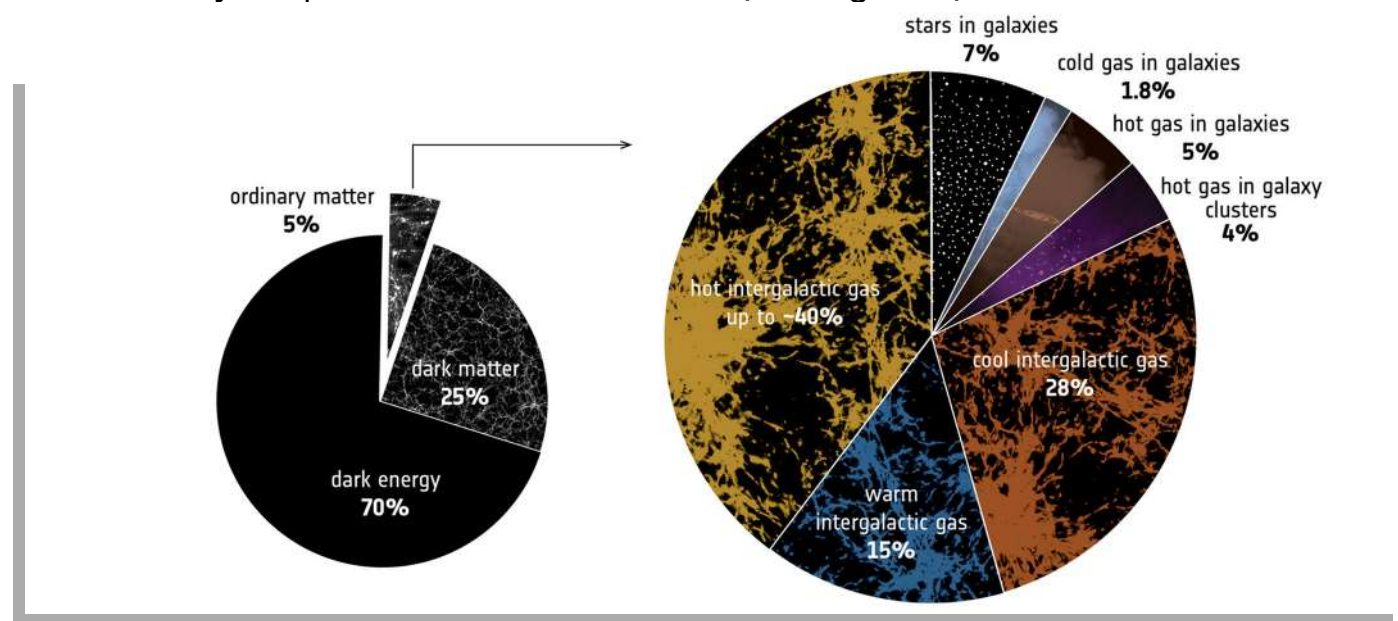


Figure 2: La matière noire et l'énergie noire constituent 95 % de notre univers ; les 5 % restants sont constitués de matière ordinaire appelée baryons, dont la plupart sont restés cachés jusqu'à récemment. Les scientifiques ont maintenant découvert une grande partie de la matière intergalactique qu'ils n'avaient jamais vue auparavant. Source: ESA.



Élève 4 :

Seulement 5 % ? De quoi est composé le reste?



Professeur :

C'est là que commence notre voyage dans l'invisible. Le reste, soit 25 %, est constitué d'une matière qui n'émet ni n'absorbe la lumière. Nous l'appelons « matière noire ». Bien qu'elle puisse sembler abstraite ou lointaine, elle est plus proche que vous ne le pensez. En fait, des particules de matière noire pourraient traverser notre corps à l'instant même où nous parlons ! Les 70 % restants sont constitués de quelque chose appelé « énergie noire », que nous explorerons dans une autre aventure CosmoVerse!

 Élève 1 :

La matière noire nous traverse ? Comment se fait-il que nous ne la sentions pas?

 Professeur :

La matière noire est insaisissable. Elle n'interagit pas avec la lumière ni avec aucune forme de rayonnement électromagnétique, y compris les ondes radio et les micro-ondes. Elle est invisible et totalement intangible pour nous. Nous sommes tous comme des navires naviguant dans une mer de matière noire, inconscients de sa nature.

 Élève 2 :

Si elle est invisible et n'interagit pas avec la lumière, comment savons-nous qu'elle existe?

 Professeur :

C'est là tout l'intérêt. Nous déduisons son existence à partir des effets gravitationnels qu'elle exerce sur les objets que nous pouvons voir. La gravité de la matière noire attire les étoiles et les galaxies, influençant leur mouvement d'une manière que nous pouvons mesurer.

 Élève 3 :

C'est comme sentir le vent sur son visage même si on ne le voit pas?

 Professeur :

Excellente analogie ! Et tout comme nous utilisons le vent pour naviguer, les galaxies utilisent la matière noire pour rester cohérentes lorsqu'elles tournent. Sans matière noire, l'univers tel que nous le connaissons n'existerait pas.

 Élève 4 :

La matière noire pourrait-elle faire partie de l'univers depuis le Big Bang?

 Professeur :

C'est possible, c'est l'un des scénarios les plus répandus. Maintenant, préparons-nous à une quête céleste avec notre ami cosmique Quark pour observer des matières très sombres issues directement du Big Bang.



Le vaisseau spatial de l'imagination

La matière noire dans l'univers primitif

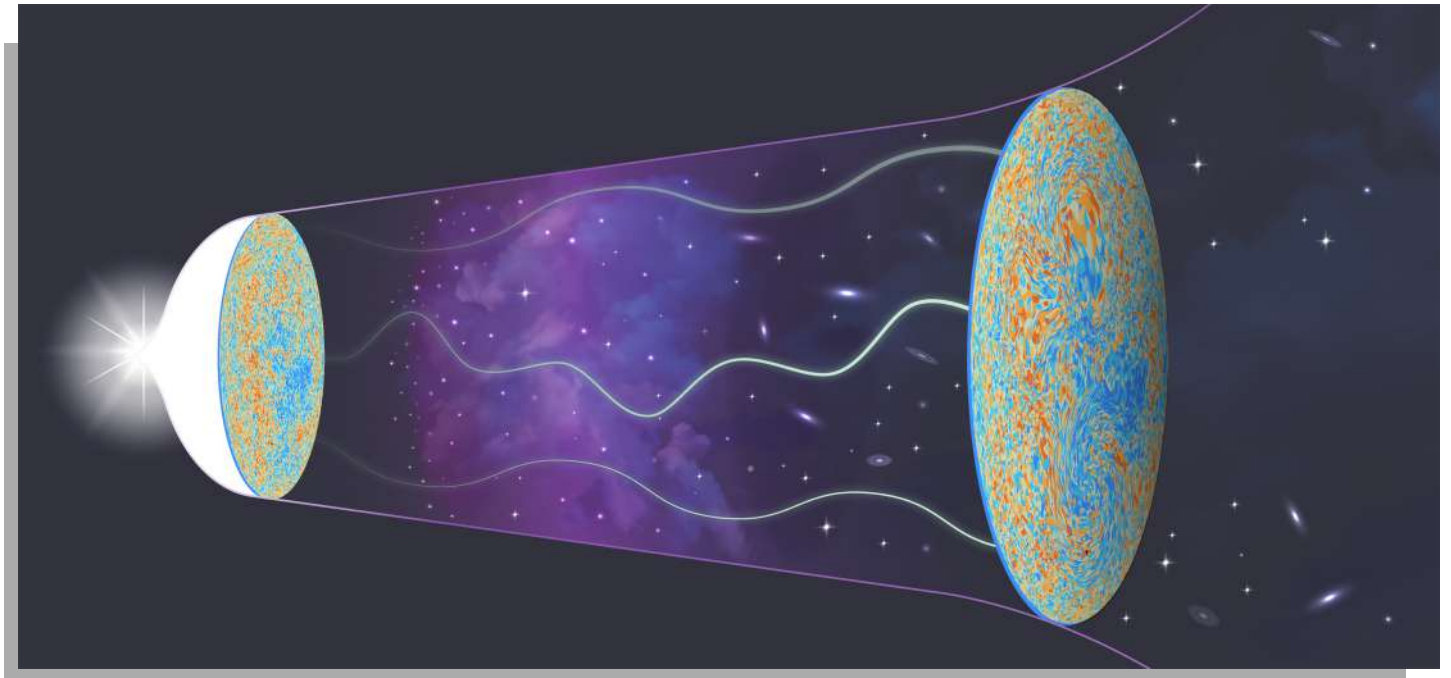


Figure 3: Fond diffus cosmologique (CMB). Source: Lucy Reading-Ikkanda/Simons Foundation.



Quark :

Bon, chers élèves, remontons dans le temps jusqu'à juste après le Big Bang. Vous vous souvenez de ce que nous avons vu lors de notre dernier voyage?



Élève 1 :

L'univers était tout petit au début, puis il s'est étendu très, très rapidement!



Quark :

Exactement ! L'univers était minuscule, puis — pouf ! — il s'est étendu plus vite que tout ce que vous pouvez imaginer. De quoi était-il rempli ? Quelqu'un s'en souvient-il?



Élève 2 :

Il était rempli d'énergie et de minuscules particules, dont certaines étaient des quarks!



Quark :

Tout à fait ! Maintenant, j'ai quelque chose de nouveau à ajouter. La mécanique quantique nous apprend que la matière est créée et détruite en permanence, à chaque instant. À cette époque, l'univers s'étendait si rapidement que la matière créée ne pouvait pas être détruite.

 Élève 3 :

Donc, tout ce qui nous compose, y compris la matière noire, a été créé à ce moment-là?

 Quark :

Oui, c'est ça ! Avançons un peu dans le temps, après la création de la matière, après la formation des protons, des neutrons et des atomes d'hydrogène, environ 400 000 ans après le Big Bang.

 Élève 4 :

Oh ! C'est à ce moment-là que l'espace s'est enfin suffisamment refroidi pour que la lumière puisse passer et que nous puissions voir le fond diffus cosmologique (CMB)!

 Quark :

C'est exact. L'univers était comme une soupe épaisse, lisse mais avec de minuscules grumeaux. Ces minuscules grumeaux sont extrêmement importants parce que...

 Élève 3 :

C'étaient les endroits où il faisait un peu plus chaud, et c'est là que la gravité a commencé à faire son œuvre, attirant davantage de matière et créant les premières étoiles, n'est-ce pas?

 Quark :

Exactement ! Et ces premières étoiles se sont regroupées pour former de minuscules galaxies. Au cours de milliards d'années, ces minuscules galaxies se sont heurtées et ont fusionné pour former des galaxies plus grandes, comme notre Voie lactée.

 Élève 1 :

Mais que fait la matière noire pendant tout ce temps?

 Quark :

Ah, c'est l'ingrédient secret ! Les amas que nous voyons dans le CMB sont trop petits pour avoir eu suffisamment de force gravitationnelle et attirer la matière afin de former de grandes structures comme les galaxies, mais si cette matière normale était accompagnée de matière noire, ces premiers amas auraient eu suffisamment d'attraction gravitationnelle pour créer l'univers que nous voyons aujourd'hui.

 Élève 2 :

C'est comme quand on fait des sucres d'orge, le sucre a besoin de quelque chose à quoi s'accrocher (la ficelle) pour se transformer en cristaux.

 Quark :

Excellente analogie ! La matière noire est comme une colle invisible. Regardez ces deux univers, côte à côte. Que voyez-vous dans l'univers qui contient de la matière noire ? (See figure 4)

Élève 2 :

Vous voyez que les choses s'agglutinent rapidement!

Quark :

Exactement, dans un univers contenant de la matière noire, les agglomérats de matière peuvent se développer pour former des galaxies. Maintenant, si nous observons un univers contenant peu de matière noire...

Élève 4 :

Il semble que rien ne se passe. Les agglomérats sont trop petits et ne se développent pas.

Quark :

Encore une fois, vous avez tout à fait raison ! Sans matière noire, l'univers serait très ennuyeux : pas de Voie lactée, pas de Soleil, pas de nous. La matière noire est le héros méconnu qui rend notre univers intéressant et notre existence possible. Gardons cela à l'esprit alors que nous nous aventurons plus profondément dans le cosmos!

Élève 3 :

C'est intéressant ! Donc, le fond diffus cosmologique est l'une des preuves qui soutiennent l'existence de la matière noire, y en a-t-il d'autres?

Quark :

Absolument! Il existe d'autres indices qui suggéraient la présence de matière noire bien avant que nous puissions avoir une vue d'ensemble. Et tu sais quoi? Nous avons la chance d'apprendre auprès d'une personne qui a joué un rôle essentiel dans cette découverte. Prépare-toi à rencontrer la légendaire astronome Vera Rubin, qui a mis au jour la danse cosmique qui suggérait l'existence de la matière noire.



Figure 4: À gauche, un modèle d'univers rempli de matière noire, et à droite, un modèle d'univers dépourvu de matière noire. Source: Mao, Wechsler & Kaehler / Stanford & SLAC.



Rencontre avec un chercheur

L'effet de la matière noire



Quark :

Bienvenue, les élèves! Aujourd'hui, nous avons l'honneur de rencontrer une personne vraiment spéciale dans notre voyage cosmique. Accueillons chaleureusement l'astronome Vera Rubin.



Vera Rubin :

Bonjour, jeunes explorateurs! Je suis ravie de vous accompagner dans votre aventure pour comprendre l'univers.



Élève 1 :

Mme Rubin, nous avons entendu dire que vous aviez fait une découverte surprenante au sujet des galaxies. Pouvez-vous nous en dire plus?



Vera Rubin :

Bien sûr! Dans les années 60 et 70, j'ai passé beaucoup de temps à étudier les galaxies spirales, comme notre Voie lactée. Je m'intéressais particulièrement à leur rotation, car celle-ci nous en apprend beaucoup sur leur masse.



Élève 2 :

Comment cela fonctionne-t-il? Est-ce comme ce que nous avons appris sur les planètes proches du Soleil, qui se déplacent plus rapidement?



Vera Rubin :

Vous êtes sur la bonne voie. Kepler et Newton nous ont appris que plus une planète est éloignée du Soleil, plus son orbite est lente. Je m'attendais à trouver quelque chose de similaire dans les galaxies, c'est-à-dire que les parties extérieures se déplacent plus lentement que les parties intérieures.

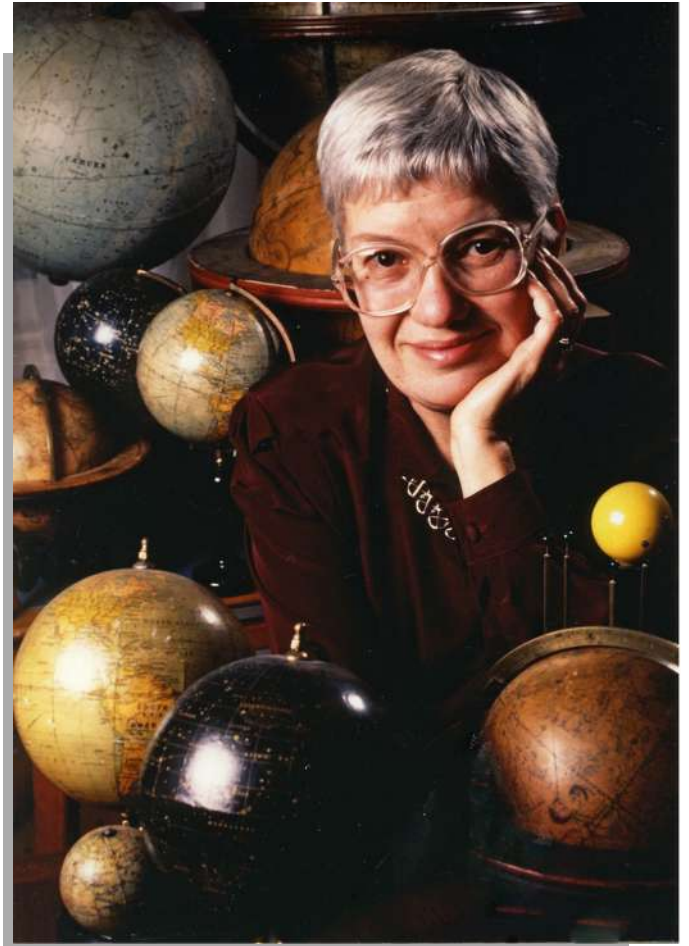


Figure 5: Vera C. Rubin. Source: Mark Godfrey (photographie).

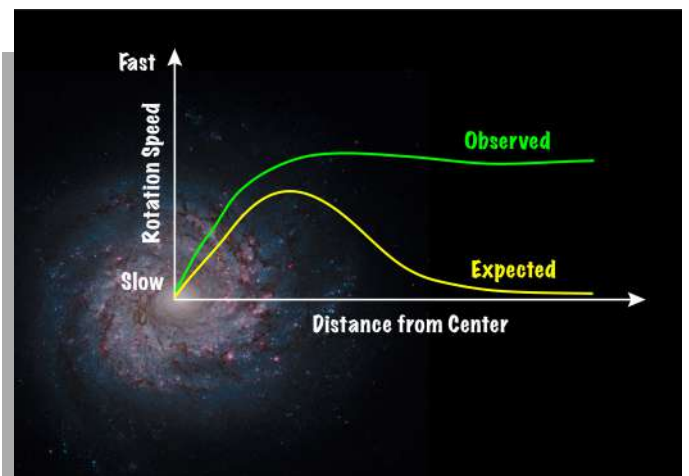


Figure 6: Courbe de rotation prévue et observée d'une galaxie spirale. La matière noire est nécessaire pour expliquer la courbe de vitesse de rotation « plate », même pour les étoiles situées à très grande distance du centre galactique. Source: www.resonance.is.

 **Élève 3 :**

Mais ce n'est pas ce que vous avez découvert, n'est-ce pas ?

 **Vera Rubin :**

Exactement, c'était tout le contraire. Si vous regardez le graphique représentant la vitesse de rotation des différentes parties d'une galaxie en fonction de leur distance par rapport au centre, vous vous attendriez à ce que la vitesse de rotation diminue : plus on s'éloigne, plus la rotation devrait être lente. Mais au contraire, nous observons que la vitesse de rotation ne diminue pas.

 **Élève 3 :**

Qu'est-ce que cela signifie ?

 **Vera Rubin :**

Cela signifie que les nuages de gaz situés à la périphérie des galaxies se déplaçaient aussi vite, voire parfois plus vite, que les parties plus proches du centre, ce qui implique que l'attraction gravitationnelle est la même dans toute la galaxie. Cela était déroutant, car il semblait y avoir moins d'étoiles et moins de masse à cet endroit.

 **Élève 4 :**

Alors, comment avez-vous expliqué ce que vous observiez ?

 **Vera Rubin :**

Eh bien, si nous ne tenions compte que de la matière visible (étoiles, gaz et poussière), mes observations n'avaient aucun sens. Mais s'il existait une matière invisible, cela pouvait expliquer la forte gravité qui attirait les nuages de gaz.

 **Quark :**

Et c'est là que la matière noire entre en jeu, n'est-ce pas ?

 **Vera Rubin :**

Exactement. L'idée est que les galaxies sont entourées d'un halo de matière noire, invisible pour nous, mais dont la force gravitationnelle est suffisante pour influencer la rotation des galaxies. En fait, mes observations suggéraient qu'il pourrait y avoir cinq fois plus de matière noire que de matière visible dans les galaxies.

 **Élève 1 :**

Pourquoi l'appelle-t-on « matière noire » ?



Vera Rubin :

Le terme « matière noire » a en fait été inventé par un autre astronome, Fritz Zwicky, dans les années 1930 (voir figure 7). Il étudiait l'amas de Coma, un amas massif de galaxies, et il remarqua quelque chose d'étrange.



Élève 2 :

Qu'a-t-il remarqué?



Vera Rubin :

Zwicky examina la vitesse de chaque galaxie au sein de l'amas de Coma (voir figure 8) et constata qu'elles étaient si élevées qu'elles dépassaient la vitesse d'échappement de l'amas. Cela signifiait que l'amas aurait dû être instable et se désagréger, alors que ce n'était clairement pas le cas.



Élève 4 :

Il a donc pensé qu'il y avait de la matière invisible à l'intérieur?



Vera Rubin :

Exactement. Il en a conclu qu'il devait y avoir une grande quantité de masse invisible au sein de l'amas qui le maintenait ensemble grâce à la gravité. Cette matière invisible est ce qu'il a appelé « dunkle Materie », qui signifie « matière noire » en allemand. Cependant, les données de Zwicky comportaient de grandes incertitudes et d'autres physiciens étaient sceptiques.



Quark :

Nous vous remercions pour vos explications, Mme Rubin. Maintenant, chers élèves, passons de la théorie à la pratique. Il est temps de retourner au Labo Actif, où nous mènerons des expériences pour explorer les effets gravitationnels de la matière noire. Préparez-vous à voir cette force invisible à l'œuvre!

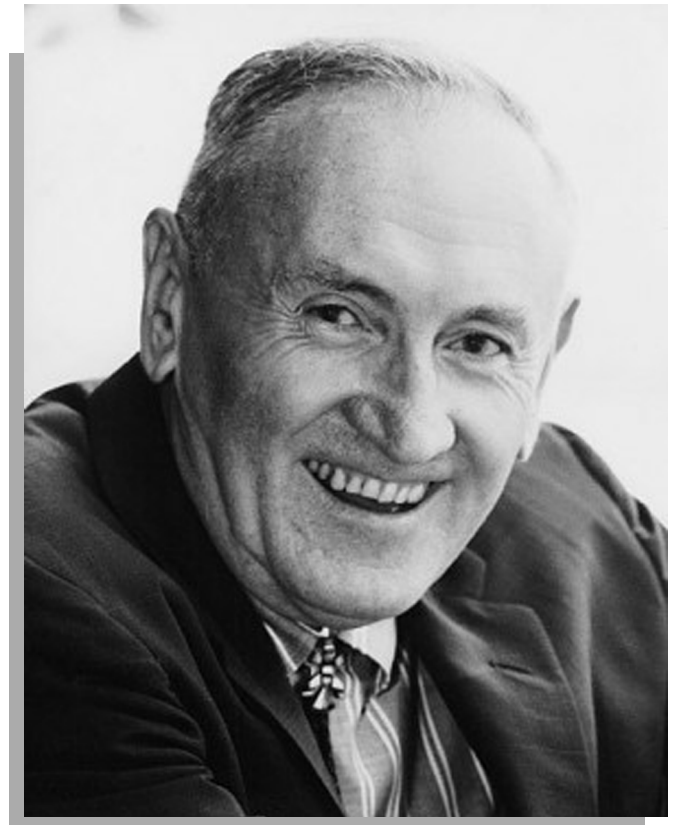


Figure 7: Fritz Zwicky. Source: totallyhistory

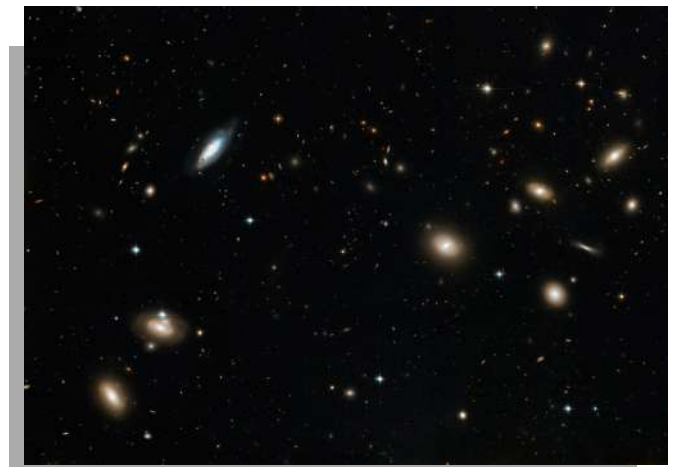


Figure 8: Amas de Coma, s'étendant sur plusieurs millions d'années-lumière. L'amas sphérique entier mesure plus de 20 millions d'années-lumière de diamètre et contient des milliers de galaxies. Source: NASA, ESA, et the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

[Lien vers l'image en haute résolution](#)



Labo actif

Demo: Les effets de la lentille gravitationnelle



Objectif :

Comprendre et observer les effets de la lentille gravitationnelle comme preuve de l'existence de la matière noire.



Temps de préparation : 5 minutes



Temps pour l'activité : 10 minutes



Matériel nécessaire :

- Lentille ou base d'un verre à vin (figure 9).
- Impression sur toile de l'image du Champ ultra-profond de Hubble (figure 10).
- Papier millimétré.



Observation :

- Dessinez un grand point sur le papier millimétré. Demandez aux élèves de placer le verre à vin sur le papier millimétré et d'observer comment il déforme à la fois la grille du papier millimétré et le point.
- Si le point est centré sous le verre à vin, ils devraient voir un anneau. S'il n'est pas centré, ils devraient voir des arcs.
- Placez la lentille ou la base du verre à vin sur l'impression sur toile. Observez les distorsions des images sous le verre.



Figure 9: base d'un verre à vin sur du papier millimétré

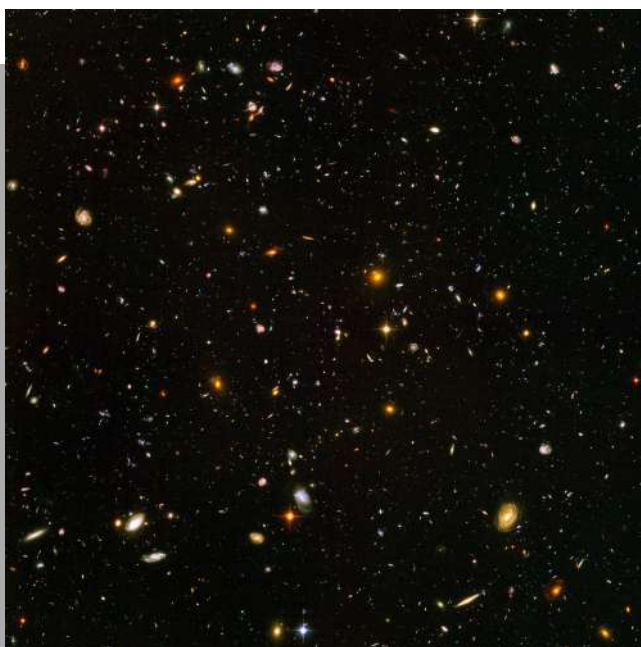


Figure 10: Impression sur toile du Champ ultra-profond de Hubble

Démonstration et discussion :

Professeur :

Aujourd'hui, nous allons réaliser une expérience fascinante pour comprendre comment la matière noire influence la lumière. Nous avons ici une lentille et une impression sur toile du Champ ultra-profond de Hubble. Que se passe-t-il lorsque nous plaçons la lentille dessus?

Élève 1 :

L'image semble déformée, comme étirée et courbée.

Professeur :

Exactement! C'est similaire à l'effet de lentille gravitationnelle dans l'espace. Imaginez la lumière qui traverse l'univers depuis une galaxie lointaine. S'il n'y a rien sur son chemin, la lumière nous parvient directement. Mais que se passe-t-il s'il y a un amas de galaxies — et de matière noire — entre nous et la galaxie lointaine?

Élève 2 :

Vous voulez dire que la matière noire courberait la lumière?

Professeur :

C'est exact ! La théorie de la relativité générale d'Einstein, comme vous l'avez appris précédemment, nous enseigne que les objets massifs courbent la structure de l'espace-temps, y compris la lumière. Ainsi, lorsque la lumière provenant d'une galaxie lointaine passe à proximité d'un objet massif, tel qu'un amas de galaxies rempli de matière noire, elle se courbe.

Élève 3 :

Nous voyons donc la galaxie à un endroit différent de celui où elle se trouve réellement?

Professeur :

Tout à fait. Si la galaxie, l'amas et nous sommes parfaitement alignés, nous voyons ce qu'on appelle un anneau d'Einstein, un cercle parfait de lumière similaire à celui que vous avez vu lorsque le point était centré sous la base du verre à vin. Mais lorsque vous avez déplacé la lentille ou la base du verre sur le côté, l'anneau s'est divisé en arcs.

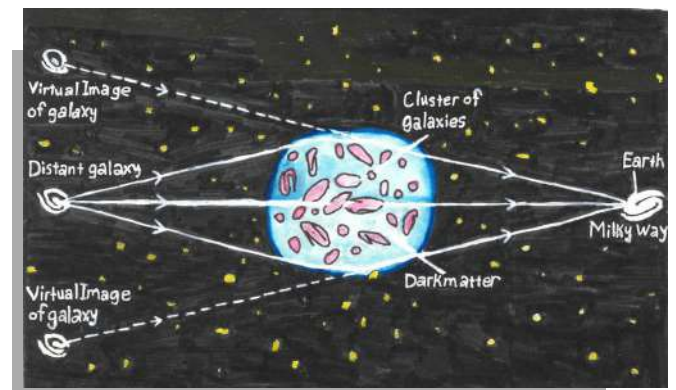


Figure 11: Lentille gravitationnelle d'une galaxie lointaine due à un amas galactique proche. Illustration de Mikayla Kauinana.



FFigure 12: Effet de lentille gravitationnelle. Source: NASA. Pour voir l'animation, suivez ce [lien](#).

 **Élève 4 :**

Et ces arcs nous indiquent où se trouve la matière noire?

 **Professeur :**

Exactement. En analysant les arcs, nous pouvons cartographier la matière noire dans l'amas, même si nous ne pouvons pas la voir directement. C'est ce que font les astronomes avec les galaxies et les amas réels dans l'espace. Ils utilisent les distorsions pour « voir » la matière noire.

 **Élève 1 :**

C'est comme être un détective cosmique, trouver des indices dans la lumière!

 **Professeur :**

Tout à fait ! Les astronomes ont étudié un phénomène incroyable appelé « Bullet Cluster » (Amas de la Balle). Il se trouve à environ 3,5 milliards d'années-lumière et consiste en deux amas de galaxies en collision. Lorsque des galaxies entrent en collision, elles ont tendance à se traverser comme des fantômes. Mais dans les amas, entre les galaxies, il y a d'énormes quantités de gaz, de sorte que le gaz des deux amas entre effectivement en collision et devient incroyablement chaud. Tellement chaud, en fait, que le gaz émet des rayons X.

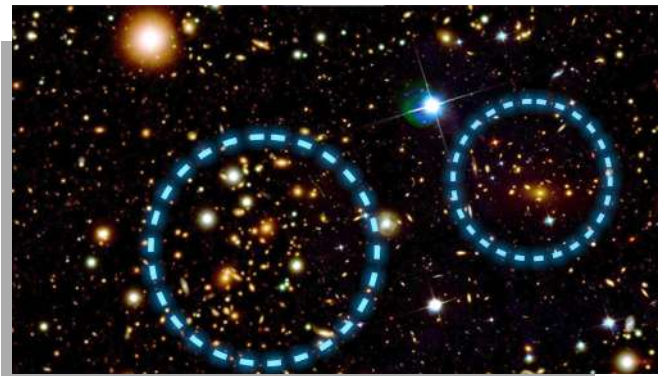


Figure 13: l'Amas de la Balle, un site où deux amas de galaxies sont entrés en collision. Source: Veritasium.

 **Élève 4 :**

Donc, s'ils émettent des rayons X, cela signifie que nous pouvons les voir?

 **Professeur :**

Exactement, et ils utilisent des observatoires comme Chandra, qui détecte les rayons X, pour voir le gaz chaud. Dans l'Amas de la Balle, ils ont trouvé le gaz exactement là où on s'y attendait, entre les galaxies en collision.

 **Élève 3 :**

Qu'est-ce que cela nous apprend sur la matière noire?

 **Professeur :**

Grâce à l'effet de lentille gravitationnelle, les astronomes peuvent localiser précisément où se trouve la masse. Il s'avère qu'elle n'est pas au milieu avec le gaz, mais plutôt répartie sur les côtés.

 **Élève 2 :**

Donc, la matière noire n'est pas ralentie comme le gaz, car elle n'interagit pas avec lui, c'est bien ça?

Professeur :

Exactement ! La matière noire n'interagit ni avec le gaz ni entre elle-même, elle continue donc simplement à se déplacer, ce qui signifie qu'il y a plus de gravité là où il y a moins de matière visible. Cela implique que la majeure partie de la masse, celle qui provoque l'effet de lentille, est constituée de matière noire.

Élève 1 :

C'est incroyable ! Donc, on peut « voir » la matière noire grâce à la façon dont la gravité affecte la lumière autour d'elle?

Professeur :

Exactement ! C'est comme l'ombre de la matière noire dans l'espace, invisible mais détectable grâce à son attraction gravitationnelle sur la lumière. Cette observation de l'Amas de la Balle est l'une des meilleures preuves dont nous disposons de l'existence de la matière noire.

Élève 4 :

Nous avons vu les effets de la matière noire à travers l'effet de lentille gravitationnelle, mais je me demande toujours de quoi elle est composée.

Professeur :

Les théories sur la nature de la matière noire vont du microscopique au massif. Il pourrait s'agir de minuscules particules plus petites que tout ce que nous connaissons, ou de grands objets ayant la masse de cent soleils.

Élève 2 :

Comment les scientifiques font-ils de la recherche sur quelque chose d'aussi insaisissable?

Professeur :

Ils font preuve de créativité. Une méthode consiste à utiliser des détecteurs souterrains dans des mines, où ils espèrent capter une particule de matière noire laissant une trace lorsqu'elle entre en collision avec un matériau dense. Ces particules sont appelées particules massives à interaction faible (WIMP pour "Weakly Interacting Massive Particles" en anglais).

Élève 3 :

Et pourquoi ne pas chercher dans l'espace?

Professeur :

Bonne remarque. Les astronomes scrutent également le ciel à la recherche de signes de collision entre particules de matière noire et de libération de lumière à

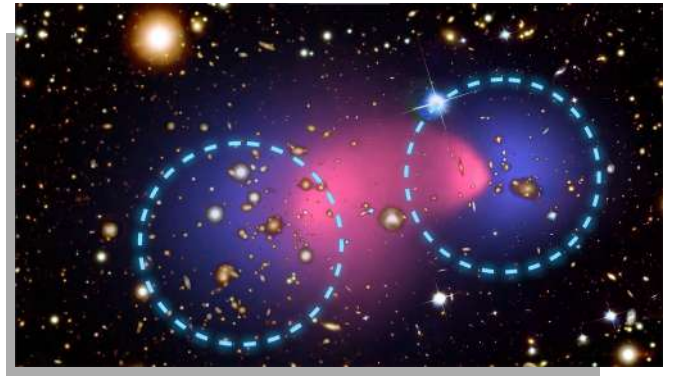


Figure 14: Lorsque les amas sont entrés en collision, tout ce gaz s'est retrouvé coincé au milieu, mais la matière noire est passée à travers, créant ainsi le plus grand effet de lentille gravitationnelle. Source: Veritasium

haute énergie, que des télescopes gamma spéciaux peuvent détecter. Les objets astrophysiques compacts massifs (MACHO pour “Massive Compact Halo Object” en anglais), tels que les trous noirs et les étoiles à neutrons, qui émettent peu ou pas de rayonnement, pourraient également être des candidats potentiels pour la matière noire.

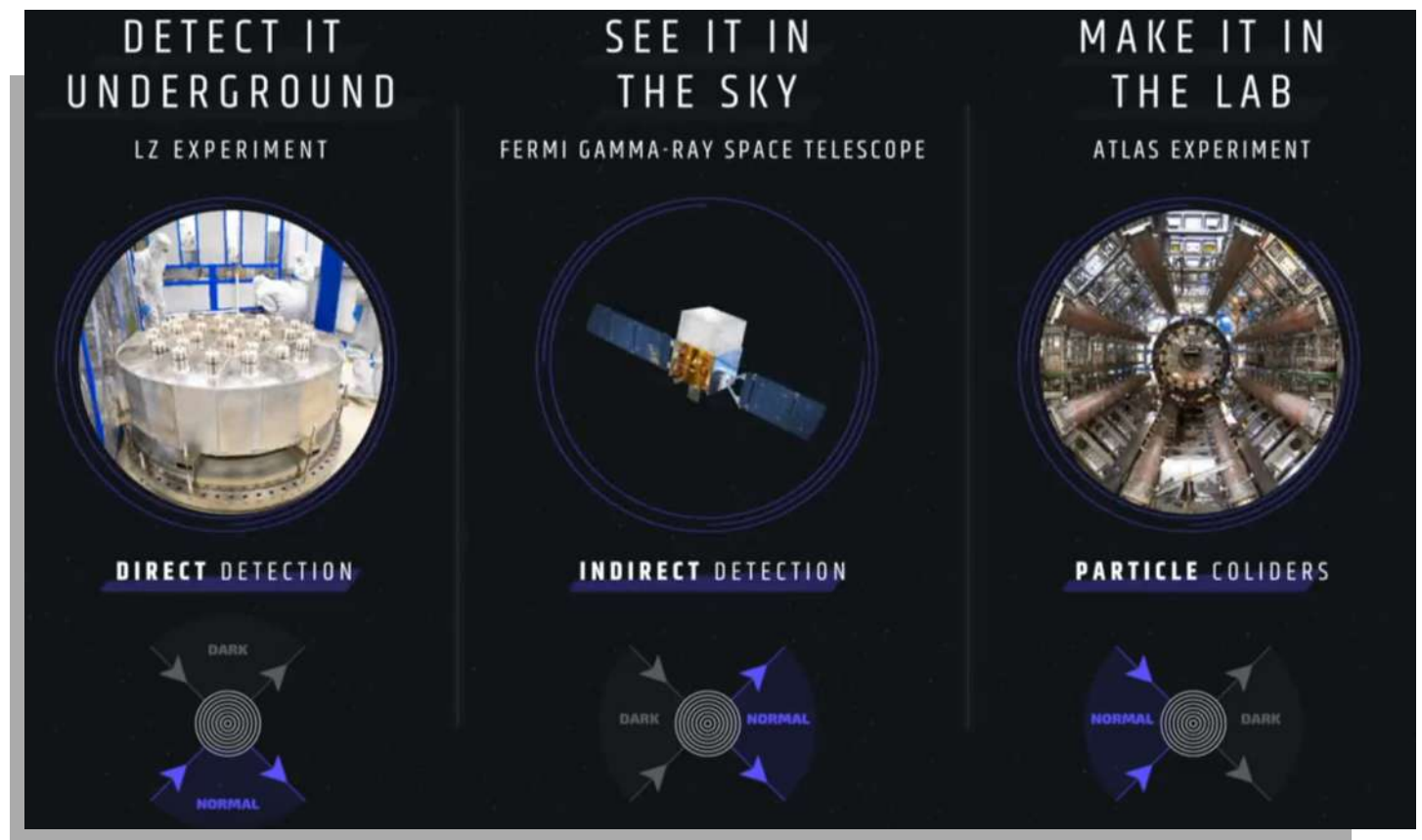


Figure 15: A la recherche de la matière noire. Source: Risa Wechsler.



Élève 4 :

Pourrions-nous créer de la matière noire ici, sur Terre?



Teacher :

C'est un autre domaine d'exploration. À l'aide d'accélérateurs de particules comme le Grand collisionneur de hadrons, les scientifiques tentent de créer de la matière noire en faisant entrer des particules en collision et en observant les conséquences.



Élève 1 :

Ont-ils déjà réussi?



Teacher :

Pas tout à fait. Jusqu'à présent, ces expériences nous ont beaucoup appris sur ce que la matière noire n'est pas. Mais le mystère de ce qu'elle est reste entier. La recherche de la matière noire est plus qu'une simple chasse à un autre composant cosmique ; c'est un voyage qui pourrait redéfinir notre compréhension de la physique et de notre place dans l'univers. C'est une quête passionnante et illimitée qui continue de captiver les scientifiques et les astronomes amateurs. Pour ceux qui souhaitent approfondir leurs connaissances dans ce vaste domaine, la section Bibliothèque cosmique offre un véritable trésor de connaissances qui n'attend qu'à être exploré.



Bibliothèque Cosmique (en anglais)



Videos :

[Shedding light on dark matter](#)
[The Absurd Search For Dark Matter](#)
[What Is Dark Matter? An Astrophysicist Explains](#)
[Dark Matter: Crash Course Astronomy](#)
[A Beginner's Guide to Dark Matter](#)
[Dark matter: The matter we can't see - James Gillies](#)
[Is Dark Matter Made of Particles?](#)
[The search for dark matter -- and what we've found so far](#)
[Neil deGrasse Tyson: What is Dark Matter?](#)
[The Dark Side Of The Universe – Brian Green](#)



Interactive & Infographics :

[Gravitational Lensing by a Point Mass](#)
[How Do We See Dark Matter?](#)
[Dark matter infographic](#)
[PhD comic about dark matter](#)
[Jelly Bean Universe \(Dark Matter\)](#)



Websites & Articles :

[Dark Matter: Exploring the Origin of the Universe](#)
[Science Made Simple: What Is Dark Matter?](#)
[Dark Matter: NASA](#)
[What is dark matter?: Space.com](#)
[Dark matter - CERN](#)
[Annenberg Learner's Physics for the 21st Century: Dark Matter](#)
[How Gravity Warps Light](#)



Documentaries :

[Mysteries of Dark Matter | Space Documentary](#)
[THE DARK SIDE - Black Holes And Invisible Matter | SPACETIME - SCIENCE SHOW](#)

Where Did Dark Matter And Dark Energy Come From?

BBC - Horizon - 2006 - Most of our universe is missing (Dark matter)

Dark side of the Universe – Discovery Channel



Quiz :

The Age of the Universe

Hubble- Lemaître law

Hubble's Law & Hubble's Constant



Glossaire

Baryonic Matter: Matière ordinaire qui compose les étoiles, les planètes et tous les objets visibles dans l'univers, représentant environ 5% de la masse et de l'énergie totales de l'univers.

Big Bang: Théorie qui décrit le commencement de l'univers comme un point singulier, extrêmement chaud et dense, qui s'est depuis expandu pour former le cosmos tel que nous le connaissons.

Amas de la Balle: Paire d'amas de galaxies dont la collision et les effets gravitationnels qui en résultent fournissent des preuves significatives de l'existence de la matière noire.

Amas Coma: Grand amas de galaxies dont l'étude par Fritz Zwicky a conduit à l'hypothèse précoce de la matière noire en raison des vitesses élevées des galaxies qui le composent.

Fond diffus cosmologique (CMB): Rayonnement résiduel des premiers stades de l'univers, fournissant des preuves de son origine et de sa composition.

Énergie noire: Forme mystérieuse d'énergie qui constitue environ 70 % de l'univers et qui est responsable de son expansion accélérée.

Matière noire: Forme de matière qui n'émet ni n'absorbe la lumière, constituant environ 25 % de l'univers et exerçant des effets gravitationnels sur la matière visible.

Anneau d'Einstein: Phénomène de lentille gravitationnelle qui produit un anneau circulaire de lumière provenant d'un objet distant, causé par la courbure de la lumière due à la gravité d'un objet massif.

Courbe de rotation galactique: Représentation graphique des vitesses orbitales des étoiles d'une galaxie en fonction de leur distance radiale par rapport au centre de la galaxie, qui a conduit à la découverte de la matière noire en raison de courbes de rotation plates inattendues.

Effets de lentille gravitationnelle: Courbure de la lumière provenant d'objets lointains sous l'effet de la gravité d'objets massifs tels que les amas de galaxies, utilisée pour détecter et cartographier la matière noire.

Lois de Kepler: Lois décrivant le mouvement des planètes autour du Soleil, influençant l'étude de la rotation galactique et la découverte de la matière noire.

MACHO (Massive Astrophysical Compact Halo Object): Forme proposée de matière noire, composée d'objets massifs tels que des trous noirs ou des étoiles à neutrons qui émettent peu ou pas de rayonnement.

Mécanique quantique: Théorie fondamentale de la physique décrivant le comportement de la matière et de l'énergie aux niveaux atomique et subatomique.

Quarks: Particules fondamentales qui constituent les protons et les neutrons, jouant un rôle dans la formation de l'univers primitif.

Espace-temps: Continuum quadridimensionnel de l'espace et du temps dans lequel tous les objets de l'univers existent, tel que décrit dans la théorie de la relativité d'Einstein.

Lignes spectrales: Longueurs d'onde spécifiques du rayonnement électromagnétique émises ou absorbées par un atome ou une molécule, utilisées dans les observations astrophysiques.

WIMP (Weakly Interacting Massive Particle): Particule hypothétique candidate à la matière noire, qui n'interagit que par la gravité et la force nucléaire faible.

This article/publication is based upon work from COST Action CA21136 – “Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics (CosmoVerse)”, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology)

COST (European Cooperation in Science and Technology) is a funding agency for research and innovation networks. Our Actions help connect research initiatives across Europe and enable scientists to grow their ideas by sharing them with their peers. This boosts their research, career and innovation.

www.cost.eu

