

Faculté de philosophie, arts et lettres

## SOUS-TITRAGE SCIENTIFIQUE

# ÉNERGIE NOIRE ET MATIÈRE NOIRE :

Sous-titrage de deux épisodes de la série *How the Universe Works*

Auteur : Hugues Marchal  
Promoteur(s) : Thierry Lepage  
Lecteur(s) : Nathalie Caron  
Année Académique 2019-2020  
Master en traduction anglais – russe option audiovisuelle



# SOUS-TITRAGE SCIENTIFIQUE

## ÉNERGIE NOIRE ET MATIÈRE NOIRE :

Sous-titrage de deux épisodes de la série *How the Universe Works*

Hugues Marchal

Mémoire en vue de l'obtention d'un master en traduction et interprétation

# Remerciements

*Merci à ma référente, Clémentine Hauret,  
doctorante en Astrophysique à l'Université de Liège,  
pour son expertise et son aide dévouée ;*

*Merci à mon promoteur, Thierry Lepage,  
pour avoir accepté de travailler avec moi  
et m'avoir aidé tout au long de l'année ;*

*Et merci à ma mère,  
pour son soutien infallible.*

# Table des matières

1. INTRODUCTION.....	7
1.1 Le support, <i>How the Universe Works</i> .....	8
1.1.1 Épisode 8, saison 5 (2017) : « <i>The Dark Matter Enigma</i> ».....	8
1.1.2 Épisode 7, saison 7 (2019) : «Battle of the Dark Universe».....	10
1.1.3 Rappel des normes de sous-titrage.....	12
1.2 Introduction à la cosmologie moderne.....	13
1.3 Le Big Bang.....	14
1.3.1 La théorie du Big Bang, incomplète.....	16
1.4 Le problème de la matière noire.....	18
1.4.1 Théories et détracteurs.....	20
1.5 L'expansion de l'univers et l'énergie noire.....	23
1.5.1 Un grand point d'interrogation.....	25
1.5.2 Quelques clefs de compréhension supplémentaires.....	26
2. SCRIPT.....	27
2.1 Épisode 5 « <i>The Dark Matter Enigma</i> ».....	27
2.2 Épisode 7 « <i>Battle of the Dark Universe</i> ».....	52
3. COMMENTAIRES.....	76
3.1 La question du style.....	77
3.1.1 La présence du narrateur.....	77
3.1.2 La question des abréviations.....	77
3.1.3 La lisibilité.....	78
3.2 Problèmes liés à nature scientifique du documentaire.....	82
3.2.1 La terminologie.....	82
3.2.2 La question de l'exactitude.....	85
3.3 Le montage.....	89
3.4 La langue orale.....	93
3.5 Difficultés linguistiques.....	96
3.6 Le passage au français et quelques solutions.....	100
4. Conclusion.....	103
5. BIBLIOGRAPHIE.....	104
5.1 Ouvrages.....	104
5.2 Articles scientifiques.....	104

5.3 Actes de colloque.....	106
5.4 Documents universitaires .....	106
5.5 Ressources électroniques .....	107

# **1. INTRODUCTION**

Dans ce mémoire, je vais sous-titrer et analyser le sous-titrage de deux documentaires scientifiques dont le sujet, la matière noire et l'énergie noire, sont à la pointe de la recherche actuelle. Nous repérerons les difficultés spécifiques à la traduction d'un texte scientifique aussi ciblé, les difficultés générales liées au sous-titrage, ainsi que les particularités du format documentaire.

Le choix de ce sujet en astronomie n'est bien entendu pas dû au hasard. D'une part, la cosmologie et l'astronomie me fascinent depuis mon plus jeune âge, d'autre part les premières missions habitées sur Mars prévues à l'horizon 2040 laissent à penser que l'étude de l'espace ne fera que gagner en importance. À plus court terme, des projets comme le projet *Starlink* de *SpaceX*<sup>1</sup>, ainsi que le retour de l'humanité sur la lune via le programme Artemis de la NASA<sup>2</sup> semblent indiquer que les prochaines décennies seront marquées par plusieurs avancées extraordinaires dans le domaine de l'exploration spatiale.

Dans cette introduction, je donnerai tout d'abord les détails du support documentaire en lui-même. Je détaillerai le contenu de la série et des épisodes, et je présenterai les experts présents qui interviennent dans le documentaire.

Je rappellerai ensuite les normes de sous-titrage utilisées dans le cadre de ce mémoire.

Pour suivre, j'introduirai aux facettes de la cosmologie qui nous intéressent dans le cadre de ce mémoire : je tenterai un court résumé de la cosmologie moderne posant les bases du questionnement actuel des chercheurs, et je procéderai à une analyse un peu plus détaillée de la matière noire, de l'énergie noire et de leur origine commune, le Big Bang. Ce condensé vulgarisé de théorie permettra d'apprécier mieux le contenu des documentaires ici sous-titrés et de mettre en évidence l'incertitude qui plane encore aujourd'hui sur la nature des forces mystérieuses qui gouvernent l'univers. Cette base théorique sera également utile à la compréhension des commentaires de la troisième partie de ce mémoire, lesquels sont directement liés aux spécificités scientifiques de mon support.

La seconde partie de mon travail sera constituée de la liste complète des sous-titres et de leur timing, ainsi que du script en langue originale anglaise. Ce script est également fourni dans son entièreté sous forme de document à part, en annexe n°1, afin de faciliter la lecture du script parallèlement à celle des commentaires.

Enfin, en troisième partie, je détaillerai mes commentaires de traduction en suivant différentes catégories, avec un point d'attention particulier sur la nature scientifique de cette traduction.

---

<sup>1</sup> Voir le site officiel du projet pour plus d'informations : <https://www.starlink.com/>

<sup>2</sup> NASA (page consultée le 28 mars 2020) «Artemis» [en ligne] Adresse URL : <https://www.nasa.gov/specials/artemis/>

## 1.1 Le support, *How the Universe Works*

Le contenu de ce mémoire porte sur deux épisodes de la série américaine *How the Universe Works*. Comme son nom l'indique, il s'agit d'une série documentaire télévisée de vulgarisation scientifique se penchant sur des sujets d'astronomie, d'astrophysique ou de cosmologie.

La série est produite par Stephen Marsh<sup>3</sup> et diffusée par la chaîne télévisée *Discovery channel*<sup>4</sup> depuis sa première saison en 2010. Les épisodes sont chaque fois centrés autour d'un sujet en particulier. Plusieurs experts dans le domaine prennent la parole, et leurs interventions sont entrecoupées par de la narration. Les narrateurs sont Mike Rowe<sup>5</sup>, un spécialiste de la narration de documentaire (narrateur habituel, notamment pour les deux épisodes sous-titrés ici) et Erik Dellums<sup>6</sup> (pour la saison 2, et pour certains épisodes des saisons 5 et 6).

*How the Universe Works* comporte aujourd'hui 8 saisons. Le dernier épisode en date (saison 8, épisode 9) a été diffusé le 24 février 2020.

Les épisodes sous-titrés dans le cadre de ce mémoire sont :

### 1.1.1 Épisode 8, saison 5 (2017) : «*The Dark Matter Enigma* »

Cet épisode se concentre sur les étranges effets d'une substance invisible : la matière noire. Les experts nous expliquent l'origine de la matière noire, ses effets sur le développement de l'univers et des galaxies, et mentionnent plusieurs hypothèses à son sujet.

Les experts qui interviennent dans cet épisode sont :

- **Le Docteur Phil Plait**  
Astronome américain. Ancien éducateur dans le département de physique et d'astronomie de l'Université d'État de Soroma, il a également travaillé pour certains programmes de la NASA<sup>7</sup>. Il est aujourd'hui auteur du blog *Bad Astronomy* et de plusieurs livres sur la cosmologie.
  
- **Le Docteur Lawrence M. Krauss**  
Aujourd'hui retraité, Lawrence K. Krauss était professeur à l'Université d'État de l'Arizona et y dirigeait le programme *Origins*, aujourd'hui transformé en

---

<sup>3</sup> Page IMDb pour plus d'informations. IMDb est un site répertoriant les personnalités du monde du cinéma. <https://www.imdb.com/name/nm0550665/>

<sup>4</sup> La plupart des informations trouvées ici proviennent de l'article Wikipédia. La page officielle de la série n'est malheureusement pas disponible en Blegique. Adresse URL : <https://www.sciencechannel.com/tv-shows/how-the-universe-works/>

<sup>5</sup> Informations puisées sur le site personnel de Mike Rowe : <https://mikerowe.com/about-mike/bio/>

<sup>6</sup> Page IMDb pour plus d'informations : <https://www.imdb.com/name/nm0217529/>

<sup>7</sup> Ces informations proviennent de la section «*Who am I ?* » du blog *Bad Astronomy*. Adresse URL : <http://www.badastronomy.com/info/whois.html>

*Interplanetary Initiative*, dont le but est de construire le futur de l'humanité dans l'espace. Il est également auteur de plus de 300 articles scientifiques.<sup>8</sup>

- **Le professeur Hakeem Oluseyi**

Le professeur Oluseyi est un astrophysicien, ingénieur et inventeur américain. Il a travaillé pour le *Supernova Cosmology Project*, une des deux équipes qui ont remporté le Prix Nobel de Physique en 2011. Il travaille aujourd'hui à l'Observatoire Vera-C.-Rubin et donne cours à l'Institut Technologique de Floride en tant que professeur émérite.<sup>9</sup>

- **La Docteure Moogega Cooper**

Moogega Cooper est une astrophysicienne qui travaille au *Jet Propulsion Laboratory*, un des plus importants centres de recherche de la NASA. Elle y travaille aujourd'hui sur les missions martiennes.<sup>10</sup>

- **Le Docteur Max Tegmark**

Né en Suède, Max Tegmark quitte son pays après son bachelier pour poursuivre ses études aux États-Unis, où il reçoit son master et son doctorat. Il travaille au *Max-Planck-Institut für Physik* à Munich avant de retourner aux États-Unis et de devenir professeur à l'Université de Pennsylvanie puis au MIT, où il donne encore cours aujourd'hui.<sup>11</sup>

- **Le Docteur James Bullock**

James Bullock est professeur à l'Université de Californie à Irvine et doyen de la faculté sciences physiques. Il est spécialiste du développement de l'univers de la matière noire.<sup>12</sup>

- **La Docteure Michelle Thaller**

Astrophysicienne pour la NASA, Michelle Thaller a d'abord travaillé au *Jet propulsion Laboratory*, et travaille aujourd'hui au *Goddard Space Flight Center*, un autre centre de recherche de la NASA. Elle y travaille en tant qu'astrophysicienne avec un accent sur la communication.<sup>13</sup>

- **La Docteure Katherine Freese**

Katherine Freese est une experte de la physique des particules, en particulier de la matière noire, de l'énergie noire et de l'univers primitif<sup>14</sup>. Après avoir été assistante au MIT, elle commence à enseigner dans le département de physique l'Université du

<sup>8</sup> Plus d'informations sur la page de l'université concernée : adresse URL :

<https://isearch.asu.edu/profile/1249942>

<sup>9</sup> Pour une bibliographie plus complète, voir l'article sur le site de l'*American Physical Society*. Adresse URL :

<https://www.aps.org/careers/physicists/profiles/oluseyi.cfm>

<sup>10</sup> Toutes les informations proviennent de son site personnel. Adresse URL : <https://www.moogega.com/>

<sup>11</sup> Fiche de contact de l'Université : [https://web.mit.edu/physics/people/faculty/tegmark\\_max.html](https://web.mit.edu/physics/people/faculty/tegmark_max.html)

<sup>12</sup> Voir la page sur le site de l'Université : <https://sites.uci.edu/bullock/bio/>

<sup>13</sup> Site de la NASA : <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/michelle-thaller-communicates-the-beauty-and-possibilities-of-science>

<sup>14</sup> L'univers primitif ou univers primordial réfère aux époques chaudes et anciennes de l'univers.

Michigan en 1999<sup>15</sup>. Elle a proposé plusieurs théories qui seront évoquées dans les épisodes choisis dans le cadre de ce mémoire, telle que la théorie des «étoiles noires » et du «*Phantom Bounce* ».

- **Le Docteur Michael R. Rampino**

La particularité du Docteur Rampino est qu'il n'est pas astrophysicien. Il est détenteur d'un doctorat en géologie, et enseigne la biologie à l'Université de New-York<sup>16</sup>. Il propose, dans cet épisode, une théorie reliant la matière noire aux extinctions de masse sur Terre. C'est une théorie assez marginale et spéculative, comme le documentaire l'admet.

Dans l'analyse de mes commentaires, je me référerai toujours à cet épisode sous le nom de «épisode 5 »(ou «ep5 »dans le tableau de la partie commentaires) pour signifier «épisode de la saison 5 ».

### 1.1.2 Épisode 7, saison 7 (2019) : «Battle of the Dark Universe»

Dans cet épisode, le documentaire explore la relation entre la matière noire et l'énergie noire. On y explique les phénomènes liés à l'activité présumée de l'énergie noire, les scénarios potentiels de fin de l'univers, et la nature assez opposée de ces deux «forces ».

Certains experts présents dans l'épisode précédent refont une apparition dans cet épisode : Dr Freese, Dr Bullock, Dr Oluseyi et Dr Tegmark. D'autres experts spécifiques interviennent dans cet épisode :

- **Le Docteur Paul M Sutter**

Ingénieur et cosmologue, Dr Sutter est avant tout un communicateur. Il possède sa propre chaîne Youtube<sup>17</sup>, apparaît dans de nombreuses conférences et a écrit deux livres de vulgarisation scientifique. Jusqu'en 2019, il était professeur à l'Université d'État d'Ohio, et enseigne aujourd'hui à l'Université d'État de New York à Stony Brook.<sup>18</sup>

- **La Docteure Amber Straughn**

Dr Straughn est une astrophysicienne à la NASA, au *Goddard Space Flight Center*, depuis 2008. Elle est spécialiste de la formation des étoiles et des galaxies, qu'elle étudie principalement grâce au télescope spatial Hubble. Elle travaille aujourd'hui sur le télescope James Webb<sup>19</sup> et est la co-directrice de la division scientifique

---

<sup>15</sup> Voir sur page personnelle de Katherine Freese sur le site de l'Université : <http://www-personal.umich.edu/~ktfreese/index.html>

<sup>16</sup> Plus d'informations sur la page de l'université concernée : <https://as.nyu.edu/content/nyu-as/as/faculty/michael-rampino.html>

<sup>17</sup> Voici l'adresse URL pour les curieux : <https://www.youtube.com/channel/UCBr7XOxxQyBHEwqkhoci7vw>

<sup>18</sup> Pour plus d'infos, voir le site personnel du Docteur Sutter : <http://www.pmsutter.com/>

<sup>19</sup> Le télescope spatial James Webb est un peu le successeur de Hubble, équipé de capteurs bien plus avancés et spécialisés, permettant de regarder encore plus loin en arrière dans l'histoire de l'univers. Pour plus d'informations, voir le site de la NASA : <https://www.jwst.nasa.gov/>

d'astrophysique. Elle est également bonne oratrice et travaille dans la communication<sup>20</sup>.

- **Le Docteur Sean Carroll**

La carrière du Dr Carroll a commencé par de la recherche en cosmologie, notamment concernant la matière noire et l'énergie noire. Il est désormais plutôt concentré dans le domaine de la physique quantique. Il enseigne à l'Institut de technologie de Californie.<sup>21</sup>

- **Le Docteur Alexei Filippenko**

Le Dr Filippenko est un spécialiste des supernovas, des quasars et des trous noirs. Il faisait partie des deux équipes qui ont découvert en 1998 que l'expansion de l'univers accélèrait, une découverte qui leur vaudra le prix Nobel de physique en 2011. Il enseigne également aujourd'hui dans le département d'astronomie de l'Université de Californie à Berkeley.<sup>22</sup>

- **Le Docteur Clifford V Johnson**

Astrophysicien anglais, le Dr Johnson est un professeur à l'Université de Californie du Sud, spécialisé dans la physique théorique. Il travaille sur la théorie des supercordes et la théorie M.<sup>23</sup>

- **Le Docteur Grant Tremblay**

Dr Tremblay est un astrophysicien au centre d'astrophysique de *Harvard & Smithsonian*. Il travaille également sur le télescope spatial à rayons X *Lynx* de la NASA et au *Smithsonian Astrophysical Observatory*.<sup>24</sup>

Dans l'analyse de mes commentaires, je me référerai toujours à cet épisode sous le nom de «épisode 7 »(ou «ep7 »dans le tableau de la partie commentaires) pour signifier «épisode de la saison 7 ».

---

<sup>20</sup> Voir la page de présentation de l'équipe sur le site de la NASA :

<https://www.jwst.nasa.gov/content/meetTheTeam/people/straughn.html>

<sup>21</sup> Souvent abrégé «Caltech ». Le site personnel du Docteur Carroll contient bien davantage d'informations :

<https://www.preposterousuniverse.com/about/>

<sup>22</sup> Site de l'Université : <https://astro.berkeley.edu/people/alex-filippenko/>

<sup>23</sup> Page personnelle du Docteur Johnson sur le site de l'Université : <https://physics.usc.edu/~johnson1/>

<sup>24</sup> Informations puisées sur le site personnel du Docteur Tremblay : <https://www.granttremblay.com/>

### **1.1.3 Rappel des normes de sous-titrage**

Dans le cadre de ce mémoire, les normes de sous-titrage adoptées sont :

- 13 caractères par seconde maximum (CPS)
- 36 caractères par ligne maximum
- Minimum 5 images entre les sous-titres,
- Sous-titres d'une durée minimale d'une seconde et d'une durée maximale de 6 secondes
- Ne pas terminer un sous-titre moins de 4 images avant un changement de plan
- Ne pas faire apparaître un sous-titre moins de 3 images après un changement de plan

De plus, il convient bien sûr de respecter les conventions du français.

## 1.2 Introduction à la cosmologie moderne

La nature de choses qui nous entourent est l'une des questions le plus anciennes qui soit. Les anciens grecs, déjà à l'époque des Présocratiques, cherchent à élucider ce mystère immémorial. De leurs diverses interprétations des Dieux (Encyclopédie Universalis [en ligne]) naît doucement la philosophie, mère de toute science, et avec elle grandit le savoir humain qui n'apporte que plus de questions. Avec l'invention des lunettes, suivie de la longue-vue (inventée par Hans Lippershey<sup>25</sup>) et enfin son raffinement en télescope par Galilée en 1609<sup>26</sup>, l'univers géocentrique qui semblait si simple révèle ses nombreux mystères.

La découverte du système solaire et des étoiles poursuit son cours jusqu'en 1913, lorsque l'astronome Vesto Melvin Slipher<sup>27</sup> se rend compte qu'Andromède, alors considérée comme nébuleuse spirale, se déplace plus rapidement dans le ciel que les autres astres : «*that the spirals as a class have higher velocities than do stars*»<sup>28</sup>. Hubble découvre au cours des années 1923 et 1924 que la «nébuleuse» M31 est en réalité un amas gigantesque d'étoiles situé à une distance faramineuse : Andromède est une galaxie, au même titre que la nôtre (Wurm, S. 2020 : P.45). Notre compréhension de l'univers est bouleversée.

En 1915, Albert Einstein avait posé les bases de la cosmologie moderne en publiant sa théorie de la relativité générale, qui avait fondamentalement changé notre perspective sur l'univers. Mais la question de son origine n'était pas encore considérée. En effet, ce questionnement est relativement récent.

Par le passé, les anciennes religions polythéistes comme en Égypte ou en Mésopotamie considéraient qu'une sorte de «vide primordial» aurait donné naissance aux Dieux (aléatoirement semblerait-il), qui auraient ensuite créé tout le reste (Kragh, H. 2015 : P4). Durant le Moyen-Âge et la Renaissance, en Europe, la question ne se pose pas : Dieu a créé l'univers. Einstein était lui-même croyant, et il postule que l'univers est stable et éternel<sup>29</sup>. Ce n'est qu'après la découverte de l'expansion de l'univers que la question est sérieusement débattue scientifiquement. En se basant sur la relativité générale d'Einstein, Alexandre Friedmann<sup>30</sup> propose pour la première fois l'idée d'un univers en expansion en 1922 (Encyclopedia Britannica [en ligne]).

En 1929, Hubble découvre que les galaxies autour de nous décalent toutes vers le rouge (Bachall, N., A., 2015 : P.2 fig.2). Plus elles sont éloignées, et plus elles s'éloignent rapidement. Elles s'éloignent donc toutes de nous, mais aussi toutes les unes des autres. Ceci

<sup>25</sup> Hans Lippershey (1570-1619) était un opticien néerlandais, qui présenta en 1608 l'une des premières réalisations concrètes d'une lunette d'approche.

<sup>26</sup> The Galileo Project «The telescope» (page consultée le 7 décembre 2019) [en ligne] Adresse URL : <http://galileo.rice.edu/sci/instruments/telescope.html>

<sup>27</sup> Vesto Melvin Slipher (1875 – 1969) était un astronome américain, qui travaillait à l'observatoire Lowell.

<sup>28</sup> La date exacte de cette découverte diffère dans différents articles. L'article dans lequel Vesto Slipher publie ses résultats date cependant de 1913, c'est pourquoi je choisis cette date.

Slipher, V., (1913) «The radial velocity of the Andromeda Nebula», dans *Lowell Observatory Bulletin* N°1 p56-57 Adresse URL : <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1913LowOB...2...56S/000057.000.html>

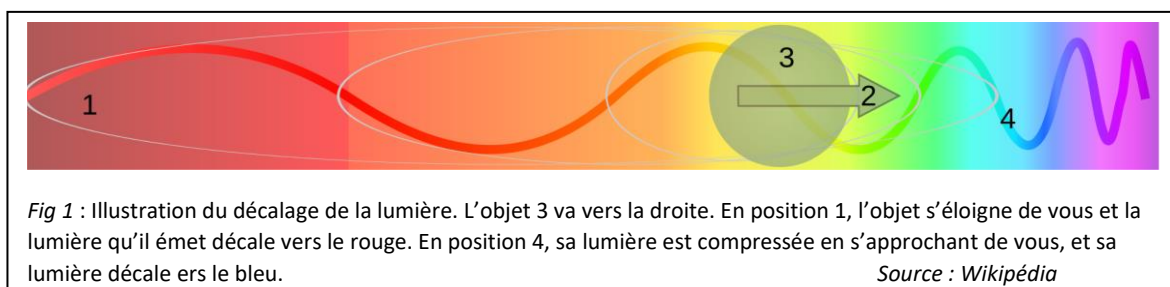
<sup>29</sup> Sign, S. (2005) *Le roman du Big Bang*, Paris, Ed. J-C Lattès. Résultat Google Books (page consultée le 08 mars 2020) [en ligne] [Adresse URL raccourcie](#)

<sup>30</sup> Alexandre Friedmann (1888-1925) était un physicien russe.

vient confirmer les théories d'Alexandre Friedmann, Georges Lemaître<sup>31</sup> et de Vesto Silpher, qui avaient tous déjà proposés des idées similaires.

Le décalage vers le rouge fonctionne comme suit :

Comme le son d'une ambulance, qui devient plus aigu lorsqu'elle s'approche et plus bas lorsqu'elle s'éloigne, la lumière se «contracte »et se «détend »en fonction de sa direction par rapport à nous. Dans son article en ligne sur le sujet, le cosmologue Edward Wright écrit : «*Observers looking at an object that is moving away from them see light that has a longer wavelength than it had when it was emitted (a redshift), while observers looking at an approaching source see light that is shifted to shorter wavelength (a blueshift)* »<sup>32</sup>. Lorsque l'objet qui l'émet s'approche de nous, la lumière plus est «compressée »et décale vers le bleu. Lorsque l'objet qui l'émet s'éloigne, elle est «étirée »et décale vers le rouge.



Une fois l'expansion de l'univers découverte, une théorie est d'abord privilégiée : la théorie de l'état stationnaire. Elle propose un univers qui créerait à la fois de l'espace et de la matière en permanence, et était d'ailleurs l'explication préférée d'Einstein<sup>33</sup>. Mais les observations de plus en plus précises de l'univers l'infirmement, et la théorie du Big Bang, proposée en 1946 par le prêtre belge Georges Lemaître, finit par s'imposer.

### 1.3 Le Big Bang

Mais qu'en est-il aujourd'hui ? Le Big Bang tel qu'il est décrit actuellement par la science est un peu différent du Big Bang de l'imaginaire collectif.

L'explosion qu'on imagine lorsqu'on entend «Big Bang »n'est pas tout à fait exacte. Dans un premier temps, l'unique énergie de l'univers était l'énergie du champ d'inflation. Tout commence donc par une période très courte d'inflation, où l'univers connaît une croissance<sup>34</sup> d'un facteur de  $10^{26}$ . Au fur et à mesure que l'univers grandit, le champ d'inflation oscille, et

<sup>31</sup> Georges Lemaître (1894-1966) était un chanoine catholique et un physicien belge, qui propose dans les années 20 sa «théorie de l'atome primitif ». À l'époque, cette théorie n'est pas prise au sérieux, et elle sera appelée «Big Bang »par ses collègues moqueurs, un terme qui a survécu jusqu'à aujourd'hui.

<sup>32</sup> Wright, E.L. (2002) Doppler shift [en ligne] Adresse URL : <http://www.astro.ucla.edu/~wright/doppler.htm>

<sup>33</sup> Pour un article complet et vulgarisé sur le sujet, je conseille:

O'Raiartaigh, C., McCann B., Nahmb W. et Mittonc S. (2014) "Einstein's steady-state theory: an abandoned model of the cosmos »dans *European Physics Journal H* 39(3) P353-367 Adresse URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1402/1402.0132.pdf>

<sup>34</sup> Cette croissance de  $10^{26}$  représente un 10 suivi de 26 zéros. Cette information a été puisée sur : Stephen Hawking Centre for Theoretical Cosmology (page consultée le 4 janvier 2020) «*The inflationary universe* »[en ligne] Adresse URL : [http://www.ctc.cam.ac.uk/outreach/origins/inflation\\_zero.php](http://www.ctc.cam.ac.uk/outreach/origins/inflation_zero.php)

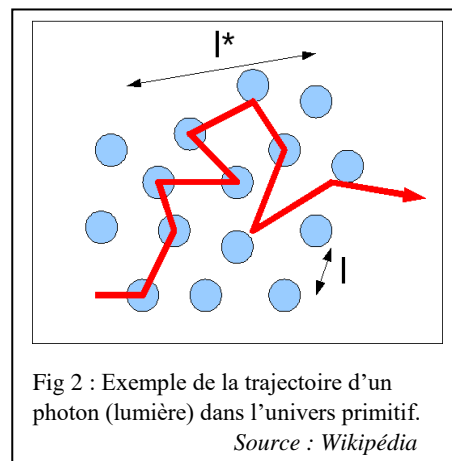
son énergie «fuite »dans les champs quantiques des particules. Par exemple, l'énergie peut fuir dans le champ des électrons et l'exciter, ce qui produira un électron. C'est le réchauffement de l'univers.

À cette période, l'univers est très dense et chaud. Rappelons ici que la chaleur est le résultat de l'énergie cinétique. Les particules qui se déplacent rapidement ont plus d'énergie, et plus de chance d'entrer en collision avec d'autres particules. Lors d'une collision, elles perdent de leur vitesse et une partie de leur énergie est libérée sous forme de chaleur. L'univers est donc un plasma extrêmement énergétique, dense et (donc) chaud, créant des particules qui entrent constamment en collision et se désintègrent en autres particules.

Mais plus une particule est massive, plus il faut d'énergie pour la créer (souvenons-nous d'Einstein,  $E=mc^2$ ). En grandissant, l'univers devient moins dense et refroidit. Peu à peu, créer davantage de particules massives devient impossible, car la densité d'énergie de l'univers est désormais trop faible : c'est le phénomène appelé *Freeze-out*. Nous reviendrons à l'importance de ce phénomène dans la partie consacrée à la matière noire.

Au fur et à mesure de l'inflation, donc, de moins en moins de particules fondamentales peuvent être créées, puisque l'énergie ambiante est plus faible que l'énergie nécessaire à leur création. Quelques minutes après le Big Bang, la température de l'univers descend suffisamment pour permettre la création de noyaux atomiques. Jusqu'ici, l'univers était trop chaud pour que plusieurs particules fondamentales puissent s'assembler et former des structures. Les particules du plasma dense de l'univers s'entrechoquaient bien trop fréquemment et avec trop d'énergie, toute union entre particules serait tout de suite brisée. Pendant quelques minutes seulement, la température est parfaite pour permettre aux noyaux atomiques à la fois de se former et de fusionner.

Jusqu'ici, de manière assez inattendue, l'univers est opaque. On imagine facilement qu'un plasma aussi chaud devrait briller de mille feux. C'est en fait bien le cas, mais l'univers est encore trop dense, et la lumière ne peut pas circuler librement. Bien que l'univers ait assez refroidi pour permettre la formation des noyaux atomiques, sa densité d'énergie est encore trop élevée pour que les électrons puissent se lier aux noyaux via l'interaction faible<sup>35</sup>. Les photons émis entrent constamment en collision avec les électrons et les noyaux atomiques. La lumière ne peut donc se propager d'un endroit à un autre que lentement, et en perdant grandement de son énergie (Lachièze-Rey, M. 2013 : P.81). Environ 380.000 ans après le Big Bang (Blanchet L., Famaey B. 2015 : P.2), la température ambiante diminue assez pour que l'interaction faible prenne le dessus, et pour que la matière «normale »(on parle de baryons ou de matière baryonique) puisse être complète : c'est la recombinaison de la matière.



<sup>35</sup> L'interaction faible est une des quatre forces fondamentales de l'univers : la gravité, l'électromagnétisme, l'interaction forte et l'interaction faible.

Enfin, la voie est libre pour la lumière, qui peut circuler. On parle de découplage du rayonnement.

### 1.3.1 La théorie du Big Bang, incomplète

On ne peut pourtant pas dire que le Big Bang est compris, loin de là.

Le découplage du rayonnement a donné naissance à la meilleure preuve en faveur de la théorie du Big Bang, le fond diffus cosmologique (ci-dessous abrégé FDC), découvert en 1964.

Lorsqu'on observe le vide entre les galaxies, dans toutes les directions, on perçoit un rayonnement faible et très homogène. Comme nous l'avons vu plus tôt, la lumière peut changer de couleur en fonction de son mouvement par rapport à nous. Ce changement de couleur reflète en fait un changement en énergie. En effet, plus un photon a d'énergie, plus sa fréquence/longueur<sup>36</sup> d'onde sera élevée<sup>37</sup>. Celle-ci déterminera à quelle partie du spectre électromagnétique le photon appartient, depuis les ondes radio (très basse fréquence) et des micro-ondes (basse fréquence) jusqu'aux rayons gamma (très haute fréquence), en passant par la lumière visible.

Sur d'extrêmement longues distances, la lumière perd de l'énergie car sa longueur d'onde est lentement «étirée» par l'expansion de l'univers (Palanque-Delabrouille, N., Yèche, C. 2016 : P.1 Colonne 2). Ce rayonnement faible observé dans toutes les directions est en fait les photons libérés par le découplage du rayonnement, qui nous parviennent encore aujourd'hui. C'est la raison pour laquelle le rayonnement du FDC est dans le domaine des micro-ondes, sa lumière ayant été étirée par son voyage de 13,8 milliards d'années.

Il est donc possible d'observer directement l'univers tel qu'il était seulement 380.000 ans après le Big Bang. Depuis la découverte du FDC, nous pouvons confronter nos théories mathématiques à une observation directe. Ceci fait du FDC une arme à double tranchant. Il est aussi bien le tremplin de la théorie du Big Bang que son plus grand obstacle. En effet, si les prédictions d'une théorie scientifique sont en désaccord avec les observations du FDC, il sera difficile de prétendre que le FDC se trompe ou qu'il est incomplet.

Plusieurs mystères pèsent encore sur la théorie du Big Bang.

- Il est possible de prédire, via les mathématiques et les observations du FDC, quelle quantité d'un élément donné devrait être produite par le Big Bang. Mais la quantité de certains éléments observés dans l'univers ne correspond pas aux quantités que le Big Bang aurait dû produire, notamment l'hélium 4 et le Lithium 7 (Cyburt, R., H., et al 2016 : P.7 Colonne 1 et P.8 Colonne 1).
- Même si FDC est très homogène, il ne l'est pas parfaitement. Comme l'écrit Cyrille Rosset : «les variations de température observées en fonction de la direction ne sont en effet que de quelques  $10^{-5}$ » (Rosset, C., 2003 : P.11)<sup>38</sup>. Les variations sont

---

<sup>36</sup> La fréquence et la longueur d'onde sont deux différentes manières d'interpréter le même phénomène. La longueur d'onde est une mesure de distance, la «grandeur» de l'onde, alors que la fréquence est une unité de temps : combien de fois cette longueur d'onde se répètera en une seconde à la vitesse de la lumière.

<sup>37</sup> Pour plus d'informations sur ce mécanisme, voir <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photon>

extrêmement faibles, mais elles existent bien.

Comment expliquer que l'univers ne se soit pas développé de la même manière partout ? Un univers non homogène complique grandement les mathématiques, et de nombreuses théories tentent de réconcilier ces incohérences en proposant différents types de fluctuations (de densité, d'expansion ou encore de temps) durant la phase d'expansion de l'univers.

- L'asymétrie matière- antimatière reste inexpliquée. La matière et l'antimatière devraient avoir des chances égales d'être produites par le Big Bang, et auraient donc dû s'annihiler complètement très tôt dans l'univers. Mais la matière existe aujourd'hui, bien entendu. Grossièrement, ceci implique que nous ne comprenons pas encore pourquoi il existe de la matière dans l'univers.
- Enfin, même si les mécanismes du Big Bang sont aujourd'hui mieux étudiés que jamais, l'origine elle-même du Big Bang reste inexpliquée. Seule une théorie hypothétique unifiant la mécanique quantique et la relativité d'Einstein pourra répondre à cette question, une théorie souvent surnommée «théorie du tout ».

Malgré ces problèmes, et d'autres encore, les prédictions de la théorie du Big Bang restent satisfaisantes, et elle est à ce jour la théorie la plus corroborée.

## 1.4 Le problème de la matière noire

Imaginons les astronautes à bord de la station spatiale internationale. L'idée reçue est qu'ils sont dans «l'espace», en microgravité, et que la gravité n'a pas d'effet sur eux. C'est évidemment inexact : la station spatiale elle-même est en orbite, et est donc attirée par le puits gravitationnel de la Terre. Les astronautes sont, en fait, en chute libre en direction de la Terre, mais leur vitesse orbitale est telle qu'ils tombent vers la Terre au même rythme que la surface de la Terre courbe devant eux<sup>39</sup> (voir imagez ci-dessous).

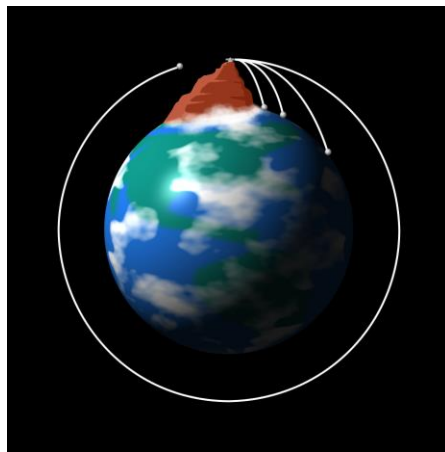


Fig 3 : Illustration de la chute libre d'un satellite. Si on lançait une balle avec assez de force et d'assez haut, elle continuerait de tomber sans jamais toucher terre : elle serait en orbite.

Source: Christopher S. Baird.

La Station spatiale internationale doit avoir une vitesse orbitale de 7.66 km/s<sup>40</sup> pour atteindre cet équilibre. Comme l'avait déjà décrit Isaac Newton dans sa loi de l'attraction universelle, la gravité faiblit avec la distance. Plus on s'éloigne de la Terre par exemple, et moins sa gravité aura d'influence sur vous. La lune, donc, est bien moins attirée par la terre que la Station spatiale internationale, et sa vitesse orbitale est moindre, 1 km/s seulement. Il en va de même pour le système solaire, les planètes internes doivent avoir des vitesses orbitales plus élevées que les planètes externes. En effet, si elles orbitaient trop lentement, la gravité du soleil prendrait le dessus ; et si elles orbitaient plus rapidement, elles échapperaient au puits gravitationnel du Soleil et seraient éjectées dans l'espace.

On s'attendrait donc à observer le même phénomène au niveau galactique. En effet, le centre de notre galaxie a une concentration d'étoiles supérieure à ses bras : «[...] *the stars are part of the Milky Way's nuclear star cluster, the most massive and densest star cluster in our galaxy. So packed with stars, it is equivalent to having a million suns crammed between us and our closest stellar neighbor, Alpha Centauri* »(NASA, 2016)<sup>41</sup>. De plus, un trou noir se trouve probablement en son centre, estimé à environ 4,6 millions de masses solaires<sup>42</sup>. Puisque les étoiles de la galaxie orbitent autour de son centre, la périphérie de notre galaxie devrait avoir une vitesse orbitale moindre.

Mais en 1933, Fritz Zwicky<sup>43</sup> observe que la vitesse de rotation des galaxies est bien plus importante que ne le laissent deviner ses étoiles<sup>44</sup>. Mais dans ce cas, pourquoi les étoiles en

<sup>39</sup> Ce qu'on appelle aussi «micropesanteur» Sur Wikipédia : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Micropesanteur>

<sup>40</sup> Voir Wikipédia : [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Space\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Space_Station)

<sup>41</sup> NASA (2016) Hubble's Journey to the Center of our Galaxy [en ligne] Adresse URL:

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/hubble-s-journey-to-the-center-of-our-galaxy> (§1)

<sup>42</sup> Le trou noir en question a été nommé Sagittarius A. Pour un article plus détaillé et le chiffre donné ici, voir : UCLAGalactic Centre Group, «Is there a black hole at the center of the Galaxy?»[en ligne] Adresse URL : <http://www.astro.ucla.edu/~ghezgroup/gc/journey/smbh.html>

<sup>43</sup> Fritz Zwicky (1898-1974) était un astrophysicien américano-suisse, connu pour ses recherches sur les supernovas et la matière noire.

<sup>44</sup> Projet Matière noire (page consulté le 10 janvier 2020) «Fritz Zwicky»[en ligne] Adresse URL : <http://lamatiere noire.fr/fritz-zwicky/>

périphérie ne sont-elles pas éjectées de la galaxie ? Comment la galaxie peut-elle rester soudée ?

Contre toute attente, non seulement la vitesse de rotation ne diminue pas, mais elle semble rester constante, voire augmenter avec la distance. D'où provient la gravité soudant ces étoiles ensemble ? Quelle masse pourrait provoquer cette gravité ? Le mystère de la matière noire est né. Ce n'est que dans les années 70 que la matière noire est sérieusement considérée par la communauté scientifique pour expliquer ces courbes de rotation galactiques. Depuis, cet effet a été l'objet de nombreuses études et a été observé dans beaucoup de galaxies spirales<sup>45</sup>. Plus étonnant encore, selon les estimations actuelles, la matière noire constituerait au minimum 90% de la masse dans l'univers. Carlos Muñoz écrit : «*Substantial evidences exist suggesting that at least 90% of the mass of the Universe is due to some non-luminous matter, the so-called 'dark matter'* »(Munoz, C. 2004: P1).

Depuis des décennies, les chercheurs s'échinent à trouver une solution à ce mystère. La matière noire présente cependant un autre défi : elle n'est pas directement observable.

En effet, la matière noire n'interagit pas avec la lumière, impossible donc de la voir. Elle n'interagirait pas non plus via l'interaction forte<sup>46</sup>. Il semblerait donc qu'elle interagisse uniquement avec la matière normale via la gravité, et peut-être faiblement via l'interaction faible (Iocco F. et al. 2008 : P.111 §3).

Comprendre la matière noire nous permettrait de mieux sonder le passé de l'univers et d'expliquer plus complètement son évolution. Les galaxies, sous l'effet de la gravité (et donc de la matière noire), ont tendance à rester proches les unes des autres. Elles forment des filaments de galaxies qui, connectés ensemble, forment une sorte de «toile cosmique ».

Grossièrement, on peut se représenter l'univers comme une éponge. La structure est la toile cosmique, les régions où la gravité a rassemblé la matière, où les galaxies résident. Les trous, eux, sont les vides cosmiques. La matière de ces vides a été attirée par la gravité de la toile cosmique, plus dense<sup>47</sup>.

Or, si l'âge de l'univers correspond bien aux estimations récentes, 13,8 milliards d'années, la matière normale seule n'aurait pas eu le temps de s'agréger assez pour créer de telles structures cosmiques. Dans les actes du colloque annuel de 2008 du *Lake Louise Winter*

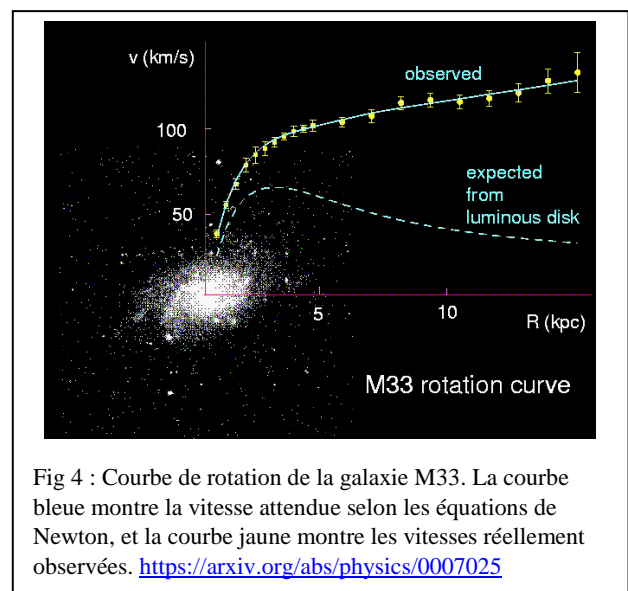


Fig 4 : Courbe de rotation de la galaxie M33. La courbe bleue montre la vitesse attendue selon les équations de Newton, et la courbe jaune montre les vitesses réellement observées. <https://arxiv.org/abs/physics/0007025>

<sup>45</sup> Pour un article détaillé sur le sujet, je conseille

Sofue Y. Rubin V. (2000) «Rotation Curves of Spiral Galaxies »dans *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* N°39 P.137-174 Adresse URL <https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0010594.pdf>

<sup>46</sup> L'interaction forte est une des quatre forces fondamentales de l'univers : la gravité, l'électromagnétisme, l'interaction forte et l'interaction faible.

<sup>47</sup> Dictionnaire COSMOS, «Galactic voids »[en ligne] Adresse URL :

<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/G/Galactic+Voids>

«*It is thought that as the matter built up around regions of higher density in the early Universe, matter was lost from the lower density regions* »

*Institute*, Astbury et al ajoutent : «Hence, (in) a universe without dark matter [...] no structure would have been formed, no galaxies, no life »(Alstbury, A. et al 2008 : P.116). Ceci implique que la matière noire a dû se former avant la recombinaison de la matière (Boyarsky et al, 2019 : P.1). Mais nous nous trouvons alors face à un autre obstacle. Si la matière noire est bien constituée d'une particule, puisque nous n'en connaissons pas la masse, il est impossible de savoir à quel moment exactement la matière noire expérience le *Freeze-out*<sup>48</sup>. Donc impossible de savoir quand elle entre en jeu, ou de faire des recherches exactes.

Certains chercheurs, cependant, parviennent aujourd'hui à simuler l'univers avec une précision satisfaisante (Blanchet L., Famael B. 2015 : P. 3), bien que les propriétés exactes de la matière noire soient encore inconnues. Je pense par exemple au projet TNG, un des plus puissants et des plus récents<sup>49</sup>.

Comme souvent, donc, le travail passe d'abord par les théoriciens. En tenant compte des observations récentes (en particulier celles du FDC, de WMAP en 2001<sup>50</sup> puis de Planck en 2013<sup>51</sup>), ils élaborent des théories mathématiques que les chercheurs devront vérifier par expérimentation. Mais étant donné la nature insondable de la matière noire, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, ce n'est pas mince affaire.

### 1.4.1 Théories et détracteurs

Les théories pour la matière noire sont aujourd'hui nombreuses. Je propose ici une liste non exhaustive et simplifiée, extraite d'un historique scientifique<sup>52</sup>.

- Neutrinos

L'avantage principal des neutrinos est qu'ils font intrinsèquement partie du modèle standard des particules. Ces deux dernières décennies, des expériences ont montré que les neutrinos peuvent changer d'un type à un autre via désintégration (Farzan Y., Tórtola, M., 2018 §2). Ceci indique qu'il pourrait exister des neutrinos plus massifs. Mais les mathématiques sont problématiques, car elles exigent des neutrinos 30 fois plus massifs que les neutrinos observés (Muñoz, C. 2004 P.8). De plus, dans un univers dominé par les neutrinos massifs, les plus petits éléments se formeraient en premier, et les grandes structures plus tardivement. Les galaxies seraient donc formées après les étoiles et les planètes, ce qui semble contre-intuitif.

- Axions

La théorie de la symétrie Peccei-Quinn prédit l'axion, une particule neutre et de masse très faible, qui pourrait être un candidat pour la matière noire. Les énergies en question

---

<sup>48</sup> Voir infra p. 14

<sup>49</sup> Un programme permettant de simuler l'univers de manière précise et dans des volumes immenses. Il fait beaucoup parler de lui depuis un an. Je vous invite à visiter la page «à propos »du site (en anglais) : <https://www.tng-project.org/about/>

<sup>50</sup> Le WMAP ou *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* était un satellite américain. Les informations qu'il nous a fournies sont disponibles à l'adresse suivante : <https://map.gsfc.nasa.gov/>

<sup>51</sup> Planck est un satellite de l'Agence spatiale européenne. Pour en savoir plus, voir le site de l'ESA : [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Planck\\_overview](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Planck_overview)

<sup>52</sup> Muñoz, C. (2004) «Dark matter detection in the light of recent experimental results »dans *International Journal of Modern Physics A* N°19 (19) P. 3093-3169. Adresse URL: <https://arxiv.org/abs/hep-ph/0309346v4>

ici sont si faibles, cependant, qu'il pourrait être impossible de les créer en laboratoire. Plusieurs expériences tentent de les observer dans l'univers, telles que l'ADMX et les expériences au Lawrence Livermore National Laboratory<sup>53</sup>.

- Options supersymétriques

Nous entrons ici dans la physique théorique de pointe, aussi ne m'attarderai-je pas sur les détails. Dans la théorie de la supersymétrie (SuSy), une extension théorique du modèle standard, le photino est la particule superpartenaire du photon<sup>54</sup>. Celui-ci pourrait créer des neutralinos, dont le plus léger (*lightest supersymmetric particle*) pourrait être un candidat pour la matière noire. En supergravité<sup>55</sup>, le neutralino est aussi un candidat pour la matière noire par des mécanismes complexes de la théorie supercordes.

Le Sneutrino et le gravitino, superpartenaire du graviton, sont aussi des candidats potentiels. Mais le graviton est déjà une particule théorique et pourrait être impossible à détecter (Rothman, T., Boughn, S., 2006 : P.17).

- WIMPs

Acronyme anglais pour *Wealy Interacting Massive Particles*, les WIMPs sont un candidat favorisé pour la matière noire depuis plusieurs années. Ce serait, comme le nom l'indique, des particules massives qui auraient subi un Freeze-out tôt dans l'univers et produit en grand nombre lors du Big Bang. Ils interagiraient aussi faiblement avec la matière via la force électrofaible, et non seulement via la gravité. En incluant leurs propriétés dans les équations, les WIMPs collent parfaitement mathématiquement, et leur interaction supposée avec la matière permettrait de les détecter dans les accélérateurs de particules comme celui du CERN<sup>56</sup>.

Malgré tous ces candidats, la matière noire ne fait pas l'unanimité. Puisque nous ne pouvons pas l'observer, seulement observer ses effets, elle reste spéculative. Certains problèmes ne sont pas encore résolus.

Comme nous l'avons vu plus tôt, la courbe de rotation des galaxies spirales (voir fig. 3) serait expliquée par la matière noire. Un «halo» de matière noire entourerait les galaxies, leur donnant la masse nécessaire. Pour des galaxies de masse donnée, donc, on s'attendrait à

<sup>53</sup> Un PDF donnant plus d'informations sur l'expérience et sur les théories sous-jacentes peut être trouvé à l'adresse : [https://indico.cern.ch/event/300768/contributions/1663052/attachments/566901/780884/Rosenberg-Patras\\_30jun14.pdf](https://indico.cern.ch/event/300768/contributions/1663052/attachments/566901/780884/Rosenberg-Patras_30jun14.pdf)

<sup>54</sup> En supersymétrie, chaque particule possède une particule qui lui est «opposée» via une certaine sorte de symétrie. Cette particule est dite «superpartenaire». Article Wikipédia : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Supersym%C3%A9trie>

<sup>55</sup> La supersymétrie et la supergravité sont des extensions théoriques du modèle standard des particules. Ces théories tentent d'approfondir nos connaissances en spéculant mathématiquement sur de nouvelles particules ou de nouvelles forces pour expliquer certains phénomènes.

<sup>56</sup> Kim G. (1996), *The Net Advance of Physics: The Nature of Dark Matter*, Physics Department, University of California, San Diego. [en ligne] Adresse URL : <http://web.mit.edu/~redingtn/www/netadv/specr/345/node2.html>

observer des courbes de rotation identiques. Une grande variété de courbes de rotation est pourtant observée à masse donnée (Blanchet L., Famael B., 2015 : P.4 §3).

De plus, certains chercheurs affirment que la matière noire pourrait être de la matière normale, simplement cachée. Des naines brunes, des planètes d'une taille semblable à Jupiter, des trous noirs ou encore des naines blanches. Notre galaxie est loin d'avoir été complètement explorée, sans parler de l'univers entier. Récemment, en effet nous avons découvert plusieurs «objets libres de masse planétaire », des objets qui orbitent le centre de la galaxie directement, plutôt qu'un système stellaire.

Cette alternative est attrayante car ces objets sont massifs et constitués de matière connue. Cependant, les objets découverts sont à ce jour trop peu nombreux pour que cette théorie soit crédible<sup>57</sup>. De plus, les mathématiques du Big Bang prédisent une production de matière normale (dite baryonique) limitée, que dépassent largement les estimations de cette théorie (Muñoz, C. 2004 : P.7).

D'autres scientifiques cherchent à modifier les équations de la gravité pour qu'elles correspondent aux observations actuelles. Dans cette catégorie, la théorie ayant rencontré le plus de succès est la théorie MOND (théorie de la dynamique newtonienne modifiée, abrégée en anglais MOND). Selon elle, la gravité pourrait agir différemment lorsque son champ faiblit (Milgrom, M. : 2014 P.1 ), c'est-à-dire sur de longues distances. Cette théorie fonctionne bien mathématiquement et pourrait être une alternative viable à la matière noire, mais la plupart des chercheurs pensent aujourd'hui que la matière noire existe bien.

---

<sup>57</sup> NASA, «Possibilities for Dark Matter» [en ligne] Adresse URL : [https://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/galaxies/imagine/dark\\_matter.html](https://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/galaxies/imagine/dark_matter.html)

## 1.5 L'expansion de l'univers et l'énergie noire

En 1917, Einstein tente de modifier quelque peu sa théorie de la relativité.

En effet, si l'univers était stable et infini, comme il le présentait, il devrait peu à peu s'effondrer via la gravité. Or, ce n'est pas le cas : Einstein introduit alors un nouveau terme, la « constante cosmologique », une sorte de force constante qui contrebalancerait la gravité. Einstein renonce rapidement cependant à cette théorie, lorsque l'expansion de l'univers est découverte quelques années plus tard. Einstein appréhende alors la « constante cosmologique » comme son plus grand échec.

Même si l'expansion de l'univers est découverte par Hubble dès 1929, l'opinion collective est que l'expansion ralentit<sup>58</sup>. À terme, la matière dans l'univers devrait contrer l'expansion de l'univers via la gravité. Mais contre toute attente, deux équipes de chercheurs<sup>59</sup> du Laboratoire de Berkeley, aux États-Unis, découvrent en 1998 que l'expansion accélère.

Cette découverte, qui leur vaut le prix Nobel de physique en 2011, a été faite en observant un type particulier de supernova, les supernovas Ia. Le modèle le plus communément admis est qu'elles se produisent lorsqu'une naine blanche et une géante rouge font partie d'un même système binaire. Si elles sont assez proches, la naine blanche peut attirer le gaz de la géante rouge. La masse de la naine blanche augmente jusqu'à atteindre une masse critique précise : 1,4 masse solaire. À ce stade, elle explose en une supernova de luminosité et de composition très prévisible (Bouquet, A. 1999 : P.16). Ces caractéristiques en font d'excellentes « chandelles standards », des objets utiles pour étudier les distances et l'histoire de l'univers. En se servant de ces mêmes caractéristiques, il est possible d'utiliser la spectrographie pour mesurer le décalage vers le rouge de ces objets.

Lorsque la lumière interagit avec un certain élément, une partie du spectre électromagnétique est absorbée ou renforcée, permettant de déterminer quel élément est présent.

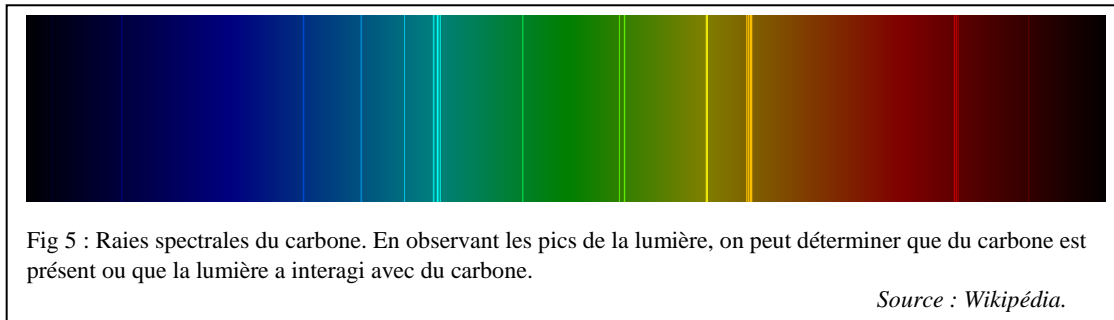
Considérons un élément connu de ces supernovas Ia, le fer 56 par exemple. Ses raies spectrales seront « décalées » vers le rouge par l'expansion de l'univers, et mesurer l'ampleur du décalage permet de mesurer l'expansion de l'univers.<sup>60</sup> Le décalage vers le rouge que mesurent les équipes du laboratoire de Berkeley est trop important pour que l'expansion de l'univers soit en ralentissement. Au contraire, elle semble accélérer. Il semble pourtant raisonnable que dans l'univers primitif, dominé par la matière, l'expansion de l'univers soit « ralentie » par la gravité. Pourquoi cette accélération ?

---

<sup>58</sup> CERN, l'Univers primordial [en ligne] Adresse URL : <https://home.cern/fr/science/early-universe>

<sup>59</sup> Les deux équipes nommées ici sont l'équipe menée par Saul Perlmutter (*Supernova Cosmology Project*), et de l'équipe menée par Adam Riess (*High-Z supernovae search team*).

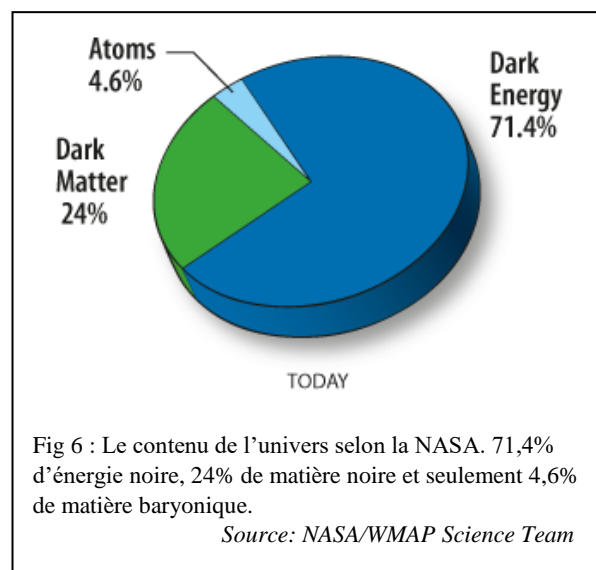
<sup>60</sup> Dans la figure 5, par exemple, on peut voir deux raies spectrales dans le jaune. Si cette lumière décalait vers le rouge, ces deux bandes (et toutes les autres) « glisseraient » vers le côté droit de l'image. En fonction de l'ampleur du déplacement des raies, il est possible de calculer l'expansion.



Malheureusement, puisque les supernovas de type Ia nécessitent une naine blanche, c'est-à-dire une étoile en fin de vie, elles ne sont pas détectables très tôt dans l'univers. Il faut donc trouver d'autres «chandelles standards » pour remonter plus loin dans l'histoire de l'univers.

D'autres recherches utilisent alors des galaxies très lointaines et lumineuses, les LRG (*luminous red galaxies*). Même ces galaxies, cependant, ne sont observables que 6 milliards d'années en arrière (Palanque-Delabrouille, N., Yèche, C.2016 : P.16 Colonne 1). Il faut donc trouver une nouvelle «chandelle standard » détectable plus tôt dans l'univers. Les quasars sont parmi les seuls objets observables à de telles distances. Ce sont des trous noirs actifs et supermassifs au centre d'une galaxie, d'au moins 1 milliard de masses solaires selon les estimations<sup>61</sup>. La matière attirée est chauffée par friction, orbitant de manière instable et accélérant à des vitesses proches de la lumière avant de tomber dans le trou noir. Cette chaleur est émise sous forme de rayonnement électromagnétique extrêmement puissant, les quasars sont en effet souvent 100 fois plus lumineux que la galaxie dans laquelle ils résident et seraient 1 milliard de fois plus massifs que notre Soleil selon les estimations (Bouwens, R. 2017 : fig.1 ).

Les premiers quasars se seraient formés seulement 750 millions d'années après le Big Bang et sont observables aujourd'hui jusqu'à 12 milliards d'années en arrière. En utilisant la spectrographie, nous pouvons donc calculer l'expansion de l'univers et ses variations dans le temps. Il semblerait que la matière l'emporte durant les 8 premiers milliards d'années, ralentissant l'expansion. Mais depuis 5 ou 6 milliards d'années, l'expansion de l'univers semble accélérer (Palanque-Delabrouille, N., Yèche, C.2016 : P.15 Colonne 3). Même si les chercheurs ont réussi à déterminer certaines régularités parmi les quasars, il convient tout de même de noter qu'ils sont loin d'être aussi prévisibles que les supernovas de type Ia, et que leur masse varie grandement (Overbye, D. 2019 : §48).



<sup>61</sup> Dictionnaire COSMOS, article «Quasar », [en ligne] Adresse URL : <http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/Q/Quasar>

L'ensemble de ces phénomènes d'expansion est aujourd'hui appelé «énergie noire », ou parfois «énergie sombre ». Différentes théories, basées au départ sur la «constante cosmologique » d'Einstein, imaginent donc l'énergie noire comme un champ dynamique (à la manière d'un champ magnétique, par exemple) dont la valeur peut changer en fonction d'un mécanisme inconnu (Joyce A., Lombriser L., Schmidt F., 2016 : P.3).

Plus encore que la matière noire, l'énergie noire est une énigme. La matière noire interagit via la gravité, un phénomène déjà étudié et de mieux en mieux compris, nous permettant d'agrafer mathématiquement la matière noire dans nos théories afin d'en tester des candidats. L'énergie noire, elle, n'a pas ce mérite. Elle semble être une force tout autre, comme aucune auparavant observée.

### 1.5.1 Un grand point d'interrogation

L'énergie noire, plus encore que la matière noire, est une véritable énigme. Nous observons ses effets, mais ne savons rien d'autre. Évidemment, certaines théories plus marginales proposent aussi leurs propres solutions.

Par exemple, nous avons vu dans la partie consacrée à la matière noire que la structure de l'univers était semblable à celle d'une éponge<sup>62</sup> : des filaments emplis de galaxies séparés par d'immenses vides. C'est dans ces vides que cette énergie noire serait la plus puissante, entraînant une expansion des vides et éparpillant les filaments de galaxie. D'aucuns prétendent que nous pourrions nous situer dans un vide cosmique, que l'expansion de l'univers n'accélère pas, seulement celle du vide dans lequel nous trouvons. Vu l'homogénéité du FDC, cependant, il faudrait que ce vide soit presque parfaitement sphérique, ce qui semble improbable<sup>63</sup>.

Encore une fois, certains tentent d'amender les théories d'Einstein pour les rendre capables d'expliquer de tels phénomènes. Les théories de gravité modifiée n'en sont qu'à leurs débuts, et sont loin d'avoir prouvé quoi que ce soit aujourd'hui. Les prochaines années regorgeront de nouvelles expériences qui pointeront leurs télescopes vers les mystères de la matière noire<sup>64</sup> (Joyce A., Lombriser L., Schmidt F., 2016 : P.25).

---

<sup>62</sup> Voir infra p. 18

<sup>63</sup> Pour un excellent article de vulgarisation scientifique sur le sujet, je conseille:

<https://www.scientificamerican.com/article/does-dark-energy-really-exist-extreme-physics-special/>

<sup>64</sup> Pour des exemples concrets, l'article cite les expériences AdvACT, eBOSS, DES, DESI, Euclid, HSC/PFS, LSST, POLARBEAR, SPT-3G, WFIRST et d'autres.

## 1.5.2 Quelques clefs de compréhension supplémentaires

Avant de terminer cette introduction, je voudrais fournir quelques éclaircissements sur certains passages du documentaire qui ne relèvent pas de la matière noire ou de l'énergie noire.

Dans l'épisode 5, un expert mentionne le principe d'incertitude de Heisenberg. Ce principe est l'une des idées sur lesquelles se basent la mécanique quantique.

Selon le principe d'incertitude, il n'est jamais possible de connaître à la fois la position et le mouvement d'une particule avec une grande précision.

Dans l'épisode 7, un autre expert mentionne deux personnages de comics américains : Galactus, ainsi que son arme « l'anéantisseur ultime »<sup>65</sup>, et Thanos utilisant les « gemmes de l'infini »<sup>66</sup>. Il s'agit ici de deux personnages malveillants de l'univers de Marvel qui, équipés de leurs armes, ont une puissance de destruction colossale.

Enfin, dans le même épisode, trois scénarios possibles concernant la fin de l'univers sont expliqués. Je n'entre pas dans les détails ici, puisqu'ils sont bien expliqués dans le documentaire, mais un expert mentionne que dans le cas du *Big Chill*, l'univers deviendra si froid que rien ne pourra plus s'y produire.

En effet, dans un scénario de *Big Chill*, l'expansion de l'univers continuerait d'accélérer, jusqu'à ce que la température de l'univers atteigne le zéro absolu. Puisque, comme évoqué plus tôt dans cette introduction, la chaleur et le mouvement sont en réalité le même phénomène<sup>67</sup>, il n'y aurait plus aucun mouvement dans l'univers, et donc rien ne s'y produirait plus<sup>68</sup>.

---

<sup>65</sup> Marvel-World (page consultée le 19 mai 2020) « Anéantisseur ultime » [en ligne] Adresse URL : <https://www.marvel-world.com/encyclopedie-1511-fiche-aneantisseur-ultime-l-equipements.html>

<sup>66</sup> Marvel-World (page consultée le 19 mai 2020) « Gemmes de l'infini » [en ligne] Adresse URL : <http://www.marvel-world.com/encyclopedie-1146-fiche-gemmes-de-l-infini-les-biographie.html>

<sup>67</sup> Voir infra p.15

<sup>68</sup> Ici, je simplifie un peu les choses évidemment.

L'article Wikipédia propose une explication plus en détail : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Futur\\_d%27un\\_univers\\_en\\_expansion](https://fr.wikipedia.org/wiki/Futur_d%27un_univers_en_expansion)

## 2. SCRIPT

### 2.1 Épisode 5 «*The Dark Matter Enigma*»

1	00:00:02:26	00:00:06:20	- Tout autour de nous les villes, les gens,	Everything we see, from people to cities,
2	00:00:07:02	00:00:10:08	les millions d'étoiles qui illuminent la nuit	to the millions of stars that fill the night's sky.
3	00:00:10:23	00:00:15:01	sont faits de la même chose : des atomes de matière.	They're all made of the same stuff - atoms of matter.
4	00:00:15:19	00:00:17:15	Mais il existe autre chose.	But there's something else out there.
5	00:00:17:24	00:00:21:20	Quelque chose d'étrange, d'invisible, la matière noire.	Something weird. Invisible dark matter.
6	00:00:22:03	00:00:23:24	Notre univers en regorge.	It fills our universe too.
7	00:00:24:00	00:00:28:18	Et elle pourrait être la clé de l'existence de toute chose.	And it could be the key to the existence of everything.
8	00:00:29:05	00:00:30:27	Nous inclus.	Including us.
9	00:00:46:03	00:00:49:14	Un fait sur notre univers pourrait vous surprendre.	There's something about our universe that might surprise you.
10	00:00:50:24	00:00:54:20	Nous existons côte à côte avec des fantômes cosmiques.	We exist side by side with cosmic ghosts.
11	00:00:56:22	00:01:00:11	Ce qui constitue les étoiles, les gens et les planètes	Normal matter, the stuff that makes stars, planets and people,
12	00:01:00:17	00:01:04:02	n'est qu'une fraction de ce qui existe vraiment.	accounts for just a fraction of what's really out there.
13	00:01:06:20	00:01:12:02	Une toile de matière invisible connecte les galaxies de l'univers.	An invisible web of strange material connects the galaxies that make up our universe.
14	00:01:12:19	00:01:15:28	On ne peut ni la voir ni la toucher,	We can't see or feel this mysterious stuff,
15	00:01:16:04	00:01:20:12	mais elle existe certainement, car on peut mesurer sa gravité.	but we're pretty sure it's there, because we can measure its gravity.
16	00:01:21:07	00:01:24:11	- C'est un peu bizarre de découvrir	-It's a little weird to discover
17	00:01:24:18	00:01:28:21	que tout ce qu'on voit, tout ce qu'on connaît,	that what you see, what you know, everything in your experience,

18	00:01:29:03	00:01:34:14	est la plus petite partie de ce qui existe dans l'univers.	is actually the tiniest fraction of what's actually out there in the universe.
19	00:01:35:18	00:01:41:06	La plupart de la matière est faite d'une substance inconnue.	Most of the matter in the universe is made of a substance that we haven't even discovered yet.
20	00:01:45:17	00:01:50:03	- Cette matière fantôme étrange est appelée matière noire.	-This strange ghostly stuff is called dark matter.
21	00:01:52:00	00:01:56:13	Les chercheurs estiment que c'est une particule élémentaire,	Most scientists believe dark matter is a kind of elementary particle,
22	00:01:56:23	00:02:00:23	qui forme de vastes réseaux de nuages ou de halos	hanging in vast networks of clouds or halos,
23	00:02:00:28	00:02:05:04	reliant les 2 milliards de galaxies présentes dans l'univers.	that like the 2 trillion galaxies that make up our universe.
24	00:02:07:05	00:02:11:17	- Si vous aviez des lunettes pouvant détecter la matière noire,	-If you could put on some sort of mask or goggles that could detect dark matter,
25	00:02:11:21	00:02:15:01	vous en verriez des millions vous traverser,	you would see millions of them passing through you every second,
26	00:02:15:05	00:02:18:07	des milliards, partout, tout le temps.	millions of them, billions all around you all the time.
27	00:02:18:18	00:02:21:20	On ne les voit pas, mais leur effet est bien réel.	You can't see them, but their effect is very real.
28	00:02:24:04	00:02:29:22	- Nous découvrons aujourd'hui que des filaments de matière noire	-Crucially, we are now beginning to understand that ghostly tendrils of dark matter
29	00:02:30:00	00:02:33:15	ont sculpté l'univers d'aujourd'hui.	have shaped everything we see in our universe today.
30	00:02:35:15	00:02:40:06	Ils pourraient même avoir influencé notre évolution.	They may have even played a key role in the evolution of us.
31	00:02:41:13	00:02:44:11	- La matière noire est une marionnettiste,	-Dark matter is kind of like an invisible puppet master.
32	00:02:44:16	00:02:48:10	elle tire sur ses fils invisibles, et contrôle l'univers.	With invisible strings, controlling the movement of everything we can see.
33	00:02:49:06	00:02:52:10	Elle est la cause principale de notre existence.	It is the central reason for our existence.
34	00:02:52:19	00:02:56:01	- S'il y a une galaxie dans laquelle on peut vivre,	-The fact that our galaxy exists for us to exist in
35	00:02:56:06	00:03:00:07	c'est grâce à la matière noire. - En fait, la matière noire	is due to the fact that dark matter exists. - If you were to think about it,
36	00:03:00:14	00:03:02:21	est la matière à réflexion.	dark matter is the matter that matters.
37	00:03:04:04	00:03:07:27	- Comment la matière noire a-t-elle construit l'univers ?	So how did dark matter shape the universe we see today?
38	00:03:08:14	00:03:13:04	Comment le savoir ? Remonter jusqu'au tout début :	Best way to find out? Take a trip back to the beginning of everything.

39	00:03:13:14	00:03:14:19	le Big Bang.	The big bang.
40	00:03:17:08	00:03:19:28	Il y a 13,8 milliards d'années,	13.8 billion years ago,
41	00:03:20:02	00:03:25:24	Un point infiniment chaud et infiniment dense explose.	An infinitely hot and infinitely dense spec bursts into existence.
42	00:03:27:06	00:03:30:02	Ce point est l'univers primitif.	This spec is the infant universe.
43	00:03:30:10	00:03:34:11	Il est chaud, et ne contient que de l'énergie pure.	It's hot, and filled with nothing but pure energy.
44	00:03:35:21	00:03:37:19	Il refroidit en grandissant,	As it expands, it cools,
45	00:03:37:25	00:03:42:25	et une partie de l'énergie se concentre en particules.	and some of the energy condenses to form tiny subatomic particles
46	00:03:43:27	00:03:47:22	Mais ce ne sont pas les particules qui nous constituent,	But these aren't the protons or electrons that make up you and me.
47	00:03:48:03	00:03:50:22	ce sont des particules de matière noire.	They're particles of dark matter.
48	00:03:52:16	00:03:56:07	- Si la matière noire est faite de particules étranges,	-If dark matter is made up of strange subatomic particles,
49	00:03:56:14	00:03:59:26	elle a été créée très tôt dans l'univers primitif,	these were probably created in the very, very early universe,
50	00:04:00:04	00:04:02:18	juste un instant après le Big Bang.	moments after the big bang itself.
51	00:04:02:27	00:04:06:20	Même la matière normale n'existait peut-être pas encore.	Even normal matter may not have existed when dark matter did.
52	00:04:09:00	00:04:12:00	Moins d'une seconde après le Big Bang,	The universe is still less than a second old.
53	00:04:12:27	00:04:15:04	l'univers est chaud et dense.	It's incredibly dense and hot.
54	00:04:16:17	00:04:21:28	Dans cet univers étroit, la matière noire est comprimée.	In this confined space, the dark matter particles are crammed tightly together.
55	00:04:22:15	00:04:24:26	Les collisions sont inévitables.	Collisions are inevitable.
56	00:04:25:03	00:04:29:10	Les particules s'anéantissent en entrant en collision,	The particles annihilate each other as they smash together,
57	00:04:29:25	00:04:32:03	et libèrent de l'énergie.	releasing a burst of energy.
58	00:04:33:13	00:04:38:16	Et quelque chose d'autre : des particules de matière normale.	Plus something new. Subatomic particles of ordinary matter.
59	00:04:39:09	00:04:42:25	Elles constituent l'univers que nous voyons.	The stuff that makes up the universe we can see.
60	00:04:44:25	00:04:50:07	- Il est probable qu'une collision dans l'univers primitif	-It's very plausible that two dark matter particles that collided and annihilated in the early universe

61	00:04:50:18	00:04:53:16	ait créé un électron qui fait partie de moi.	produced an electron that's now part of my body.
62	00:04:53:22	00:04:57:26	Je serais donc littéralement un enfant de la matière noire.	So I might actually be a child of dark matter, even in the very direct and literal sense.
63	00:05:00:25	00:05:06:25	- Des collisions de matière noire ont-elles créé tout dans l'univers ?	Did colliding dark matter particles really make all the ordinary matter we see in the universe today?
64	00:05:08:03	00:05:11:26	Ça dépend de la nature des particules de matière noire.	It depends on what dark matter particles are made of.
65	00:05:13:09	00:05:18:27	Elles sont sûrement 100 fois plus massives qu'un proton,	The best bet is that dark matter is a particle 100 times the mass of a proton
66	00:05:20:01	00:05:22:08	mais à l'inverse de la matière,	but, unlike ordinary matter,
67	00:05:22:14	00:05:26:16	elles n'interagissent ni avec la lumière, ni rien d'autre.	it doesn't interact with light or anything else.
68	00:05:27:10	00:05:32:11	- Une des meilleures hypothèses est celle des WIMPs.	-One of The top contenders for dark matter is something called a WIMP,
69	00:05:32:26	00:05:37:10	Ces particules du Big Bang sont encore présentes aujourd'hui.	a Weakly Interacting Massive Particle.
70	00:05:38:04	00:05:39:27	- Les WIMPs sont Les favoris	This is particle that was made in the big bang, that's left over today.
71	00:05:40:01	00:05:44:23	parce qu'en insérant leur propriétés dans des simulations du Big Bang,	-WIMPs are the leading contender,
72	00:05:45:10	00:05:49:25	on obtient un univers très proche du nôtre :	because if you plug their properties into computer simulations of the big bang,
73	00:05:50:09	00:05:55:09	fait de 84% de matière noire et seulement 16% de matière normale.	you end up with a universe that looks just like the universe we see today.
74	00:06:00:10	00:06:04:07	- Ça correspond plus ou moins aux proportions qu'on calcule.	With 84% dark matter, and just 16% ordinary matter.
75	00:06:04:13	00:06:07:06	Il y a donc de bonnes preuves indirectes	-We get numbers that correspond roughly to the amount of dark matter we infer in the universe.
76	00:06:07:11	00:06:10:20	que ces particules sont la matière noire.	So there's good evidence, indirectly, that these particles may be the dark matter.
77	00:06:11:28	00:06:15:19	-Si c'est le cas, la structure subatomique de l'univers	-If current thinking is right, the subatomic building blocks of the universe
78	00:06:15:24	00:06:18:01	résulte des collisions de WIMPs.	were forged from colliding WIMPs.
79	00:06:18:17	00:06:23:01	Mais pour la matière noire, ce n'est que le début.	But dark matter's role in building the cosmos was just getting started.
80	00:06:23:15	00:06:28:04	En fait, elle pourrait résoudre un des mystères de la cosmologie :	In fact, dark matter may answer on the great mysteries of cosmology-

81	00:06:28:18	00:06:32:05	comment le gaz primordial dans l'univers primitif	how the primordial gas that filled the early universe
82	00:06:32:10	00:06:35:23	s'est-il effondré pour créer les premières étoiles ?	clumped together to form the first stars.
83	00:06:36:05	00:06:40:01	Le mystère débute juste après le Big Bang.	The mystery begins when the universe is less than a second old.
84	00:06:42:03	00:06:43:28	Soudain, il gonfle.	It suddenly expands.
85	00:06:45:13	00:06:49:03	- En un millionième de milliardième de milliardième de seconde,	-In a period of about millionth of a billionth of a billionth of a second,
86	00:06:49:24	00:06:54:27	notre univers a grandi de 90 ordres de grandeur :	our universe puffed up by over 90 orders of magnitude in volume.
87	00:06:55:01	00:06:58:23	de la taille d'un atome à celle d'une balle de basket.	It went from the size of a single atom to the size of a basketball.
88	00:06:59:16	00:07:02:28	En une fraction de seconde.	In a fraction of a fraction of a fraction of a second.
89	00:07:04:18	00:07:10:01	- L'expansion a créé des particules uniformément distribuées,	-This rapid expansion creates a vast sea of evenly spread particles
90	00:07:10:06	00:07:14:07	qui refroidissent et s'assemblent en hydrogène et en hélium.	which cool to form atoms of hydrogen and helium.
91	00:07:15:03	00:07:21:14	Ces gaz, sous l'effet de la gravité, s'effondrent et forment les étoiles.	The gases that will one day collapse under the force of gravity to become the first stars.
92	00:07:22:15	00:07:24:12	Mais il y a un problème.	But there's a problem.
93	00:07:24:25	00:07:29:12	Le gaz dans l'univers primitif est trop homogène, trop uniforme,	The gas of the early universe is too evenly spread, too smooth
94	00:07:29:20	00:07:32:24	pour que la gravité soit plus forte par endroits,	for gravity to pull on some parts more than others,
95	00:07:33:00	00:07:36:16	et pour que certaines régions puissent s'effondrer.	and trigger regions of the gas to collapse and clump.
96	00:07:37:01	00:07:39:19	- Si l'univers était vraiment uniforme,	-If the universe was completely smooth,
97	00:07:40:03	00:07:45:21	il serait beau, mais ennuyeux. Il n'y aurait que du gaz.	It would be beautiful but boring. Because nothing would exist that we could see.
98	00:07:47:29	00:07:53:10	- Quelque chose a fait s'effondrer le gaz uniforme, créant les étoiles.	-Something must have made The smooth sea of gas collapse and build the first stars.
99	00:07:54:29	00:07:59:07	- Quelque chose d'étrange, qui opère dans l'infiniment petit.	Something weird, operating on the tiniest of scales.
100	00:08:00:20	00:08:05:04	- Ce qui est vraiment intéressant, c'est qu'à cette échelle,	-One thing that really interesting about that, is that on very small scales

101	00:08:05:09	00:08:09:16	le principe d'incertitude de Heisenberg a des effets étranges.	due to the Heisenberg uncertainty principle, strange things can happen.
102	00:08:10:24	00:08:16:29	- On peut calculer le mouvement d'une voiture, ou d'un joggeur.	-When we see a car, a runner, or even a spacecraft, we can calculate their motions.
103	00:08:19:10	00:08:24:21	Mais dans le monde quantique, cette certitude est perdue.	In the tiny quantum world of the infant universe, that certainty is missing.
104	00:08:25:12	00:08:30:17	Rien n'a un mouvement ou une position sûrs, et donc,	Nothing has a definite momentum or position, and because nothing was locked in place,
105	00:08:30:23	00:08:34:20	des fluctuations ont pu apparaître dans l'univers.	fluctuations or grooves could develop in the expanding universe.
106	00:08:35:19	00:08:41:04	Durant l'expansion, ces fluctuations sont restées figées,	And when the universe expanded rapidly, these fluctuations became frozen in place,
107	00:08:41:22	00:08:45:19	créant des points denses où le gaz peut s'effondrer,	creating dense points around which the gas could collapse,
108	00:08:46:01	00:08:50:02	comme un terreau pour étoiles.	acting like gravitational seeds for star formation.
109	00:08:51:21	00:08:56:04	- Heureusement, ces fluctuations originelles,	-Fortunately, there were these seed fluctuations, which
110	00:08:56:12	00:09:01:00	un peu comme une ADN cosmique, ont déterminé où et quand	acted kind of like a cosmic DNA, determining where and when and how
111	00:09:01:04	00:09:03:28	se sont formées les structures du cosmos,	structure later grew into the stars, the planets,
112	00:09:04:03	00:09:07:21	telles que les étoiles et les planètes.	and all the other awesome structures we see around us in today's world.
113	00:09:08:02	00:09:11:08	C'est une des plus belles idées de toute la science,	I think it's one of the most beautiful ideas in all of science, that something
114	00:09:11:17	00:09:16:24	que le principe d'Heisenberg, qui s'applique au niveau quantique,	like the Heisenberg uncertainty principle, which we thought applied only to tiny things in quantum mechanics,
115	00:09:17:00	00:09:21:29	a créé les plus grandes structures qu'on connaisse dans l'univers.	ultimately is responsible for the biggest structures that we know of in the cosmos.
116	00:09:22:18	00:09:24:12	Donc merci, Heisenberg.	So, thank you Heisenberg.
117	00:09:30:02	00:09:33:17	- Ces fluctuations semblent résoudre le mystère	-The development of The fluctuations seems to solve the mystery
118	00:09:33:26	00:09:36:15	de la structure de l'univers.	of how the universe evolved its structure.
119	00:09:37:11	00:09:42:18	Mais il y a un autre problème. Selon les calculs, la masse du gaz	But there's another problem. If you do the math, the mass of the gas alone
120	00:09:42:26	00:09:48:05	n'a pas assez de gravité pour former les étoiles.	doesn't pack enough gravity to create all the stars we see in the universe today.

121	00:09:49:20	00:09:54:10	De la masse a dû être ajoutée aux nuages de gaz.	Something else must have added mass to the collapsing gas clouds.
122	00:09:54:23	00:09:58:19	Est-ce l'œuvre de la matière noire ?	Could that something have been dark matter?
123	00:10:09:14	00:10:13:12	- Les cosmologistes font face à un paradoxe déconcertant :	- Today, cosmologists are grappling with the puzzling paradox -
124	00:10:13:22	00:10:17:17	comment le gaz primordial se serait-il effondré	how did the gas that once filled the universe collapse so quickly
125	00:10:17:23	00:10:22:10	pour former étoiles, s'il n'y avait pas assez de gaz ?	to form the stars we see today when there wasn't enough gas to begin with?
126	00:10:23:01	00:10:27:03	La seule réponse : autre chose devait être présent,	The only answer - something other than normal matter
127	00:10:27:14	00:10:32:24	donnant de la masse au gaz, et catalysant leur effondrement.	must have been out there, adding mass to the gas clouds, helping the collapse into stars.
128	00:10:33:08	00:10:35:21	- La matière normale seule, en fait,	-If you only have normal matter, it turns out,
129	00:10:35:29	00:10:39:29	ne suffit pas à former la structure de l'univers.	things just don't grow fast enough you don't have enough structure in the universe.
130	00:10:40:07	00:10:43:03	- On peut calculer qu'il n'y a pas assez de temps	-We can calculate that there wouldn't have been enough time
131	00:10:43:15	00:10:46:19	depuis le Big Bang pour que la matière normale	since the beginning of the universe, for normal matter to collapse
132	00:10:46:22	00:10:50:04	puisse former les étoiles et les planètes.	to form galaxies, stars, planets and people.
133	00:10:51:12	00:10:52:26	- On pense aujourd'hui	Many scientists now believe
134	00:10:53:05	00:10:56:19	que le catalyseur accélérant la formation d'étoiles	the extra push speeding up the formation of stars
135	00:10:56:26	00:11:00:05	est la gravité de la matière noire.	was the gravity of invisible dark matter.
136	00:11:00:21	00:11:04:19	- Même si elle n'interagit pas avec la matière normale,	-Even though dark matter and normal matter can't interact directly,
137	00:11:04:29	00:11:07:02	elle interagit via la gravité.	they do interact via gravity
138	00:11:07:07	00:11:10:28	Et c'est crucial pour notre existence.	, and it turns out that is critically important to our existence.
139	00:11:11:25	00:11:16:16	- En incluant la matière noire, tout marche, et c'est incroyable	-If you put that dark matter in, everything works out and it's kind of amazing how well
140	00:11:16:21	00:11:18:16	à quel point on y voit clair.	we can make the universe work.
141	00:11:22:01	00:11:26:00	- En grandissant, l'univers refroidit.	-As the universe expands, it also cools.

142	00:11:27:02	00:11:30:13	Il est rempli de gaz d'hydrogène et d'hélium.	It's now a sea of hydrogen and helium gas.
143	00:11:33:20	00:11:36:04	Il y a aussi beaucoup de matière noire,	There's also lots of dark matter around,
144	00:11:36:12	00:11:41:07	qui s'est agglomérée dans les fluctuations de l'univers,	which has built up in the fluctuations or grooves in the expanding universe,
145	00:11:41:25	00:11:44:19	créant des régions à haute gravité.	crating regions of high gravity.
146	00:11:46:03	00:11:49:05	- La matière noire était libre d'agir,	-The dark matter was free to actually start doing its own thing.
147	00:11:49:11	00:11:53:23	et développa ses groupements avant la matière normale.	and started growing its patterns and its clustering.
148	00:11:54:00	00:11:57:07	Elle joua donc un rôle essentiel	before the ordinary matter did. That's why dark matter actually played such a key role in
149	00:11:57:15	00:12:00:26	dans la création de l'univers riche où nous vivons.	creating this much more interesting universe that we live in today.
150	00:12:03:04	00:12:06:07	- La gravité de ces groupements	-The gravitational pull of these clumps of dark matter
151	00:12:06:13	00:12:10:07	attire d'énormes nuages d'hydrogène et d'hélium.	drags in huge clouds of hydrogen and helium.
152	00:12:12:01	00:12:14:13	Les nuages se condensent,	The clouds get denser and denser,
153	00:12:14:18	00:12:17:15	jusqu'à provoquer une fusion nucléaire.	until they trigger nuclear fusion.
154	00:12:18:13	00:12:24:11	Les premières étoiles naissent grâce à la matière noire.	And the first stars in our universe are born, thanks to dark matter.
155	00:12:26:27	00:12:32:27	- En s'agglomérant, elle aide la matière normale à se regrouper.	-It clumped and collapsed, and that would later allow all the normal matter to fall in.
156	00:12:34:14	00:12:37:22	Elle donne la première impulsion aux étoiles,	Dark matter is what gave the initial kick to form stars,
157	00:12:38:03	00:12:42:09	aux trous noirs, aux planètes, et à tout le reste.	black holes, planets, aliens, people, and everything else.
158	00:12:48:03	00:12:52:22	- Comprenez bien, la matière noire est la matière prépondérante.	-You really have to understand that dark matter is the dominant form of matter in the universe.
159	00:12:53:03	00:12:56:11	Elle a tout mis en marche au commencement,	At the very beginning of the universe, that's what got everything started,
160	00:12:56:16	00:12:59:25	la matière normale suivait juste le courant.	and regular matter was just along for the ride.
161	00:13:02:19	00:13:07:08	- La matière noire explique la naissance des premières étoiles.	-Dark matter explains how the first stars in the universe burst into life.

162	00:13:09:25	00:13:13:25	Mais quand les astronomes étudient l'univers primitif,	But when astronomers gaze back to the early universe,
163	00:13:14:03	00:13:18:24	ils trouvent aussi autre chose : des monstres de l'univers,	they see these stars weren't alone. They lived alongside monsters,
164	00:13:19:14	00:13:21:24	les trous noirs supermassifs.	supermassive black holes.
165	00:13:22:27	00:13:26:14	- C'est problématique de trouver ces trous noirs	-A real puzzle is that we see some of these supermassive black holes
166	00:13:26:19	00:13:28:09	aussi tôt dans l'univers.	in the very early universe.
167	00:13:28:14	00:13:32:15	- Ces trous noirs n'auraient pas dû avoir le temps	-So there really wasn't enough time between the big bang and when we're studying these things
168	00:13:32:20	00:13:35:23	de devenir aussi massifs.	for them to grow to such large sizes.
169	00:13:37:21	00:13:41:29	- Les trous noirs supermassifs sont les poids lourds de l'univers.	-Supermassive black holes are the heavyweights of the early universe.
170	00:13:43:01	00:13:47:16	Certains font 12 milliards de fois la masse de notre Soleil.	Some weight in at 12 billion times the mass of our Sun.
171	00:13:48:26	00:13:54:16	C'est un grand mystère de l'univers. Comment ont-ils grossi aussi vite ?	How they grew so gigantic so quickly has been one of the biggest mysteries in cosmology.
172	00:13:55:09	00:13:57:28	Nous avons peut-être la réponse.	Until, perhaps, now.
173	00:14:00:10	00:14:04:08	Certains chercheurs pensent que ces trous noirs précoces	Some scientists believe the beginning of these early black holes
174	00:14:04:13	00:14:07:19	pourraient provenir d'une super étoile étrange	could have been formed by a strange super-star
175	00:14:07:24	00:14:09:22	appelée étoile noire.	called a dark star.
176	00:14:11:00	00:14:16:04	- Ces étoiles seraient les premières à prendre forme dans l'univers.	-Dark stars would be The very first stars to form in the universe.
177	00:14:16:15	00:14:20:01	Elles seraient apparues après 200 millions d'années.	So they formed when the universe is about 200 million years old.
178	00:14:20:16	00:14:22:16	Des astres très précoces,	These are very early objects,
179	00:14:22:23	00:14:26:08	faits de matière normale, d'hydrogène et d'hélium,	they are made of ordinary matter, they are made of hydrogen and helium,
180	00:14:26:22	00:14:29:08	mais alimentés par la matière noire.	But they're powered by dark matter.
181	00:14:31:28	00:14:37:21	- Selon Katherine Freese, l'énorme gravité des étoiles géantes	-Katie Freese believes that as these giant early stars formed in the early universe

182	00:14:38:09	00:14:43:15	attire de la matière noire dans leur noyau.	their enormous gravity dragged dark matter particles into their cores.
183	00:14:46:05	00:14:50:27	Ces particules entrent en collision, et libèrent beaucoup d'énergie.	These particles smashed into each other, releasing bursts of energy.
184	00:14:52:16	00:14:54:08	- En entrant en collision,	-Whenever they encounter each other,
185	00:14:54:14	00:14:58:04	elles s'annihilent, et se transforment en autre chose.	they annihilate and turn into something else.
186	00:14:58:10	00:15:01:00	Ça libère beaucoup d'énergie.	That means a lot of heat is released, a lot of energy.
187	00:15:01:05	00:15:04:25	Et cette énergie pourrait alimenter les étoiles.	And it's that energy that could power stars.
188	00:15:07:17	00:15:10:14	- Les réaction internes de certaines étoiles	-So it's possible that in some stars,
189	00:15:10:19	00:15:14:14	pourraient être alimentées par la matière noire.	their internal reactions are actually being powered by dark matter.
190	00:15:14:25	00:15:19:21	L'annihilation de la matière noire entretient leurs réactions.	Effectively dark matter annihilation is providing energy to keep these stars lit up.
191	00:15:24:16	00:15:29:09	- C'est assez remarquable, car 0,01% de matière noire suffit	-It's quite remarkable because you only need one part in 10.000 of dark matter
192	00:15:29:14	00:15:32:07	pour alimenter une étoile géante.	to power an entire giant star.
193	00:15:35:22	00:15:42:16	- Ceci permet aux étoiles noires d'atteindre une taille gigantesque.	-The energy form dark matter annihilations allowed the dark stars to become super large.
194	00:15:43:04	00:15:45:17	- Ces astres précoces sont étranges.	-These early objects are really strange.
195	00:15:45:22	00:15:49:16	Ils sont très froids, et ils sont vraiment énormes.	They're very cool, and they're really really big.
196	00:15:49:24	00:15:53:21	Leur taille est dix fois supérieure	The size of these things is 10 times the size
197	00:15:53:28	00:15:56:20	à la distance entre le Soleil et la Terre.	the distance between the Sun and the Earth.
198	00:15:56:25	00:16:01:26	Elles sont donc énormes, froides, et alimentées par la matière noire.	So they're really big, puffy, cool, and powered by dark matter annihilation.
199	00:16:04:27	00:16:10:25	- Mais quand la matière noire est épuisée, l'équilibre est rompu.	-But when their dark matter fuel ran out, these huge stars had nothing left to hold them up.
200	00:16:11:20	00:16:14:05	- Plus rien n'entretient les réactions.	-There's nothing to sustain this big puffy object.
201	00:16:14:10	00:16:16:00	L'étoile va s'effondrer.	It's gonna collapse.
202	00:16:16:11	00:16:19:23	Si elle est assez massive, elle devient un trou noir.	If it's big enough, you collapse directly to a black hole.

203	00:16:21:24	00:16:24:12	- Puisque l'étoile est très massive,	-Because The collapsing star was so huge
204	00:16:24:19	00:16:28:23	le trou noir qu'elle forme est aussi supermassif.	the new black hole it formed was also supermassive.
205	00:16:30:14	00:16:35:09	- Si les étoiles noires existent, un trou noir pourrait naître massif.	-If dark stars exist, then black holes could be born big.
206	00:16:35:26	00:16:38:07	La matière noire pourrait engendrer	So because of dark matter, you could start with
207	00:16:38:12	00:16:41:04	ces trous noirs très tôt dans l'univers.	very very massive black holes early in the universe.
208	00:16:41:10	00:16:45:19	Mais seulement si la matière noire alimente ces étoiles précoces.	But that's only because you have the dark matter to power these early stars.
209	00:16:46:27	00:16:50:20	La matière noire aurait posé les fondations de l'univers :	-dark matter may have helped form the basic units of our universe -
210	00:16:51:20	00:16:53:24	les étoiles et les trous noirs.	stars and black holes.
211	00:16:55:29	00:17:01:09	Mais son influence serait-elle plus grande encore ?	But did the reach of this mysterious puppet master stretch even further?
212	00:17:02:00	00:17:06:06	La distribution des galaxies suit certaines tendances	There are patters in the distribution of galaxies and galaxy clusters
213	00:17:06:18	00:17:10:20	que la matière normale ne peut pas expliquer.	that normal matter alone can't explain.
214	00:17:20:04	00:17:25:25	Le Soleil n'est qu'une étoile parmi 200 milliards dans la galaxie.	Our home star, the Sun, is just one of 200 million stars that make up our galaxy.
215	00:17:27:19	00:17:30:29	Mais d'où vient ce vaste groupe d'étoiles ?	But how did this vast collection of stars first form?
216	00:17:33:09	00:17:37:04	Si on applique un filtre imaginaire à matière noire,	View the milky way with imaginary dark matter goggles,
217	00:17:37:15	00:17:39:14	on trouve un indice :	and you'll find a clue.
218	00:17:41:05	00:17:45:04	un halo de matière noire entourant la galaxie.	A halo of dark matter surrounding the galaxy.
219	00:17:46:08	00:17:51:20	- Un halo de matière noire apporte plus de gravité,	-A dark matter halo helps a galaxy form simply by
220	00:17:51:25	00:17:54:23	ce qui favorise la formation de la galaxie.	providing gravity to pull things together, catalysing it.
221	00:17:54:28	00:17:59:17	- Elle s'est peut-être formée ainsi. La gravité de cette structure	-And that may have allowed our galaxy to form. The gravity from this huge construct
222	00:17:59:22	00:18:03:06	a attiré la matière et formé la galaxie en son milieu.	Brought regular matter in to form the milky way in the middle.
223	00:18:05:23	00:18:07:09	- Auparavant, on pensait	-Astronomers used to think

224	00:18:07:14	00:18:11:20	que la répartition des galaxies dans l'univers était aléatoire.	the distribution of galaxies throughout the universe was random.
225	00:18:12:05	00:18:16:08	Mais des observation récentes révèlent une chose incroyable :	Bu recent observations have discovered something extraordinary-
226	00:18:16:22	00:18:21:11	des filaments de galaxies qui s'étendent à travers l'univers	walls of interlinked galaxies that stretch trough space
227	00:18:21:16	00:18:24:08	sur des millions d'années-lumière.	for millions and millions of light-years.
228	00:18:25:13	00:18:28:04	- On a fait une découverte importante :	-One of The most amazing discoveries of the last few decades
229	00:18:28:14	00:18:33:04	les galaxies s'assemblent en filaments gigantesques.	is that galaxies formed these vast superstructures that actually span the known universe.
230	00:18:33:08	00:18:35:17	Le Grand Mur est un de ces filaments,	The Great Wall is a filament of galaxies
231	00:18:35:22	00:18:39:09	long de centaines de millions d'années-lumière.	that stretches hundreds of millions of light-years.
232	00:18:40:25	00:18:44:20	- Pour comprendre comment ces filaments se forment,	-To understand how these vast galactic structures formed
233	00:18:44:25	00:18:46:25	on utilise des télescopes	astronomers use telescopes
234	00:18:47:03	00:18:51:29	tels que l'ALMA, Atacama Large Millimeter Array.	like the Atacama Large Millimeter Array, or ALMA for short.
235	00:18:53:18	00:18:56:28	C'est un réseau de 66 radiotélescopes,	It's an array of 66 radio telescopes.
236	00:18:57:06	00:19:01:10	si puissant qu'il peut voir des milliards d'années en arrière,	It's so powerful, it can peer back billions of years,
237	00:19:01:26	00:19:05:15	jusqu'à la formation des premiers filaments.	to the formation of the earliest galactic structures.
238	00:19:06:10	00:19:09:23	- ALMA peut remonter dans l'histoire de l'univers	-Now ALMA can actually look back into the history of the universe
239	00:19:09:29	00:19:13:22	et observer les jeunes galaxies former ces structures,	and see similar structures being formed by these giant baby galaxies,
240	00:19:13:28	00:19:16:21	comme un proto Grand Mur.	sort of a proto Great Wall.
241	00:19:19:16	00:19:24:08	- ALMA nous donne un aperçu de l'adolescence de l'univers.	-ALMA gives us a snapshot of how the adolescent universe evolved.
242	00:19:26:00	00:19:28:15	Lors de l'expansion de l'univers,	It shows us that as the universe expanded,
243	00:19:28:21	00:19:32:02	les galaxies s'alignent sur leurs voisines,	the new-born galaxies aligned with their neighbours.

244	00:19:33:19	00:19:38:27	comme si l'expansion de l'univers produisait des filaments collants.	It was as if the expanding universe was producing sticky filaments.
245	00:19:39:04	00:19:43:21	La matière construisant les galaxies adhère à ces filaments,	And the materials building new galaxies were sticking to these threads,
246	00:19:44:00	00:19:46:23	comme une mouche sur une toile d'araignée.	like flies to a spider's silk.
247	00:19:47:08	00:19:51:14	Il s'avère que ces filaments sont de la matière noire.	It turns out, these invisible filaments are dark matter.
248	00:19:52:13	00:19:57:24	- Comme un échafaud de matière noire qui attire la matière normale.	-It's like a scaffolding of dark matter that was pulling normal matter into it.
249	00:20:00:16	00:20:01:29	- Durant l'expansion ,	-As the universe expanded,
250	00:20:02:04	00:20:06:26	les amas de matière noire ont grandi moins vite que le reste.	the original clumps of dark matter didn't expand as quickly as the rest.
251	00:20:07:28	00:20:10:11	Ils collent comme un caramel gluant,	They stuck together like sticky toffee,
252	00:20:10:17	00:20:14:06	et leur puissante gravité les étire en filaments.	with their powerful gravity shaping them into filaments.
253	00:20:15:16	00:20:19:15	Ces filaments ont tissé une toile de brins de matière noire	The filaments formed a sprawling web of dark matter strands
254	00:20:19:23	00:20:22:09	qui s'étend à travers l'univers.	stretching throughout the universe.
255	00:20:23:29	00:20:28:10	La gravité de cette toile a ensuite attiré la matière normale.	The gravity of this dark matter web then dragged in normal matter,
256	00:20:28:17	00:20:31:07	Elle s'agglomère aux croisements,	which built up where the filaments meet,
257	00:20:32:06	00:20:35:28	et finit par s'effondrer pour former les galaxies.	and eventually collapsed to form galaxies.
258	00:20:37:09	00:20:39:29	Les filaments épais attirent plus de gaz,	The thicker filaments pulled in the most gas.
259	00:20:40:04	00:20:43:20	servant de fondations aux amas de galaxies.	providing the building blocks for galaxy clusters.
260	00:20:45:09	00:20:48:03	- Le gaz est attiré par ces filaments,	-They actually fall On these tremendous filaments across the universe.
261	00:20:48:08	00:20:52:00	qui sont longs de millions d'années-lumière.	Hundreds of millions of light-years across
262	00:20:52:03	00:20:57:20	Ce sont des structures titanesques, impossibles sans la toile.	We're talking about tremendously large structures. But they would not exist if it weren't for dark matter.
263	00:20:58:02	00:21:02:10	Et les galaxies ont pu se former grâce à cette structure.	And the galaxies themselves were able to form because of this structure.

264	00:21:02:22	00:21:06:29	Les galaxies, les étoiles, les planètes et vous aujourd'hui	There are galaxies and stars and planets, and you here today,
265	00:21:07:07	00:21:11:06	existez tous grâce à elle, et à son rôle d'architecte.	that's because of the dark matter providing the framework
266	00:21:13:05	00:21:17:11	- Tout comme la trame d'une ville détermine où sont les bâtiments,	-Just like a grid system In a city defines where the buildings are going to be,
267	00:21:17:21	00:21:21:22	les galaxies s'agrègent autour de la trame cosmique.	galaxies assemble themselves around the cosmic grid.
268	00:21:22:01	00:21:27:01	- Les urbanistes sur terre s'inspirent de l'univers, on dirait.	-It seems like city planners here On Earth have been following the lead of the universe.
269	00:21:27:11	00:21:31:22	Sauf qu'ils utilisent des routes, pas de la matière noire.	Except those planners use road in place of dark matter.
270	00:21:32:06	00:21:34:16	New York est l'exemple parfait.	New York is the perfect example.
271	00:21:35:05	00:21:38:01	- Imaginez New York sans routes.	-Let's imagine New York City without roads.
272	00:21:38:20	00:21:43:17	Il n'y aurait plus aucune structure. Tout s'effondrerait.	There would be no structure, no foundation. And the whole thing would fall apart.
273	00:21:44:26	00:21:49:01	Quand on a conçu la ville, on a commencé par la trame,	When people first designed the city, they laid down the grid,
274	00:21:49:12	00:21:52:20	on a construit les rues, les fondations de la ville.	they built the roads, and that was really the foundation.
275	00:21:52:29	00:21:55:16	Les bâtiments sont arrivés après.	And then later on they built the buildings.
276	00:21:56:18	00:22:01:14	- Tout comme la matière noire transporte la matière des galaxies,	-Just like The dark matter web transported the building materials for galaxies,
277	00:22:02:02	00:22:06:00	les rues de New York ont amené le ciment et l'acier	New York's grid of roads brought the steel and concrete
278	00:22:06:05	00:22:08:11	pour construire ses bâtiments.	to build its city blocks.
279	00:22:08:25	00:22:13:11	- La matière noire est la fondation, la structure cosmique,	-It's the dark matter that gives you the foundation, gives you the cosmic structure
280	00:22:13:22	00:22:17:07	et ce n'est que plus tard que la matière normale	and then later on, the normal matter fell into
281	00:22:17:12	00:22:19:20	forme les galaxies et les amas.	the galaxies and the clusters that we see today.
282	00:22:20:28	00:22:24:26	- L'élégance de ces découvertes me laisse sans voix.	-The elegance of This newly discovered structure of the universe really astounds me.
283	00:22:25:06	00:22:28:24	Cette toile de matière noire crée une sorte d'autoroute	You have this web of dark matter, and it almost creates highways
284	00:22:28:29	00:22:31:29	qu'emprunte la matière normale.	for regular matter to fall into these nexuses.

285	00:22:32:08	00:22:35:28	Et c'est là que se forment les plus grandes galaxies.	And that's where you form the biggest, brightest galaxies.
286	00:22:38:25	00:22:41:08	- Plus on étudie la matière noire,	-The more cosmologists study dark matter,
287	00:22:41:14	00:22:46:29	plus on comprend son importance dans l'évolution de l'univers.	the more they see the crucial role it's played in shaping the universe we see today.
288	00:22:48:05	00:22:51:25	Mais malgré ces découvertes,	But despite these insights into our origins,
289	00:22:52:02	00:22:56:23	les chercheurs ne savent pas encore ce qu'est vraiment la matière noire.	scientists still don't know what dark matter actually is.
290	00:22:58:09	00:23:02:18	Comment mesurer quelque chose qu'on ne peut ni toucher ni sentir ?	How do you measure something that you can't see or feel?
291	00:23:14:15	00:23:19:25	Ces 50 dernières années, une découverte inouïe a été faite.	In the last 50 years, astronomers have discovered something incredible about our universe-
292	00:23:21:20	00:23:26:13	Une force invisible contrôle l'univers : la matière noire.	it's controlled by an invisible puppet master called dark matter.
293	00:23:29:03	00:23:33:13	Elle a créé et organisé la structure de l'univers.	Dark matter created and organized the large-scale structure of our universe.
294	00:23:36:01	00:23:39:19	Elle a même peut-être créé les atomes dans votre corps.	It may have even created the atoms that make up your body.
295	00:23:42:03	00:23:45:09	Mais elle est insondable, car on ne peut ni la voir,	But it remains a mystery because we can't see it, feel it,
296	00:23:45:14	00:23:48:00	ni la mesurer directement.	or measure it directly.
297	00:23:51:10	00:23:56:00	- Mais on sait une chose : elle n'interagit pas avec la lumière.	-One of The properties of dark matter that we know for sure is that it doesn't interact with light.
298	00:23:56:03	00:24:01:19	Elle ne brille pas, n'interagit pas, donc si on pointe un laser dessus,	It doesn't shine, it doesn't interact with light, and so if you shine a laser beam on dark matter
299	00:24:01:24	00:24:05:04	il passe à travers, il ne fait rien du tout.	the laser beam goes right through, it doesn't do anything.
300	00:24:06:06	00:24:08:22	- «Matière noire» est un peu trompeur.	-The term dark matter might be a little bit misleading.
301	00:24:08:26	00:24:12:05	Ce serait plutôt une «matière transparente».	maybe the real term for this stuff is transparent matter.
302	00:24:12:10	00:24:15:27	Mais c'est une peut moins cool que «matière noire».	But somehow that doesn't sound quite as cool as dark matter.
303	00:24:16:20	00:24:18:29	- Mais si on ne peut pas la voir,	-So if we can't see dark matter,
304	00:24:19:09	00:24:22:07	pourquoi est-on si sûr qu'elle existe ?	why are scientists so sure it's there?

305	00:24:23:07	00:24:28:04	- On utilise la gravité pour détecter la matière noire.	- We know dark matter's there the same way many things are there that we can't see. We use gravity
306	00:24:28:11	00:24:32:16	La lumière ne l'influence pas, mais elle obéit à la gravité.	Dark matter may not interact with light, but it interacts with gravity.
307	00:24:33:18	00:24:36:02	- En étudiant	-It's only by studying the motions of stars,
308	00:24:36:08	00:24:39:21	des galaxies et des amas, on s'est rendu compte	even the motion of galaxies, and the clustering of galaxies do we know
309	00:24:39:27	00:24:43:02	que quelque chose manque, qui a de la masse,	that there's a lot of extra stuff out there that has mass,
310	00:24:43:07	00:24:48:14	qui oriente les étoiles et galaxies dans des directions inattendues.	that's directing these stars and galaxies to move in ways that are somewhat unexpected.
311	00:24:50:11	00:24:54:12	- Le premier à découvrir le mouvement inhabituel des galaxies	-The first person to detect this unusual movement in galaxies
312	00:24:54:18	00:24:57:25	fut l'astronome Fritz Zwicky, dans les années 30.	was astronomer Fritz Zwicky, in the 1930s.
313	00:24:59:04	00:25:02:03	Avec un télescope de 16 pouces personnalisé,	Using a custom-built 16-inch telescope,
314	00:25:02:08	00:25:07:27	il étudie l'interaction des galaxies dans un groupe compact de galaxies,	he studied how multiple galaxies interact inside a tight grouping of galaxies,
315	00:25:08:10	00:25:09:23	qu'on appelle un amas.	known as a cluster.
316	00:25:11:09	00:25:14:09	- Zwicky étudiait le mouvement des galaxies,	-Fritz Zwicky studying The motions of galaxies and clusters, and what he saw
317	00:25:14:15	00:25:18:17	et il a remarqué qu'elles bougeaient trop vite.	is that these galaxies were moving too fast.
318	00:25:20:18	00:25:24:16	Chaque concentration de masse a une vitesse de libération.	Every concentration of matter has, associated with it, an escape velocity.
319	00:25:24:29	00:25:29:23	Si on dépasse cette vitesse, on échappe à la gravité du système.	And if you're moving faster than the escape velocity, you should no longer be a part of that system.
320	00:25:32:05	00:25:36:11	- Si une fusée va assez vite, elle échappe à la gravité terrestre.	-Just as a rocket can escape Earth's gravity if it's traveling fast enough,
321	00:25:37:24	00:25:41:04	Une galaxie devrait pouvoir échapper à son amas	A galaxy should break away from a galaxy cluster
322	00:25:41:10	00:25:43:09	si elle se déplace assez vite.	if it's moving with enough speed.
323	00:25:44:08	00:25:47:12	Zwicky a remarqué que les galaxies de l'amas Coma	Zwicky noticed that the galaxies in the Coma cluster

324	00:25:47:17	00:25:52:07	se déplaçaient assez vite pour se détacher de leurs voisines.	should be moving fast enough to escape the gravitational pull of their neighbors.
325	00:25:53:01	00:25:56:12	Mais au lieu d'être éparpillées dans l'univers,	But instead of speeding off into different parts of the universe,
326	00:25:56:26	00:26:00:11	elles restaient liées ensemble.	the galaxies remained bound together.
327	00:26:03:27	00:26:07:24	Zwicky a émit l'hypothèse qu'une matière massive inconnue	Zwicky thought some unknown material was adding mass,
328	00:26:08:01	00:26:13:23	ajoutait de la gravité au système et maintenait les galaxies ensemble.	and therefore, extra gravity to the system, holding the galaxies in place.
329	00:26:18:17	00:26:21:02	- Il y a peut-être quelque chose en plus,	-Maybe there's something extra there
330	00:26:21:07	00:26:25:02	qui est responsable de cette gravité supplémentaire.	that's providing more gravity than we can account for based on what we see.
331	00:26:26:24	00:26:32:06	- À l'époque, l'hypothèse de Zwicky sur cette gravité mystérieuse	At the time, Zwicky's ideas for this unexplained source of extra gravity
332	00:26:32:19	00:26:34:10	est totalement ignorée.	fell on deaf ears.
333	00:26:34:24	00:26:37:18	- Zwicky n'était pas très aimable,	-Zwicky was a very unlikable fellow.
334	00:26:37:27	00:26:41:05	et exaspérait nombre de ses collègues.	and I think infuriated many of his colleagues, and that
335	00:26:41:15	00:26:45:24	Cela peut avoir contribué à ce qu'on ignore ses idées.	perhaps, was another reason they were less willing to accept his suggestion.
336	00:26:46:04	00:26:50:03	Mais il était aussi très en avance sur son temps,	The other is that I think he was so ahead of his time as a scientist
337	00:26:50:10	00:26:53:14	et la communauté scientifique a dû le rattraper.	that it just took time for the rest of the community to catch up.
338	00:26:57:03	00:26:59:01	- Il aura fallu 30 ans	-It took another 30 years,
339	00:26:59:06	00:27:02:25	et une découverte cruciale par l'astronome Vera Rubin	and a crucial discovery by astronomer Vera Rubin
340	00:27:03:00	00:27:06:04	pour que la matière noire soit reconnue.	before dark matter made it into the textbooks.
341	00:27:08:06	00:27:10:17	- Vera Rubin étudiait les galaxies.	-Vera Rubin was looking at galaxies themselves,
342	00:27:10:29	00:27:15:23	Le gaz et les étoiles des galaxies vont dans une certaine direction.	Now galaxies are collections of gas and stars and dust, and they have an overall motion.

343	00:27:16:00	00:27:21:05	Notre Voie lactée est un disque, orbitant autour de son centre.	Our milky was galaxy is a disk, and that disk is moving around the center of the galaxy.
344	00:27:21:29	00:27:25:09	- Donc les étoiles au centre devraient aller vite,	-The stars In The middle of The galaxy you expect to go very fast,
345	00:27:25:15	00:27:28:28	et les étoiles plus éloignées devraient être lentes.	and the stars at the outskirts of the galaxy you expect to go around very slowly.
346	00:27:29:03	00:27:34:12	Comme autour du Soleil, les planètes proches vont plus vite.	Just like the inner planets go around the Sun very quickly and the outer planets go around the Sun much more slowly.
347	00:27:35:07	00:27:37:14	- Elle découvre que la périphérie	- What she found was that the outskirts of a galaxy
348	00:27:37:19	00:27:41:22	orbite à la même vitesse que les régions plus centrales.	were spinning around the galaxy at the same speed as parts that were closer in,
349	00:27:41:27	00:27:44:03	Ça n'avait aucun sens.	and that didn't make any sense.
350	00:27:45:02	00:27:47:28	- Les étoiles semblaient figées,	-The stars of the galaxy appeared to be fixed,
351	00:27:48:05	00:27:51:21	comme si elles collaient sur le disque galactique.	almost as if they were glued to a giant spinning wheel.
352	00:27:54:27	00:27:59:26	- La seule explication est qu'il y a de la gravité supplémentaire,	-And The only way that can be is if there's some additional gravity there, some additional stuff there,
353	00:28:00:04	00:28:04:24	qui ajoute de la masse et accélère les étoiles périphériques.	that's adding mass, that's adding gravity, that's making those outer stars go faster.
354	00:28:06:21	00:28:09:24	- La seule solution est que ce disque galactique	-The only conclusion was that the spinning wheel
355	00:28:09:29	00:28:15:07	est influencé par quelque chose de massif, totalement invisible.	was being affected by something very massive. And completely invisible.
356	00:28:16:16	00:28:22:12	Quand les chercheurs ont vérifié l'existence de cette masse,	When astronomers turned their telescopes to see for themselves if this invisible mass was real
357	00:28:23:01	00:28:27:16	ils ont trouvé des preuves presque partout où ils cherchaient.	they found evidence for it almost everywhere they looked.
358	00:28:30:25	00:28:34:04	- De plus en plus de monde a reproduit ces résultats,	-As more and more other people were able to replicate what they had done,
359	00:28:34:23	00:28:38:15	et on s'est rendu compte que Fritz et Vera avaient raison.	people started to realize wow, you know, «Fritz and Vera were right».
360	00:28:39:02	00:28:42:12	Cette matière bizarre existe.	This weird stuff is really out there.
361	00:28:43:15	00:28:45:12	- Et il n'y en a pas qu'un peu.	-And there's not only just a little bit.

362	00:28:46:10	00:28:50:29	- En fait, la matière noire représente la majorité des galaxies.	Every galaxy, essentially, is dominated by dark matter.
363	00:28:53:03	00:28:55:21	- Donc on sait qu'elle existe.	-Now, we know the dark matter is out there.
364	00:28:56:07	00:29:00:29	Mais on est toujours très loin de comprendre ce qu'elle est.	But we're still no closer to working out what it actually is.
365	00:29:02:01	00:29:05:23	Ce pourrait être une particule WIMP,	We think it may be a particle called a WIMP.
366	00:29:06:08	00:29:08:24	ou bien toute une famille de particules	But it could be a whole family of particles,
367	00:29:09:02	00:29:12:23	qui forment des atomes et des molécules de matière noire.	that form dark atoms and dark molecules.
368	00:29:13:01	00:29:17:02	Peut-être qu'il y a tout un univers de matière noire,	Perhaps an entire dark universe is out there,
369	00:29:17:11	00:29:19:29	rempli de planètes noires invisibles,	filled with invisible dark planets,
370	00:29:20:13	00:29:25:14	et illuminé par la lumière noire de ses étoiles noires.	and illuminated by the dark light of their dark stars.
371	00:29:35:27	00:29:40:14	Les chercheurs s'échinent à révéler la nature de la matière noire.	Scientists are struggling to uncover the true identity of dark matter.
372	00:29:43:15	00:29:48:06	Aujourd'hui, le meilleur candidat est la particule théorique, le WIMP.	To date, the best candidate is a theoretical particle walled a WIMP.
373	00:29:49:03	00:29:52:25	Mais un WIMP peut traverser la matière, tel un fantôme,	But because WIMP can pass through ordinary matter like a ghost,
374	00:29:53:01	00:29:56:03	et les chercheurs rentrent bredouilles.	the researchers have been left empty-handed.
375	00:30:00:20	00:30:04:21	- À l'instant, de la matière noire pourrait me passer à travers,	-Not only could dark matter be going through me right now, but...
376	00:30:05:10	00:30:09:00	c'est en fait presque certain, mais je ne la remarque pas.	it almost certainly is, and I'm just not noticing it.
377	00:30:11:12	00:30:16:03	C'est pour ça qu'on construit tous ces détecteurs sur Terre.	This is why we're building these very fancy detectors here on Earth.
378	00:30:16:11	00:30:17:29	On veut en attraper.	To try to catch them.
379	00:30:20:14	00:30:23:27	- Jusqu'à ce qu'on capture et qu'on analyse un WIMP,	-Until scientists can capture or analyse a WIMP,
380	00:30:24:07	00:30:25:29	tout est possible.	all bets are off.
381	00:30:28:14	00:30:32:28	- Le problème de la théorie WIMP est qu'on en a trouvé aucun.	-The main challenge for The WIMP theory is that we simply haven't found any WIMPs yet.
382	00:30:33:11	00:30:36:18	Et ça fait longtemps qu'on cherche.	And we've been looking pretty hard, for a lot of years, and...

383	00:30:37:00	00:30:38:29	Ça commence à devenir gênant.	pretty soon it's gonna start to get embarrassing.
384	00:30:40:24	00:30:43:23	- La solution n'est peut-être pas là.	-Perhaps dark matter isn't made of WIMPs.
385	00:30:44:08	00:30:46:26	La nature de la matière noire	Perhaps the stuff that makes up dark matter
386	00:30:47:02	00:30:51:01	pourrait être plus complexe et bizarre qu'on ne l'imaginait.	is stranger and more complex than we ever thought possible.
387	00:30:51:16	00:30:53:28	- La matière a de nombreuses formes :	-We know that regular matter comes in many different forms
388	00:30:54:02	00:30:58:00	les électrons, les protons, les neutrons, les quarks...	There are electrons and protons, neutrons, quarks, all of those.
389	00:30:59:02	00:31:02:09	Pourquoi imaginer un seul type de matière noire ?	Why should we assume there's only one kind of dark matter?
390	00:31:02:27	00:31:06:18	- On se trompe peut-être. Plutôt qu'une seule particule,	-Our approach could be all wrong, instead of looking a single type of particle,
391	00:31:06:24	00:31:09:18	il pourrait y en avoir une myriade.	there could be an entire zoo of dark matter particles.
392	00:31:12:15	00:31:17:14	- Les particules normales forment des atomes et des molécules,	-Particles of ordinary matter interact with each other to form atoms and molecules.
393	00:31:17:22	00:31:19:27	la matière que nous connaissons.	The stuff we touch and see.
394	00:31:21:16	00:31:26:05	Plusieurs types de matière noire pourraient faire la même chose :	If dark matter is made from different particles, it could do the same.
395	00:31:27:00	00:31:31:10	interagir, créer des atomes ou des molécules de matière noire.	Interacting and building dark atoms of dark stuff.
396	00:31:32:26	00:31:37:01	Peut-être même tout un univers de matière noire.	Perhaps even a universe of dark materials.
397	00:31:39:29	00:31:43:10	- Si la matière noire interagit avec elle-même,	-If We can show that dark matter interacts with itself,
398	00:31:43:16	00:31:48:28	cela signifie qu'elle peut former des étoiles et des galaxies,	that means there really could be dark matter galaxy, dark matter stars and people
399	00:31:49:05	00:31:52:07	partout autour de nous, totalement inconnues.	all around us right now, that we weren't aware of.
400	00:31:54:22	00:31:58:08	- Un tel secteur noir pourrait-il vraiment exister ?	-Could This shadowy dark universe really exist?
401	00:32:03:22	00:32:06:26	En 2012, le télescope à rayons X Chandra	In 2012, the Chandra X-ray telescope
402	00:32:07:04	00:32:11:21	apporte un premier indice sur cette interaction.	gave astronomers the first clue to whether dark matter interacts.
403	00:32:14:27	00:32:19:02	Il a observé la collision de deux amas de galaxies,	The telescope observed the collision of two galaxy clusters,

404	00:32:19:07	00:32:22:04	contenant chacun des centaines de galaxies.	each packed with hundreds of galaxies.
405	00:32:26:23	00:32:32:05	Son but: examiner la matière noire des amas.	Astronomers hope to see what would happen to the dark matter inside those clusters.
406	00:32:32:15	00:32:35:15	Va-t-elle montrer un signe d'interaction ?	Would it show any signs of interacting?
407	00:32:36:12	00:32:39:14	- Que fera la matière noire lors de la collision ?	-What does The dark matter do when these clusters collide?
408	00:32:39:23	00:32:41:19	C'est là la question.	Well, that's the big question.
409	00:32:42:02	00:32:45:22	Va-t-elle s'entrechoquer et ralentir ?	When the clusters come together, does the dark matter smack and drag?
410	00:32:45:27	00:32:47:28	Va-t-elle se passer au travers ?	Or does it go right on through?
411	00:32:48:03	00:32:52:15	Si on peut mesurer la différence, on aura notre réponse.	If we can measure that difference, we can tell does the dark matter self-interact or not.
412	00:32:55:09	00:32:58:09	- Les galaxies se passent au travers.	-The galaxies pass through each other.
413	00:32:59:28	00:33:01:29	Mais elles laissent une trace :	But something is left behind -
414	00:33:04:10	00:33:06:26	un fragment de matière noire.	A tangle of dark matter.
415	00:33:08:20	00:33:12:13	- Un peu de matière noire s'est détachée, on dirait.	-It looks like there's some extra dark matter that's been left behind in the middle.
416	00:33:12:21	00:33:17:27	Comme si, lors de la collision, il y avait eu une attraction	So it looks like as these two dark matter balls have come together, there's been some extra drag,
417	00:33:18:02	00:33:22:22	qui aurait détaché un peu de matière noire des amas.	and that drag has deposited, has left a bit of dark matter kind of sitting in-between.
418	00:33:25:05	00:33:31:02	-Cela signifie que la matière noire dans les amas a dû interagir.	-To produce the drag, the dark matter in the colliding galaxy clusters must have interacted.
419	00:33:33:29	00:33:36:10	Si cette observation est confirmée,	If this observation turns out to be correct,
420	00:33:36:15	00:33:40:24	cela signifie que certains types de matière noire interagissent.	it means that some dark matter interacts with itself.
421	00:33:42:22	00:33:44:10	- Si ça tient debout,	-If that signal holds up,
422	00:33:44:14	00:33:49:19	c'est une détection exceptionnelle d'interaction de la matière noire.	then it could be a really smoking-gun detection of self-interacting dark matter.
423	00:33:50:12	00:33:52:27	- Ça changerait tout.	-And that would be a game-changer.
424	00:33:54:06	00:33:58:25	- Des planètes ou des créatures de matière noire pourraient exister.	-Perhaps there could be dark matter planets, and dark matter living entities.

425	00:33:59:04	00:34:04:11	- Tout un univers de matière noire, si vous voulez, d'objets cachés.	-There could be a hidden dark matter universe if you wish, of hidden dark matter objects.
426	00:34:04:17	00:34:09:08	Ça va un petit peu loin, mais ce n'est pas impossible.	It stretches the limits of plausibility, but it's not impossible.
427	00:34:12:12	00:34:17:11	- Si ce secteur noir existe, même la lumière noire est possible.	-If this dark sector really exists, there could even be dark light.
428	00:34:18:15	00:34:20:29	- Donc Imaginez ce secteur noir.	-So imagine you have this dark matter universe,
429	00:34:21:09	00:34:23:11	Il a son propre rayonnement,	and it has this dark matter radiation,
430	00:34:23:22	00:34:27:16	qui peut voyager en une onde qu'on appelle «lumière noire».	and this dark radiation can travel in waves that we call dark light,
431	00:34:27:20	00:34:32:28	Avec des lunettes appropriées, vous pourriez le voir	then maybe you can put on your dark glasses and actually view this dark universe
432	00:34:33:06	00:34:35:02	grâce à la lumière noire.	via the dark light.
433	00:34:37:01	00:34:41:15	- L'interaction de la matière noire suggère un secteur caché.	-Interacting dark matter suggests invisible worlds next to our own.
434	00:34:43:22	00:34:48:04	Mais ces idées sont-elles sensées, ou juste de la science-fiction ?	But are these visions real? Or just a sci-fi fantasy?
435	00:34:50:19	00:34:54:06	- Selon moi, des planètes, des étoiles de matière noire	-I think dark matter stars, dark matter planets,
436	00:34:54:12	00:34:58:06	ou encore des gens, c'est plutôt de la science-fiction.	dark matter people are more in the realm of science fiction at this point.
437	00:34:59:16	00:35:02:14	- Il est tout de même extrêmement improbable	-It would require a plethora of tooth fairies
438	00:35:02:25	00:35:05:28	que ce secteur noir soit aussi complexe	to imagine that the dark sector is that complicated
439	00:35:06:03	00:35:08:17	et qu'il ressemble au nôtre.	to actually reproduce something like our sector.
440	00:35:08:23	00:35:12:15	Des planètes, des gens, des séries télé noires...	In order to have dark planets and dark people and dark TV shows,
441	00:35:12:25	00:35:16:02	C'est vrai, certains en font l'hypothèse,	It's... people have imagined it, I'm not saying they haven't,
442	00:35:16:08	00:35:20:26	mais c'est tout de même une grande extrapolation.	but it certainly stretches the realm of possibility.
443	00:35:21:06	00:35:25:14	- Il y a tant de matière noire que l'avenir de l'univers en dépend.	-there is So much dark matter out there that it controls the very fate of our universe.
444	00:35:25:19	00:35:29:23	Si même une petite fraction de la matière noire peut interagir,	If even a tiny fraction of it can interact with other forms of dark matter,
445	00:35:29:29	00:35:31:26	tout peut être possible.	then maybe all bets are off.

446	00:35:33:15	00:35:36:27	- Même une minorité de matière noire qui interagit	-Even a tiny percentage of dark matter interacting
447	00:35:37:06	00:35:41:14	pourrait grandement influencer le futur de la vie sur Terre.	could have huge implications for the future of life on Earth.
448	00:35:43:02	00:35:47:12	Une nouvelle idée controversée suggère que, dans le futur,	Because a controversial new idea suggests that in the future,
449	00:35:47:25	00:35:53:04	cette matière noire pourrait causer une pluie de météorites sur Terre.	self-interacting dark matter could hail send a hail of comets our way.
450	00:35:54:04	00:35:58:10	Comment le sait-on ? Cela s'est peut-être déjà produit.	How do we know? Because dark matter may have done it before.
451	00:36:12:10	00:36:16:17	La matière noire est la force créatrice de l'univers.	Dark matter is the dominant creative force in our universe.
452	00:36:17:09	00:36:20:27	Aurait-elle joué un rôle dans notre création ?	But could it have helped to create us too?
453	00:36:23:06	00:36:27:05	Selon certains chercheurs, la matière noire de la Voie lactée	Some scientists believe that a key moment in human evolution
454	00:36:27:11	00:36:31:24	pourrait avoir influencé une étape clé dans notre évolution.	may have been directly affected by dark matter in the Milky Way.
455	00:36:37:23	00:36:39:12	Cette théorie contestée	This controversial theory
456	00:36:39:19	00:36:43:13	se base sur l'un des pires jours de l'histoire de la Terre.	is inspired by one of the most violent days in Earth's history.
457	00:36:49:04	00:36:51:04	Il y a 65 millions d'années,	65 million years ago,
458	00:36:51:10	00:36:55:10	un objet de la taille de l'Everest s'écrase sur Terre.	an object the size of mount Everest slammed into the Earth.
459	00:36:59:06	00:37:04:11	L'impact noircit le ciel et enflamme les continents.	The impact turned the sky black, and set the continents on fire.
460	00:37:06:09	00:37:09:14	- L'impact libère autant d'énergie	-The amount of energy released in that explosion is about
461	00:37:09:21	00:37:15:05	qu'un milliard de bombes atomiques similaires à celle d'Hiroshima.	a billion times the Hiroshima atom bomb that was dropped in World War II.
462	00:37:15:27	00:37:16:28	Un milliard.	A billion times.
463	00:37:23:18	00:37:27:05	- Cet événement catastrophique marque la fin des dinosaures,	-This catastrophic event ended the age of dinosaurs
464	00:37:27:29	00:37:33:28	et ouvre la voie aux mammifères. Mais était-ce exceptionnel ?	and paved the way for our mammalian ancestors to flourish. But was it a one-off?
465	00:37:34:12	00:37:37:21	- Les grandes extinctions sont nombreuses sur Terre.	-Mass extinctions have happened on Earth multiple times
466	00:37:37:29	00:37:41:01	On peut se demander s'il y a un cycle prévisible.	So an obvious question to ask - is there any pattern?

467	00:37:41:07	00:37:45:18	Y a-t-il une période dangereuse où les extinctions sont probables ?	Is there any time that we know is more dangerous, more likely to have a mass extinction event?
468	00:37:45:26	00:37:49:26	Peut-on établir un lien entre cette période et l'univers ?	And is there anything we can link it to in the larger universe?
469	00:37:51:12	00:37:54:24	- Mike Rampino, un géologue, pense qu'il y a un cycle.	-Geologist Mike Rampino thinks there is a pattern.
470	00:37:55:10	00:37:57:19	Un cycle lié à la matière noire.	And it could be linked to dark matter.
471	00:37:58:15	00:38:01:29	- Nous étudions l'hypothèse de cycles géologiques.	-We were looking at The possibility of cycles in the geological record.
472	00:38:02:09	00:38:05:11	Un cycle de 30 millions d'années semble exister	And we found what seemed to be a 30 million-year cycle
473	00:38:05:16	00:38:07:15	dans de nombreux phénomènes.	in many kinds of geological phenomena.
474	00:38:07:21	00:38:11:16	Mais quelle pourrait être la cause d'un tel cycle ?	So what could be causing this kind of a cycle of 30 million years?
475	00:38:12:29	00:38:17:13	- Le trajet du Soleil dans la galaxie comporte un indice.	-A clue comes from the passage of The Sun around The Milky Way.
476	00:38:18:20	00:38:23:18	- Le Soleil orbite la galaxie en 250 millions d'années.	-It takes The Sun about a quarter billion years to move once around the Milky Way galaxy.
477	00:38:24:01	00:38:26:13	Mais en plus d'orbiter le centre,	But as we spin around the galaxy's centre,
478	00:38:26:20	00:38:30:10	il oscille de haut en bas à travers le disque galactique.	we also kind of bob up and down through the larger disk of the galaxy.
479	00:38:32:15	00:38:34:24	- Comme un cheval de manège,	-Weaving like a carousel horse,
480	00:38:35:01	00:38:40:26	il traverse le disque galactique tous les 30 millions d'années.	our Sun passes through the galactic plane around once every 30 million years.
481	00:38:41:08	00:38:43:29	Peut-être qu'en le traversant,	And as it does this, it may also be
482	00:38:44:07	00:38:48:22	il traverse aussi une couche de matière noire.	passing through a layer of self-interacting dark matter.
483	00:38:50:17	00:38:52:05	C'est un peu spéculatif,	It's a little bit speculative, but
484	00:38:52:13	00:38:57:12	mais une partie de la matière noire pourrait former un disque,	the idea is that a very small fraction of the dark matter is able to form a disk,
485	00:38:58:02	00:39:00:04	parallèle au disque galactique.	along with the disk of our galaxy.
486	00:39:00:09	00:39:03:19	Donc sur le même plan que le soleil,	So in-between the stars, in the disk where the Sun lives,
487	00:39:03:25	00:39:08:21	il y a un disque de matière noire qui aurait des effets intéressants.	is a very very thin disk of dark matter, and this could do very exciting things.
488	00:39:12:17	00:39:15:29	- Ce disque a une gravité élevée.	-This disk has a strong gravitational pull.

489	00:39:18:19	00:39:20:20	Quand le Soleil le traverse,	When our solar system passes though it,
490	00:39:20:27	00:39:24:00	la gravité du disque peut perturber l'orbite	the disk's gravity may disrupt the orbits
491	00:39:24:09	00:39:26:24	des comètes dans le système solaire,	of comets in the outer solar system
492	00:39:27:12	00:39:30:01	et les envoyer dans notre direction.	and send them hurling towards the Earth.
493	00:39:34:19	00:39:37:14	L'impact qui a tué les dinosaures	Perhaps the object that killed the dinosaurs
494	00:39:37:24	00:39:40:04	et permis l'évolution humaine	and paved the way for human evolution
495	00:39:40:22	00:39:44:00	pourrait faire partie d'un cycle d'extinctions	was just one of a series of extinction-level events
496	00:39:44:05	00:39:46:07	causées par la matière noire.	trigger by dark matter.
497	00:39:47:02	00:39:51:28	- On appelle ça l'hypothèse Shiva, d'après le dieu hindou	-We call this the Shiva hypothesis, because the god Shiva in the Hindu religion
498	00:39:52:04	00:39:54:10	de la destruction et du renouveau.	is the god of destruction and renewal.
499	00:39:54:19	00:39:58:04	Un monde est détruit, celui des dinosaures,	So on world is destroyed, the dinosaur world is destroyed,
500	00:39:58:14	00:40:01:24	et le monde des mammifères naît.	and the world of mammals and birds begins.
501	00:40:02:07	00:40:07:22	- Si c'est vrai, la matière noire est essentielle à notre existence.	-If that's true, then dark matter has played an important role in us being here.
502	00:40:07:27	00:40:10:16	Depuis le Big Bang et le début de l'univers	From the very beginning, right after the big bang,
503	00:40:10:21	00:40:15:05	jusqu'à l'évolution humaine.	all the way through the evolution of humans themselves.
504	00:40:17:17	00:40:21:19	- L'idée que la matière noire provoque des extinctions sur Terre	-The idea that dark matter caused mass extinctions on Earth is
505	00:40:22:03	00:40:23:28	est vraiment terrifiante.	frankly, terrifying.
506	00:40:25:01	00:40:29:14	Le système solaire oscille toujours à travers le disque galactique.	The Solar System is still bobbing up and down through the galactic plane.
507	00:40:30:02	00:40:34:00	Peut-être que la prochaine comète nous sera adressée.	Perhaps the next destructive comet will have our name on it.
508	00:40:37:01	00:40:41:11	Heureusement, une matière noire qui extermine les dinosaures	Fortunately for us, the theory that dark matter helped wipe out the dinosaurs
509	00:40:42:16	00:40:44:00	n'est qu'une théorie.	is just that.
510	00:40:46:05	00:40:49:10	- Là, vraiment, on spéculer sur de la spéculation.	-We are talking about speculation on top of speculation.

511	00:40:49:15	00:40:51:19	Si la matière noire agit ainsi,	If dark matter exists in this manner,
512	00:40:51:24	00:40:55:06	si ses particules interagissent entre elles	If it's made of some sort of particle that interacts with itself
513	00:40:55:11	00:41:00:19	juste assez pour former un disque, si le disque existe, si, si, si.	just enough that it forms a disk, if this disk exists, if, if, if, if.
514	00:41:01:01	00:41:04:07	L'idée est intéressante. - Si j'étais parieur,	This idea is interesting. - If I was a bookmaker here in New York,
515	00:41:04:11	00:41:07:18	je ne parierais pas sur cette théorie.	I would bet against dark matter killing the dinosaurs.
516	00:41:07:23	00:41:11:06	Mais je trouve génial qu'on se penche sur les maths et...	But I think it's great that people are doing the math more carefully and...
517	00:41:11:14	00:41:14:28	qu'on envisage ces scénarios.	Really testing these scenarios.
518	00:41:19:14	00:41:23:13	- Nos théories restent floues, mais une chose est sûre.	-The outlook is unclear, but one thing's for sure.
519	00:41:24:27	00:41:28:10	Sans la matière noire, nous n'existerions pas.	Without dark matter, we wouldn't even be here.
520	00:41:30:03	00:41:34:05	- Si l'univers aujourd'hui est plein de galaxies et d'étoiles,	-The fact that there's a universe full of matter and stars and galaxies
521	00:41:34:11	00:41:37:16	c'est grâce à la matière noire.	is due to the fact that dark matter exists.
522	00:41:38:06	00:41:42:23	- D'une certaine façon, si un enfant me demande : «D'où venons-nous ?»,	-So if some young person, in some ways, asks me «where do I come from?»,
523	00:41:43:20	00:41:46:00	je dois dire : «De la matière noire».	I have to say «from dark matter».
524	00:41:48:10	00:41:52:23	- La matière noire forme les galaxies et les dirige.	-Dark matter dictates how the galaxies form, and where they move, and where we'll go in the future.
525	00:41:54:15	00:41:58:03	- C'est l'univers de la matière noire. Pas le nôtre.	We're actually in dark matter's universe, not ours.

## 2.2 Épisode 7 «Battle of the Dark Universe »

1	00:00:06:18	00:00:10:18	- Une guerre sans fin sévit à travers l'univers.	-Across the universe, an endless war rages,
2	00:00:11:07	00:00:14:24	Une lutte acharnée entre deux forces invisibles.	a bitter struggle between invisible forces.
3	00:00:15:04	00:00:18:26	- Cette bataille fait rage depuis 14 milliards d'années.	-We've seen this cosmic battle go on for the past 14 billion years.

4	00:00:19:28	00:00:23:10	- Comme deux armées guerroyant dans l'espace-temps.	-Like two navies, fighting it out in the ocean of space time.
5	00:00:25:13	00:00:31:28	-La matière noire et l'énergie noire se battent pour contrôler l'univers.	Dark matter and dark energy battling for control of the universe.
6	00:00:32:19	00:00:36:27	- Elles ont façonné l'univers. Elles ne vont pas s'arrêter là.	They've shaped the entire history of the universe. They're not about to stop now.
7	00:00:37:20	00:00:40:19	Des forces obscures dictent notre passé,	Shadowy forces dictating our past,
8	00:00:41:06	00:00:43:19	notre présent, et notre futur.	our present, and our future.
9	00:00:44:04	00:00:46:28	- Telles des marionnettistes,	-The dark universe is kind of a puppet master behind the scenes,
10	00:00:47:03	00:00:48:28	elles dirigent l'univers.	guiding the universe that we can see.
11	00:00:50:09	00:00:51:26	-Elles ont la mainmise,	It's taken over the universe
12	00:00:52:01	00:00:55:07	et pourraient bien détruire l'univers un jour.	and, eventually, it may well destroy the universe.
13	00:01:17:03	00:01:19:29	- Lorsqu'on admire l'univers,	-As we look out across the universe
14	00:01:20:13	00:01:22:10	on rencontre des nébuleuses,	we see nebulas,
15	00:01:23:19	00:01:27:23	des étoiles et des planètes,	stars and planets,
16	00:01:28:11	00:01:31:10	toutes constituées de matière visible.	all constructed from visible matter.
17	00:01:32:17	00:01:37:00	Mais ce qui est visible n'est qu'une brîbe du cosmos.	But what we see is just a small part of the cosmos.
18	00:01:37:27	00:01:41:19	Le reste est invisible, inconnu.	The rest is invisible, unknown.
19	00:01:43:07	00:01:45:14	Le secteur noir.	The dark universe.
20	00:01:46:21	00:01:49:24	- Le secteur noir est une expression qui décrit	-Dark universe is a very common phrase to describe
21	00:01:49:29	00:01:55:08	notre univers, parce qu'en fait, la majorité de l'univers est noir.	our universe, because it turns out most of our cosmos is dark.
22	00:01:56:04	00:01:57:26	Pas noir comme la nuit,	Dark not as in night.
23	00:01:58:03	00:02:01:09	mais parce qu'il n'interagit pas avec la lumière	dark as in, doesn't interact with light,
24	00:02:01:13	00:02:04:14	et noir parce qu'il est inconnu.	and dark as in, we don't really understand it.
25	00:02:04:25	00:02:10:23	- Tout, dans la vie quotidienne, nos corps, l'air, votre chaise,	-All the objects in our daily experience, our bodies, the air, the chair that you're sitting in,
26	00:02:11:13	00:02:13:08	les étoiles et les planètes,	the planets and stars,

27	00:02:13:13	00:02:16:17	ne représentent que 5 pour cent de l'univers.	all of that only adds up to 5 percent of the universe.
28	00:02:19:13	00:02:23:27	Les autres 95 pour cent sont «noirs», c'est le secteur noir.	It's the other 95 percent that is the dark stuff, the dark universe.
29	00:02:26:28	00:02:30:07	- Le secteur noir est constitué de deux forces :	-The dark universe is made of two forces -
30	00:02:31:15	00:02:34:19	la matière noire et l'énergie noire.	dark matter and dark energy.
31	00:02:36:19	00:02:41:01	- D'une certaine manière, ces deux forces s'opposent.	-In a way, the dark matter and dark energy sort of oppose each other.
32	00:02:43:25	00:02:47:12	La matière noire a une gravité positive qui attire,	Dark matter has positive gravity that pulls things together,
33	00:02:47:27	00:02:51:16	et l'énergie noire a une gravité négative qui repousse.	and dark energy has repulsive gravity that pushes things apart.
34	00:02:53:00	00:02:57:28	- Pour résumer ça en une phrase, l'une attire et l'autre repousse.	-To encapsulate that in one sentence, dark matter is attractive, dark energy is repulsive.
35	00:02:59:01	00:03:00:23	- Depuis la nuit des temps,	-Since the dawn of time,
36	00:03:00:23	00:03:04:26	deux forces s'affrontent pour contrôler l'univers.	two forces slugging it out for control of the universe.
37	00:03:05:03	00:03:08:06	- Elles s'enlisent dans un conflit constant.	-Dark matter and dark energy are locked in this epic struggle.
38	00:03:08:11	00:03:14:04	La matière noire veut rassembler. L'énergie noire essaye de disperser.	The dark matter is trying to bring things together. The dark energy is trying to drive everything apart.
39	00:03:14:24	00:03:17:04	- C'est une bataille. Qui va gagner ?	-So it's basically a battle. Who's going to win?
40	00:03:21:23	00:03:26:03	-Une lutte qui a commencé il y a 13,8 milliards d'années,	-It's a struggle that started 13.8 billion years ago
41	00:03:26:20	00:03:29:11	dans la fournaise du Big Bang.	in the cosmic furnace of the big bang.
42	00:03:32:03	00:03:36:15	L'univers primitif était un point extrêmement chaud et radioactif.	The infant universe was a super hot ball of intense radiation.
43	00:03:36:22	00:03:40:25	Mais soudain, il se mit à changer.	But suddenly, it started to transform.
44	00:03:41:14	00:03:43:08	Il gonfla et se refroidit,	It cooled and expanded,
45	00:03:43:27	00:03:46:22	donnant naissance à l'univers visible,	triggering the birth of the regular universe
46	00:03:47:19	00:03:50:12	et au secteur noir.	and the dark universe.
47	00:03:50:29	00:03:54:25	Les chercheurs pensent que ces deux forces	Scientists believe that both dark matter and dark energy
48	00:03:55:05	00:03:58:14	sont apparues un instant après le Big Bang.	formed in the first moments of the big bang.
49	00:03:58:24	00:04:03:11	- Elles seraient apparues après une fraction de seconde,	-It would have formed probably just fractions of a second after the big bang,
50	00:04:03:22	00:04:06:05	à peu près en même temps que la matière.	around the time that normal matter formed,

51	00:04:06:12	00:04:09:19	La matière noire et la matière normale	and the processes that created the normal matter we know all about -
52	00:04:09:26	00:04:13:29	ont probablement été créées par des processus similaires.	similar processes probably created the dark matter.
53	00:04:15:08	00:04:16:24	- À cette période,	-During these first microseconds,
54	00:04:17:02	00:04:20:28	l'univers était une fournaise de matière et d'énergie.	the universe was a hot, dense ball of matter and energy.
55	00:04:22:05	00:04:24:16	Les deux sont interchangeables.	They're two sides of the same coin.
56	00:04:24:29	00:04:27:21	La matière peut être convertie en énergie.	Matter can convert into energy,
57	00:04:29:00	00:04:32:08	Et l'énergie peut être convertie en matière,	and energy can convert directly into matter,
58	00:04:32:20	00:04:35:15	convertie en particules visibles,	visible particles of regular matter
59	00:04:35:23	00:04:39:29	qui forment les atomes, les planètes, et nous,	forming atoms, planets, stars, and us.
60	00:04:41:12	00:04:46:17	ou en particules invisibles. En particules de matière noire.	And other particles, they are invisible. They are dark matter.
61	00:04:46:28	00:04:50:09	- Un des plus grands mystères qui restent à élucider	-One of the big mysteries that we as astronomers have to solve
62	00:04:50:16	00:04:54:01	est la nature de la matière noire. On ne sait pas du tout.	is what this dark matter is. We just don't know.
63	00:04:54:28	00:05:00:21	- La notion d'une matière invisible et qui se comporte différemment,	-The idea of a type of matter that you can't see and that acts differently than normal matter
64	00:05:00:27	00:05:03:02	c'est plutôt bizarre.	is sort of out there. It's sort of weird.
65	00:05:04:24	00:05:08:01	- Mais le secteur sombre laisse des traces.	-But the dark universe does leave clues.
66	00:05:08:21	00:05:12:19	- C'est une scène de crime. On sait qu'un crime a été commis,	-It's like a crime scene. You know that a crime has been committed,
67	00:05:12:22	00:05:15:04	même si on ne connaît pas le coupable.	even though you don't know the perpetrator yet.
68	00:05:15:13	00:05:19:20	Il y a des indices, des signes, des signaux	We see the hints, we see the signs, we see the signals
69	00:05:19:26	00:05:23:06	que quelque chose d'étrange se passe dans l'univers	that something funny is happening in our universe,
70	00:05:23:11	00:05:25:24	même si on n'en connaît pas la cause.	even though we don't know exactly what's causing it.
71	00:05:27:05	00:05:30:23	- L'origine de la matière noire a plusieurs candidats.	-There are several contenders for what dark matter could be.
72	00:05:31:05	00:05:34:02	- C'est peut-être de la matière normale,	-It could be normal matter that we just don't see,
73	00:05:34:08	00:05:39:07	ou bien une matière exotique, une particule pas encore découverte.	or it could be some sort of exotic matter, a particle of some sort that we haven't detected yet.
74	00:05:39:12	00:05:42:20	- Ce pourrait être un type de particule,	-It could be a species of particle,

75	00:05:43:02	00:05:47:19	comme un électron, un proton ou un quark,	like an electron, like a proton, like a quark,
76	00:05:48:03	00:05:51:23	mais un type spécial qui n'interagit pas avec la lumière.	but a special kind that doesn't interact with light.
77	00:05:52:02	00:05:55:12	- Un des modèles privilégiés est celui des WIMPs,	-One of the favourite possible models of dark matter are
78	00:05:55:17	00:05:58:12	les <i>Weakly Interacting Massive Particles</i> .	weakly interacting massive particles.
79	00:05:58:29	00:06:03:03	- Les WIMPs n'interagiraient pas avec la matière ou la lumière,	-WIMPs may not interact strongly with other matter or light,
80	00:06:03:18	00:06:06:23	mais ils interagiraient bien avec la gravité.	but they do exert a gravitational pull.
81	00:06:08:28	00:06:11:28	Ils conviennent donc pour une matière noire	So they're the best candidates for the particles of dark matter
82	00:06:12:03	00:06:13:28	créée lors du Big Bang.	that formed in the big bang.
83	00:06:16:29	00:06:20:19	L'univers primitif était incroyablement chaud et dense,	The early universe was intensely hot and dense,
84	00:06:21:01	00:06:26:12	empli de nouvelles particules de matière visible et invisible.	full of new particles of both visible matter and invisible dark matter.
85	00:06:27:27	00:06:32:22	Mais une autre force était présente : l'énergie noire.	But another force was present - dark energy.
86	00:06:34:12	00:06:37:16	- L'énergie noire existe depuis le Big Bang.	-Dark energy has existed since the time of the big bang.
87	00:06:37:26	00:06:41:18	- Elle a toujours existé. On ne sait pas en quelle quantité,	-Dark energy was always there. We don't know how much of it there was,
88	00:06:41:26	00:06:45:26	il est possible qu'il y en ait toujours eu autant.	but it's possible that the same amount of dark energy was always there.
89	00:06:48:03	00:06:52:13	- La nature de l'énergie noire nous échappe largement.	-Our understanding of what that dark energy is is very limited.
90	00:06:53:12	00:06:56:17	- Si vous demandiez à 10 physiciens théoriciens	-If you were to ask a roomful of 10 theoretical physicists
91	00:06:56:22	00:07:00:17	ce qu'elle est, vous auriez 12 réponses différentes.	on the nature of dark energy, you'd get about 12 different answers.
92	00:07:01:03	00:07:04:13	- On ne sait pas vraiment ce qu'elle est.	-We're not sure what dark energy is.
93	00:07:05:20	00:07:08:13	- «Énergie noire» cache notre ignorance.	-Dark energy is just a fancy name for our ignorance.
94	00:07:08:26	00:07:12:12	- C'est un mot bouche-trou	-Dark energy is nothing more than a placeholder name
95	00:07:12:19	00:07:18:17	qui cache notre incompréhension. - Car on ne la comprend pas du tout.	for this enormous gap in our understanding of how the cosmos works. But we don't understand it at all.
96	00:07:20:06	00:07:21:16	C'est la vérité.	Well, it's true.
97	00:07:23:14	00:07:27:14	- Une réponse possible au mystère de la matière noire	- One potential answer to what dark energy actually is
98	00:07:27:17	00:07:31:08	pourrait se trouver dans le vide spatial.	may be found in so-called empty space.

99	00:07:31:18	00:07:34:23	Pourrait-il être la source de l'énergie noire ?	Could this be the source of dark energy?
100	00:07:35:02	00:07:39:20	- Avant, on pensait que l'espace était simplement vide, mais...	-We used to think of space as just boring emptiness, but now...
101	00:07:40:07	00:07:43:07	c'est plus correct d'imaginer une substance.	I think it's healthier to think of space as a kind of substance.
102	00:07:44:17	00:07:47:25	- Une substance qui porte une énergie étrange.	-A substance that carries a strange type of energy.
103	00:07:48:11	00:07:52:08	- Tout volume d'espace possède un peu d'énergie,	- Every small region of space has a little bit of energy in it,
104	00:07:52:13	00:07:54:15	associée au vide lui-même.	just associated with the vacuum itself.
105	00:07:55:09	00:07:57:25	- L'énergie du vide est la notion	-Vacuum energy is the idea that
106	00:07:58:06	00:08:02:13	que le vide spatial n'est pas vide, qu'il possède une énergie,	vacuum isn't empty, that there is something there. There's an energy in it,
107	00:08:02:29	00:08:05:12	qui ressemble à de l'antigravité.	with a kind of antigravity,
108	00:08:07:04	00:08:11:04	-Cette énergie du vide antigravitationnelle	- Perhaps this vacuum energy that pushes against gravity
109	00:08:12:29	00:08:17:20	pourrait être l'énergie noire. On ne sait vraiment pas.	is the mysterious dark energy. We simply don't know.
110	00:08:19:24	00:08:23:09	- On ne sait pas si c'est la même énergie.	-We're not sure that the dark energy is the vacuum energy.
111	00:08:23:22	00:08:29:21	Ce pourrait être une autre énergie. C'est ce qu'on essaye de mesurer.	It could be a new type of energy that permeates all of space. This is what we're trying to measure now.
112	00:08:31:08	00:08:36:10	- Deux forces forgées par les flammes du Big Bang.	-Dark energy and dark matter, forged in the intense heat of the big bang,
113	00:08:37:01	00:08:41:12	Des forces opposées, l'une attractive, l'autre répulsive.	opposing forces, one attractive, one repulsive.
114	00:08:42:01	00:08:44:27	Mais ensemble, en 13,8 milliards d'années,	But together, over 13.8 billion years,
115	00:08:45:02	00:08:48:21	elles ont écrit l'histoire de l'univers.	they will shape the history of the universe.
116	00:09:08:18	00:09:13:16	L'histoire de l'univers est dominée par deux forces opposées :	The story of the universe is dominated by two powerful opposing forces -
117	00:09:15:18	00:09:17:29	la matière noire et l'énergie noire.	dark matter and dark energy
118	00:09:18:26	00:09:21:09	Depuis 13,8 milliards d'années,	For 13.8 billion years,
119	00:09:21:22	00:09:25:02	elles s'affrontent pour contrôler l'univers.	they've battled it out for control of the cosmos.
120	00:09:25:22	00:09:27:22	- Ces deux forces	Dark matter and dark energy are out there,
121	00:09:27:27	00:09:33:03	déterminent l'histoire de l'univers. - Notre univers est un équilibre.	and they've shaped the entire history of the universe -Our universe is actually the balance between dark forces
122	00:09:33:09	00:09:38:08	La matière noire veut rassembler, L'énergie noire essaye de disperser.	Dark matter is trying to draw everything together, and dark energy is trying to rip everything apart.

123	00:09:40:00	00:09:43:28	- Juste après le Big Bang, l'univers était petit,	-After the big bang, the infant universe was small,
124	00:09:44:07	00:09:47:09	incroyablement chaud et dense.	intensely hot and intensely dense.
125	00:09:49:13	00:09:53:28	La matière noire, la force qui rassemble, prospère.	Dark matter, the force bent on bringing things together, thrived.
126	00:09:55:10	00:09:57:08	Mais dans cet univers étroit,	But in this compressed space,
127	00:09:57:13	00:10:01:03	l'énergie noire, la force qui disperse,	dark energy, the force trying to drive things apart,
128	00:10:01:14	00:10:03:26	n'a pas sa place.	had no room to act.
129	00:10:04:02	00:10:08:21	- À l'époque, tout était si dense et comprimé	-When things were closer together, the density of matter and radiation was bigger,
130	00:10:09:00	00:10:11:22	que l'énergie noire n'importait pas.	so big that the dark energy didn't matter.
131	00:10:12:19	00:10:16:01	- Pour la matière normale, c'est un univers hostile.	-The environment was also tough for normal matter.
132	00:10:17:19	00:10:21:23	Les radiations intenses empêchaient la matière normale	It was so hot, intense radiation prevented visible matter
133	00:10:22:08	00:10:24:23	de s'assembler en atomes.	from bunching together to form atoms.
134	00:10:25:21	00:10:29:12	- Si la matière essayait de s'assembler,	-If any normal matter tried to clump together through gravity or some other force,
135	00:10:29:20	00:10:33:14	cette énergie la séparait. - Au tout début de l'univers,	this energy would just basically blast it apart. -In the very early universe,
136	00:10:33:18	00:10:37:02	lorsqu'il était bien plus petit, chaud et dense,	when our universe was a lot smaller and a lot hotter and a lot denser,
137	00:10:37:07	00:10:42:29	la matière normale voulait s'assembler,	matter, normal matter, tried to collect together, wanted to join the party.
138	00:10:43:07	00:10:48:17	mais les radiations ambiantes l'en empêchaient.	But it was prevented from doing so because there was also radiation that would throw it out.
139	00:10:50:24	00:10:56:09	- Incapable de s'assembler, la matière erre dans l'univers	-Unable to stick together, normal visible matter sped out across the infant cosmos
140	00:10:56:23	00:10:58:24	dans un torrent de particules.	in a blizzard of particles.
141	00:11:00:12	00:11:05:23	C'est là que la matière noire, la force qui rassemble, intervient.	But then dark matter, the force that brings things together, intervened.
142	00:11:07:23	00:11:10:09	- Elle ne se soucie pas des radiations,	-Dark matter doesn't talk to radiation,
143	00:11:10:17	00:11:14:21	elle fait ce qu'elle veut. Elle commence à se condenser.	doesn't talk to light. Can do whatever it wants. It starts clumping together.
144	00:11:16:16	00:11:21:24	- Les radiations empêchent la formation de régions denses.	-Radiation pushes normal matter apart, stopping it from forming dense regions.
145	00:11:22:25	00:11:26:21	Mais ces radiations passent à travers la matière noire,	But photons simply pass straight through the dark matter,
146	00:11:27:03	00:11:31:11	ce qui lui permet de se condenser en régions denses ou «puits».	allowing it to clump and fall into dense pockets or wells.

147	00:11:33:07	00:11:36:20	- Elle commence à s'associer gravitationnellement,	-The dark matter begins to clump together gravitationally,
148	00:11:37:02	00:11:41:10	et ces puits gravitationnels vont attirer la matière normale.	and this means that the matter is going to fall into those dark matter wells.
149	00:11:42:29	00:11:48:07	- De plus en plus de matière est attirée par ces régions denses.	-Over time, more and more regular matter is pulled into the dark matter wells.
150	00:11:48:27	00:11:52:02	- La gravité attire la matière vers ces zones,	-The regions that have a little bit more stuff, gravity makes them bigger,
151	00:11:52:08	00:11:54:23	et les zones moins denses se vident.	and the regions that have less stuff, those expand more.
152	00:11:55:00	00:12:00:21	Donc les zones un peu plus denses attirent de plus en plus de matière.	So you have little pockets of slight extra matter, have more and more and more matter over time.
153	00:12:03:02	00:12:08:04	- Les zones de matière noire rassemblent la matière normale.	-Gravity-rich pockets of dark matter pull particles of regular matter together.
154	00:12:10:06	00:12:15:04	Petit à petit, elles forment des nuages de gaz géants	Gradually, they form giant clouds of hydrogen and helium gas.
155	00:12:16:29	00:12:20:18	La matière noire a posé les fondations du cosmos.	Dark matter has laid the foundation stones of the cosmos.
156	00:12:21:18	00:12:26:01	Elle est invisible, mais elle est très créative.	This force may be dark, but it's highly creative.
157	00:12:29:13	00:12:33:28	180 millions d'années après le Big Bang,	And now, 180 million years after the big bang,
158	00:12:34:13	00:12:39:03	tout est prêt pour son prochain projet :	everything is in place for the next dark matter construction milestone -
159	00:12:39:14	00:12:41:23	la création d'étoiles.	the creation of stars.
160	00:12:42:27	00:12:46:09	- On sait que les étoiles, au tout début de l'univers,	-We know stars, in the very early universe at the edge of time,
161	00:12:46:15	00:12:50:11	sont nées de l'effondrement de nuages de gaz.	had to form from the collapse of gas clouds under their own gravity.
162	00:12:53:13	00:12:54:26	-Mais il y a un problème.	-But there's a problem.
163	00:12:55:02	00:12:59:24	À cette époque, un nuage de gaz ne devrait pas s'effondrer.	The clouds of hydrogen in the infant universe can't collapse,
164	00:13:00:20	00:13:04:08	Et sans effondrement, pas d'étoiles.	and no collapse means no stars.
165	00:13:04:21	00:13:09:11	- Le gaz est sous pression, ce qui l'empêche de s'effondrer.	-The gas in the early universe has a lot of pressure and this pressure keeps it from collapsing.
166	00:13:09:16	00:13:12:02	Mais ça n'affecte pas la matière noire.	The dark matter doesn't experience that kind of pressure.
167	00:13:12:07	00:13:16:11	Elle s'assemble et crée des zones propices à la formation.	So the dark matter can clump up and make sites for structure formation.
168	00:13:17:13	00:13:22:07	- Elle vient donc à la rescousse, en créant des zones à haute gravité.	-So dark matter comes to the rescue, creating regions of higher gravity,
169	00:13:23:07	00:13:25:02	Ces zones attirent le gaz,	dragging in hydrogen gas,
170	00:13:25:10	00:13:29:06	et condensent les nuages de plus en plus,	forcing the clouds to get denser and denser,

171	00:13:29:25	00:13:34:08	ce qui crée les conditions nécessaires à l'effondrement.	creating the conditions for collapse and then creation.
172	00:13:41:03	00:13:46:00	- C'est seulement quand la gravité surpasse cette pression	-So it's only when the gravity of the dark matter overwhelms the pressure of gases
173	00:13:46:23	00:13:50:07	que le gaz peut s'effondrer et former les étoiles.	that the gas can collapse to form stars.
174	00:13:51:00	00:13:55:17	- Dès que le gaz refroidit, il peut tomber dans un de ces puits,	-As soon as the gas cools down, it can fall into those potential wells that the dark matter created,
175	00:13:56:01	00:14:00:17	comme des crèches pour étoiles, où elles commencent à se développer.	almost like little nurseries for stars, and they start forming in earnest.
176	00:14:02:24	00:14:05:07	-La matière noire accroît la gravité,	-Dark matter provides a boost of gravity
177	00:14:05:11	00:14:09:22	amorçant la construction des premières étoiles.	to kick-start hydrogen into constructing the first stars,
178	00:14:10:27	00:14:14:15	Ces étoiles seront à l'origine des premières galaxies.	stars that are the seeds of the first galaxies.
179	00:14:14:23	00:14:20:16	- C'est donc la matière noire qui se réunit tôt dans l'univers.	-So it's dark matter that would have coalesced in the early universe and grown from there,
180	00:14:20:27	00:14:26:05	Et ce que nous connaissons, les étoiles, les galaxies,	and then the luminous component of the universe, the things that we think of as being the universe itself, like stars and galaxies,
181	00:14:26:21	00:14:28:26	étaient portées par le courant.	would have just been along for the ride.
182	00:14:29:01	00:14:34:02	- Si la matière noire n'avait pas aidé cette formation,	-Without the presence of dark matter to seed structures
183	00:14:34:13	00:14:40:02	les galaxies n'auraient pas eu le temps de se former,	there wasn't enough time in the early universe to form galaxies, which means
184	00:14:40:10	00:14:43:27	nous devons donc notre existence à la matière noire.	which means you and me have to thank dark matter for our existence.
185	00:14:45:07	00:14:50:27	- Mais la matière noire prévoit un projet plus ambitieux encore :	-And dark matter now begins a much more ambitious architectural project -
186	00:14:52:02	00:14:55:03	façonner l'univers même,	to shape the entire universe itself,
187	00:14:56:11	00:15:00:06	construire la plus grande structure de tous les temps :	to build the biggest structure ever constructed -
188	00:15:00:20	00:15:01:27	la toile cosmique.	the cosmic web,
189	00:15:20:21	00:15:26:10	La matière noire et l'énergie noire luttent depuis la nuit des temps.	The war between dark matter and dark energy has been raging since the birth of time.
190	00:15:29:06	00:15:33:07	Mais au départ, c'est un combat inégal.	But in the early years, it's a one-sided contest.
191	00:15:34:02	00:15:38:17	- Dans l'univers primitif, l'énergie noire est insignifiante.	-In the early universe, the only thing that really mattered was the dark matter and the normal matter.
192	00:15:39:27	00:15:44:23	La matière noire, la force qui rassemble,	Dark matter, the force that brings things together,
193	00:15:45:22	00:15:47:18	fait la loi.	is in the driver's seat.
194	00:15:51:04	00:15:56:07	L'énergie noire, la force qui sépare, est perdante.	Dark energy, the force that pulls things apart, is the underdog.

195	00:15:57:05	00:16:01:18	- Cette bataille cosmique fait rage depuis 14 milliards d'années.	-We've seen this cosmic battle go on for the past 14 billion years.
196	00:16:01:27	00:16:05:10	Heureusement, l'énergie noire a démarré lentement.	Fortunately for us, the dark energy got off to a slow start
197	00:16:06:29	00:16:11:21	- Pendant ce temps, la matière noire façonne l'univers.	-Meanwhile, dark matter is busy at work, building the universe.
198	00:16:12:28	00:16:16:16	Elle a non seulement fait naître les premières étoiles,	Not only does it trigger the birth of the first stars,
199	00:16:17:28	00:16:21:12	mais elle commence un projet encore plus formidable :	it embarks on an even more formidable construction project
200	00:16:23:05	00:16:24:20	la toile cosmique.	the cosmic web.
201	00:16:26:20	00:16:30:17	- Les galaxies semblent se former	-There's this large-scale structure of filaments
202	00:16:30:21	00:16:35:06	sur une structure gigantesque qu'on appelle la toile cosmique.	that galaxies seem to form on, and that's what we call the cosmic web.
203	00:16:35:21	00:16:40:24	La formation de cette toile remonte à l'univers primitif.	And we can trace the formation of this cosmic web all the way back to the early universe.
204	00:16:41:14	00:16:47:09	- La matière n'aurait pas le temps de créer une structure si énorme.	-Now this is such a huge structure, we don't think there's time in the universe for matter to do this.
205	00:16:47:14	00:16:50:28	La matière noire a dû servir de support.	There must have been an underlying scaffold of dark matter.
206	00:16:51:12	00:16:55:07	- Elle s'est groupée en filaments, et en refroidissant,	-The dark matter started forming into these filaments, and when the universe cooled enough,
207	00:16:55:20	00:17:00:11	la matière normale a pu s'engouffrer dans ces puits gravitationnels.	normal matter could start to stream into this gravitational attraction of the dark matter.
208	00:17:00:19	00:17:04:24	Et c'est devenu l'échafaudage sur lequel s'est formée la toile.	That became the scaffolding on which this large-scale structure was built.
209	00:17:06:02	00:17:08:25	- Les filaments se rejoignent,	-The filaments of dark matter joined together,
210	00:17:09:00	00:17:11:20	attirant toujours plus d'hydrogène.	drawing in more and more hydrogen gas.
211	00:17:12:24	00:17:16:21	Là où ils se rejoignent, de denses nuages s'agglomèrent,	Dense clouds of gas build up at the junctions of the filaments,
212	00:17:16:29	00:17:19:27	l'endroit où la gravité est la plus forte.	the point where gravity is at its strongest.
213	00:17:23:05	00:17:28:10	Lentement mais sûrement, une structure familière apparaît.	Slowly and surely, a familiar-looking structure starts to take shape.
214	00:17:29:18	00:17:31:22	- Si vous avez déjà vu	-If you've ever gone outside, and you can see
215	00:17:31:29	00:17:37:00	la rosée sur une toile d'araignée, c'est un peu le même phénomène.	a spider web covered in dew, that's kind of like what happened with the universe.
216	00:17:37:17	00:17:42:07	Ici, la toile représente les filaments de matière noire,	In this case, the spider web is the structure of the dark matter, it's all of these filaments,
217	00:17:42:15	00:17:45:12	et l'humidité ambiante s'agglomère dessus,	and the moisture in the air is what condenses around them
218	00:17:45:18	00:17:50:28	comme la matière sur la toile, formant ces gigantesques structures.	the normal matter fell into the dark matter web to form these gigantic structures in the universe.

219	00:17:51:27	00:17:55:07	- La matière noire, architecte de l'univers,	-Dark matter, the universe's master builder,
220	00:17:55:15	00:17:59:04	a tissé une toile cosmique.	succeeds in stitching together a cosmic web.
221	00:17:59:24	00:18:03:21	Elle sera l'armature de l'univers tout entier.	This will be the framework for the entire universe.
222	00:18:04:24	00:18:07:19	- Donc La matière noire chorégraphie	- And so it is dark matter that would choreograph
223	00:18:07:24	00:18:10:02	et sculpte l'univers lui-même.	and sculpt the shape of the universe itself
224	00:18:10:07	00:18:13:29	- Sans la matière noire, nous n'existerions pas.	-One of the amazing things about dark matter is, without it, we wouldn't be here.
225	00:18:14:10	00:18:18:23	Sans elle, difficile d'imaginer que l'univers ait une structure.	It's hard to imagine how you could have structure in the universe without dark matter.
226	00:18:20:00	00:18:25:03	- Aux croisements des filaments, des galaxies et des amas se forment.	-Galaxies, and then galactic clusters, form at the junctions of the filaments
227	00:18:25:10	00:18:30:07	Lentement mais sûrement, l'univers prend forme.	Slowly, but surely, the universe begins to take shape.
228	00:18:30:23	00:18:33:21	- Si on observe la toile à l'échelle cosmique,	-When we look at this structure over a cosmic scale,
229	00:18:33:27	00:18:36:12	elle ressemble un peu à une éponge.	we see that it looks kind of like a sponge.
230	00:18:36:20	00:18:39:10	Des vides entourés de galaxies.	Voids with galaxies all over the edges of them.
231	00:18:39:18	00:18:44:09	C'est la structure que la matière noire a créée.	That is the structure that was formed by the dark matter in the early universe.
232	00:18:45:22	00:18:49:14	- La matière noire a fourni assez de gravité	-Dark matter is the thing that enabled, that provided enough gravity
233	00:18:49:25	00:18:53:07	pour que la matière puisse se rassembler,	for the initial seeds of structure formation to coalesce,
234	00:18:53:16	00:18:55:16	et que les galaxies se forment.	for galaxies themselves to form.
235	00:18:58:03	00:19:02:06	Bien sûr, sans galaxies, pas d'étoiles, et pas de nous.	And, of course, without galaxies, there are no stars, and there's no planets, and there's no us.
236	00:19:03:02	00:19:08:06	- La matière noire édifie l'univers pendant 9 milliards d'années.	-For 9 billion years, dark matter orchestrates the construction of the universe.
237	00:19:10:03	00:19:12:26	Les premières batailles du cosmos	In these, the first battles of the cosmos,
238	00:19:13:03	00:19:16:15	sont clairement remportées par la force créatrice.	this constructive force is the clear victor.
239	00:19:17:08	00:19:19:20	- Pour l'instant, elle l'emporte.	-For the time being, the dark matter has won.
240	00:19:19:25	00:19:24:23	De nouvelles galaxies sont formées. Les amas de galaxies grandissent.	Galaxies continue to form. Clusters of galaxies are getting bigger over time.
241	00:19:27:06	00:19:30:01	- Mais le succès créatif de la matière noire	-But dark matter's success in building up the universe
242	00:19:30:07	00:19:33:11	pourrait aussi être la raison de sa chute.	sets in motion its potential downfall.

243	00:19:38:01	00:19:41:28	- Alors que la toile cosmique devient plus complexe,	-As the cosmic web evolves into a more complex structure,
244	00:19:44:16	00:19:47:12	des trous apparaissent entre les filaments,	gaps form between the filaments,
245	00:19:47:17	00:19:49:14	les vides cosmiques.	the cosmic voids.
246	00:19:50:29	00:19:56:19	- Ces vides apparaissent parce que d'autres régions plus denses	-The cosmic voids formed because other, more dense regions of the universe
247	00:19:56:26	00:20:00:01	ont absorbé leur matière via la gravité.	gravitationally stole material away from them.
248	00:20:00:18	00:20:04:03	Ces régions denses accumulent la matière	So the dense parts of the universe accumulated more matter
249	00:20:04:09	00:20:08:17	au détriment d'autres régions, qui deviennent des vides.	at the expense of the less dense parts, which then became voids.
250	00:20:10:09	00:20:13:19	- Et dans ces vides se cache l'énergie noire.	-And lurking in these voids, dark energy.
251	00:20:14:17	00:20:18:19	Depuis la nuit de temps, elle attendait une opportunité.	Since the dawn of time, it's been waiting for its opportunity.
252	00:20:19:26	00:20:25:18	Elle prépare une contre-attaque pour conquérir l'univers.	Now it's preparing an offensive that may help it conquer the universe.
253	00:20:26:16	00:20:27:23	- Au tout début,	-In the very earliest times,
254	00:20:27:29	00:20:32:20	la matière noire dominait tout. Une brute intimidant sa petite sœur.	the dark matter dominated everything. It was the big brother pushing the little brother around.
255	00:20:32:29	00:20:36:22	Mais à long terme, l'énergie noire va la surpasser.	But in the long run, the dark energy is going to overpower dark matter,
256	00:20:37:06	00:20:39:06	Donc leur relation s'inverse.	and so the relationship is entirely flipped.
257	00:20:41:03	00:20:45:28	- On pensait que notre destin dépendait de la matière noire,	-We used to think the fate of the cosmos itself depended on dark matter, and it turns out
258	00:20:46:06	00:20:47:26	mais en fait, pas du tout.	that's not the case at all.
259	00:20:48:01	00:20:50:27	Il dépend complètement de l'énergie noire.	The fate of the universe depends entirely on dark energy.
260	00:20:52:02	00:20:55:26	- Le règne de la matière noire pourrait bientôt prendre fin.	-The long reign of dark matter may be coming to an end.
261	00:20:56:10	00:21:00:23	L'énergie noire, destructrice, veut prendre le pouvoir.	Dark energy, the great destroyer, is hoping to take control.
262	00:21:02:01	00:21:05:26	Le but premier de cette force destructrice	This destructive force has one overriding aim
263	00:21:06:14	00:21:09:11	est de mettre l'univers en pièces.	to tear the universe apart.
264	00:21:25:07	00:21:27:15	- Une guerre sévit dans l'univers,	Our universe is at war,
265	00:21:28:08	00:21:31:09	un conflit entre deux forces obscures.	a relentless conflict between dark forces.

266	00:21:32:20	00:21:37:13	Pendant 9 milliards d'années, l'énergie noire est en retrait.	For the first 9 billion years, dark energy is subjugated.
267	00:21:38:15	00:21:41:02	La matière noire a l'avantage.	Dark matter has the upper hand.
268	00:21:42:23	00:21:44:20	- Tôt dans l'univers,	When the universe emerged from the big bang,
269	00:21:45:04	00:21:49:29	l'énergie noire n'intervenait pas, elle était insignifiante.	the dark energy played no role. It was insignificant.
270	00:21:50:25	00:21:54:20	- Mais depuis le Big Bang, au cours des milliards d'années,	-But at some stage in the 14 billion years since the big bang,
271	00:21:54:26	00:21:57:16	ces rôles se sont inversés.	these roles became reversed
272	00:21:58:12	00:22:01:26	L'énergie noire est devenue la plus puissante.	Dark energy came to be the more powerful force.
273	00:22:02:26	00:22:04:26	La question était : quand ?	The question was, when?
274	00:22:05:28	00:22:09:03	La réponse est apportée à la fin du XXe siècle.	The answer came at the end of the 20th century.
275	00:22:09:25	00:22:13:17	- C'est une découverte capitale, très importante.	-So it was an amazing breakthrough, really important.
276	00:22:14:13	00:22:19:05	- En 1999, les chercheurs calculent l'expansion de l'univers.	-In 1999, scientists measure the expansion of the universe.
277	00:22:20:18	00:22:22:26	Les résultats sont choquants.	What they find shocks them.
278	00:22:23:16	00:22:27:25	Ils pensaient que l'expansion ralentissait.	They expect the speed of expansion to be decreasing.
279	00:22:28:09	00:22:33:24	Mais en fait, elle accélère, et devient sans cesse plus rapide.	In fact, it's actually increasing and getting faster all the time.
280	00:22:34:27	00:22:39:09	- Selon les données, elle ralentit pendant 9 milliards d'années,	-The data indicates that for about the first 9 billion years, it was slowing down.
281	00:22:39:22	00:22:45:05	et puis elle se met à accélérer. De plus en plus vite.	But then, in the past 5 billion years, It started accelerating. Faster and faster.
282	00:22:46:13	00:22:49:00	-Alex Filippenko était dans l'équipe	-Alex filippenko was part of the team
283	00:22:49:05	00:22:52:01	qui a fait cette découverte étonnante.	that made this explosive discovery.
284	00:22:52:20	00:22:56:24	- Nous étions stupéfaits. La nature ne fonctionne pas ainsi.	-It befuddled us. This isn't how nature was supposed to be behaving,
285	00:22:57:03	00:22:58:18	D'ailleurs, au départ,	and, in fact, initially we thought that there was something wrong
286	00:22:58:23	00:23:02:28	nous pensions nous être trompés dans nos observations.	with either the observations or the measurements.
287	00:23:03:15	00:23:05:23	- Je n'y ai longtemps pas cru.	-I didn't believe it for the longest time.
288	00:23:06:00	00:23:09:08	À la publication des résultats, je n'y croyais pas.	When the first data came out, I'm like, nah, I don't believe this, no way.

289	00:23:09:13	00:23:12:17	Mais c'est les données. On ne peut pas y échapper.	but it's in the data. It's there. You can't escape it.
290	00:23:12:29	00:23:15:24	- C'est comme si vous preniez une pierre,	-This is as shocking as if you held up a rock,
291	00:23:15:29	00:23:18:12	la lâchiez, et qu'elle parte en l'air.	let go of it, and it went up into the air.
292	00:23:21:04	00:23:26:08	- Il y a 5 milliards d'années, l'expansion se met à accélérer.	-Five billion years ago, galaxies started moving apart faster than before.
293	00:23:26:16	00:23:28:16	La question est : pourquoi ?	The question is, why?
294	00:23:29:20	00:23:31:05	- Quelle en est la cause ?	-What could be causing that?
295	00:23:31:13	00:23:35:16	Une chose est sûre : quelque chose lui fournit de l'énergie.	Well, one thing is clear. It must be getting some extra energy from somewhere.
296	00:23:36:19	00:23:41:09	- Une hypothèse pourrait fournir cette énergie supplémentaire.	-There is one main contender for what may be supplying this extra energy,
297	00:23:41:22	00:23:44:11	Une force à gravité répulsive,	a force with repulsive gravity,
298	00:23:44:17	00:23:47:14	une force qui sépare la matière.	a force that pushes things apart.
299	00:23:48:00	00:23:53:03	- Ce qu'on appelle l'énergie noire, une force répulsive mystérieuse.	-This is what astronomers call dark energy. It's this mysterious repulsive force
300	00:23:53:08	00:23:57:14	On sait qu'elle existe, mais on ne sait rien d'elle.	that we know exists in the universe, and we have no idea what it is.
301	00:23:58:10	00:24:01:24	- Les physiciens ne s'accordent pas sur sa nature,	-Physicists may not agree on what dark energy is,
302	00:24:01:29	00:24:07:22	mais ils s'accordent sur les régions où cette force est la plus forte :	but there is a consensus on where this repulsive force has the most influence -
303	00:24:08:14	00:24:12:28	dans les régions entre les galaxies et les amas,	in the regions between galaxies and galaxy clusters,
304	00:24:13:11	00:24:14:22	les vides cosmiques.	the cosmic voids.
305	00:24:15:10	00:24:19:10	- Ils débordent d'énergie noire.	-They're actually filled to the brim with dark energy.
306	00:24:19:25	00:24:23:09	- L'énergie noire marque vraiment l'univers	-The first time dark energy is really going to make its mark in the universe
307	00:24:23:14	00:24:27:07	à partir du moment où les vides cosmiques apparaissent.	is going to be the time when the first cosmic voids begin to appear.
308	00:24:29:02	00:24:33:05	- On observe ses effets partout dans l'univers.	-We see dark energy's effects throughout the universe.
309	00:24:33:12	00:24:36:14	Mais c'est dans les vides cosmiques,	But when we look into the cosmic voids,
310	00:24:36:19	00:24:39:17	les régions les plus vides de notre univers,	which are the most empty regions of our universe,
311	00:24:39:23	00:24:43:02	que l'énergie noire est la plus puissante.	this is where dark energy is strongest.
312	00:24:45:13	00:24:48:24	- L'énergie noire est la force qui écarte les choses.	-Dark energy is the repulsive force pushing things apart.

313	00:24:49:05	00:24:52:24	Elle préfère les vides, où la gravité est faible.	It prefers the voids , where gravity is weak.
314	00:24:54:23	00:24:59:13	- Il y a moins de matière noire, et puisque la densité est basse,	-These are areas where there's a lot less dark matter, and because the overall density is low,
315	00:24:59:18	00:25:03:26	l'énergie noire se manifeste, et stimule l'expansion des vides.	that's where the dark energy starts to peek out and can really drive those voids to expand.
316	00:25:04:11	00:25:07:12	- L'expansion accélérée de l'univers	-So the expansion and acceleration of the universe
317	00:25:07:19	00:25:10:26	vient donc de l'énergie noire dans ces régions.	are driven by the dark energy in those regions.
318	00:25:11:20	00:25:14:08	L'énergie noire écarte les choses,	Dark energy pushes thing apart,
319	00:25:15:04	00:25:20:27	tout ce qui est dans le chemin, comme la toile cosmique.	things that get in its way, things like the cosmic web.
320	00:25:21:23	00:25:25:23	La matière noire et la matière normale	Dark matter and normal matter are also in its path
321	00:25:27:05	00:25:30:09	sont elles aussi repoussées à travers le cosmos.	and are bulldozed out across the cosmos.
322	00:25:30:23	00:25:32:06	Lentement,	Slowly, but surely,
323	00:25:32:14	00:25:37:27	l'équilibre entre l'énergie noire et la matière noire s'inverse.	the balance between dark energy and dark matter is changing.
324	00:25:39:29	00:25:41:20	- Imaginez une piscine,	-Imagine you have a giant swimming pool,
325	00:25:41:26	00:25:45:17	avec un peu d'eau et un soupçon de whisky.	and at the very bottom there's a puddle of water with a splash of whiskey.
326	00:25:45:21	00:25:49:02	C'est une boisson plutôt forte au fond de la piscine.	So you have sort of a strong whiskey drink down at the bottom of your pool.
327	00:25:49:19	00:25:52:29	Remplissez-la d'eau, sans rajouter de whisky.	But now you start dumping water into your pool, no more whiskey,
328	00:25:53:04	00:25:54:28	Le whisky se dilue vite,	and it begins to get diluted and diluted,
329	00:25:55:03	00:25:59:21	et ça devient une piscine d'eau avec un petit shot de whisky.	and eventually, you just have a swimming pool full of w
330	00:25:59:26	00:26:02:26	Pas très fort, comme boisson. C'est de l'eau.	with one shot of whiskey mixed in. That's not a very strong drink .It's basically a water swimming pool.
331	00:26:03:15	00:26:05:18	Il se passe la même chose.	That's pretty much happening with the dark energy.
332	00:26:05:23	00:26:08:28	Au départ, c'est un mélange égal,	At first, it's a one-to-one mixture of dark matter and dark energy.
333	00:26:09:03	00:26:13:07	Mais à long terme, il ne reste que l'énergie noire.	But in the long run, it's all dark energy and pretty much no dark matter left over.
334	00:26:15:19	00:26:20:09	- L'énergie noire devient incontrôlable,	-The forces of dark energy are on an unstoppable march,
335	00:26:20:21	00:26:25:13	l'énorme taille des vides cosmiques la rend toujours plus puissante.	picking up more and more power from the vast scale of the cosmic voids.

336	00:26:26:10	00:26:28:29	- Par nature, l'énergie noire est faible.	-Dark energy is intrinsically very weak.
337	00:26:29:04	00:26:32:13	Il n'y a qu'un peu de cet effet répulsif	There's very little dark energy and this repulsive effect
338	00:26:32:21	00:26:34:18	dans chaque centimètre cube.	in every cubic centimeter.
339	00:26:35:01	00:26:38:09	Mais l'univers est vaste. Le cosmos est grand.	But the universe is vast. Space is big.
340	00:26:38:29	00:26:42:14	Donc cumulativement, ce peu d'énergie	So cumulatively, all this small amount of stuff
341	00:26:42:23	00:26:45:07	s'accumule en grande quantité,	adds up to a very large amount,
342	00:26:45:12	00:26:51:02	et à l'échelle de l'univers entier, l'énergie noire domine.	and over a scale encompassing the entire universe, the dark energy dominates.
343	00:26:53:14	00:26:55:18	- Mais tout cela a pris du temps.	-But it's been a very long process.
344	00:26:56:03	00:27:01:14	Après le Big Bang, la matière noire domine pendant 9 milliards d'années.	After the big bang, dark matter dominates for the first 9 billion years.
345	00:27:03:21	00:27:08:26	Puis, il y a 5 milliards d'années, l'énergie noire prend l'avantage.	Then, 5 billion years ago, dark energy starts to get the upper hand.
346	00:27:09:04	00:27:12:14	Elle accélère l'expansion de l'univers	It causes the expansion of the universe to accelerate
347	00:27:12:29	00:27:16:03	et l'élargissement des vides cosmiques.	and the space in the voids to grow more rapidly.
348	00:27:16:21	00:27:20:17	- L'univers grandit, donc il y a plus d'énergie noire,	-As the space expands, there's more and more dark energy
349	00:27:20:21	00:27:25:23	puisque'il y a plus d'espace. L'énergie noire se crée elle-même.	because you have a bigger space. It sort of creates itself with the expansion of space.
350	00:27:26:27	00:27:29:17	- L'énergie noire est assez sournoise,	-Dark energy has a sneaky way of taking over
351	00:27:29:22	00:27:33:22	elle double le volume de l'univers, ce qui veut dire	because it causes the space to stretch out and get twice as big, so now there's...
352	00:27:34:04	00:27:36:02	qu'elle se double elle-même.	twice as much dark energy.
353	00:27:36:29	00:27:39:15	- L'énergie noire gonfle l'univers,	-Dark energy just can't stop pushing,
354	00:27:39:26	00:27:44:09	les vides deviennent de plus en plus étendus.	causing the empty space of the voids to continuously expand.
355	00:27:47:16	00:27:50:19	- L'énergie noire provoque l'expansion,	-As the universe expands because of dark energy,
356	00:27:50:26	00:27:56:03	qui crée plus d'énergie noire. - Et elle prend l'avantage.	more and more dark energy is being created. - Dark energy is definitely gaining the upper hand on dark matter.
357	00:27:56:19	00:27:58:12	- Elle a toujours existé,	-It was always there,
358	00:27:58:20	00:28:02:09	mais a pris le contrôle au fil du temps.	but it took over compared to other stuff.
359	00:28:03:03	00:28:08:25	- Jusqu'à créer assez d'énergie pour surcharger l'expansion.	-Eventually creating enough energy to supercharge the expansion of the universe.

360	00:28:11:07	00:28:15:21	Cette accélération continue. L'univers s'étend toujours plus,	This acceleration continues. The universe is getting bigger and bigger,
361	00:28:16:04	00:28:20:20	alimenté par la force répulsive de l'énergie noire.	and it's all powered by the forces of repulsion, dark energy.
362	00:28:21:00	00:28:25:19	Ça pourrait mal tourner pour l'univers.	And for the universe, that could be very bad news.
363	00:28:25:28	00:28:29:25	- L'énergie noire pourrait détruire l'univers.	-If that's the case, dark energy may destroy the universe.
364	00:28:30:12	00:28:34:22	Elle gagnerait en puissance jusqu'à déchirer l'espace-temps.	It will get stronger and stronger until it literally rips apart the fabric of space-time.
365	00:28:50:00	00:28:55:28	L'énergie noire et la matière noire livrent bataille depuis le Big Bang.	Dark matter and dark energy have been battling each other for 13.8 billion years.
366	00:28:56:20	00:29:00:11	Pendant 9 milliards d'années, la matière noire domine.	For the first 9 billion years, dark matter dominates.
367	00:29:01:12	00:29:04:00	La matière noire a une gravité positive,	Dark matter exerts positive gravity,
368	00:29:04:27	00:29:09:27	mais rassembler la matière ne peut avoir qu'une seule issue.	but pulling everything together leads to one inevitable outcome.
369	00:29:10:04	00:29:14:04	- Si l'univers était dominé par la matière,	-If the universe was totally dominated by matter,
370	00:29:14:11	00:29:19:28	l'expansion ralentirait, s'arrêterait puis s'inverserait,	eventually our expansion would slow down glide to a stop, and then turn around.
371	00:29:20:08	00:29:25:10	s'effondrant en un petit point dense similaire à ses début.	and collapse into a small, dense state from where it came from
372	00:29:25:17	00:29:28:02	C'est ce qu'on appelle le <i>Big Crunch</i> .	an event we call the big crunch.
373	00:29:29:02	00:29:34:01	-Durant le <i>Big Crunch</i> , la gravité ravagerait le cosmos.	-During the big crunch, gravity would play havoc with the cosmos.
374	00:29:34:22	00:29:37:01	Les galaxies s'attireraient,	Galaxies would be dragged together.
375	00:29:38:18	00:29:42:03	les étoiles et les planètes entreraient en collision.	Stars and planets would smash into each other
376	00:29:42:20	00:29:44:21	L'univers s'effondrerait	The universe would collapse
377	00:29:44:26	00:29:48:17	en une fournaise de matière et d'énergie.	in a blazing inferno of superdense matter and energy.
378	00:29:53:04	00:29:56:11	Heureusement, tout cela est improbable.	Fortunately, none of this will probably happen.
379	00:29:59:08	00:30:03:07	Les chercheurs ont écarté la possibilité d'un <i>Big Crunch</i> .	Scientists have now dismissed the possibility of a big crunch.
380	00:30:06:12	00:30:10:15	- Ça n'arrivera pas. L'univers déborde d'énergie noire.	-We don't face that, because we have a universe filled with dark energy.
381	00:30:11:10	00:30:16:28	- L'énergie noire a un autre effet. Un effet indésirable.	-Dark energy is causing the universe to do something else, something it would prefer not to do.
382	00:30:17:03	00:30:20:09	Elle accélère l'expansion de l'univers.	It is accelerating the expansion of the universe.
383	00:30:20:26	00:30:26:11	-En devenant plus puissante, elle surcharge l'expansion.	-As dark energy gets stronger, it supercharges this expansion.

384	00:30:26:24	00:30:29:24	L'énergie noire est un peu comme	The presence of dark energy is like
385	00:30:29:29	00:30:34:06	un additif d'octane dans un réservoir.	a high-octane additive into a gas tank,
386	00:30:34:12	00:30:39:28	Il fait que la voiture n'avance pas, mais qu'elle fonce.	where a car isn't just coasting along, It's boosting along,
387	00:30:40:09	00:30:42:20	C'est ce qui se passe dans l'univers.	and that's what's happening with our universe.
388	00:30:43:04	00:30:48:26	- Si c'est vrai, cette accélération durera des milliards d'années.	-If that's correct, this supercharged expansion will continue for the next few billion years.
389	00:30:50:06	00:30:54:08	Cette énergie répulsive deviendra invincible,	The repulsive force of dark energy will become invincible,
390	00:30:54:20	00:30:59:01	mais un tel pouvoir a un coût élevé.	and such unbridled power will come with a high cost.
391	00:31:00:11	00:31:03:17	- Il existe trois armes apocalyptiques :	-I know of three ultimate doomsday weapons.
392	00:31:03:25	00:31:07:08	l'anéantisseur ultime de Galactus,	One is galactus' ultimate nullifier.
393	00:31:07:19	00:31:11:06	les gemmes de l'infini entre les mains de Thanos,	Another is the infinity stones in the hands of Thanos.
394	00:31:11:14	00:31:15:07	mais celles-là sont fausses. L'énergie noire est réelle.	But those two are make-believe. The real one is dark energy.
395	00:31:15:12	00:31:18:17	Le vrai destructeur d'univers.	It's the real ultimate universe destroyer.
396	00:31:20:28	00:31:23:22	- L'univers pourrait payer de sa vie	-The universe may pay the ultimate price
397	00:31:23:28	00:31:27:28	l'expansion exponentielle causée par l'énergie noire.	for this ever-increasing expansion driven by dark energy.
398	00:31:28:16	00:31:32:27	- Si elle accélère éternellement, le futur de l'univers est simple.	-And if that continues forever, the future of the universe is very, very simple.
399	00:31:33:10	00:31:35:16	Il continue son expansion.	It continues to expand, to accelerate.
400	00:31:35:21	00:31:40:00	Tout se sépare de tout, et l'univers devient vide.	Everything moves apart from everything else, and the universe becomes empty.
401	00:31:41:01	00:31:46:09	Un espace vide et froid, partout, c'est tout ce qu'il restera.	There'll be nothing left but cold, desolate, empty space forever.
402	00:31:47:25	00:31:51:27	- L'énergie noire triomphera enfin.	-Dark energy will finally win the long war with dark matter.
403	00:31:52:14	00:31:54:17	Mais ce ne sera pas beau à voir.	But the result won't be pretty.
404	00:31:55:10	00:31:59:29	Cet univers futur sera noir, froid et vide.	This future universe will be cold, dark, and empty.
405	00:32:00:26	00:32:02:26	- Il finira par faire si froid	-Eventually it's going to get so cold that
406	00:32:03:05	00:32:07:18	que rien ne pourra s'y produire. - <i>Le Big Chill.</i>	really nothing can happen in it. -It's the big chill. It gets...
407	00:32:07:27	00:32:11:26	De plus en plus froid et noir. - Tout s'évanouit.	colder and colder and darker and darker. -Everything will fade out,

408	00:32:12:01	00:32:14:26	Il naît dans les flammes mais meurt de froid.	and though it began with a bang, it's going to die in a whimper.
409	00:32:15:05	00:32:18:01	- L'énergie noire tue l'univers.	- The universe flatlines because of dark energy.
410	00:32:19:09	00:32:21:28	- L'univers se termine en <i>Big Chill</i> .	-The universe dies in a big chill.
411	00:32:22:20	00:32:28:03	Les galaxies, bien trop éparpillées, sont seules dans l'obscurité.	Galaxies are so far apart, they're distant islands in a sea of darkness.
412	00:32:29:09	00:32:32:01	Les galaxies s'éteignent à leur tour.	Gradually, the galaxies dies, too.
413	00:32:32:14	00:32:37:04	Les étoiles ne naissent plus, et l'univers s'éteint.	Star birth stops, and the universe fades away.
414	00:32:39:02	00:32:40:15	Mais peut-être pas.	Or maybe not.
415	00:32:40:28	00:32:44:07	Il existe un scénario bien plus violent,	There's another, far more violent scenario.
416	00:32:45:19	00:32:49:21	où l'énergie noire est plus puissante encore.	Here, dark energy just goes from strength to strength.
417	00:32:50:22	00:32:54:21	- Elle pourrait être si puissante	-It could be that dark energy is so strong
418	00:32:54:27	00:33:00:13	que plus l'univers grandit, plus elle gagne en intensité.	that it will multiply upon itself as the universe gets bigger,
419	00:33:00:18	00:33:04:24	On appelle cette variante l'énergie fantôme.	This is a process that we call phantom dark energy.
420	00:33:05:08	00:33:09:11	- C'est une version sous stéroïdes.	-Phantom energy is dark energy on steroids.
421	00:33:09:26	00:33:12:26	Elle se multiplie librement dans les vides	It multiplies uncontrollably in the voids,
422	00:33:13:24	00:33:19:03	et déchire la fabrique de l'univers, un phénomène appelé <i>Big Rip</i> .	tearing at the fabric of the universe in a process called the big rip.
423	00:33:20:22	00:33:25:15	- L'énergie noire est déjà bizarre, mais imaginez un instant	-Dark energy is weird enough, but imagine the possibility that
424	00:33:25:24	00:33:30:26	qu'il y en ait de plus en plus, ce qu'on appelle l'énergie fantôme.	there is more and more of it as time goes on, and it's called phantom energy,
425	00:33:31:17	00:33:36:23	Dans ce cas, même les trous noirs ne survivraient pas.	and in that case, it would rip everything apart, even black holes.
426	00:33:39:29	00:33:43:17	- Les galaxies elles-mêmes seront déchirées.	-It will start to rip apart galaxies themselves.
427	00:33:45:25	00:33:48:13	Les systèmes stellaires.	Rip apart solar systems.
428	00:33:51:19	00:33:55:00	Les gens, les atomes.	Rip apart people, rip apart atoms.
429	00:33:56:23	00:33:58:20	Les noyaux atomiques.	Rip apart nuclei.
430	00:34:01:09	00:34:04:19	- Enfin, l'espace lui-même serait déchiré.	-Until finally, space itself is pulled apart.
431	00:34:05:06	00:34:08:11	- L'univers que nous connaissons serait détruit.	-The universe, as we know it, will be destroyed.

432	00:34:08:16	00:34:11:20	Mais ce ne sera peut-être pas la fin de tout.	But the big rip may not be the end of everything.
433	00:34:15:29	00:34:19:24	Sans matière noire ni matière normale à conquérir,	There will be no normal matter and no dark matter.
434	00:34:21:04	00:34:25:19	l'énergie fantôme pourrait se transformer	And with nothing left to conquer, phantom energy may use its powers
435	00:34:25:25	00:34:29:18	en une force créatrice, engendrant un renouveau.	to become a creator, triggering a rebirth.
436	00:34:31:00	00:34:35:11	- Lorsqu'on aboutit à ce stade de vide ultime,	-Eventually, when you get to this ultimate stage of emptiness,
437	00:34:35:16	00:34:38:26	l'énergie fantôme pourrait inverser le processus.	because of the phantom energy, we're actually able to turn the universe around
438	00:34:39:01	00:34:44:04	L'univers s'effondrerait, créant un cycle de rebonds.	and get it to collapse again, and then go through a series of bounces.
439	00:34:44:10	00:34:46:14	On appelle ça le <i>Phantom Bounce</i> .	So we call it the phantom bounce.
440	00:34:47:21	00:34:52:00	- Via ce phénomène, l'énergie restante dans l'univers	-With this phantom bounce, all life energy left in this dead universe
441	00:34:52:15	00:34:54:06	commence à s'effondrer.	starts to collapse.
442	00:34:54:18	00:34:57:23	- Tout est de plus en plus chaud, de plus en plus dense.	-And eventually it becomes hotter and hotter and denser and denser
443	00:34:58:00	00:35:01:07	Et cette fournaise infernale finit par exploser	and then the fiery inferno eventually pushes you back out
444	00:35:01:12	00:35:05:11	en un nouveau Big Bang. Et le cycle continue à jamais.	into another big bang, and this just keeps going on indefinitely.
445	00:35:07:13	00:35:10:11	- Donc l'énergie annihilatrice et répulsive	-So the destructive and repulsive dark energy
446	00:35:10:19	00:35:14:14	devient une force qui recycle l'univers.	spawns a force that becomes the ultimate universe recycler
447	00:35:16:14	00:35:18:15	- La fin de l'univers	The end state of our universe
448	00:35:18:22	00:35:23:05	vous mène à un nouveau cycle, à un tout nouveau Big Bang.	would lead you back into another cycle, a whole new big bang from the beginning.
449	00:35:28:14	00:35:31:28	- L'énergie noire pourrait détruire l'univers	-In the end, dark energy may kill the cosmos,
450	00:35:32:03	00:35:34:19	ou en créer un nouveau.	or it may create a new one.
451	00:35:35:11	00:35:38:11	- L'énergie noire est mystérieuse et inconnue.	-Dark energy is mysterious. Dark energy is unknown.
452	00:35:38:16	00:35:43:19	Elle fait ce qu'elle veut. Peut-être qu'elle disparaîtra.	Dark energy is going to do whatever it feels like. Maybe dark energy will go away.
453	00:35:43:25	00:35:45:26	Elle pourrait se désintégrer	Maybe dark energy will decay,
454	00:35:46:01	00:35:48:27	en une soupe de particules et de radiations.	and become a flood of new matter and radiation.
455	00:35:49:03	00:35:53:18	Peut-être qu'elle se renforcera. On ne sait pas.	Maybe dark matter will get stronger. We don't know.

456	00:35:56:19	00:36:01:16	- Aujourd'hui, l'avenir de l'univers semble être entre ses mains.	-For now, we think dark energy will determine the fate of the universe.
457	00:36:02:10	00:36:05:06	Mais nos théories sont spéculatives.	But all of our evidence is speculative.
458	00:36:06:03	00:36:07:23	Et si nous nous trompons ?	What if we have it all wrong?
459	00:36:07:28	00:36:11:23	Et si le secteur noir n'existait pas ?	What if there is no dark universe at all?
460	00:36:30:12	00:36:34:24	Une bonne partie de notre savoir sur l'histoire de l'univers	A large part of our understanding of the universe's past, present, and future
461	00:36:35:07	00:36:40:11	se base sur l'hypothèse de deux forces invisibles,	is based on educated guesswork about two invisible forces -
462	00:36:42:10	00:36:45:00	la matière noire et l'énergie noire.	Dark matter and dark energy.
463	00:36:46:00	00:36:48:04	Mais ce n'est qu'une conjecture.	But it's pure speculation.
464	00:36:49:05	00:36:53:08	- Ces forces n'existent peut-être pas.	-Perhaps dark matter and dark energy don't exist.
465	00:36:53:22	00:36:57:14	L'univers n'a rien d'étrange. - Tout est possible.	There's not new stuff in the universe. -Anything is possible.
466	00:36:57:21	00:37:00:14	Pour l'énergie noire, surtout.	Dark energy, in particular, might not be real,
467	00:37:00:19	00:37:03:12	Autre chose pourrait stimuler l'expansion.	so maybe there's something else that could be pushing the universe apart.
468	00:37:03:17	00:37:07:07	- Donc nous pourrions complètement nous tromper.	-So we could absolutely be wrong about dark energy and dark matter.
469	00:37:07:12	00:37:09:00	Et elles n'existent pas.	Maybe they don't exist.
470	00:37:09:05	00:37:13:17	Demain, on découvrira peut-être qu'on se trompe depuis le début.	Maybe tomorrow we'll discover that our understanding was wrong all along.
471	00:37:14:26	00:37:18:13	- Il y a beaucoup de «peut-être». Ajoutons-en un autre.	-That's an awful lot of maybes. Let's add one more.
472	00:37:19:07	00:37:24:11	Nous cherchons peut-être au mauvais endroit.	When it comes to finding answers, maybe we're looking in the wrong place.
473	00:37:26:17	00:37:30:17	- D'autres univers pourraient exister,	-One possibility is that there are other universes out there
474	00:37:30:26	00:37:33:26	qui «étirent» notre univers en l'attirant.	pulling outward, so to speak, on our universe.
475	00:37:34:19	00:37:39:16	Cela pourrait être la réponse. Mais la plupart des chercheurs	That might be the answer. But most theoretical physicists and astrophysicists these days
476	00:37:39:24	00:37:44:20	pensent que l'énergie noire existe car c'est la plus simple explication	think that dark energy is real because that seems to be the simplest explanation
477	00:37:44:29	00:37:48:08	à de nombreuses observations.	for a wide variety of observations.
478	00:37:49:03	00:37:52:18	- Personne ne sait vraiment ce qu'est l'énergie noire.	-No one really knows what dark energy is made of.
479	00:37:52:28	00:37:55:16	La réponse vient peut-être du passé.	Maybe the answer lies in the past.

480	00:37:56:13	00:38:00:26	- La meilleure théorie est la plus simple et ancienne,	-The best theory for dark energy we have right now is the simplest one and the oldest one.
481	00:38:01:01	00:38:04:02	l'idée de la constante cosmologique.	and that's the idea that it's a cosmological constant.
482	00:38:05:09	00:38:11:04	-En 1917, Albert Einstein a l'idée d'une constante cosmologique .	-Albert einstein came up with the idea of a cosmological constant in 1917.
483	00:38:12:16	00:38:16:02	Il propose que l'espace possède une énergie propre,	He suggested that space has its own energy,
484	00:38:16:10	00:38:19:01	qui peut influencer son expansion.	energy that can affect the way the universe expands.
485	00:38:22:02	00:38:24:29	Quand Hubble prouve l'expansion de l'univers,	When edwin hubble proved the universe is expanding,
486	00:38:25:04	00:38:29:21	Einstein pense que la constante est sa plus grande erreur.	einstein thought the cosmological constant was his biggest blunder.
487	00:38:30:07	00:38:34:29	Mais l'accélération observée de l'expansion de l'univers	But observations that the expansion of the universe is accelerating
488	00:38:35:14	00:38:38:18	prouve qu'Einstein avait raison.	reveal einstein was right all along.
489	00:38:39:04	00:38:45:23	- Et voilà. On reprend son idée. La plus grande erreur d'Einstein	-Well, here we are. We've reintroduced the idea. So einstein's biggest blunder
490	00:38:46:03	00:38:49:07	pourrait en fait être son plus grand triomphe.	may have actually conceptually been his greatest triumph.
491	00:38:53:01	00:38:55:19	-Mais pour comprendre le secteur noir,	-But to understand the true nature of the dark universe,
492	00:38:56:10	00:39:00:19	nous devons peut-être reconsidérer nos théories sur la gravité.	we may need to re-evaluate what we think we know about gravity.
493	00:39:02:24	00:39:05:18	- Il faut aussi prendre en compte	When we're trying to understand dark energy and dark matter,
494	00:39:05:26	00:39:10:01	la possibilité que nos théories sur la gravité soient fausses,	there's a chance that just our fundamental theories of gravity are wrong,
495	00:39:10:06	00:39:12:15	que la relativité soit incomplète.	that general relativity isn't quite right.
496	00:39:14:03	00:39:18:14	- La relativité générale d'Einstein révèle l'action de la gravité,	-Einstein's theory of general relativity explains how gravity works,
497	00:39:18:19	00:39:23:20	comment elle dicte l'orbite des étoiles et des planètes.	how stars orbit in galaxies, and planets orbit stars.
498	00:39:25:18	00:39:28:13	Certains pensent qu'amender cette théorie	Some scientists wonder if altering this theory
499	00:39:28:18	00:39:32:00	pourrait nous aider à comprendre le secteur noir.	will help us understand the dark universe.
500	00:39:32:27	00:39:37:29	- Ce n'est pas que la matière noire doit exister,	-So you need not absolutely believe that there is something actually called dark matter.
501	00:39:38:04	00:39:42:18	mais plutôt que l'univers contient quelque chose qui agit comme tel.	You need to only understand that there is something in the universe which behaves like dark matter.
502	00:39:42:27	00:39:46:20	On pourrait par exemple répliquer ses effets	For example, you could effectively mimic the behaviour of dark matter
503	00:39:46:25	00:39:49:26	en modifiant nos théories sur la gravité.	by modifying our current theory of gravity.

504	00:39:50:10	00:39:55:21	- Or, modifier la théorie d'Einstein n'est pas mince affaire.	'-But successfully modifying Einstein's theories on gravity is a big challenge.
505	00:39:56:21	00:39:58:24	- Ses équations sont robustes.	Einstein's equations are very robust.
506	00:39:59:00	00:40:02:11	On n'y chipote pas impunément.	You don't fluff around with Einstein with impunity.
507	00:40:05:09	00:40:10:00	- Depuis des décennies, les théoriciens veulent les modifier	-For decades, theoretical physicists have toyed with Einstein's equations,
508	00:40:10:21	00:40:14:17	pour trouver une réponse à ce secteur noir,	looking for ways to explain dark matter and dark energy,
509	00:40:14:29	00:40:19:19	ou pour le faire disparaître. Jusqu'ici, personne n'a réussi.	or make them go away. As yet, no one has managed.
510	00:40:19:26	00:40:22:24	Le secteur noir persévère.	The dark universe persists.
511	00:40:23:26	00:40:27:10	- Pour moi, la meilleure explication qu'on ait	-I think that the best description of the observations we have today
512	00:40:27:17	00:40:30:10	est que la matière noire existe.	is that dark matter exists. It's out there,
513	00:40:30:17	00:40:36:12	Et l'énergie noire aussi. - Pour moi aussi, mais je dois dire	as well as dark energy. I think dark energy exists. -I think dark energy is real, but I must admit
514	00:40:36:18	00:40:40:03	que parfois, à 3 heures du matin, je me réveille en sueur	that sometimes, at 3 o'clock in the morning, I wake up screaming,
515	00:40:40:09	00:40:44:22	terrifié à l'idée que nous nous trompions.	worried that, in fact, we've settled on the wrong answer,
516	00:40:44:29	00:40:48:24	Que dans des siècles, on se moquera de nous.	and that in a couple hundred years, they're going to be laughing at us.
517	00:40:51:26	00:40:57:03	- D'ici là, nos observations indiquent que le conflit entre ces deux forces	-Until then, our observations tell us the battle between dark matter and dark energy
518	00:40:57:16	00:40:59:14	a bien façonné l'univers.	has shaped the universe.
519	00:41:03:05	00:41:05:10	La matière noire a régi le passé,	Dark matter dictated the past,
520	00:41:06:20	00:41:10:20	construit les galaxies, les étoiles et les planètes.	built the galaxies, the stars, and the planets.
521	00:41:11:21	00:41:14:19	L'énergie noire dirigera l'avenir,	Dark energy will determine its future,
522	00:41:14:25	00:41:17:16	jusqu'au potentiel <i>Big Rip</i> .	potentially tearing the universe apart.
523	00:41:18:07	00:41:21:16	-Même si on ne les observe pas directement,	-Just because we can't see dark matter and dark energy directly
524	00:41:21:24	00:41:24:11	ces forces ont joué un rôle important	doesn't mean they have not had a profound effect
525	00:41:24:18	00:41:30:03	dans le développement de l'univers. - Depuis le commencement,	on the evolution of the entire universe. -The dark universe was there at the beginning of the universe,
526	00:41:30:09	00:41:33:27	elles ont façonné l'univers, et l'ont rendu habitable.	shaping it, and actually creating the conditions for us to be here,
527	00:41:34:02	00:41:39:10	Elles ont pris le contrôle, et pourraient détruire l'univers.	and it's taken over the universe. And, eventually, it may well destroy the universe.

528	00:41:41:13	00:41:46:28	- L'univers n'est peut-être que leur champ de bataille.	-Our universe may be dominated by the long struggle between dark matter and dark energy.
529	00:41:47:19	00:41:51:03	Mais le dénouement de cette bataille est créatif.	But all of this conflict has led to a creative outcome,
530	00:41:51:15	00:41:55:02	Un dénouement qui joue en notre faveur.	an outcome for which we should all be grateful.
531	00:41:55:26	00:42:01:07	- Le nom «matière noire» suggère quelque chose de néfaste.	-The name dark matter suggests that it's something nefarious and somehow bad for us,
532	00:42:01:09	00:42:04:18	Mais en fait, la matière noire est notre alliée,	but actually it's turned out that dark matter is very much our friend.
533	00:42:05:05	00:42:09:22	puisque sans elle, nous n'existerions pas.	Because if it weren't for the dark matter, we wouldn't be here.
534	00:42:10:09	00:42:13:03	- Le nom «secteur noir» est ironique,	-There's a wonderful irony to calling it the dark universe,
535	00:42:13:09	00:42:16:16	car il clarifie les mystères de nos origines,	because now we're actually beginning to shed light on how the universe began,
536	00:42:16:21	00:42:18:29	et des structures de l'univers.	how the largest structures in the universe evolved.
537	00:42:19:04	00:42:22:04	Sans lui, nous n'existerions pas.	We wouldn't be here without this dark universe. It's not dark at all.
538	00:42:22:10	00:42:25:08	En fait, le secteur noir nous éclaire.	It's shedding light on our own reality.

### **3. COMMENTAIRES**

Le sous-titrage en lui-même pose certains défis. Plus que la traduction classique, la traduction audiovisuelle est soumise à de plus nombreuses contraintes. En effet, en plus d'un texte et un d'sens à traduire, on doit se soucier d'aspects temporels et visuels. Ceux-ci peuvent amener aussi bien des obstacles que des avantages, mais la double contrainte des caractères par seconde (ci-dessous noté CPS) et des caractères par ligne nécessite une analyse supplémentaire du texte en permanence. Il faut se débarrasser du superflu au maximum sans pour autant changer le sens qui est transmis.

En conséquence, toute personne s'étant essayée au sous-titrage saura que souvent, sous-titrer est résumer. C'est la façon dont on résume qui départage un sous-titrage inventif d'un sous-titrage maladroit, et force est de constater que les options disponibles et les difficultés potentielles sont aussi nombreuses que diverses.

Dans cette section du mémoire, je me pencherai tout d'abord sur certaines questions de style, qui décideront de l'allure générale de mon sous-titrage.

Je me concentre ensuite sur l'aspect scientifique de cette traduction, et parle des difficultés inhérentes à ce type de texte.

Enfin, je reviens aux difficultés linguistiques de l'anglais et du français, tout en proposant quelques solutions pouvant aider à la traduction de documents similaires.

Au cours de cette analyse, j'utiliserai le format suivant pour illustrer mes propos par un ou plusieurs sous-titres en particulier :

N°	In	Out	Version originale	Traduction
----	----	-----	-------------------	------------

La première case indiquera le numéro de l'épisode (Ep5 ou Ep7) et le numéro du sous-titre. Les deux cases suivantes contiennent le temps auquel le sous-titre apparaît et le temps auquel il se termine. Enfin, les deux dernières cases contiennent le script (la version originale du texte) ainsi que ma traduction.

## 3.1 La question du style

Il faut d'abord se pencher sur quelques questions pratiques qui auront un impact sur tout le sous-titrage.

### 3.1.1 La présence du narrateur

Entre chaque intervention d'expert, le narrateur donne quelques répliques, soit qu'elles résument les propos des experts précédents, soit qu'elles amènent une nouvelle information et servent d'introduction à l'expert suivant.

Cette valse constante entre experts et narrateur peut entraîner une certaine confusion : les tirets sont nombreux, et puisque les experts prennent parfois la parole avant d'apparaître à l'écran, il pourrait être difficile de faire la différence entre expert et narrateur pour les personnes malentendantes.

J'aurais aimé différencier le narrateur via la police, mais peu de choses sont possibles dans un fichier SRT. En effet, la seule possibilité est l'italique.

Malheureusement, l'italique entraîne à son tour deux problèmes :

1. Un narrateur en italique pourrait donner la fausse impression d'un deuxième degré de narration (comme dans un film où le narrateur se rappelle le passé et le commente) ;
2. Comme nous le verrons plus loin, certains termes anglais ont été laissés dans ma traduction, et l'italique est déjà utilisé pour les dénoter.

Mettre les interventions du narrateur en italique ne ferait donc qu'engendrer la confusion que je cherchais à éviter. Dans différents formats de sous-titrage, comme les sous-titres SSA, par exemple, il est possible d'utiliser différentes couleurs ou de mettre un texte en gras.

Ces options sont attrayantes, mais sont loin d'être un standard du sous-titrage classique.

Force est d'admirer certaines *fansubs*, qui font plus ample usage des possibilités du sous-titrage moderne. Aujourd'hui, cependant, le spectateur moyen serait certainement choqué par un tel procédé, et je ne pense pas que ces choix soient adéquats pour mon narrateur.

Le narrateur est donc traité comme tout autre intervenant dans le présent sous-titrage.

### 3.1.2 La question des abréviations

Il est coutume, dans de nombreux textes scientifiques, d'abrégier certains termes connus afin de gagner du temps et de l'espace<sup>69</sup>. Il serait tentant d'en faire de même, car gagner de l'espace est le saint-graal du sous-titrage.

Les termes «matière noire »et «énergie noire », par exemple, pourraient être abrégés respectivement «MN »et «EN ». Ils sont assez fréquemment utilisés pour que ces abréviations

---

<sup>69</sup> Le terme «*dark matter* »est par exemple fréquemment abrégé «DM »dans les articles à son sujet.

Voir par exemple :

Cuoco A., Krämer M., Korsmeier M., (2017) «Novel Dark Matter Constraints from Antiprotons in Light of AMS-02 »dans *Physical Review Letters* N°118 <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.191102>

en valent la peine, mais le public assez large et plutôt profane auquel le documentaire *How the Univers Works* est destiné décourage à mon sens leur utilisation.

Il s'agit ici en outre d'un documentaire télévisé, comme le démontrent bien les différentes coupures réservées aux publicités lors des épisodes. Ceci pose problème, car tous les spectateurs ne commenceront pas forcément le visionnage au début du programme, c'est-à-dire à l'endroit où j'expliquerais les abréviations.

Une alternative pourrait être de rappeler cette abréviation lorsque l'espace est suffisant comme suit :

«[...] de la matière noire (MN). »

Ceci ne garantit pas que tous les spectateurs «zappant »entre les chaînes puissent comprendre le contenu du sous-titrage, mais cela devrait minimiser la durée de leur confusion.

Dans le cas présent, la chance fut de mon côté, car la phrase «la matière noire et l'énergie noire », suivie d'un point, fait exactement 36 caractères, soit le nombre maximum autorisé.

S'il s'agissait d'un documentaire en ligne (sur une plateforme comme Netflix ou Youtube, par exemple), il pourrait être préférable d'utiliser ces abréviations, car tout spectateur commencerait au début de l'épisode ou pourrait circuler dans l'épisode, et ne risquerait donc pas d'être interrompu dans sa compréhension par les abréviations.

Ep5 397	31:39:29	31:43:10	- If we can show that dark matter interacts with itself,	- Si la matière noire interagit avec elle-même,
Ep5 398	31:43:16	31:48:28	that means there really could be dark matter galaxies, dark matter stars, dark matter planets and people	cela signifie qu'elle peut former des étoiles et des galaxies

Le sous-titrage est aussi facilité par la répétition de ces termes. Dans le sous-titre 399, par exemple, le terme «*dark matter* »est employé trois fois. L'emploi de pronoms permet de raccourcir grandement de nombreuses phrases.

La combinaison des pronoms et du hasard (faisant que la phrase fait 36 caractères) me permet, dans le cas de ce documentaire, de ne pas abrégé. Je choisis donc cette voie afin d'éviter toute confusion, et je conserve entiers les syntagmes « matière noire » et « énergie noire ».

### 3.1.3 La lisibilité

Même s'il s'agit ici d'un documentaire grand public, le sujet des épisodes est assez pointu. Un sous-titrage ne laisse parfois que peu de temps pour lire une phrase et bien la comprendre. Porter une attention particulière à la lisibilité est parfois nécessaire, afin d'aider la compréhension le plus possible. Bien sûr, une traduction de bonne qualité et sans superflu est aussi un énorme avantage.

Ep5 495	39:40:22	39:44:00	was just one of a series of extinction-level events	pourrait faire partie d'un cycle d'extinctions
Ep5 496	39:44:05	39:44:00	triggered by dark matter.	causées par la matière noire
Ep7 61	04:46:28	39:46:07	- One of the big mysteries we, as astronomers, have to solve	- Un des plus grands mystères qui restent à élucider

Au cours de ce sous-titrage, lorsque le verbe ou l'adjectif peut se rapporter à deux éléments de la phrase, je prends généralement le parti de l'accorder avec la dernière option.

Dans le sous-titre 498, par exemple, j'accorde avec «extinctions» et non pas «cycle».

Ce choix permet une meilleure lisibilité selon moi, particulièrement lorsque le verbe ou l'adjectif qui s'accorde est dans un sous-titre différent de l'objet auquel il se rapporte (sous-titres 497 et 498), mais pas seulement. J'utilise aussi ce procédé dans d'autres cas, comme par exemple le sous-titre 61. Je choisis d'accorder avec la deuxième proposition car celle-ci sera selon moi plus fraîche dans la mémoire des spectateurs.

Ep7 257	20:41:03	20:45:28	- We used to think the fate of the cosmos itself depended on dark matter, but it turns out	- On pensait que notre destin dépendait de la matière noire,
Ep7 258	20:46:03	20:47:23	that's not the case at all.	mais en fait, pas du tout.

Lorsque le temps et le langage le permettent, je privilégie également l'usage de virgules à la fin d'un sous-titre si la phrase n'est pas terminée.

Bien que terminer un sous-titre sans aucune ponctuation ne soit pas un problème, il est généralement préférable selon moi d'utiliser une virgule, pour marquer le fait que la phrase continue. Dans l'exemple ci-dessus, par exemple, la virgule après «matière noire» n'est pas nécessaire, mais elle permet selon moi une transition plus fluide au sous-titre suivant.

Pour m'assurer de la qualité de mes sous-titres, j'ai fait regarder les épisodes sous-titrés à plusieurs membres de ma famille, qui sont tout à fait profanes en ce qui concerne la cosmologie.

Même si mes sous-titres sont clairs et compris, ils m'ont tout de même mentionné le fait que le sujet était compliqué, et qu'il est difficile de tout enregistrer à la vitesse de l'information. En effet, bien que ce documentaire soit grand public, il s'adresse tout de même à un public intéressé par la cosmologie, qui sera certainement plus familier avec certains concepts évoqués par le documentaire.

Il est donc intéressant de se demander à quel point les normes de sous-titrages doivent être respectées. Priment-elles sur tout ?

Bien sûr, un sous-titre doit passer relativement inaperçu et ne pas distraire de ce qui se passe à l'écran, et la plupart des normes de sous-titrages servent ce but. Un CPS trop rapide forcerait les spectateurs à lire constamment, ne leur laissant pas le temps d'apprécier les images.

L'apparition ou la disparition d'un sous-titre aux alentours d'un changement de plan peut facilement distraire, et des lignes comportant trop de caractères peuvent cacher ce qui se passe à l'écran.

Ep5 77	06:11:28	06:15:19	- If current thinking it right, the subatomic building blocks of the universe	-Si c'est le cas, la structure subatomique de l'univers
Ep5 78	06:15:24	06:18:01	Were forged from colliding WIMPs.	résulte des collisions de WIMPs.

Dans le cas de ce documentaire, cependant, les images ne sont que rarement importantes. Il s'agit soit d'un expert en gros plan expliquant quelque chose, soit de visuels créés par ordinateur. Ces visuels n'ont souvent pas d'autre fonction que de remplir l'écran. Bien qu'ils illustrent le propos du narrateur ou des experts, ils n'ajoutent que peu de choses à ce qui est dit.

Il aurait été possible de traduire les sous-titres 77 et 78 ci-dessus de l'épisode 5 par :

«La structure subatomique de l'univers  
proviendrait donc de collisions de WIMPs. »

Cette alternative transmet bien le sens voulu, est claire et concise, en plus d'être un seul sous-titre, ce qui évite que le spectateur se perde dans la phrase.

Malheureusement, le sous-titre ainsi créé serait d'une durée de plus de 6 secondes, et les deux lignes qui le composent sont légèrement plus longues que les 36 caractères demandés.

Je les traduis donc différemment et selon les normes, mais il est intéressant de se demander si cette alternative ne vaudrait pas une entorse aux normes.

Nous rencontrons un problème similaire dans le sous-titre 101 de l'épisode 5.

Ep5 101	08:05:11	08:09:16	due to the Heisenberg uncertainty principle, strange things can happen.	le principe d'incertitude de Heisenberg a des effets étranges.
---------	----------	----------	-------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------

Dans ce sous-titre, on nous présente un concept scientifique, le principe d'incertitude de Heisenberg. C'est un concept complexe, une des idées fondamentales de la physique quantique, qui est certainement inconnu du grand public. Dans les sous-titres suivants, différents experts font référence au même principe, qui peut être alors raccourci en «principe de Heisenberg ».

Mais la première fois qu'il est évoqué, il convient de le communiquer clairement, et dans son entièreté, à la fois pour être exact, et pour que le public puisse se renseigner par après s'il ne connaît pas ce principe.

Selon moi, découper la phrase entre «incertitude »et «Heisenberg »ne fait qu'empirer la

difficulté de compréhension, et rend le sous-titre plus difficile à lire. Il serait préférable, selon moi, de laisser le nom de ce principe en entier afin d'améliorer la lisibilité :

«Le principe d'exactitude de Heisenberg  
a des effets étranges. »

Malheureusement, la première ligne de ce sous-titre dépasserait les 36 caractères autorisés (elle en aurait 39).

Pour terminer cette partie consacrée à la lisibilité, je voudrais mentionner la traduction du nom de la série, du titre des épisodes et des titres des experts. On dénomme ces textes qui apparaissent à l'écran des «cartons ». Ils sont généralement traduits à part, dans un fichier sous-titres qui peut être incrusté par la suite dans l'image. Ceci permet d'avoir deux plages sous-titres à l'écran à la fois.

Un résultat similaire peut être obtenu en utilisant certains formats de sous-titrage, tels que les sous-titres SSA. Dans le cadre de ce mémoire cependant, le format de sous-titres SRT n'est pas compatible.

De plus, dans un milieu professionnel, le titre français des épisodes et de la série en général ne serait certainement pas décidé par le traducteur, mais plutôt par une équipe de marketing.

Si toutefois je devais les traduire, je traduirais comme suit :

*How the Universe Works* – Les rouages de l'univers

*The Dark Matter Enigma* – L'énigme de la matière noire

*The Battle of the Dark Universe* – Bataille dans le secteur noir

## 3.2 Problèmes liés à nature scientifique du documentaire

### 3.2.1 La terminologie

Dans toute traduction, mais particulièrement dans une traduction scientifique, il convient de prêter attention à la terminologie. Mais la matière noire et l'énergie noire sont des domaines de recherche de pointe. De nouvelles découvertes sont faites chaque année et de nouvelles théories émergent constamment.

Dans l'esprit de la collaboration internationale, la langue de la recherche est l'anglais, ce qui peut poser de grandes difficultés. En effet, même les spécialistes francophones ont tendance à écrire leurs articles en anglais, si bien que la traduction de certains termes plus techniques n'est pas standardisée en français.

Ep5 174	14:04:13	14:07:19	could have been formed by a strange super-star	pourraient provenir d'une super étoile étrange
Ep5 175	14:07:24	14:09:22	called a dark star.	appelée une étoile noire.
Ep5 181	14:31:28	14:37:21	- Katherine Freese believes that as these early giant stars formed in the early universe	- Selon Katherine Freese, l'énorme gravité des étoiles géantes

Prenons par exemple le terme « *dark star* ». Comme le sous-titre 181 l'indique, ces étoiles précoces théoriques ont été proposées par Katherine Freese en 2008<sup>70</sup>. Dans cet article, ainsi que dans le bilan scientifique qu'elle fait du sujet l'année suivante<sup>71</sup>, elle cite nombre de ses propres articles scientifiques. Il s'agit ici d'une théorie plutôt nouvelle et relativement marginale. Je n'ai pas pu trouver de sources crédibles parlant de cette théorie en français. J'opte donc pour « étoile noire ». Je trouve cette option assez claire, étant donné qu'en gardant le mot « noir », elle reste cohérente avec « matière noire » et « énergie noire ».

Ep7 419	33:00:18	33:04:24	This is a process that we call Phantom dark energy.	On appelle cette variante l'énergie fantôme.
Ep7 438	34:39:01	34:44:04	get it to collapse again, and then go through a series of bounces.	L'univers s'effondrerait, créant un cycle de rebonds.
Ep7 439	34:44:10	34:46:14	So we call it the Phantom Bounce.	On appelle ça le <i>Phantom Bounce</i> .

Le sous-titre 438 présente le même problème. La théorie du *Phantom Bounce* est une autre théorie mise en avant par Katherine Freese et ses collègues Matthew Brown et William

<sup>70</sup> Freese, K. (2008) «Stellar Structure of Dark Stars: a first phase of Stellar Evolution resulting from Dark Matter Annihilation» dans *The Astrophysical Journal* N°685(2) L104-105

<sup>71</sup> Freese, K. (2009) «Dark Stars: the First Stars in the Universe may be powered by Dark Matter Heating» dans *AIP conference proceedings* 1166(1) <https://doi.org/10.1063/1.3232192>

Kinney en 2008<sup>72</sup>. Cet article originel est cité par plusieurs autres articles scientifiques, mais je n'en ai trouvé aucun en français<sup>73</sup>. Les références sont cependant nombreuses, et il semblerait que cette théorie soit vivement discutée. Dans un premier temps, j'étais tenté par la traduction « rebond fantôme » pour deux raisons :

1. Dans le sous-titre juste avant (437), je traduis « *series of bounces* » par « un cycle de rebonds ». Réutiliser « rebond » serait assez clair.
2. Pendant l'épisode, nous entendons parler de la « *phantom energy* » (voir sous-titre 418), une variante de l'énergie noire qui deviendrait plus puissante au fil du temps. Ce terme-ci semble avoir une traduction directe assez utilisée, « énergie fantôme » (de la Cotardière P. 2009)<sup>74</sup>.

Il semblerait donc que la traduction « rebond fantôme » serait plutôt claire et concise. Je préfère cependant laisser le terme anglais, car il n'est pas à moi de décider de la traduction d'un tel terme scientifique.

Ep7 18	01:37:27	01:41:19	The rest is invisible, unknown.	Le reste est invisible, inconnu.
Ep7 19	01:43:07	01:45:14	The dark universe.	Le secteur noir.

Dans la même perspective d'harmonisation que « étoile noire », observons l'exemple ci-dessus. L'épisode 7 parle fréquemment de « *Dark universe* ».

Encore une fois, les auteurs francophones rédigent souvent leurs articles scientifiques en anglais, et étant donné qu'il s'agit d'un domaine de pointe, je me suis plusieurs fois référé à des mémoires ou des thèses de doctorat récentes. Ces documents ont le mérite d'être en français, et on peut supposer que si un étudiant en astrophysique ou en cosmologie utilise un terme dans ses travaux d'études, il utilisera un terme correct et reconnu. Le terme privilégié en français semble être « secteur sombre » (Isaac T. L. 2018 : 5 et Seghiour H., Guelmine S. 2019 : 1). La traduction « secteur noir » (Combes F. 2016 : 5) peut être également trouvée, mais est moins fréquente et génère moins de résultats lors de la recherche.

Ma référente m'explique cependant que les deux appellations sont correctes. L'utilisation de l'une ou de l'autre dépendra de la terminologie que chaque expert privilégie. Certains experts parlent de « matière sombre » et d'« énergie sombre », et ils utiliseront donc « secteur sombre ». D'autres utilisent les termes « matière noire » et « énergie noire », plus répandus dans la vulgarisation. Puisque tel est le parti que j'ai pris dans ce mémoire, je traduis donc par « secteur noir ».

<sup>72</sup> Brown, M. G., Freese K., Kinney W. H., (2008) «The phantom bounce: a new oscillating cosmology» dans *Journal of Cosmology and Astroparticle physics* Volume 2008(3) N°002 <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2008/03/002>

<sup>73</sup> Le portail *Dimensions* est très utile dans le monde scientifique, permettant de savoir quels articles citent quels articles. Voici le lien pour l'article sur le *Phantom Bounce* <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1053141228>

<sup>74</sup> Résultat Google Books, le numéro de page est indisponible. [Lien Raccourci](#). Cette traduction est aussi trouvée dans

Science et Vie (page consultée le 3 mars 2020) «Destin de l'Univers : le rôle clé d'une énergie fantôme »[en ligne] Adresse URL : <https://www.science-et-vie.com/archives/destin-de-l-univers-le-role-cle-d-une-energie-fantome-32744>

L'épisode 7 mentionne aussi différentes théories sur la fin de l'univers. Ces théories sont plus anciennes, et possèdent certaines traductions françaises.

Ep7 372	29:25:17	29:28:02	an event we call the Big Crunch.	C'est ce qu'on appelle le <i>Big Crunch</i> .
Ep7 406	32:03:05	32:07:18	really, nothing can happen in it. - It's the Big Chill. It gets...	que rien ne pourra s'y produire. - Le <i>Big Chill</i> .
Ep7 422	33:13:24	33:19:03	tearing at the fabric of the universe in a process called the Big Rip.	et déchire la fabrique de l'univers, un phénomène appelé <i>Big Rip</i> .

Le phénomène le moins problématique est celui du *Big Chill* ou *Big Freeze*, ou encore « *The heat death of the universe* ». Le terme « mort thermique de l'univers » peut être trouvé dans certains articles scientifiques ou dans des thèses (Jeesun, R. 2018 : 274 §2). Une recherche rapide dans *Google scholar* révèle de nombreuses utilisations de ce terme.

Les deux termes suivants sont plus problématiques. *Big Crunch* pose problème car il a plusieurs traductions proposées : « grand effondrement » (Goy H. 2019 : 14 §2), « grand écrasement » (Gauthier, Y. 2019 : 172 §3), et l'Office québécois de la langue française préconise l'utilisation de « effondrement terminal »<sup>75</sup>. Enfin, le *Big Rip* peut être traduit par « Grande déchirure »<sup>76</sup>.

Cependant, force est de constater que la plupart du temps, lorsqu'une de ces traductions est présentée, elle est accompagnée du terme anglais également. En se servant de *Google Analytics*, il est facilement possible de déterminer lesquels de ces termes sont plus fréquemment utilisés. Ce site permet d'utiliser les données de recherche anonymes de tous les utilisateurs Google, permettant de se faire une idée de la popularité d'un terme, soit dans le monde entier, soit dans un pays en particulier. Il permet également de comparer deux termes, ce qui fut très pratique dans le cas présent.

Dans cette version électronique, vous pouvez vous rendre compte de la différence de popularité des termes anglais en comparaison aux différentes traductions possibles en cliquant sur les liens suivants :

<a href="#">Mort thermique</a>	<a href="#">Grand effondrement</a>	<a href="#">Grand écrasement</a>	<a href="#">Effondrement terminal</a>	<a href="#">Grande déchirure</a>
--------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------

Comme nous le montrent les chiffres, seuls deux termes en français semblent être à un niveau d'utilisation suffisant : « mort thermique » et « grand effondrement ». Une recherche rapide de « grand effondrement » dans Google révèle toutefois que « grand effondrement » est lié à une autre théorie, plutôt sociale ou anthropologique cette fois, la collapsologie. Aucun résultat

<sup>75</sup> Office québécois de la langue française (page consultée le 10 mai 2020), fiche terminologique [en ligne]. Lien : [http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=18494654](http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=18494654)

<sup>76</sup> Luminet J-P., Brune E. (2009) *Bonne nouvelle des étoiles*, Paris, Odile Jacob. [En ligne] [Lien raccourci](#). Atout sciences (2012) « Guide pédagogique : expo découverte l'Univers ». P.26 [En ligne] Lien : <https://www.sciences.be/wp-content/uploads/Dossier%20p%C3%A9dagogique%20expo%20univers.pdf>

sur la première page de recherche ne parle de cosmologie. La recherche de « mort thermique », elle, nous donne immédiatement le résultat attendu<sup>77</sup>.

Étant donné toute la confusion autour de ces termes, et les résultats obtenus via *Google analytics*, j'ai finalement préféré ne pas traduire, et laisser ces termes en anglais. Puisque la traduction « mort thermique » semble être assez utilisée, j'aurais pu l'utiliser dans ma traduction. Mais ne traduire qu'un des scénarios aurait détonné, et tout traduire me ferait choisir parmi différentes traductions non standard.

Bien que ce documentaire soit de la vulgarisation scientifique, il n'en reste pas moins pour un public un petit peu averti. Ce public, donc, sera certainement plus familier avec ces termes anglais qu'avec leur(s) traduction(s). De plus, la compréhension d'un public cible même profane n'est pas vraiment gênée puisque chaque terme est expliqué dans le documentaire même.

### 3.2.2 La question de l'exactitude

Puisqu'il s'agit ici d'un documentaire télévisé destiné au grand public, la place de l'exactitude scientifique dans les sous-titres est parfois remise en cause. Faut-il privilégier l'exactitude plutôt que la compréhension du public cible ? Faut-il sacrifier l'exactitude scientifique pour rester fidèle au texte ?

Ep5 318	25:20:18	25:24:16	Every concentration of mass has, associated with it, an escape velocity.	Chaque concentration de masse a une vitesse de libération.
Ep5 319	25:24:29	25:29:23	And if you're moving faster than the escape velocity, you should no longer be a part of that system.	Si on dépasse cette vitesse, on échappe à la gravité du système.
Ep5 320	25:32:05	25:36:11	- Just as a rocket can escape earth's gravity if it's moving fast enough,	- Si une fusée va assez vite, elle échappe à la gravité terrestre.
Ep5 417	33:12:21	33:17:27	So it looks like as the two dark matter balls have come together, there's been some extra drag	Comme si, lors de la collision, il y ait eu une attraction

Prenons deux exemples contraires. Les termes « *drag* » et « *escape velocity* » sont assez techniques. Tout d'abord, La traduction de « *drag* », dans ce cas, est « traînée ». En anglais comme en français, ces termes viennent d'un verbe, respectivement « *drag* » et « traîner ». On parle ici de la traînée en mécanique des fluides, c'est-à-dire « la force qui s'oppose au mouvement d'un corps dans un liquide ou un gaz et agit comme un frottement » (Wikipédia). Leur sens est similaire, mais leur degré d'utilisation (dans le sens voulu) ne l'est pas.

<sup>77</sup> Jeux veux également préciser que j'ai contacté madame Hauret à ce sujet (voir remerciements). Elle m'a confirmé que les termes anglais sont privilégiés, même parmi les experts francophones, et a ajouté que les traductions françaises que je lui ai proposées étaient « plutôt trouvées dans la vulgarisation scientifique ».

drag as noun 97,012x ...		
Word	Frequency ?	
1	friction	87,664 ...
2	brake	128,168 ...
3	loading	136,164 ...
4	bearing	147,511 ...
5	pull	88,195 ...
6	acceleration	108,231 ...
7	lift	201,338 ...
8	slider	53,511 ...
9	torque	62,810 ...
10	vibration	123,911 ...
11	lever	69,541 ...
12	navigation	285,221 ...
13	gravity	175,148 ...
14	compression	143,055 ...

traînée as noun 9,820x ...		
Word	Frequency ?	
1	traînée	5,214 ...
2	traînées	906 ...
3	halo	19,220 ...
4	flaque	8,315 ...
5	auréole	6,364 ...
6	nuée	15,642 ...
7	lueur	27,294 ...
8	gouttelette	7,171 ...
9	tourbillon	29,185 ...
10	amas	28,591 ...
11	panache	14,858 ...
12	turbulence	17,503 ...
13	portance	5,494 ...
14	écoulement	47,160 ...

Une recherche dans les plus grands corpus de *SketchEngine*<sup>78</sup> (ci-dessus) révèle que le mot « drag » en anglais (en tant que nom) est fortement connoté. Les mots les plus fréquemment associés comme « *friction* », « *acceleration* » et « *gravity* » sont pertinents. Ce n'est pas le cas en français (mis à part le mot « turbulence »). Une recherche dans les concordances montre que « traînée » est souvent associé à des expressions (comme « une traînée de poudre » ou « la traînée d'une comète ») et parfois à l'insulte homonyme. De plus, le mot « traînée » serait isolé ici, sans réelle explication, et il pourrait être difficile pour le public cible d'interpréter correctement ce terme. Je décide donc de le remplacer « *drag* » par « attraction », qui transmet le message plutôt bien.

Quant à l'expression « *escape velocity* », à l'inverse, l'exemple du sous-titre 319 a un contexte. Le terme « vitesse de libération » reste technique, mais il est expliqué par les sous-titres 320 et 321. Dans ce cas-ci, il n'y a pas de souci d'incompréhension par le public cible, et la terminologie exacte prime. Je rajoute tout de même le mot « gravité » dans le sous-titre 320 afin d'être le plus clair possible.

<sup>78</sup> Les corpus «Web », French Web 2017 (frTenTen17) pour le français, et English Web 2015 (enTenTen15) pour l'anglais.

À la fin de l'épisode 5, une théorie selon laquelle notre soleil passe à travers le halo de matière noire cycliquement. Une partie du halo formerait un « disque ».

Ep5 480	38:35:01	38:40:26	Our sun passes though the galactic plane once around every 30 million years.	il traverse le disque galactique tous les 30 millions d'années.
Ep5 481	38:41:08	38:43:29	and as it does this, it may also be	Peut-être qu'en le traversant,
Ep5 483	38:44:07	38:48:22	passing through a layer of self-interacting dark matter.	il traverse aussi une couche de matière noire.
Ep5 484	38:52:13	38:57:12	The idea is that a small part of the dark matter is able to form a disk.	mais une partie de la matière noire pourrait former un disque,
Ep5 485	38:58:02	39:00:04	Along with the disk of the galaxy.	parallèle au disque galactique.

Il est intéressant ici de noter que cette théorie ne correspond pas vraiment aux modèles les plus courants. On peut se demander si cette théorie n'est pas mise en avant par le documentaire simplement parce qu'elle est assez alarmante et pourrait retenir l'attention du spectateur.

Le modèle accepté est plutôt qu'un halo de matière noire « englobe » la galaxie : « *A dark halo is the inferred halo of invisible material (dark matter) that permeates and surrounds individual galaxies, as well as groups and clusters of galaxies.* » (Dictionnaire COSMOS [en ligne])

Dans son un article sur les halos de matière noire, James E. Taylor écrit : « *Empirical models can then be used to place galaxies in these halos [...]* » (P.2 §4) et « *In fact, since the Milky Way is embedded in a dark matter halo and we reside relatively close to its centre (within the central 3% in radius) [...]* » (P.3 §1)<sup>79</sup>.

Je traduis bien sûr les propos de la théorie dans ce cas-ci, mais peu d'informations sont données quant aux halos de matière noire durant l'épisode. On est peut donc se demander si le public cible ne risque pas de mal comprendre ou s'il n'est pas mal informé.

Le passage de l'épisode 5 parlant de « comètes » est également intéressant.

<sup>79</sup> Madame Hauret (voir remerciements) m'a également confirmé que le modèle accepté est qu'une galaxie est entourée d'un halo de matière noire, qui peut s'étendre bien au-delà de la galaxie elle-même.

Ep5 449	35:47:25	35:53:04	self-interacting dark matter could send a hail of comets our way.	cette matière noire pourrait causer une pluie de météorites sur Terre.
Ep5 490	39:20:27	39:24:00	the disk's gravity may disrupt the orbits	la gravité du disque peut perturber l'orbite
Ep5 491	39:24:09	39:26:24	of comets in the outer solar system.	des comètes dans le système solaire,
Ep5 507	40:30:02	40:34:00	Perhaps the next destructive comet will have our name on it.	Peut-être que la prochaine comète nous sera adressée.

Il faut différencier en français trois termes :

1. Une comète est, par définition, un petit astre similaire aux astéroïdes, en orbite autour du soleil. Dans *Les météorites*, Matthieu Gounelle écrit : « Les comètes se trouvent au-delà de l'orbite du Jupiter. Elles se distinguent des astéroïdes en raison de leur activité, c'est-à-dire de leur capacité à relâcher de la vapeur d'eau et du gaz lorsqu'elles s'approchent du soleil ». (P.9)
2. Un météore est (en astrophysique) un « Corps solide qui se consume en traversant l'atmosphère » (dictionnaire CNRTL). Il peut s'agir ici d'une comète ou d'un astéroïde, trop petit pour atteindre le sol intact.
3. Lorsqu'un météore est assez volumineux pour résister à l'entrée dans l'atmosphère sans se désagréger complètement, on l'appelle alors « météorite ». Dans le même ouvrage, Matthieu Gounelle précise : « Les météorites [...] peuvent provenir de planètes, de planètes naines, d'astéroïdes ou de comètes qui sont alors désignés sous le nom de corps-parent des météorites » (P.10)

Une comète prenant la direction de la Terre serait donc qualifiée de météore si elle s'évapore dans l'atmosphère ou de météorite si elle touche le sol.

Dans le sous-titre 451, le terme « *comets* » est introduit pour la première fois. Le documentaire veut mettre l'accent sur le danger de la matière noire. Mais une pluie de comètes ne serait rien d'autre qu'une pluie de météores, comme nous en avons tous les ans en Belgique lors du mois d'août. Ce qu'on veut dire par « pluie de comètes » est en fait « pluie de météorites ». Ici, je choisis l'exactitude et remplace donc le mot « comètes » par « météorites ».

Les sous-titres 492 et 493 répètent le mot « *comets* » dans un contexte correct, et je traduis littéralement. Mais le sous-titre 509 me met dans une impasse.

La phrase « *the next destructive comet* » fait référence à la météorite qui aurait mis fin à l'ère des dinosaures il y a 65 millions d'années. Il faudrait donc traduire « *comet* » par « météorite » pour être correct. Mais le terme météorite n'a pas été utilisé depuis le sous-titre 451, près de cinq minutes auparavant. Réinsérer ce terme pourrait être plus troublant pour le spectateur, mais serait plus exact ? Que faire ?

Je ne pense pas qu'il y ait de solution parfaite, mais j'opte pour ma part pour la traduction « comète ». Je choisis de garder ce terme pour la clarté, mais aussi parce qu'il n'est pas

forcément incorrect. En effet, si la comète « nous est adressée », c'est qu'elle n'est pas encore arrivée, et n'est donc pas une météorite littéralement.

### 3.3 Le montage

Tout d'abord, il convient de noter que les normes du sous-titrage sont en constante évolution. Elles ne sont pas particulièrement rigides, et différentes entreprises ou différentes langues privilégient différentes normes. Par exemple, le festival Millénium à Bruxelles recommande 38 caractères, la chaîne télé Arté recommande 37 caractères<sup>80</sup>, et les programmes sous-titrés en Grèce ne dépassent pas 28 caractères par ligne (Sokoli, S., 2011 : P.117).

Quelles que soient ces normes, toutefois, elles restent des contraintes. En fonction du support audiovisuel choisi, ces contraintes se manifesteront de différentes façons. En ce qui concerne *How the Universe Works*, un problème récurrent fut celui du montage.

Examinons, par exemple, le sous-titre suivant :

Ep5 97	07:39:19	07:45:21	It would be beautiful, but boring, because nothing would exist that we could see.	Il serait beau, mais ennuyeux. Il n'y aurait que du gaz.
-----------	----------	----------	-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------

Il est convenu dans le cadre de ce mémoire qu'un sous-titre ne doit pas commencer moins de 3 images après un changement de plan, ni disparaître moins de 4 images avant un changement de plan. Le montage de la série pose cependant problème constamment. Il est agressif, changeant fréquemment le plan immédiatement après la fin de la phrase.

Dans cet exemple, le plan est changé une image seulement après l'intervention de l'expert, ne laissant aucun espace. Dans ce cas-ci, il suffit d'étirer le sous-titre après le changement de plan, car il est convenu qu'étirer un sous-titre après un changement de plan est correct, à condition qu'il reste à l'écran plus de 10 images après la coupure.

Mais un tel changement de plan peut être directement suivi par l'intervention d'un autre expert, ne laissant pas les 10 images nécessaires :

Ep7 513	40:30:10	40:36:12	as well as dark energy, I think dark energy exists. - I think dark energy is real, but I must admit,	Et l'énergie noire aussi. - Pour moi aussi, mais je dois dire
------------	----------	----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------

La bande son de la première experte déborde sur le plan suivant, jusqu'à l'image exacte où commence l'intervention du second expert. Nous n'avons donc aucun temps. La solution pour moi est donc de joindre les deux sous-titres, afin d'avoir une transition plus fluide.

<sup>80</sup> Voir ARTE (page consultée le 11 avril 2020) «Consignes Techniques Globales »[en ligne] Adresse URL : <https://www.arte.tv/sites/corporate/files/consignes-techniques-globales-arte-geie-v1-07-1.pdf> (P.29)

Mais fusionner les sous-titres comme dans l'exemple précédent n'est pas toujours possible. Bien souvent, en effet, c'est la combinaison de plusieurs de ces normes qui pourra poser problème :

Ep5 220	17:51:25	17:54:24	Providing gravity to pull things together, catalyzing it.	ce qui favorise la formation de la galaxie
Ep5 221	17:54:29	17:59:22	And that may have allowed our galaxy to form, the gravity from this huge construct	- Elle s'est peut-être formée ainsi. La gravité de cette structure
Ep5 222	17:59:17	18:03:06	brought the regular matter in to form the Milky Way in the middle.	a attiré la matière et formé la galaxie en son milieu.

Cet exemple est plus complexe. En effet, il est impossible de fusionner le sous-titre 218 avec le sous-titre précédent. Le message à transmettre est trop complexe pour être réduit à deux lignes de 36 caractères, et le sous-titre en lui-même serait plus long que 6 secondes, ce qui va à l'encontre des normes choisies pour ce sous-titrage. De plus, une autre découpe des sous-titres (diviser le sous-titre en deux, le fusionner avec le sous-titre suivant) poserait également problème, puisque le sous-titre 219 présente également un changement de plan au milieu du discours de l'experte. Dans ce cas-ci, nous n'avons pas d'autre choix que de faire apparaître le sous-titre en même temps que le changement de plan. Ceci est la meilleure alternative pour réduire au maximum la distraction que le sous-titre engendre selon moi.

Ce montage rapide a au moins le mérite d'être cohérent. Les sous-titres débordent dont fréquemment sur le plan suivant, donnant un rythme régulier au sous-titrage. Grâce à ce rythme, certaines traductions assez longues peuvent être étirées sur le plan suivant sans pour autant choquer le spectateur.

Ep5 132(1)	10:46:22	10:49:06	Form galaxies, planets, stars and people.	puisse former les étoiles et les planètes.
Ep5 132(2)	10:46:22	10:50:01	Form galaxies, planets, stars and people.	puisse former les étoiles et les planètes.

L'intervention de l'expert dans le sous-titre 132 se termine 7 images avant le changement de plan, ce qui laisse largement assez d'espace. Malheureusement, même en omettant « galaxies » et « gens » dans la traduction par souci d'espace, nous nous retrouvons avec un CPS de 14,58 en coupant le sous-titre 4 images avant le changement de plan [132 (1)]. Le débit de l'expert est trop élevé, et omettre plus dans la traduction pourrait faire obstacle à la transmission du message. Étirer le sous-titre sur le plan suivant permet un sous-titre en-dessous des 13 CPS demandés et ne détonne pas du reste du sous-titrage [132 (2)].

Une autre conséquence intéressante de ce montage rapide est les quelques incohérences qu'il peut provoquer. Par exemple, le sujet peut passer du singulier au pluriel sans avertissement :

Ep5 21	01:52:00	01:56:13	Most scientists believe dark matter is a kind of <u>elementary particle</u>	Les chercheurs estiment que c'est une particule élémentaire,
--------	----------	----------	-----------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

Ep5 24	02:07:05	02:11:17	- If you could put on some sort of mask or goggles that could detect <u>dark matter</u>	- Si vous aviez des lunettes pouvant détecter ces particules,
Ep5 25	02:11:21	02:15:01	you would see millions of <u>them</u> passing through you every second	vous en verriez des millions vous passer à travers,

Le sujet est d'abord défini comme (un type de) particule dans le sous-titre 21. Dans le sous-titre 24, le sujet est encore singulier (matière noire). Mais dans le sous-titre 25, l'utilisation de *them* semble indiquer qu'on parle de particules au pluriel. Cette incohérence peut être attribuée au changement d'orateur. Dans le sous-titre 21, le narrateur donne quelques explications avant que l'expert ne prenne la parole dans le sous-titre 24. Il est donc probable que l'expert parlait de particules au pluriel, mais que son intervention ait été coupée lors du montage pour ne conserver que le plus important. Je change donc « matière noire » pour « ces particules » dans le sous-titre 24 pour éviter toute confusion.

Un phénomène similaire peut également être observé dans l'exemple ci-dessous.

Ep5 258	20:37:09	20:39:29	The thicker filaments pulled in the most gas,	Les filaments épais attirent plus de gaz,
Ep5 259	20:40:04	20:43:20	providing the building blocks for galaxy clusters.	servant de fondations aux amas de galaxies.
Ep5 260	20:45:09	20:48:03	- They actually fall on the tremendous filaments	- Le gaz est attiré par ces filaments,

Lorsque l'expert prend la parole dans le sous-titre 260, il est difficile de savoir à quoi il fait référence en disant « *they* ». Il semblerait qu'il parle des galaxies, mais sa phrase paraît alors insensée. En effet, dans les sous-titres précédents, le narrateur explique que le gaz est attiré par les filaments, ce qui forme les galaxies. Il ne semble donc pas logique que les galaxies soient attirées par la toile, si c'est déjà là qu'elles se sont formées. Je traduis donc par « gaz » pour rester dans la logique du texte.

Ce changement brusque d'orateur (du narrateur à un expert) dans le montage est aussi bien illustré par l'exemple suivant.

Ep5 333	26:34:24	26:37:18	- Zwicky was a very unlikeable fellow,	- Zwicky n'était pas très aimable,
Ep5 336	26:46:04	26:50:03	The other is that I think he was so far ahead of his time as a scientist	Mais il était aussi très en avance sur son temps,

On peut deviner ce qu'il se passe ici : l'interviewer a certainement demandé à l'expert quelles étaient les raisons pour lesquelles les idées de Zwicky n'étaient pas acceptées de son temps. L'expert aurait répondu qu'il y a deux raisons, mais cette partie de l'interview est coupée au montage. C'est pourquoi dans le sous-titre 334, l'expert ne mentionne pas « premièrement » ou « d'abord », mais lorsqu'il parle de la seconde raison, il explicite « *the other is* », qui ne se

rapporte désormais à rien. Je choisis donc d'omettre cette partie du discours, car elle ne sert aucun but.

Enfin, il est intéressant de noter que dans la démarche de montage rapide dont font preuve ces épisodes, certaines coupures ou altérations de la bande son sont parfois perceptibles.

Ep5 191	15:24:16	15:29:09	- It's quite remarkable, because you only need one part in 10.000 of dark matter	- C'est assez remarquable, car 0,01% de matière noire suffit
Ep5 69	05:32:26	05:37:10	This is a particle that was made in the Big Bang, that's left over today.	Ces particules du Big Bang sont encore présentes aujourd'hui.

Je vous invite à réécouter ces passages si vous êtes curieux. Le sous-titre 191 est un des sous-titres où la coupure de l'audio au montage est très audible : entre « *because* » et « *you only need* ». Le sous-titre 69 est plus étrange : la fin de la phrase de l'experte est ralentie pour être plus longue, et la hauteur de sa voix change.

### 3.4 La langue orale

Contrairement à la langue écrite, la langue orale est spontanée. Elle est « brute », en quelque sorte. N'étant pas aussi réfléchie, elle peut parfois être floue, confuse, voir incohérente. Ceci peut engendrer des problèmes pour le traducteur, car la traduction, elle, est bien écrite<sup>81</sup>.

En ce qui concerne le sous-titrage, de loin l'aspect le plus déroutant de la langue orale est sa nature parfois vague. Une phrase dans un discours donné peut être assez confuse, mais être comprise en prenant compte du contexte.

Dans la vie sociale, lors d'une interaction entre deux locuteurs, cela ne pose généralement pas de problème ; mais il est parfois difficile de rendre une telle phrase dans un sous-titre sans qu'elle ne présente d'aspect confus.

Ep5 139	11:11:25	11:16:16	- If you put that dark matter in, everything works out, and its really kind of amazing how well	- En incluant la matière noire, tout marche, et c'est incroyable
Ep5 140	11:16:21	11:18:16	we can make the universe work.	à quel point on y voit clair.

La phrase « *how well we can make the universe work* » est très imprécise. Dans le contexte, on comprend ce que l'expert veut dire : tout s'embles s'imbriquer parfaitement, les mathématiques fonctionnent, tout fais sens.

La phrase en elle-même, cependant, ne contient pas grand-chose. Elle pourrait être résumée par « *how well it works* » sans vraiment perdre de sens. Le traducteur doit donc choisir comment interpréter la phrase. Dans mon cas, je l'ai traduite par « à quel point on y voit clair ».

Ep5 146	11:46:03	11:49:05	- The dark matter was free to actually start doing its own thing,	- La matière noire était libre d'agir,
Ep5 147	11:49:11	11:53:23	and started developing its patterns and its clustering before the ordinary matter did	et développa ses groupements avant la matière normale.
Ep5 148	11:54:00	11:57:07	And that's why dark matter actually played such a key role	Elle a donc joué un rôle essentiel

Ici encore, dans le sous)titre 146, nous avons une phrase « fantôme ». Je la décris comme cela car elle ne contient que très peu de choses importantes, voire aucune.

Dans cet exemple en particulier, la phrase du sous-titre 146 pourrait être complètement omise. Si on reprend simplement le sujet qu'elle contient, on pourrait former la phrase suivante sans

<sup>81</sup> Le débat de la classification du sous-titrage dans le domaine de la traduction a longtemps duré. Puisque le texte qui est traduit est oral, le sous-titrage devrait-il refléter la langue orale ? En général, on utilise les conventions de la langue écrite dans le sous-titrage, c'est pourquoi je considère le sous-titrage comme de la traduction écrite.

rien perdre du message : « la matière noire a développé ses groupements avant la matière normale ». Une alternative à ma proposition de sous-titres serait donc de former deux sous-titres comme suit :

La matière noire a (commencé à) développer ses groupements	avant la matière normale. Elle a donc joué un rôle essentiel
------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------

J'ai pour ma part opté pour la traduction « la matière noire était libre d'agir », car j'estime que le contenu du sous-titre 147 est plus lisible de, cette façon, plutôt que de séparer la phrase en deux.

Ep7 381	30:11:10	30:16:28	- Dark energy is causing the universe to do something else, something it would prefer not to do.	- L'énergie noire a un autre effet. Un effet indésirable.
Ep7 382	30:17:03	30:20:09	It's accelerating the expansion of the universe.	Elle accélère l'expansion de l'univers.

Ce dernier exemple est plus extrême. Évidemment, l'univers ne « préfère » pas faire quoi que ce soit. Cette personnification de l'univers ne contient encore une fois que peu d'informations importantes : on comprend juste que la matière noire a un effet sur l'univers qui n'est pas souhaitable.

Mais comme je l'ai mentionné plus tôt, les effets de la langue orale ne s'arrêtent pas à des phrases vagues. La spontanéité du discours peut aussi parfois provoquer des incohérences de sens :

Ep7 123	09:40:00	09:43:28	- After the Big Bang, the infant universe was small,	- Juste après le Big Bang, l'univers était petit,
Ep7 129	10:04:02	10:08:21	- When things were closer together, <u>the density of matter and radiation</u> was bigger...	- À l'époque, tout était si dense et comprimé
Ep7 130	10:09:00	10:11:22	so big that dark energy didn't matter.	que l'énergie noire n'importait pas.

Selon le CNRTL<sup>82</sup>, la densité (en physique) est « le rapport de la masse d'un corps à son volume ». Mais la majorité des radiations n'ont par définition pas de masse<sup>83</sup>. Le message de l'orateur est certainement compris (le rayonnement était confiné dans un espace limité et était par conséquent très intense), mais le passage à l'écrit requiert plus d'exactitude.

<sup>82</sup> Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (page consultée le 15 avril 2020), dictionnaire en ligne, Lien : <https://www.cnrtl.fr/definition/densit%C3%A9>

<sup>83</sup> L'expert parle certainement ici du rayonnement électromagnétique, qui n'a pas de masse à proprement parler. En effet, le rayonnement électromagnétique est une onde, non une particule (la réalité est bien sûr plus complexe, mais je n'entre pas dans les détails). Le seul rayonnement à se propager uniquement via particules est le rayonnement acoustique (ou sonore).

Avant la réplique du sous-titre en question (127), le narrateur explique l'état de l'univers à partir du sous-titre 121. Lorsque l'expert intervient, il ne fait que réexpliquer le même phénomène, ce qui nous permet de résumer considérablement sans perdre le message principal.

Ep7 457	36:02:10	36:05:06	But all out evidence is speculative.	Mais nos théories sont spéculatives.
---------	----------	----------	--------------------------------------	--------------------------------------

Mais bizarrement, le narrateur ne semble pas être épargné par ces incohérences. À priori, le texte du narrateur a été mis par écrit et vérifié auparavant. L'oxymore présent dans la phrase suivante n'est peut-être pas évident en anglais, mais m'a sauté aux yeux lors de la traduction. Si une preuve est spéculative, elle n'est pas une preuve. Je remplace donc « preuves » par « théories ».

Ep7 264	21:25:07	21:27:15	- Our universe is at war.	- Une guerre sévit dans l'univers.
Ep7 265	21:28:08	21:31:09	A relentless conflict between dark forces.	Un conflit entre deux forces obscures.
Ep7 1	00:06:18	00:10:18	- Across the universe, an endless war rages.	- Une guerre sans fin sévit à travers l'univers.

Dans le second exemple, le narrateur postule que l'univers « est en guerre ». Mais en guerre avec qui ? Cette phrase est plutôt insensée, car dans le sous-titre suivant, le narrateur précise qu'il s'agit du conflit entre la matière noire et l'énergie noire. L'univers dans son ensemble n'est donc pas en guerre. La série *How the Universe works* a parfois tendance à dramatiser, et je soupçonne que c'est ici la raison de cette légère incohérence. Cette tournure de phrase reste curieuse compte tenu de l'alternative proposée par la phrase d'accroche du même épisode (sous-titre 1).

### 3.5 Difficultés linguistiques

Au-delà de la l'aspect oral de la langue, il faut toujours se méfier des obstacles habituels à la traduction tels que les faux amis, les calques, les structures de phrase typiques, les jeux de mots ou encore les expressions.

Ep7 261	20:56:10	21:00:23	Dark energy, the great destroyer, is hoping to take control.	L'énergie noire, le destructeur, veut prendre le pouvoir.
Ep7 265	21:28:08	21:31:09	A relentless conflict between dark forces.	Un conflit entre deux forces obscures.
Ep7 266	21:32:20	21:37:13	For the first 9 billion years, dark energy is subjugated.	Pendant 9 milliards d'années, l'énergie noire est en retrait.

Un faux ami peut être assez subtil. Dans le sous-titre 260, il ne serait pas incorrect de traduire par « la matière noire veut prendre le contrôle » ou « la matière noire veut contrôler l'univers ». La tournure de phrase « prendre le pouvoir », cependant, transmet une idée très similaire, et a le mérite d'être une collocation plus francophone que « prendre le contrôle ». Ceci nous montre que les notions de faux amis et de calque peuvent être assez proches.

L'exemple suivant, le sous-titre 265, contient un problème similaire. Le verbe français subjuguer existe bien et il est porteur du même sens que le verbe anglais. Nous pourrions donc l'utiliser lors de la traduction, mais selon le dictionnaire du CNRTL et le Petit Robert, c'est un snes vieilli. Aussi est-il préférable selon moi de traduire différemment, puisque le documentaire analysé dans ce mémoire est un documentaire à destination du grand public. Compte tenu du contexte (voir sous-titre 264), j'opte ici pour « l'énergie noire est en retrait », afin de rester dans le champ lexical du « conflit ».

Mais le risque d'un calque ne se limite pas à un mot en particulier. Le traducteur, puisqu'il comprend la langue qu'il traduit, peut aussi être influencé par la structure de la phrase elle-même.

Ep5 171	13:48:26	13:54:16	How they grew so gigantic so quickly has been one of the biggest mysteries in cosmology.	C'est un grand mystère de l'univers. Comment ont-ils grossi aussi vite ?
Ep5 172	13:55:09	13:57:28	Until, perhaps, now.	Nous avons peut-être la réponse.

Dans la première version de mes sous-titres, j'avais traduit le sous-titre 171 par :

Comment ils ont pu grossir aussi vite est un grand mystère de l'univers.

Ce n'est qu'en relisant plus tard que je me suis rendu compte du manque d'élégance de cette phrase. C'était un calque pur et dur de la structure en anglais, que j'ai par la suite modifié en coupant la phrase en deux. J'ai choisi de mettre la question en deuxième position afin de faciliter la transition avec le sous-titre suivant (172).

Penchons-nous maintenant sur les références culturelles et les jeux de mots. Contrairement aux calques, qui peuvent être corrigés assez simplement lorsqu'on les détecte, ces deux catégories posent des problèmes plus sérieux. Par définition, en effet, elles sont propres à la langue et n'ont pas de traduction directe évidente.

Ep5 251	20:07:28	20:10:11	They stuck together like sticky toffee,	Ils collent comme un caramel gluant,
Ep5 252	20:10:17	20:14:06	with their powerful gravity shaping them into filaments.	et leur puissante gravité les étire en filaments.

Le narrateur fait ici une comparaison avec le « *sticky toffee* ».

Il s'agit soit d'un type de pudding typiquement anglais, le *sticky toffee pudding*, ou du produit même *toffee*<sup>84</sup>, qualifié dans ce cas de collant. La solution que j'ai choisie ici est de trouver un produit similaire qu'une audience francophone connaîtra. On peut considérer le caramel comme un produit analogue au *toffe*, auquel manque malheureusement la connotation anglaise mais peut être compris par tous.

Pour le qualifier, j'ai choisi le mot « gluant ». Il donne une impression plus malléable selon moi que le mot « collant », favorisant donc la transition avec le sous-titre 252.

Ep5 36	02:56:06	03:00:07	is due to the fact that dark matter exists. - If you were to think about it,	c'est grâce à la matière noire. - En fait, la matière noire
Ep5 37	03:00:14	03:02:21	dark matter is the matter that matters.	est matière à réflexion.

Un jeu de mot est probablement l'un des plus grands obstacles à la traduction. Cet obstacle est exacerbé dans un sous-titrage, étant donné les contraintes de temps et de caractères hors de contrôle. Le jeu de mot porte sur le double sens du mot « matter » en anglais, pouvant signifier à la fois « la matière » et le verbe « importer ». Une première solution était simplement d'omettre le jeu de mot, en se concentrant sur le message.

c'est grâce à la matière noire. - Quand on y réfléchit,	c'est la matière noire qui compte.
------------------------------------------------------------	------------------------------------

Or, élaborer l'importance de la matière noire dans l'univers est le but de l'épisode entier, difficile donc d'argumenter que cette intervention de l'experte est vraiment nécessaire. Cette idée est d'ailleurs encore explicitée plus loin dans l'épisode.

<sup>84</sup> Une sorte de confiserie anglaise, préparé en faisant bouillir du sucre ou de la mélasse dans du beurre.

Ep5 158	12:48:03	12:52:22	- You really have to understand that dark matter is the dominant form of matter in the universe.	- Comprenez bien, la matière noire est la matière prépondérante.
---------	----------	----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------

De plus, la répétition du mot « *matter* » dans le sous-titre 36 est tout à fait évidente, et l'experte sourit en donnant sa réplique. Il me semble donc préférable de transmettre le jeu de mot plutôt que le sens de la phrase.

Bien sûr, traduire un jeu de mot parfaitement est de l'ordre de l'impossible, ou en tout cas de l'improbable. Comme dans le texte original, je joue sur le mot « matière », qui peut aussi avoir le sens de « sujet ». Mon choix s'est porté sur l'expression « matière à réflexion ». Répéter le mot matière permet de pallier quelque peu à la répétition orale, quoi qu'imparfaitement, bien sûr.

Ep5 124	09:55:10	09:57:08	But in this confined space,	Mais dans cet univers étroit,
Ep5 125	09:57:13	10:01:03	dark energy, the force trying to drive things apart,	l'énergie noire, la force qui disperse,
Ep5 126	10:01:14	10:03:26	had no room to act.	n'avait pas sa place.

L'exemple ci-dessus est également intéressant. Il s'agit ici d'un petit jeu de mot, que les anglophones qualifieraient plutôt de *pun*. Cette phrase m'intrigue, car le jeu de mot ne saute pas vraiment aux yeux, et pourrait être accidentel.

La phrase peut être interprétée deux deux façons : « *had no room to act* » signifie que l'énergie noire était impuissante, mais aussi que l'énergie noire n'avait littéralement pas assez de place pour être importante à cette période de l'univers. En effet, comme le documentaire nous l'explique, la matière noire semble être plus puissante dans les vides, où la densité de matière et la gravité sont faibles, tout le contraire de l'état de l'univers à cette époque. L'expression que j'ai choisie, « ne pas avoir sa place », correspond très bien à ces deux sens possibles.

Enfin, impossible de terminer cette section sur les difficultés de l'anglais sans parler des connotations du mot « *dark* » en anglais. Il est important de noter que les équivalents de *dark matter* et *dark energy* en français (matière noire et énergie noire) utilisent tous les deux le mot « noir », et non « sombre » ou « obscur », qui seraient des traductions plus littérales. Cette nuance peut poser problème lorsque le texte met l'accent sur la signification du mot en anglais.

Le mot « noir », toutefois, n'est pas tout à fait dénué d'un sens similaire. Il peut nous rappeler l'obscurité ou certaines figures malfaisantes, comme le chevalier noir, le seigneur noir des Sith dans Star Wars, ou encore des mauvais événements, comme la peste noire par exemple.

Ep7 531	41:55:26	42:01:07	- The name « dark matter » suggests that it's something nefarious, and somehow bad for us.	- Le nom « matière noire » suggère quelque chose de néfaste.
---------	----------	----------	--------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

Donc dans certains cas, comme l'exemple ci-dessus, aucune modification n'est pas nécessaire, le message est tout de suite compris. Lorsque le mot «*dark*» est utilisé par opposition à «*light*», il ne pose pas non plus problème. Il n'est en effet pas difficile d'accepter que la couleur noire soit l'inverse d'une source de lumière.

Ep7 537	42:19:04	42:22:04	We wouldn't be here without this dark universe, it's not dark at all.	Sans lui, nous n'existerions pas.
Ep7 538	42:22:10	42:25:08	It's shedding light on our own reality.	En fait, Le secteur noir nous éclaire.

Dans le sous-titre 535, l'ironie de la phrase « le secteur noir nous éclaire » n'est pas perdue en utilisant « noir » plutôt que « sombre ».

D'autres instances sont toutefois plus compliquées à traduire. Dans l'exemple suivant, nous ne pouvons pas traduire par « cette force est peut-être noire, mais elle est créative ».

L'opposition entre « noir » et « créatif » est inexistante, et la phrase semble illogique, sans parler des implications raciales potentielles. J'ai donc choisi de me concentrer sur un autre aspect de la matière noire, son invisibilité. Le fait qu'elle est invisible, mais crée tout autour de nous est effectivement surprenant.

Ep5 154	12:21:18	12:26:01	This force may be dark, but it's highly creative.	Elle est invisible, mais elle est très créative.
---------	----------	----------	---------------------------------------------------	--------------------------------------------------

### 3.6 Le passage au français et quelques solutions

Simplement transmettre le message avec la terminologie correcte et un respect du texte source ne suffit toujours pas. Il faut aussi tenir compte de l'usage du français et de ses normes.

Ep7 274	22:05:28	22:09:03	The answer came at the end of the 20 <sup>th</sup> century.	La réponse est atteinte à la fin du XXe siècle.
Ep7 275	22:09:25	22:13:17	- So it was an amazing breakthrough, really important.	- C'est une découverte capitale, très importante.
Ep7 276	22:14:13	22:19:05	In 1999, scientists measure the expansion of the universe.	- En 1999, les chercheurs calculent l'expansion de l'univers.

D'une manière générale, si le support choisi s'y prête, choisir un temps de narration (et s'y tenir) est important. En anglais, il est possible de jongler avec les temps, de passer du passé au présent, en passant par le futur. En français cependant, la concordance des temps peut facilement poser problème. Au cours de ce sous-titrage, j'ai choisi le présent de narration. Le temps de narration choisi est comme un point d'ancrage, il permet d'effacer les changements de temps superflus de l'anglais et de se concentrer seulement sur les changements de temps nécessaires.

Dans les sous-titres ci-dessus, le texte source passe du passé au présent de narration. Si je voulais rendre ce texte en respectant les temps de l'anglais, ma traduction du sous-titre 275 devrait également continuer au passé pour respecter la concordance de temps, ainsi que tous les sous-titres suivants qui parlent du même sujet. En utilisant mon présent d'ancrage, je me rends compte que ce changement de temps n'est pas nécessaire, et je traduis tout au présent.

Bien sûr, il faut aussi tenir compte des conventions du français (une virgule plutôt qu'un point pour les décimales, un espace insécable avant les deux points et après le tiret, etc.) En français, par exemple, l'usage veut qu'on écrive la numérotation des siècles en chiffres romains.

Ep7 149	11:42:29	11:48:07	Over time, more and more regular matter is pulled into the dark matter wells.	- De plus en plus de matière est attirée par ces régions denses.
---------	----------	----------	-------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------

L'outil le plus important à la disposition du sous-titreur est certainement l'omission. Il est important de raccourcir au maximum le texte source, afin de gagner l'espace nécessaire au respect des normes de sous-titrage. En général, un bon esprit critique suffit à repérer les parties superflues du texte. Dans l'exemple ci-dessus, par exemple, « *over time* » n'est pas nécessaire. Les mots « de plus en plus » impliquent en effet que ce processus n'est pas instantané. Il peut donc être omis dans le sous-titre.

La combinaison d'un bon esprit critique, de l'utilisation de pronoms et de la répétition intrinsèque à l'oral permet généralement de raccourcir le texte suffisamment.

Ep5 325	25:53:01	25:56:12	But instead of speeding off into different parts of the universe,	Mais au lieu d'être éparpillées dans l'univers,
---------	----------	----------	-------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------

Une bonne maîtrise du français et de son vocabulaire peut également être utile. En effet, l'utilisation d'un verbe précis peut grandement raccourcir le propos. Lorsque le verbe choisit convient parfaitement, il permet d'omettre des explications superflues.

Dans l'exemple ci-dessus, « *speeding off into different parts* » peut être parfaitement résumé par « éparpillées ».

Ep7 226	18:20:00	18:25:03	- Galaxies, and then galaxy clusters form at the junction of the filaments.	- Aux croisements des filaments, des galaxies et des amas se forment.
---------	----------	----------	-----------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------

Une autre option à ne pas sous-estimer est l'inversion de la phrase. Réarranger la phrase ne permettra généralement pas un raccourcissement de la phrase, mais pourrait permettre de gagner quelques caractères. Dans de nombreux cas, en effet, la viabilité d'un sous-titre ne se jouera que sur un ou deux caractères.

J'avais précédemment sous-titré l'exemple ci-dessus par :

« Des galaxies et des amas se forment  
aux croisements des filaments. »

La première ligne de ce sous-titre (226) faisait malheureusement déjà 36 caractères, et puisqu'un nouvel interlocuteur prend la parole, il était nécessaire d'inclure un tiret (et un espace).

Le simple fait d'inverser l'ordre de la phrase m'a donc permis ici de gagner les caractères nécessaires.

Ep7 292	23:21:04	23:26:08	- 5 Billion years ago, galaxies started moving apart faster than before	- Il y a 5 milliards d'années, l'expansion se met à accélérer.
---------	----------	----------	-------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------

Cependant, il faut parfois aller plus loin et lire entre les lignes.

Dans le sous-titre 291, le narrateur intervient au sujet de l'expansion de l'univers. Il mentionne ici les galaxies, mais ne les mentionne plus par la suite. Les galaxies ne sont donc pas une partie vraiment importante du message de la phrase. Ici, « *galaxies started moving apart faster than before* » est en fait une façon décorée de dire que l'expansion de l'univers accélère. C'est donc comme cela que je traduis.

Ep7 89	06:48:03	06:52:13	Our understanding of what dark energy is is very limited.	- La nature de l'énergie noire nous échappe largement.
Ep7 191	15:34:02	15:38:17	- In the early universe, the only thing that really mattered was the dark matter and the normal matter.	- Dans l'univers primitif, l'énergie noire est insignifiante.

Un autre procédé intéressant est « d'inverser les proportions » dans une phrase . Cela permet aussi une phrase plus concise et simple sans pour autant perdre le sens du texte source.

L'épisode 7 est centré principalement sur trois choses : la matière normale, la matière noire et l'énergie noire. Donc, dire que la matière noire et la matière normale étaient les seules à compter dans l'univers primitif (sous-titre 190) revient à dire que l'énergie noire ne comptait pas.

Dans la même veine, le sous-titre 88 mentionne que « notre compréhension de la nature de l'énergie noire est très limitée ». Ici, « j'inverse les proportions » de cette phrase : puisque nous comprenons peu, beaucoup nous échappe.

## **4. CONCLUSION**

Le sous-titrage scientifique occupe une place plutôt particulière dans l'univers de la traduction.

À l'inverse de la traduction scientifique classique, qui traite souvent de documents d'experts, le sous-titrage scientifique semble être presque toujours de la vulgarisation. En effet, si un expert dans un domaine veut se renseigner, il le fera plutôt via le travail écrit d'un autre expert (en langue originale ou traduite en français) que via un support audiovisuel.

Mais le sous-titrage scientifique détonne également du sous-titrage en général par sa plus grande rigidité. Bien qu'il s'agisse généralement de vulgarisation, la nature scientifique du texte source requiert une terminologie exacte (lorsqu'elle ne fait pas obstacle à la compréhension) et présente donc moins de liberté que le sous-titrage d'un film, par exemple.

Bien que la limite de CPS généralement admise dans le sous-titrage francophone soit plus élevée que les 13 CPS demandés dans le cadre de ce mémoire (souvent 16 CPS, parfois 18), je dois avouer que ce rythme de lecture se prête plutôt bien au sous-titrage scientifique. Comme évoqué plus tôt, le sujet d'un tel support audiovisuel peut être assez complexe et pointu. Un public profane en la matière appréciera un rythme de lecture plus lent, permettant une meilleure compréhension.

Le but du sous-titrage scientifique sera donc fréquemment l'éducation. C'est ici que le sous-titrage scientifique pose ses plus grandes questions. Être plus exact scientifiquement, ou être plus accessible pour le public ?

En général donc, après cette expérience de traduction, je préconiserais l'accessibilité plutôt que l'exactitude. Même si les termes scientifiques exacts ne sont pas utilisés, être bien informé reste crucial. Le traducteur, selon moi, doit lire sur le sujet et s'intéresser personnellement au sujet. Cette attitude permet une compréhension des bases scientifiques nécessaire à une traduction de qualité. En effet, vulgarisation ne veut pas dire traduire comme on le veut.

À travers ce mémoire, j'espère avoir fidèlement retracé le parcours que j'ai suivi durant la traduction de ces épisodes, et j'espère avoir relevé des difficultés et des solutions pouvant être utiles à d'autres traducteurs.

Même si l'effort de documentation et de traduction fut de taille, une chose est certaine : ce n'est qu'en traduisant qu'on devient traducteur.

## **5. BIBLIOGRAPHIE**

### **5.1 Ouvrages**

- de la Cotardière, P. (2009) *Cosmologie à l'usage du piéton*, Paris, Ed. L'Archipel
- Gounelle, M. (2017) Que sais-je N°3859(2) « Les météorites »,
- Sign, S. (2005) *Le roman du Big Bang*, Paris, Ed. J-C Lattès.
- Wurm, S., (2020) *The Human Condition*, Ed Atice LLC
- Lachièze-Rey, M. (2013) *Initiation à la Cosmologie - 5e édition*, Malakoff, Ed. Dunod.

### **5.2 Articles scientifiques**

Bachall, N.A., (2015) "Hubble's Law and the expanding universe », dans *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* N°112(11) p.3173-3175.  
<https://www.pnas.org/content/pnas/112/11/3173.full.pdf>

Blanchet L., Famael B. (2015), « Les composantes obscures de l'Univers » dans *La Recherche*, Hors-Série N°16, P. 70-76 Adresse URL : <https://arxiv.org/pdf/1602.00711.pdf>

Bouwens, R. (2017) « Quasars signpost massive galaxies. » dans *Nature* N°545, P. 418–419  
Adresse URL : <https://doi.org/10.1038/545418a>

Boyarsky A. et al (2019) « Sterile neutrino Dark Matter » dans *Progress in Particle and Nuclear Physics* N°104, P. 1-45 Adresse URL: <https://doi.org/10.1016/j.pnpnp.2018.07.004>

Combes F. (2016) « La matière noire, sombre affaire » dans *Reflète de la physique* N°51 (2016) 4-10

Cyburtt, R., H., et al (2016) « Big Bang nucleosynthesis : Present status » dans *Reviews of Modern Physics* N°88 015004

Gauthier, Y. (2019) « De l'observateur local à l'observateur transcendantal. De Kant et Husserl aux fondements de la physique contemporaine » dans *Philosophiques* N°46(1) p.155-157

Iocco F. et al. (2008) « Primordial Nucleosynthesis: from precision cosmology to fundamental physics » dans *Physics Reports* N°472 (1-6) P. 1-76. Adresse URL: <https://arxiv.org/abs/0809.0631v2>

Joyce A., Lombriser L., Schmidt F., (2016) « Dark Energy vs. Modified Gravity » dans *Annual Review of Nuclear and Particle Science* N°66 P. 95-122 Adresse URL: <https://arxiv.org/abs/1601.06133>

Kragh, H. (2015) “Cosmology and the Origin of the Universe: Historical and Conceptual Perspectives » dans *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* N° 112(11) P.3173-3175, Adresse URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1706/1706.00726.pdf>

Milgrom M., (2014) “MOND Theory”, dans *Canadian Journal of Physics*, N°93(2) P.107

Muñoz, C. (2004) « Dark matter detection in the light of recent experimental results » dans *International Journal of Modern Physics A* N°19 (19) P. 3093-3169

O’Raifeartaigh, C., McCann B., Nahmb W. et Mittonc S. (2014) “Einstein’s steady-state theory: an abandoned model of the cosmos » dans *European Physics Journal H* 39(3) P353-367 Adresse URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1402/1402.0132.pdf>

Palanque-Delabrouille, N., Yèche, C. (2016) « Changement de rythme dans l’expansion de l’Univers » dans *Reflets de la Physique*, N°51, P.12-17 Adresse URL : <https://www.refletsdelaphysique.fr/articles/refdp/pdf/2016/04/refdp201651p12.pdf>

Rothman, T., Boughn, S. (2006) « Can gravitons be detected? » dans *Foundations of Physics* N°36 P. 1801-1825 Adresse URL: <https://arxiv.org/pdf/gr-qc/0601043.pdf>

Sofue Y. Rubin V. (2000) « Rotation Curves of Spiral Galaxies » dans *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* N°39 P.137-174 Adresse URL <https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0010594.pdf>

Slipher, V. (1913) « The radial velocity of the Andromeda Nebula », dans *Lowell Observatory Bulletin* N°1 p56-57 Adresse URL: <http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1913LowOB...2...56S/0000057.000.html>

### 5.3 Actes de colloque

Goy H. (2019) « La fin des approches classiques de formation des stratégies ? ». dans *XXVIIIème conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique* halshs-01989221v2

Astbury A. et al. (2008) *Proceedings, 23rd Lake Louise Winter Institute: Fundamental Interactions* (LLWI 2008) Lake Louise, Alberta, Canada, P.

### 5.4 Documents universitaires

Jeesun R. (2018) « *Du monde mécanique à l'univers physique. Pour une histoire de la cosmologie à l'âge classique autour de Leçons sur les hypothèses cosmogoniques de Henri Poincaré (1911)* ». Université Sorbonne Paris Cité. Français. ffNNT : 2018USPCC126ff. fftel-02361067f

Isaac T. L. (2018) « *Étude des composantes noires de l'Univers avec la mission Euclid* », Université Paul Sabatier - Toulouse III, Français. ffNNT : 2018TOU30212ff. fftel-02401134f

Rosset, C. (2003) « Contribution à la mesure de la polarisation du fond diffus cosmologique dans le cadre des programmes ARCHEOPS et PLANCK. » Université Paris-Diderot - Paris VII. Français. fftel-00004455

Seghiour H., Guelmine S. (2019) « *Interaction d'un photon noir « Dark photo » et leurs dépendance de la brisure de symétrie* », Université Mohamed Boudiaf-M'sila. Français. [En ligne] Lien : <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/handle/123456789/14842>

Sokoli, S. (2011) « *Subtitling Norms in Greece and Spain: A Comparative Descriptive Study on Film Subtitle Omission and Distribution* » Université autonome de Barcelone, Espagne. DOI: 10.13140/RG.2.1.1219.6567

Bouquet, A. (1999), *Introduction aux supernovæ*, Laboratoire de physique corpusculaire et de cosmologie - Collège de France. Adresse URL : <http://www.astrosurf.com/snaude/Introduction%20SN/sn.pdf>

## 5.5 Ressources électroniques

ARTE (page consultée le 11 avril 2020) « Consignes Techniques Globales » [en ligne] Adresse URL : <https://www.arte.tv/sites/corporate/files/consignes-techniques-globales-arte-geie-v1-07-1.pdf>

Cooper, M., (page consultée le 25 février 2020), site personnel [en ligne] Adresse URL : <https://www.moogega.com/>

CERN, (page consultée le 15 mai 2020) « l'Univers primordial » [en ligne] Adresse URL : <https://home.cern/fr/science/early-universe>

Dictionnaire COSMOS, (page consultée le 7 février 2020) « Galactic voids » [en ligne] Adresse URL : <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/G/Galactic+Voids>

Dictionnaire COSMOS, (page consultée le 21 janvier 2020) article « Quasar », [en ligne] Adresse URL : <http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/Q/Quasar>

Encyclopedia Britannica, (page consulté le 02 mai 2020) « *The Friedmann universe* » [en ligne] Adresse URL : <https://www.britannica.com/science/Friedmann-universe>

Encyclopédie Universalis (page consultée le 14 décembre 2019) « Naissance de la philosophie » [en ligne] Adresse URL : [http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/antiquite-naissance-de-la-philosophie/#c\\_8](http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/antiquite-naissance-de-la-philosophie/#c_8)

The Galileo Project, (page consultée le 7 décembre 2019) « The telescope » [en ligne] Adresse URL : <http://galileo.rice.edu/sci/instruments/telescope.html>

Kim G. (1996), *The Net Advance of Physics: The Nature of Dark Matter*, Physics Department, University of California, San Diego [en ligne] Adresse URL : <http://web.mit.edu/~redingtn/www/netadv/specr/345/node2.html>

Michigan Institute of Technology (page consultée le 25 février 2020), fiche sur le docteur Tegmark [en ligne] Adresse URL : [https://web.mit.edu/physics/people/faculty/tegmark\\_max.html](https://web.mit.edu/physics/people/faculty/tegmark_max.html)

NASA, (page consulté le 24 février 2020), interview avec Dr Michelle Thaller [en ligne] Adresse URL : <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/michelle-thaller-communicates-the-beauty-and-possibilities-of-science>

NASA, (page consultée le 27 février 2020) « Meet the team » , article sur Dr Straughn, [en ligne] Adresse URL : <https://www.jwst.nasa.gov/content/meetTheTeam/people/straughn.html>

NASA, (page consultée le 28 mars 2020) « Artemis » [en ligne] Adresse URL : <https://www.nasa.gov/specials/artemis/>

NASA, (2016) Hubble's Journey to the Center of our Galaxy [en ligne] Adresse URL: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/hubble-s-journey-to-the-center-of-our-galaxy>

Overbye, D. (2019) « Have dark forces been messing with the cosmos? » dans *The New York Times* [en ligne], Adresse URL : <https://www.nytimes.com/2019/02/25/science/cosmos-hubble-dark-energy.html>

Plait, P. (page consultée le 24 février 2020) « Who am I? » sur le site *Bad Astronomy*. [en ligne] Adresse URL : <http://www.badastronomy.com/info/whois.html>

Projet Matière noire (page consulté le 10 janvier 2020) « Fritz Zwicky » [en ligne] Adresse URL : <http://lamatierenoire.fr/fritz-zwicky/>

Stephen Hawking Centre for Theoretical Cosmology (page consultée le 4 janvier 2020) « *The inflationary universe* » [en ligne] Adresse URL : [http://www.ctc.cam.ac.uk/outreach/origins/inflation\\_zero.php](http://www.ctc.cam.ac.uk/outreach/origins/inflation_zero.php)

Sutter, P. M., (page consultée le 26 février 2020) site personnel, section « bio » et « *research* » [en ligne] Adresse URL : <http://www.pmsutter.com/>

Tremblay, G. (page consultée le 27 février 2020) site personnel [en ligne] Adresse URL : <https://www.granttremblay.com/>

Université d'État de l'Arizona, (page consultée le 25 février 2020) « Lawrence Krauss » fiche contact [en ligne] Adresse URL : <https://isearch.asu.edu/profile/1249942>

Université de Californie à Irvine, (page consulté le 24 février 2020), fiche sur le docteur Bullock [en ligne] Adresse URL : <https://sites.uci.edu/bullock/bio/>

Université de Californie du Sud (page consultée le 27 février 2020) page personnelle du Dr Johnson [en ligne] Adresse URL : <https://physics.usc.edu/~johnson1/>

Université du Michigan, (page consultée le 24 février 2020) page personnelle du Dr Katherine Freese [en ligne] Adresse URL : <http://www.personal.umich.edu/~ktfreese/index.html>

Université de New York (page consultée le 25 février 2020) : fiche contact du Dr Rampino [en ligne] Adresse URL : <https://www.granttremblay.com/>

Wright, E.L. (2002) Doppler shift [en ligne] Adresse URL : <http://www.astro.ucla.edu/~wright/doppler.htm>