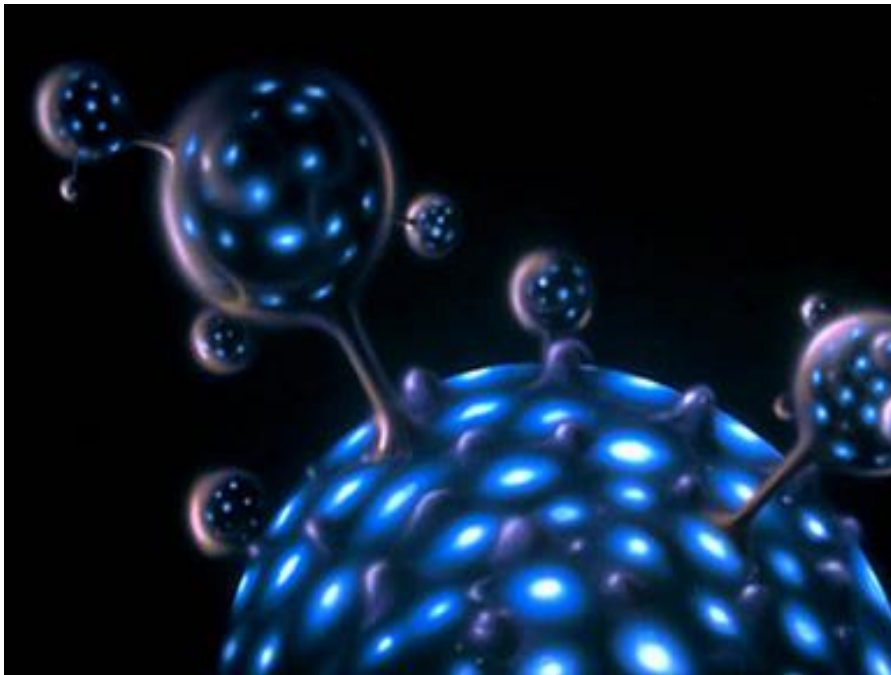


# Cosmologie et Mathématiques

## Du Big-Bang aux Bio-Univers.

*Conférence Math C2+, Saint Pierre, 22 Mars 2018*



*Les bulles d'Univers. Image d'artiste d'après la « théorie » du Multivers développée (entre autres) par Andrei Linde. Lee Smolin et quelques physiciens théoriciens ont par la suite proposé une théorie des « Bio-Univers », dans laquelle notre Univers, étonnamment propice à la vie, serait le résultat de l'évolution par mutation d'Univers plus anciens. C'est la théorie des univers féconds. Les graines d'Univers étant les trous noirs. Les Univers les plus féconds seraient ceux capables de produire de nombreux trous noirs et par là-même la matière que nous connaissons et la vie.*

## Résumé :

### « La Nature est un livre écrit en langage Mathématique<sup>1</sup> ». Galilée

Actuellement nos connaissances, par exemple celles concernant la matière et l'Univers, sont fondées sur des théories, c'est-à-dire des modèles qui nous permettent d'expliquer ce que nous observons (on parle d' « observables »). Les théories nouvelles permettent parfois de prédire ce que nous n'avons encore jamais observé voire ce qui nous paraissait impossible d'après notre « conscience collective » basée sur les théories antérieures. Par exemple le fait que la trajectoire de la lumière puisse être courbée par la présence de matière ne peut être compris par la théorie Newtonienne de la gravitation. C'est la théorie de la Relativité Générale qui a offert un nouveau cadre théorique permettant de comprendre ce phénomène (Théorie formulée par Einstein en 1916 et mise en évidence par Eddington lors de l'éclipse solaire de 1919). Elle a aussi permis de prévoir l'existence des ondes gravitationnelles qui viennent d'être découvertes en 2015, 100 ans après leur prédiction par Einstein !

Cette nouvelle théorie ne signifie pas que l'ancienne (la théorie Newtonienne) est fautive, mais plutôt que son domaine d'application est restreint : on continuera à utiliser la théorie Newtonienne pour modéliser la dynamique de la matière qui nous entoure. Par contre dès lors que la technologie moderne nécessite un niveau de précision « fin » (par exemple systèmes de positionnement GPS par satellite) ou que le domaine d'investigation est propre à la nouvelle théorie (par exemple le déchiffrement à venir des signaux portés par les ondes gravitationnelles pour comprendre on l'espère les phénomènes physiques propres aux trous noirs, ou aux tous premiers instants de notre Univers), seule l'utilisation de la théorie de la Relativité Générale est efficace...

... Avant qu'on se rende compte de son incapacité à expliquer certains nouveaux phénomènes physiques et qu'elle doive à son tour être remplacée par une nouvelle théorie qui sera confrontée à de nouvelles observables...et ainsi de suite...

Notre « conscience collective scientifique » progresse ainsi, pas seulement dans le domaine de l'astronomie, mais dans tous les domaines scientifiques. Depuis Descartes au moins, c'est cette démarche scientifique qui définit le mieux la spécificité de notre civilisation contemporaine. Les grandes réalisations technologiques induites par ces théories successives et les changements qu'elles opèrent sur notre mode de vie sont des vecteurs de démocratisation de la conscience scientifique acquise par nos sociétés. Actuellement par exemple, près de 50% du PIB des pays industrialisés est dû aux technologies basées sur la théorie de la physique quantique (semi-conducteurs, puces, ordinateurs, téléphones, technologie du nucléaire, lasers, applications médicales ...).

Et pourtant qui connaît ne serait-ce que les principes fondateurs de la physique quantique, qui datent de plus d'un siècle ? Certainement moins de 0,1% de la population de ces mêmes pays industrialisés. Dans ce domaine des sciences comme dans beaucoup d'autres, la démocratisation des

---

<sup>1</sup> Citation *in extenso* de Galilée : "La philosophie est écrite dans ce vaste livre qui constamment se tient ouvert devant nos yeux (je veux dire l'Univers), et on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend pas à connaître la langue et les caractères dans lesquels il est écrit. Or il est écrit en langue mathématique, et ses caractères sont les triangles, les cercles et autres figures géométriques, sans lesquelles il est humainement impossible d'en comprendre un seul mot, sans lesquels on erre vraiment dans un labyrinthe obscur".

technologies est beaucoup plus rapide que la démocratisation des connaissances, qui nécessite une formation scientifique supérieure de qualité et une maîtrise du langage mathématique, *a minima* celui qui est enseigné en Classes Préparatoires scientifiques.

## Mathématiques et physique théorique : de l'Univers au Multivers

Une Supernova est une étoile au moins dix fois plus massive que notre soleil qui implose en fin de vie, libérant de la matière transformée qui servira à son tour de matière première pour la création d'autres soleils et de futures planètes. La première fois dans l'ère moderne qu'une Supernova fut observée, ce fut par Tycho Brahe, Astronome Danois en 1572 (les premières traces écrites de ce phénomène très rare datent de -1800, en Chine). Cette découverte eut un retentissement prodigieux dans le monde : L'idée millénaire d'Aristote d'une sphère de cristal immuable constellée d'étoiles et marquant la limite du monde fut mise en défaut : déjà Copernic avait proposé que le Soleil soit le centre de cette sphère céleste idéale plutôt que la Terre. Mais puisque quelque chose est apparu à sa surface, c'est que cette sphère n'est pas immuable, voire qu'elle n'existe pas, voire qu'il y a quelque chose au-delà !

Kepler (qui succéda à Tycho Brahe comme Mathématicien-Astronome du roi à Prague) puis Newton, Galilée et enfin Einstein continuèrent à décentrer notre conception de l'Univers de la place de l'humain, allant toujours plus loin dans cet anti-anthropocentrisme, jusqu'à théoriser un Univers homogène à grande échelle, sans aucun centre et sans aucune direction privilégiée, où l'énergie et la matière déforment l'espace dont les courbures dictent le mouvement des astres et de la lumière. Ce modèle standard cosmologique fait référence depuis plus de 50 ans et a été validé par de nombreuses prédictions confirmées.

Nous savons depuis cent ans que notre Univers est en expansion, grâce aux travaux de Edwin Hubble et de Susan Swan Leawitt dans les années 1920: l'espace entre les galaxies s'étire, celles-ci s'éloignant les unes des autres d'autant plus vite qu'elles sont déjà éloignées. Depuis peu nous savons que notre Univers est en réalité en expansion accélérée. Cette découverte a valu en 2011 le prix Nobel de physique à l'équipe de S. Perlmutter. En dignes successeurs de Tycho Brahe, ce fut en observant des milliers de Supernovae (pas n'importe lesquelles, celle qui contiennent de la silice) exploser dans certaines galaxies éloignées, que l'équipe d'astronomes mit en évidence cette accélération, qui fut interprétée par la suite comme une énergie du vide. Les conséquences de cette découverte sont considérables et posent trois questions de fond :

1. L'UNICITE: Notre Univers avec les constantes physiques Universelles<sup>2</sup> qui le caractérisent, y compris son énergie du vide, est-il Unique ? Si oui cela signifierait qu'une « Entité extérieure voulant la vie » lui a fourni des constantes extrêmement improbables permettant à la matière de s'y condenser puis à la vie de s'y développer. Si non c'est que nous sommes en fait dans un Multivers, chaque Univers le composant ayant des constantes physiques différentes, aléatoires ou bien évoluant par un mécanisme de sélection naturelle (au sens Darwinien « élargi ») vers des constantes permettant la vie : on parlera de Bio-Univers ou Bio-Multivers.

---

<sup>2</sup> « *The remarkable fact is that the value of these numbers seem to have been very finely adjusted to make possible the development of life* », Stephen Hawking

2. L'ORIGINE : Le temps 0 de notre Univers semble converger (si l'on remonte le temps de l'expansion) vers un Univers primordial extrêmement dense et vers une singularité appelée Big-Bang. Néanmoins ce Big Bang est purement une vue de l'esprit car en deçà du temps de Planck ( $\sim 10^{-44}$  s) nos théories actuelles (Relativité Générale et Physique Quantique) sont incohérentes entre elles. Une théorie Unifiée est recherchée depuis une cinquantaine d'année. Les deux pistes contemporaines sont la théorie des cordes et celle des boucles. Dans les deux cas ces théories valident la possibilité d'un Multivers, c'est-à-dire des mécanismes pouvant créer de multiples Univers. Dans la théorie des boucles, l'idée d'un passage du centre d'un trou noir vers un nouvel Univers (grand rebond, ou trou blanc) est envisageable, sans même qu'il y ait de singularité.
3. LA FIN DES TEMPS DANS NOTRE UNIVERS. L'expansion accélérée de notre Univers marque son destin : les galaxies vont s'éloigner jusqu'à être découplées temporellement (lorsque leur vitesse d'éloignement atteindra la vitesse de la lumière), c'est donc un Univers de solitude où domineront dans le centre des galaxies des Trous noirs isolés perdant progressivement leur masse (via le Rayonnement découvert par Hawking). Néanmoins en perdant leur masse les trous noirs vont augmenter leur densité d'énergie jusqu'à des valeurs pouvant favoriser un « grand rebond » (tel que décrit par la théorie des boucles).

Il semble que la notion de capacité à créer de la vie a une place déterminante dans l'interprétation théorique des premiers instants de l'Univers et de la valeur des constantes universelles. Il devient donc nécessaire de définir ce qu'est « la vie » ! De même pour la notion de « conscience » : en effet c'est le fait que nous ayons conscience de l'Univers tel qu'il est<sup>3</sup> qui crée le paradoxe de l'Unicité. D'autre part, la physique quantique qui est partie intégrante du modèle standard (en prévoyant et décrivant les particules qui forment le réel) est construite sur la notion d'observables : l'observateur modifie la fonction d'état de ce qu'il observe lorsqu'il a conscience de la mesure effectuée !

## **Mathématiques, Intelligence Artificielle et Biologie : du Multivers au Bio-Univers**

Comprendre les formes et la dynamique du vivant nécessite des outils mathématiques élaborés. Les exemples sont innombrables : structure de l'ADN, arbres phylogénétiques et combinatoire génétique, topologie des molécules complexes et des virus, morphogénèse et équations de Turing pour expliquer les formes et les couleurs du vivant (rayures sur les coquillages, taches du léopard, forme de nos doigts, ...), fractales, suite de Fibonacci et nombre d'or pour modéliser la croissance de certaines plantes (phyllotaxie et biologie végétale), équations différentielles (par exemple modèle de Lotka-Volterra) pour simuler la dynamique des populations et des écosystèmes, intelligence artificielle (algorithmes génétiques, réseaux de neurones) pour reproduire des mécanismes d'adaptation, de création de complexité et d'intelligence ...

Plus que jamais les passerelles entre les différentes sciences (Biologie, Mathématiques, Physique, Chimie, Informatique...) créent de la connaissance nouvelle indispensable pour aborder les défis systémiques propres au XXIème siècle: Adaptation de l'humain à la nature (changements

---

<sup>3</sup> « La chose la plus incompréhensible avec l'Univers, c'est que nous parvenions à le comprendre », A. Einstein

climatiques, préservation de l'équilibre environnemental, gestions des ressources eau-alimentation-énergie-déchets aux échelles locales et planétaires) et révolution technologique et culturelle en cours impulsée par l'intelligence artificielle qui combine les savoirs des algorithmes, des réseaux, des neurosciences et de la biologie .

Parmi ces passerelles, celles entre mathématiques/informatique, physique théorique et biologie sont particulièrement intéressantes et contemporaines, y compris dans la recherche fondamentale. Elles ont tendance à élargir les champs des « sciences du vivant » voire à redéfinir la notion de « vie ».

Depuis une cinquantaine d'années et en particulier dans les domaines fondamentaux de la Physique des particules et de la Cosmologie, le langage mathématique dont parlait Galilée a pris une place structurante. D'un outil d'écriture de la théorie physique il est petit à petit devenu un outil « porteur de sens ». Ainsi, la découverte et même la prédiction des particules élémentaires qui composent la matière reposent sur des théories quantiques formulant *mathématiquement* ce qu'est la matière : pour faire « simple », la réalité se définit comme étant ce qui est invariant par des symétries élémentaires de l'espace-temps. Le concept de Symétrie et d'invariance est au cœur des mathématiques, comme il est au cœur de la description contemporaine du réel.

En parallèle des avancées de la Cosmologie par la passerelle Mathématiques/Physique théorique, Alan Turing lançait les bases d'un rapprochement fécond entre informatique et biologie. Ses travaux sur la morphogénèse (moins connus que ceux sur le décryptage des codes nazis) sont les précurseurs de nombreux axes de recherche contemporains:

- les automates cellulaires (dont le fameux jeu de la vie) ou comment un « code simple » permet de créer des mécanismes capables de complexité, de mouvement, d'auto-organisation voire d'auto-reproduction et d'adaptation,
- la théorie de l'information intégrée (cf les travaux de G. Tononi sur l'Integrated Information Theory IIT) ou comment modéliser une forme de « structure de conscience » par des réseaux de portes logiques.

Ces deux exemples tendent à un élargissement des concepts de vie et de conscience bien au-delà du « monde du vivant » tels que nous les représentons aujourd'hui. Les concepts de « conscience », de « mesure observable » et d'interaction entre « observateur et phénomène observé » sont des fondements admis de la physique quantique. Leur compréhension, à l'interface entre mathématique, physique théorique et neurosciences, sera probablement un pilier des connaissances de demain (voire après-demain !).

D'autre part les modélisations mathématiques de type graphe ou réseaux de neurones (ou de spins, ou de portes logiques) sont en train de prendre une place prépondérante dans de nombreuses disciplines théoriques : citons par exemple les tentatives récentes de grande unification des lois de la nature par la théorie des boucles qui ont des similitudes avec les approches de modélisation du réel abordées par les neurosciences, l'intelligence artificielle et l'IIT.

A notre époque nous ne connaissons qu'environ 10% des espèces vivantes de notre planète et sans doute moins en considérant la diversité du phytoplancton. D'autre part nous découvrons chaque semaine de nouveaux mondes extrasolaires qui vont probablement tôt ou tard révéler d'autres formes de vie (leur étude *a priori* s'appelle l'exobiologie) . D'autre part la xénobiologie est une sous-

discipline naissante de la biologie synthétique qui vise la mise au point de formes de vie étrangères, du point de vue métabolique, à celles qui sont connues sur Terre. Bref la vie possède et possédera bien des formes nouvelles. Cependant il se peut que ce soit le concept même de vie qui doive être élargi : par exemple à des processus de types réseaux ou autres capables de générer de la complexité, de l'interaction, de l'intelligence, de la reproduction, de l'adaptation, voire des « concepts conscients ». Citons deux exemples probablement un peu précurseurs et donc encore controversés:

L'hypothèse Gaïa, appelée également hypothèse biogéochimique, est une hypothèse scientifique initialement avancée par l'écologue anglais James Lovelock en 1970, mais également évoquée par d'autres scientifiques avant lui, selon laquelle la Terre serait « un système physiologique dynamique qui inclut la biosphère et maintient notre planète depuis plus de trois milliards d'années en harmonie avec la vie ».

L'hypothèse des Bio-Univers : dans son livre *The Life of the Cosmos*, Lee Smolin propose d'appliquer la sélection naturelle à la cosmologie, de sorte que l'univers que nous connaissons serait le résultat de l'évolution par mutation d'univers plus anciens. C'est la théorie des univers féconds. Les graines d'Univers étant les trous noirs. Les Univers les plus féconds seraient ceux capables de produire de nombreux trous noirs et par là-même la matière que nous connaissons et la vie.

*Laurent Gautret. Mars 2018*



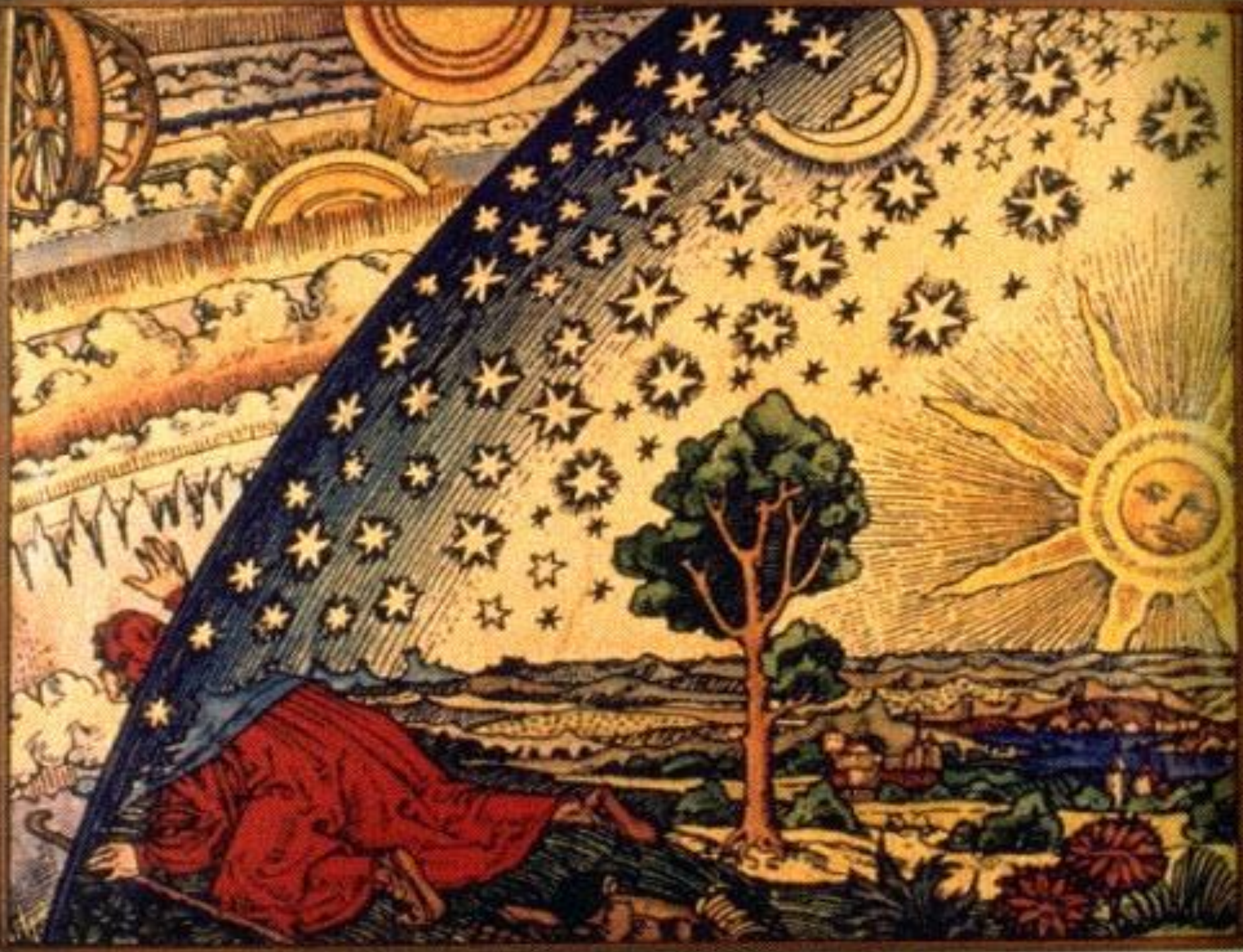
# Cosmologie et Mathématiques

*du Big-Bang aux Bio-Univers*

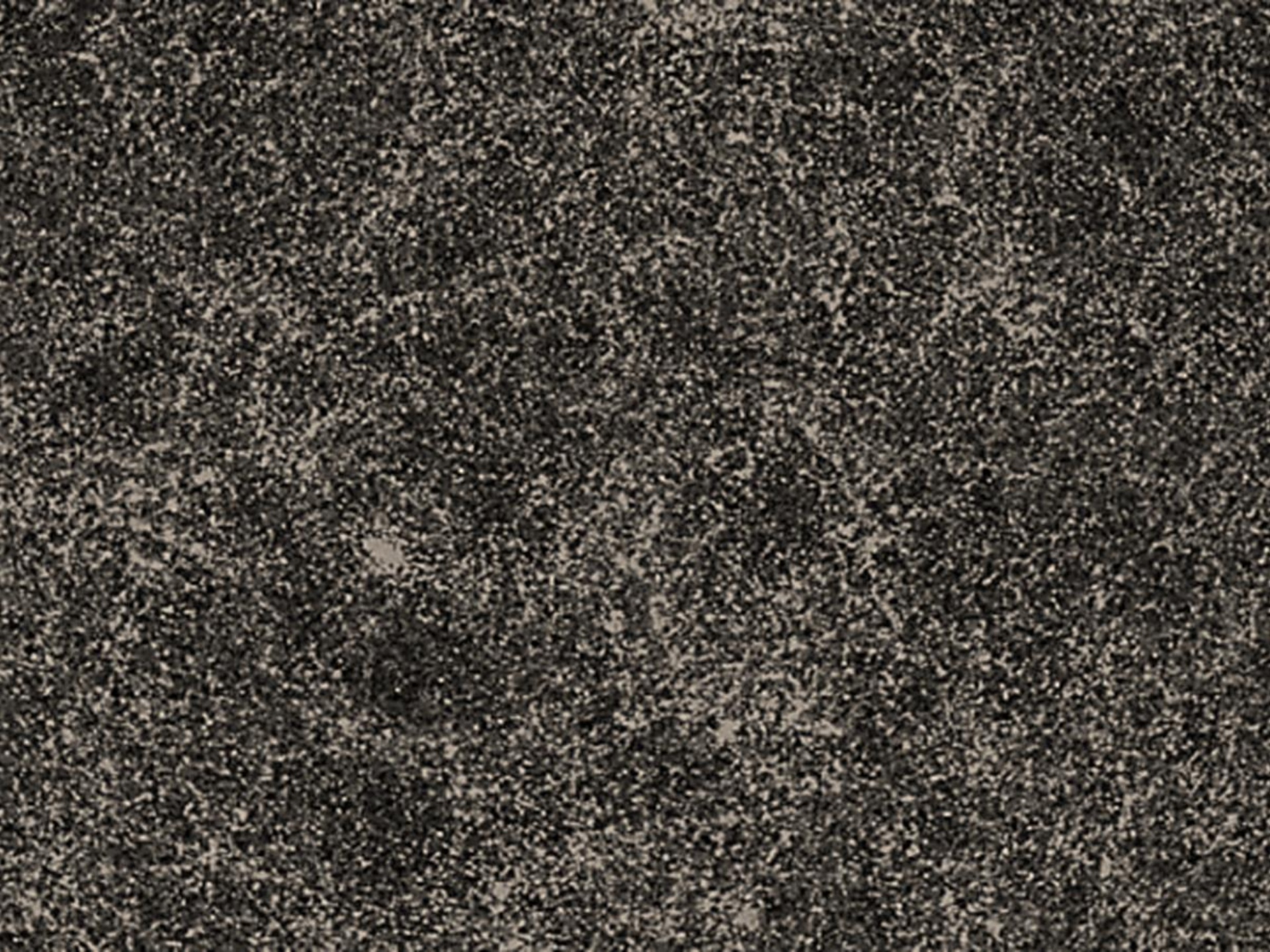
C2+. 22 Mars 2018. Saint Pierre

<http://www.laurentgautret.sitew>







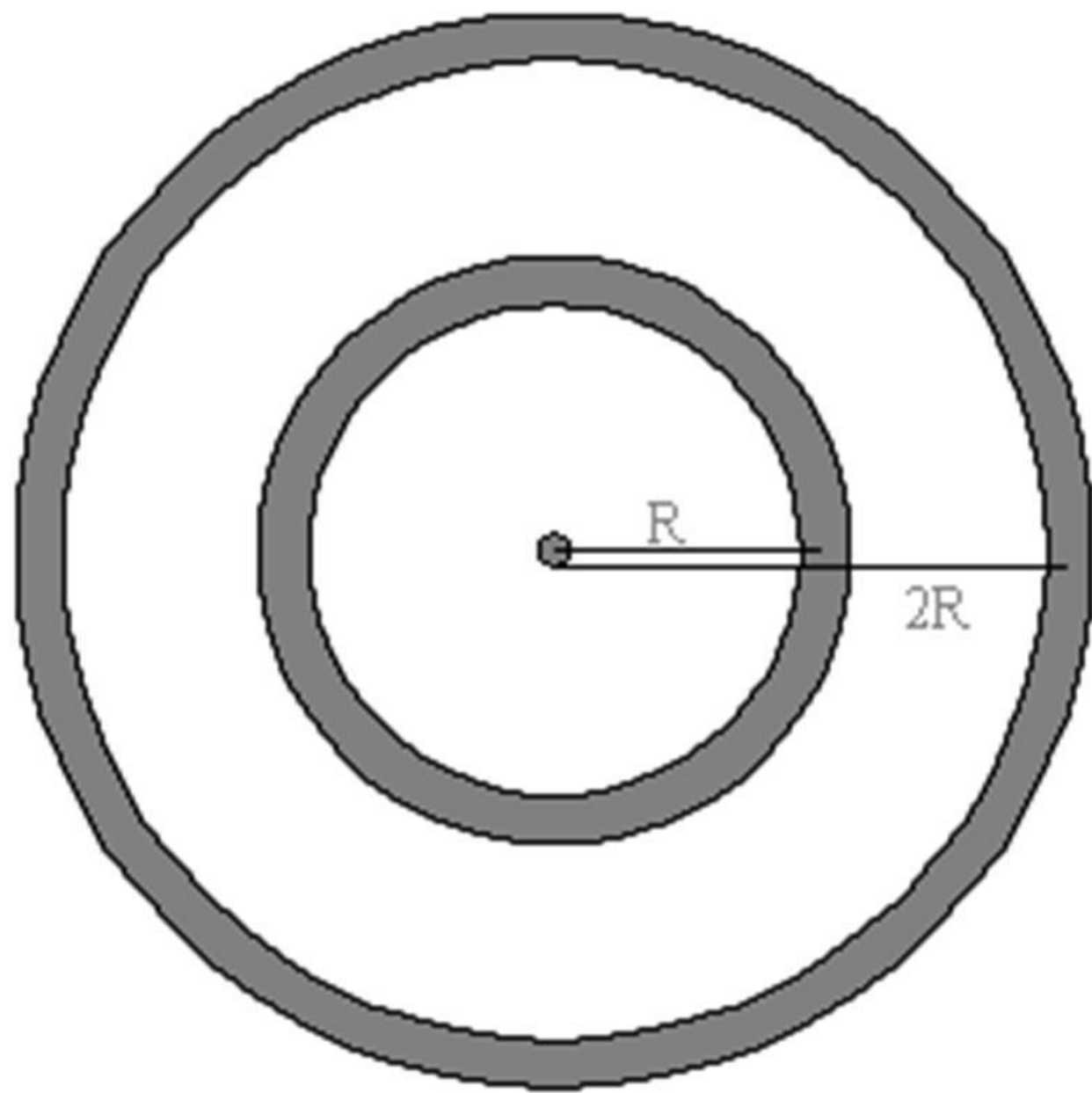




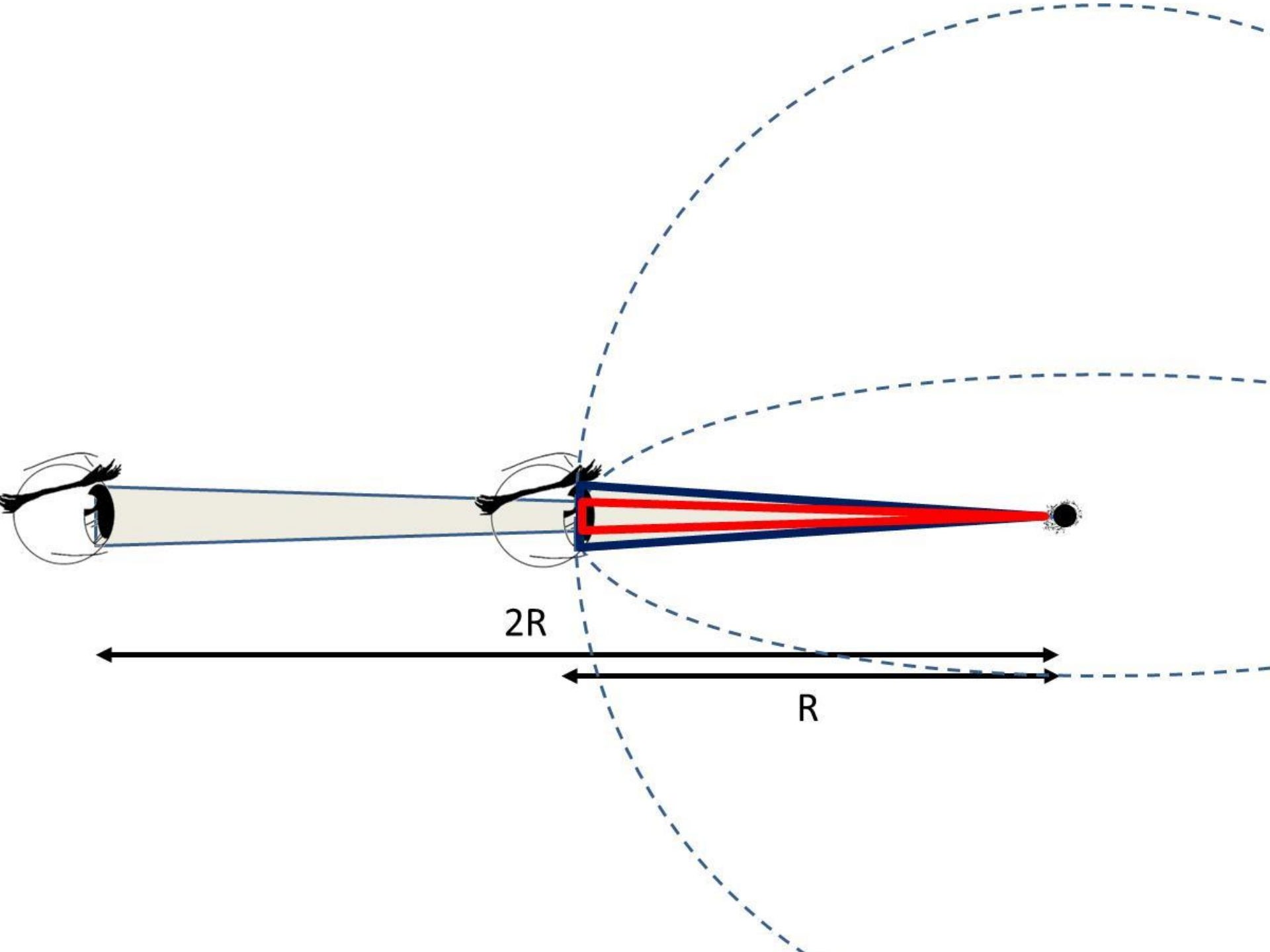
- **POURQUOI NE FAIT-IL PAS JOUR LA NUIT ?**
- **VOYAGER VERS LE FUTUR: FICTION OU REALITE ?**
- **L'ESPACE EST-IL COURBE ?**
- **QUELLE EST L'EQUATION DE L'UNIVERS ?**
- **LE VIDE A-T-IL UNE ENERGIE ?**
- **LA VIE AILLEURS ? C'EST QUOI LA VIE ?**
- **NOTRE UNIVERS EST-IL BIO ?**



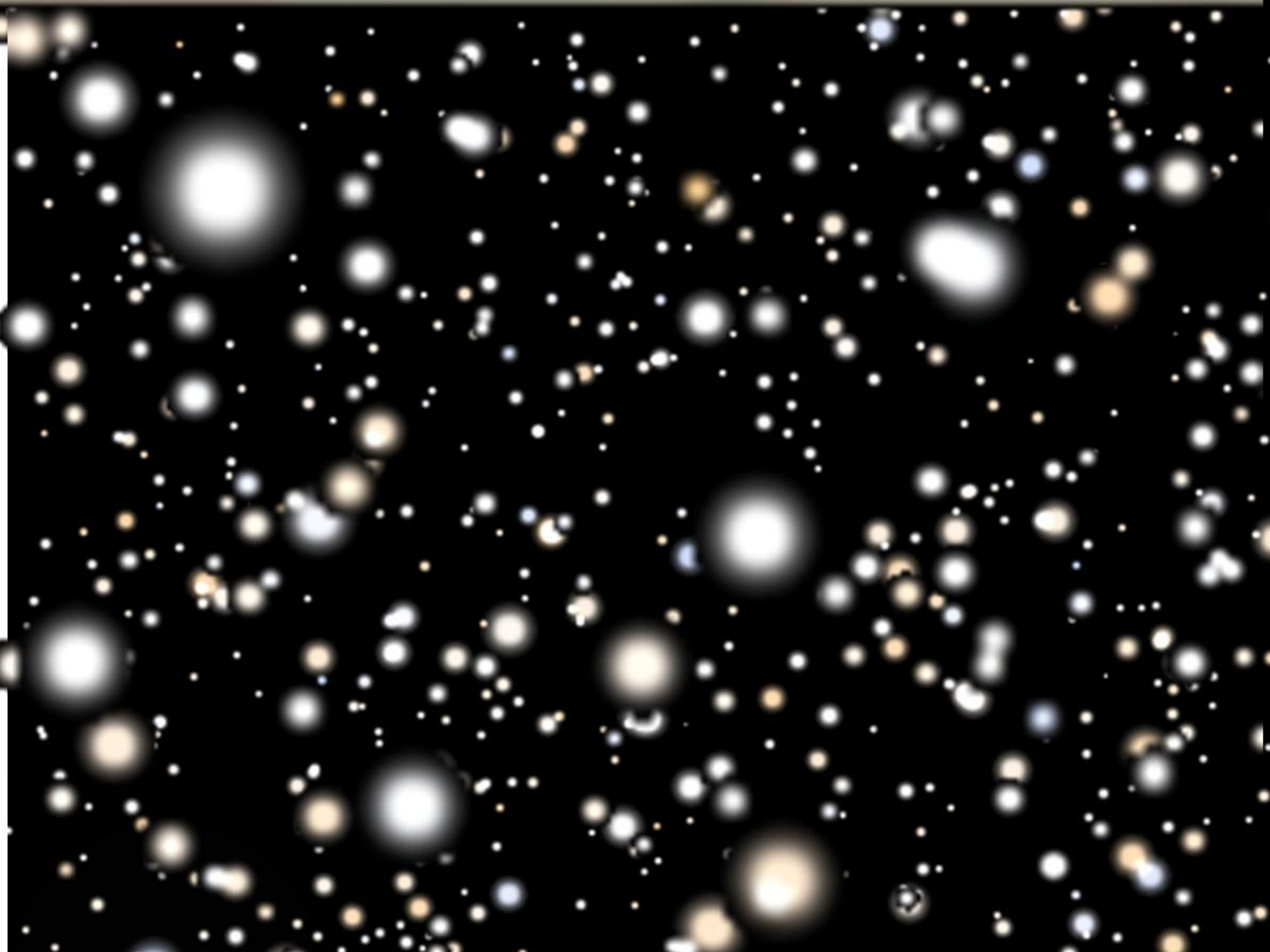
**POURQUOI NE FAIT-IL PAS JOUR LA  
NUIT ?**

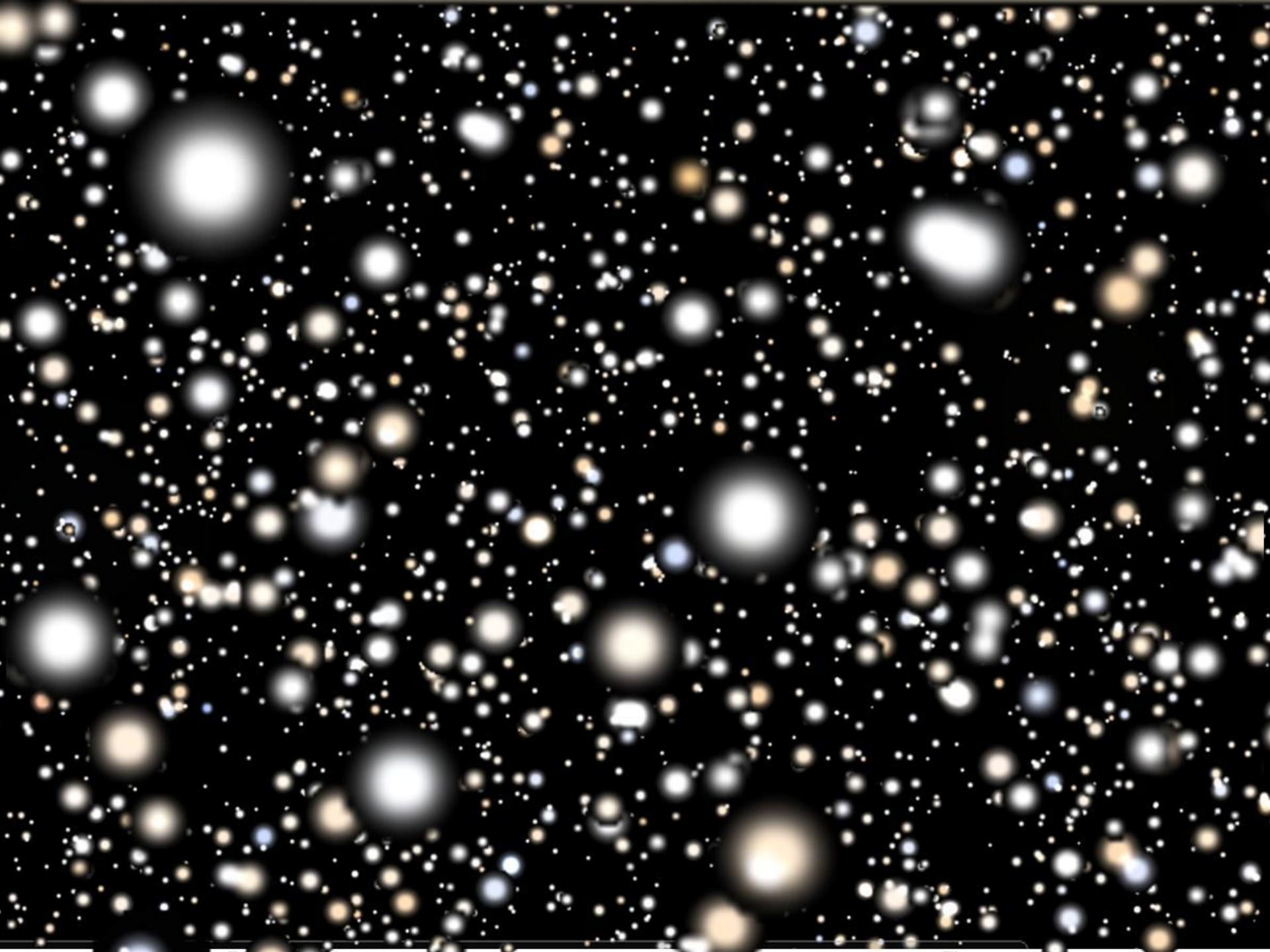




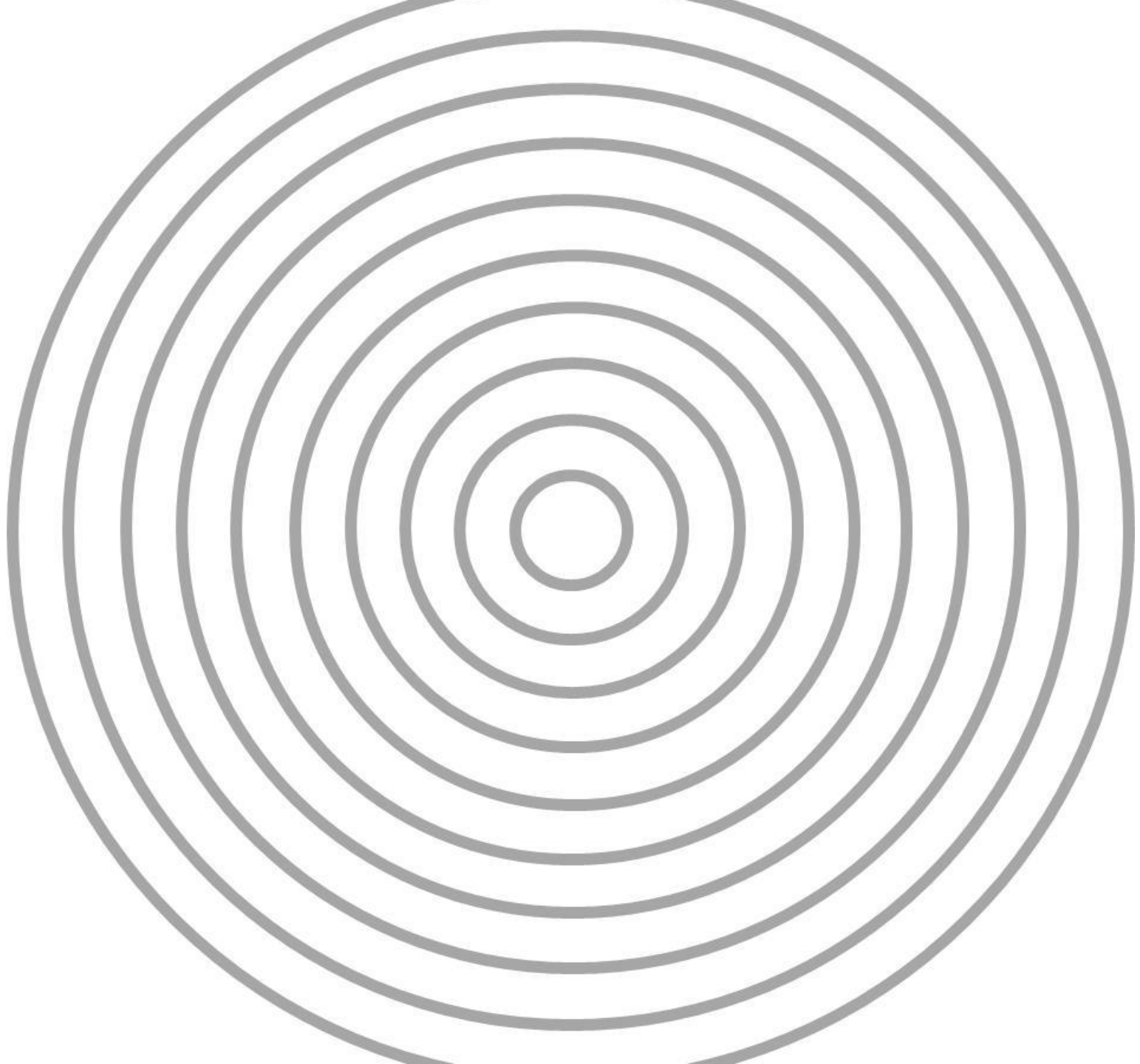


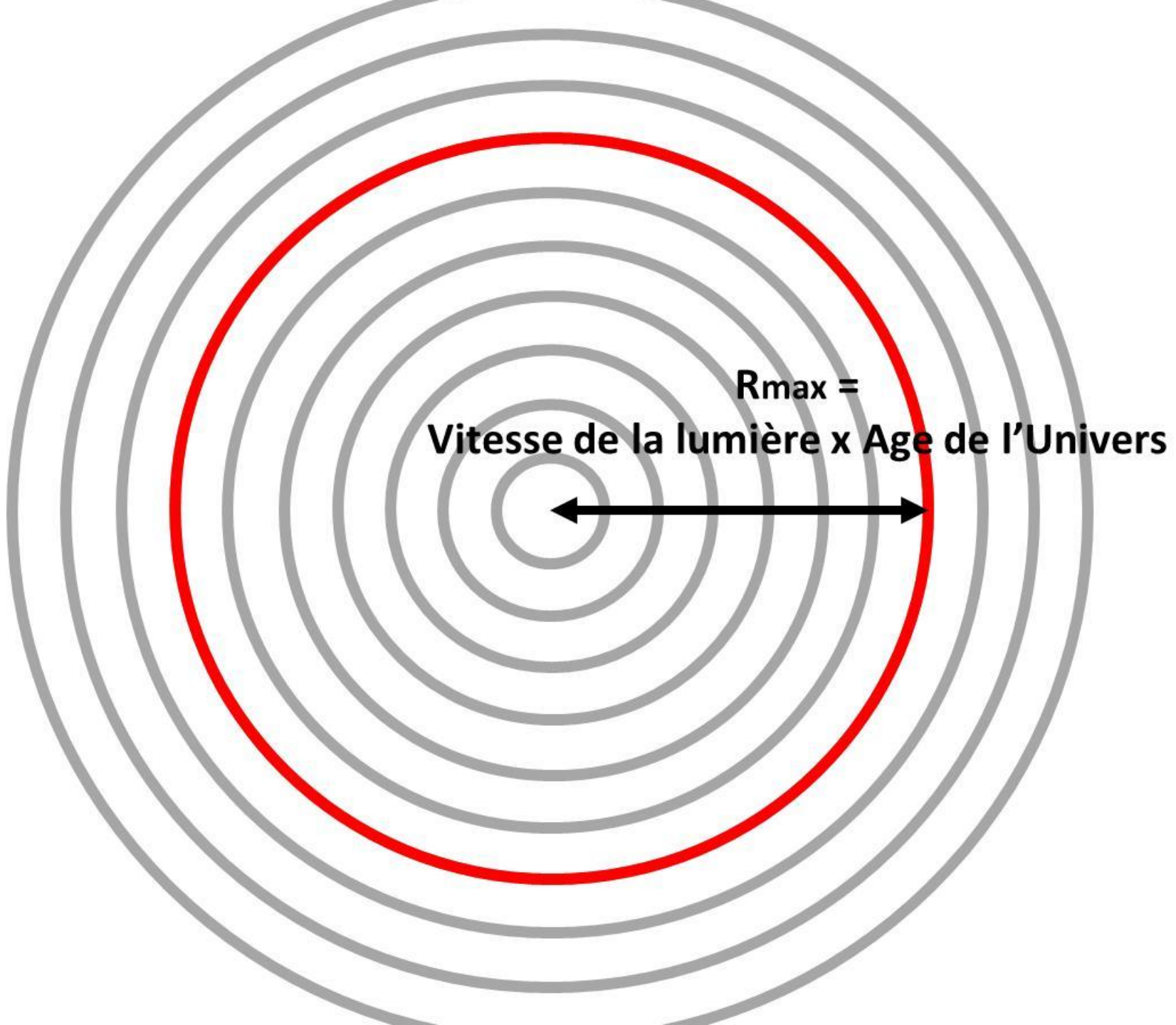






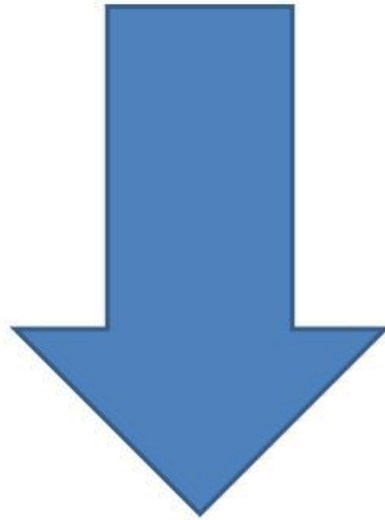






Si l'univers  
était infini  
et

Si l'âge de l'univers était infini  
ou  
Si la vitesse de la lumière était  
infinie



Il ferait JOUR la NUIT !

JE SUIS UN OISEAU

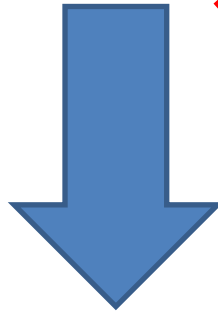
et



et



et



JE SAIS VOLER



JE NE SUIS  
PAS UN  
OISEAU

ou



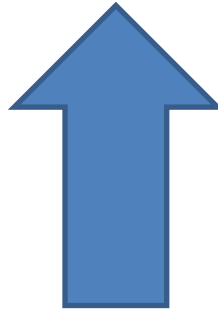
ou



ou



JE NE SAIS PAS VOLER



L'univers  
est fini ou

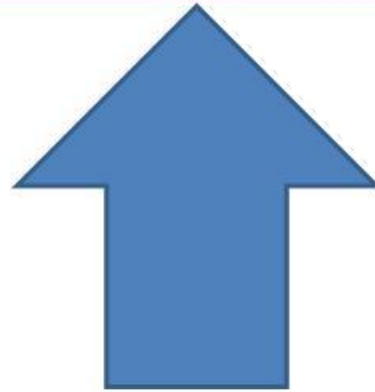
L'âge de l'univers est fini

$A \sim 13,8$  milliards d'années

et

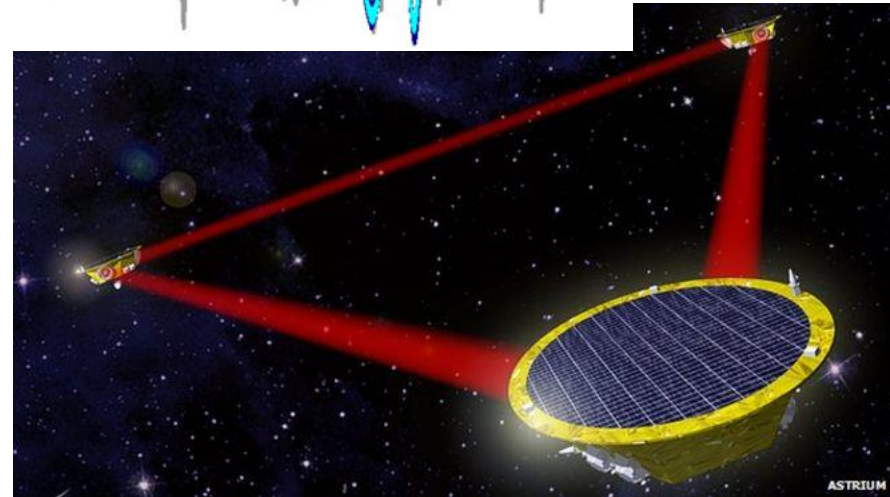
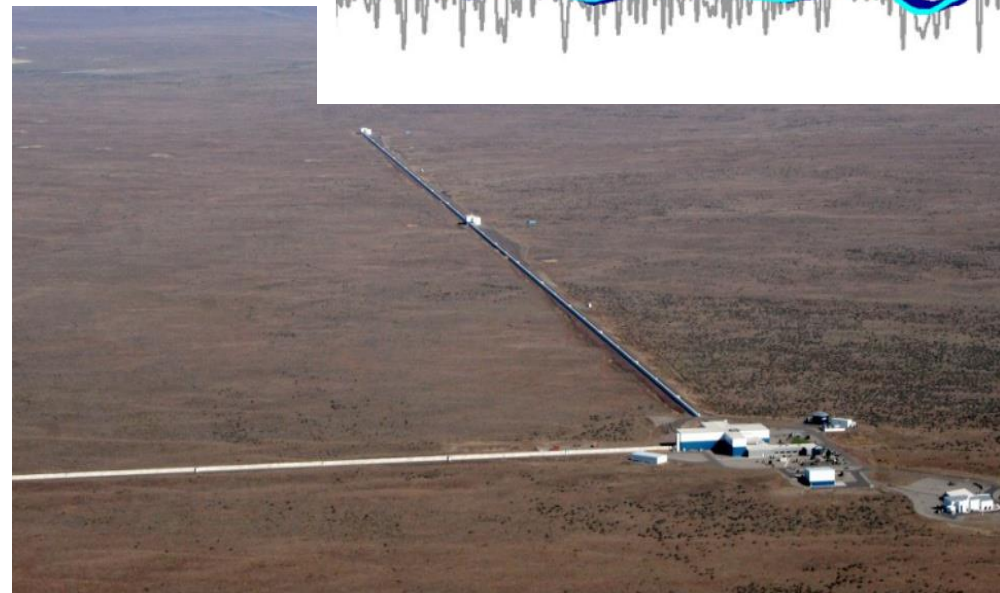
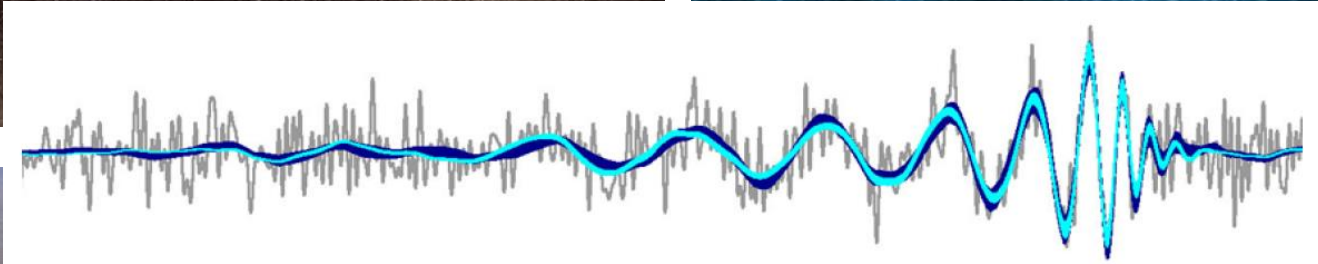
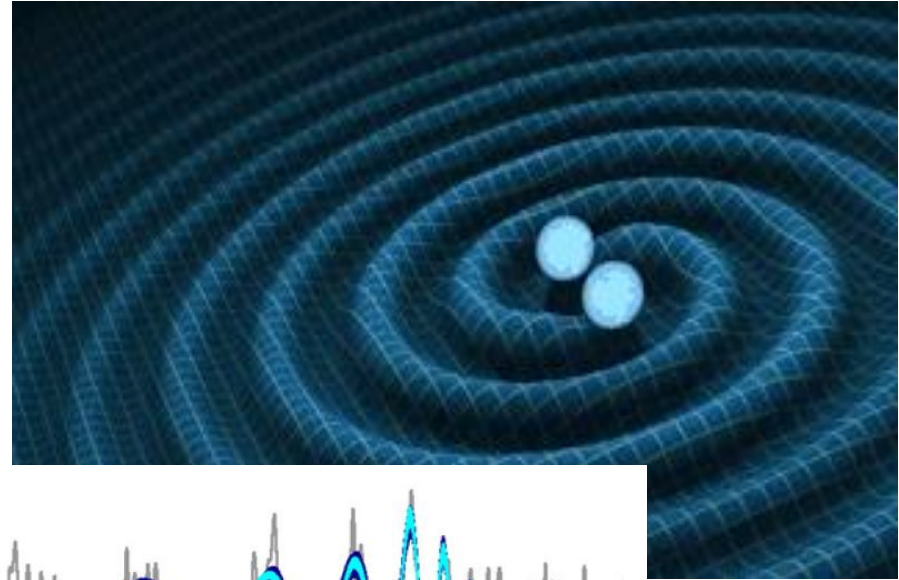
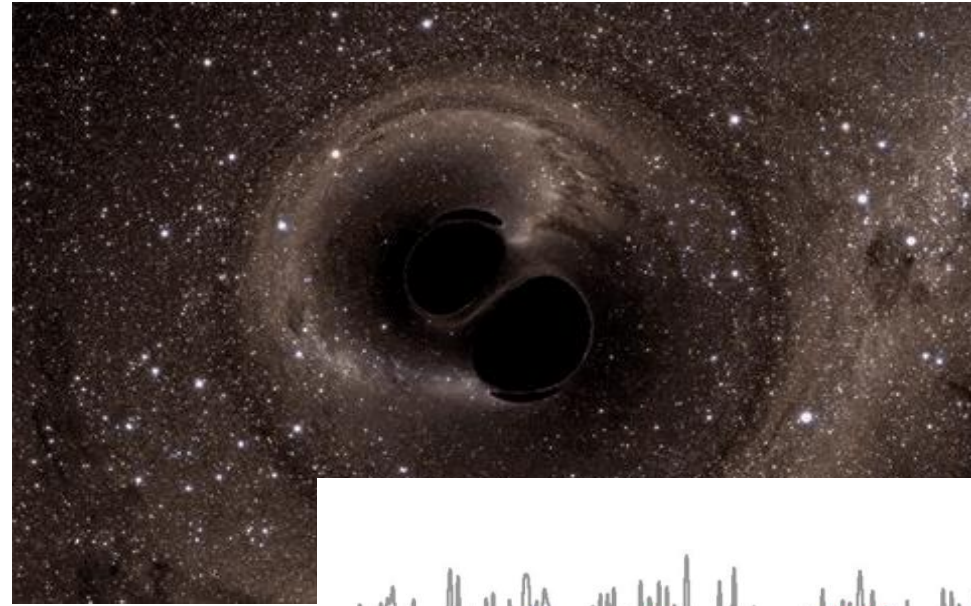
La vitesse de la lumière  
est finie

$C \sim 300\,000$  km/s



Il fait NUIT la NUIT

# ONDES GRAVITATIONNELLES: Découvertes en Sept 2015



ASTRUM



SON  
N°1

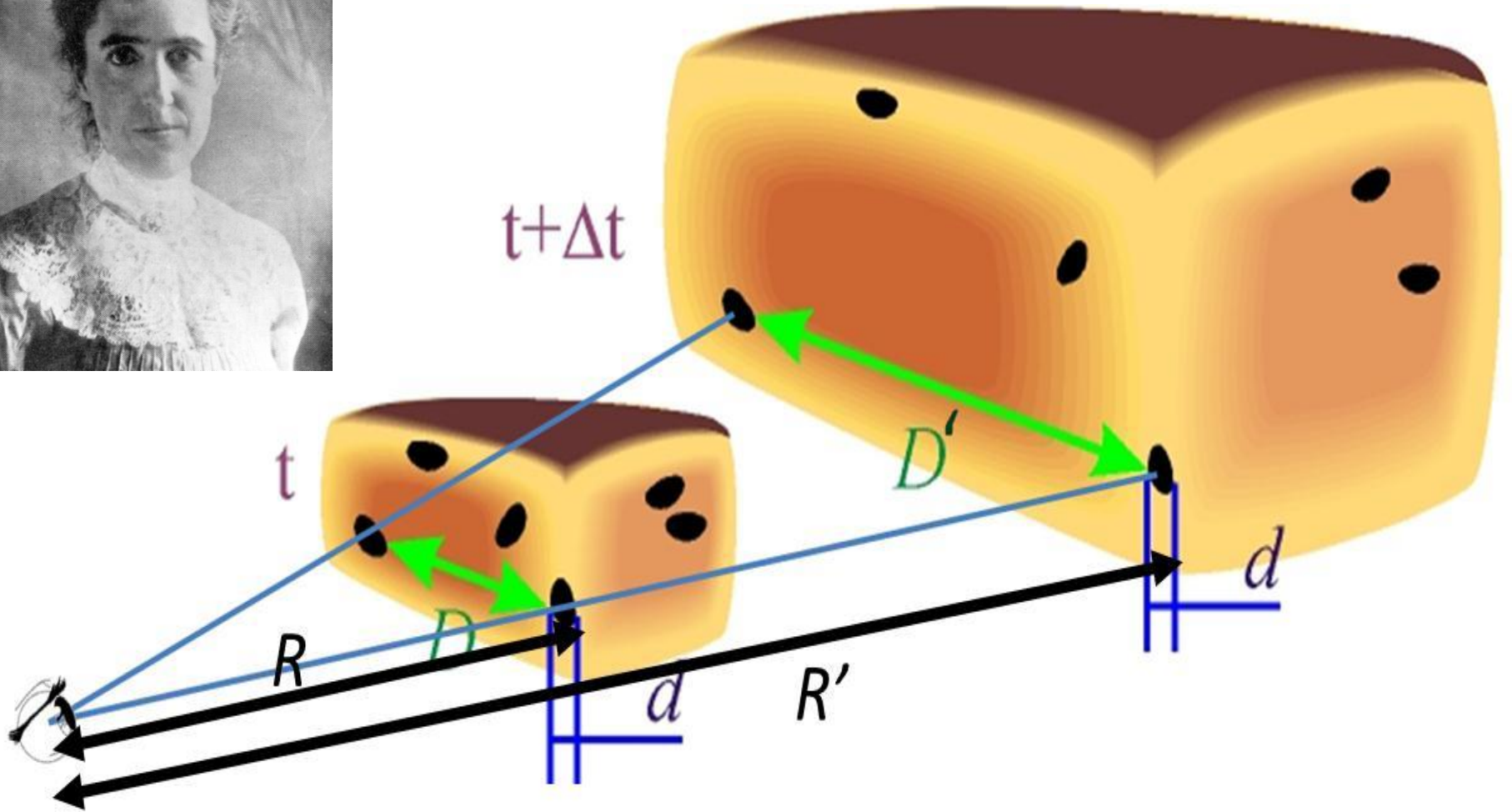


SON  
N°2

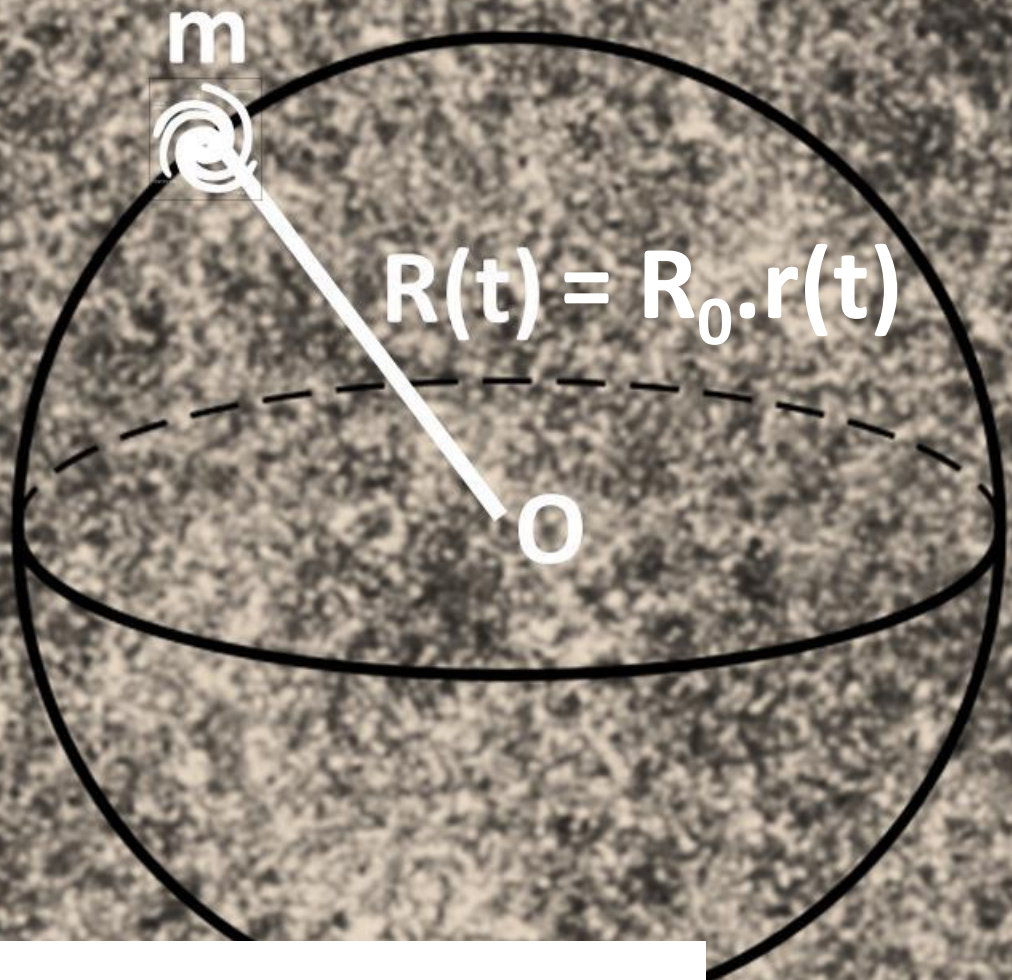


**EQUATION DE L'UNIVERS ET  
ENERGIEDU VIDE ???**





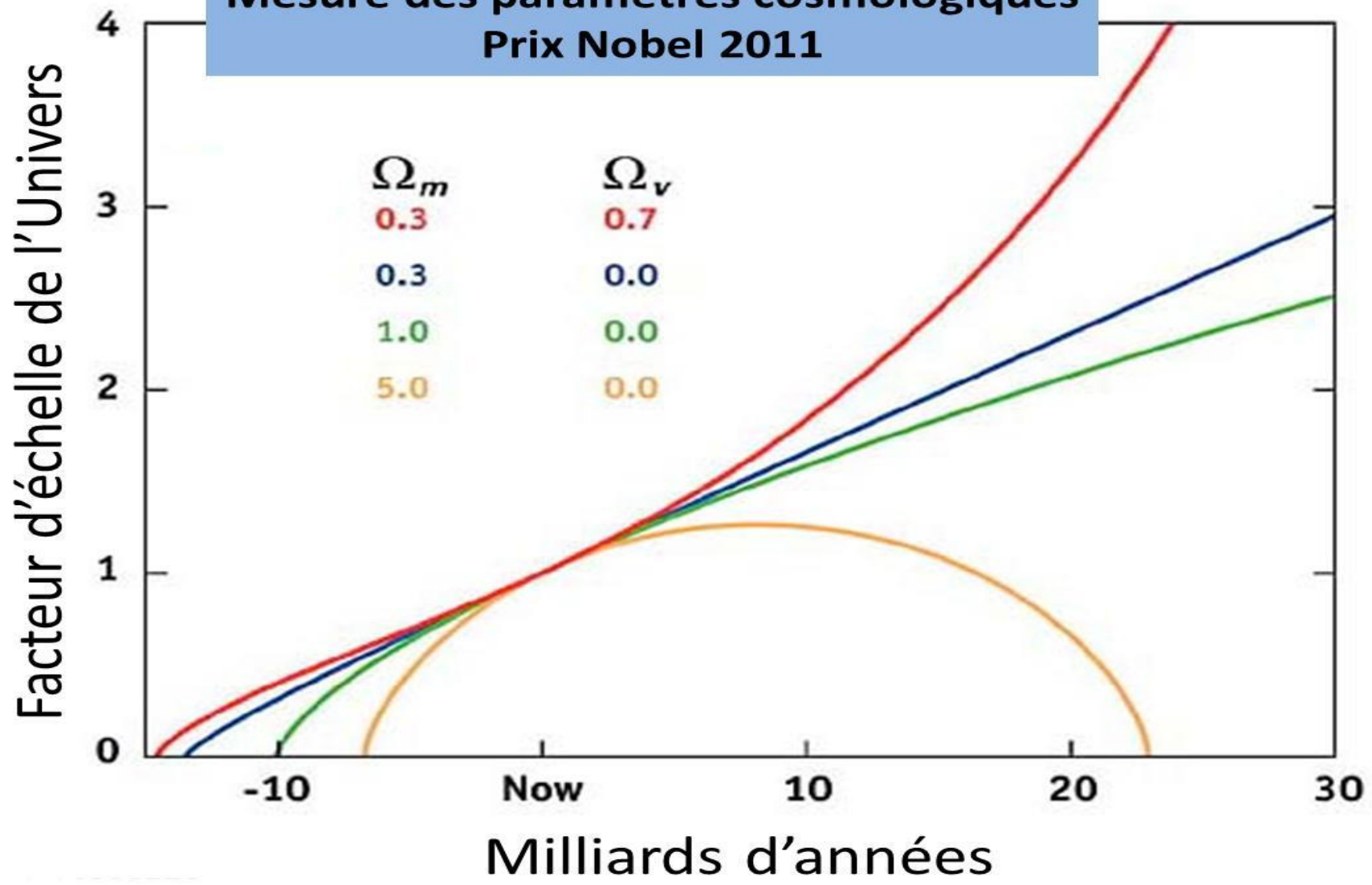
Expansion de Hubble Et Susan Swan  
Leawitt (1929)

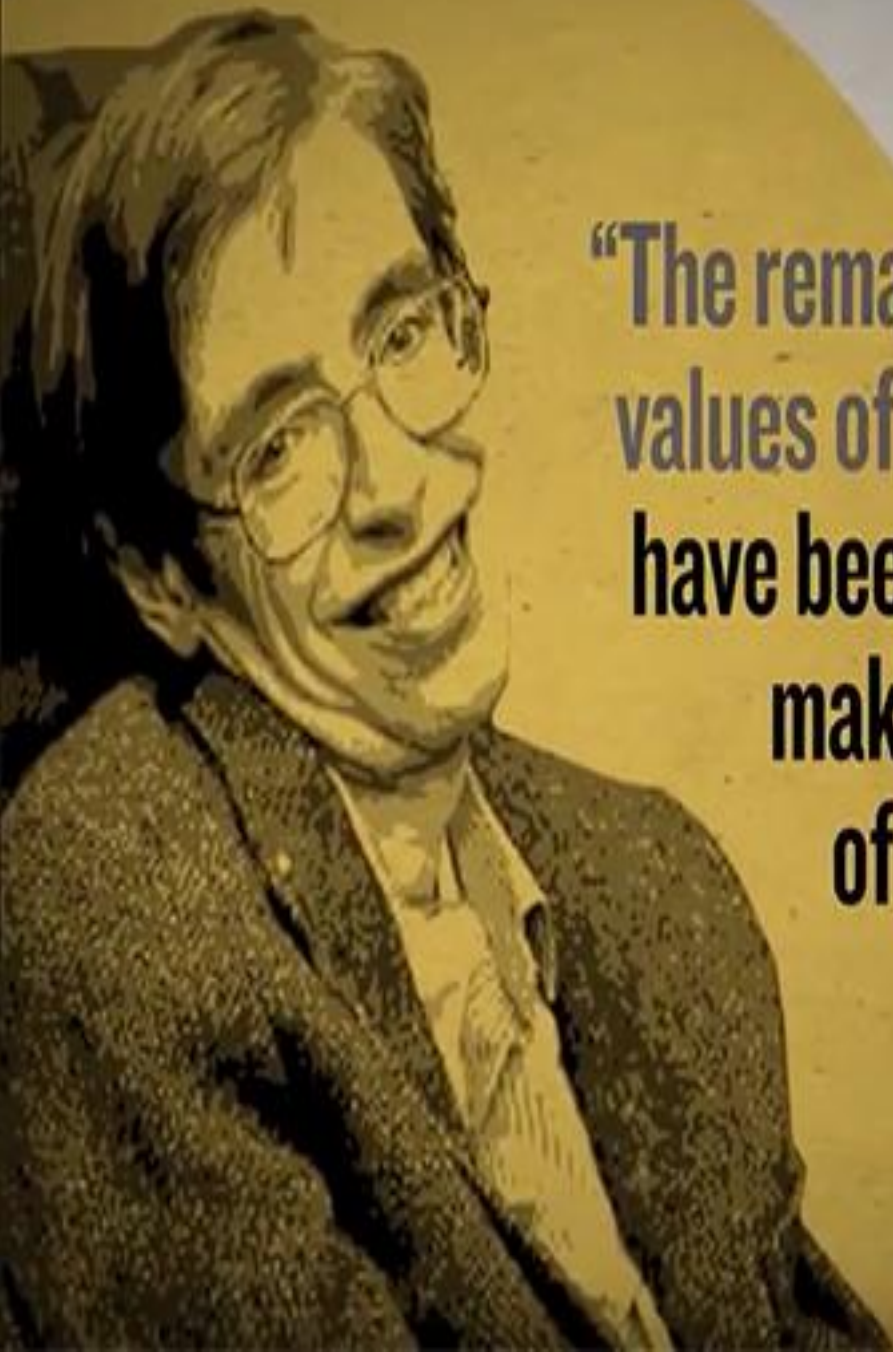


$$\dot{r} = H_0 r \left( \frac{\Omega}{r^3} + \Lambda \right)^{1/2} \quad (\text{E})$$



Mesure des paramètres cosmologiques  
Prix Nobel 2011





**“The remarkable fact is that the values of these numbers seem to have been very finely adjusted to make possible the development of life.”**

**-Stephen Hawking**

*Theoretical physicist and cosmologist*

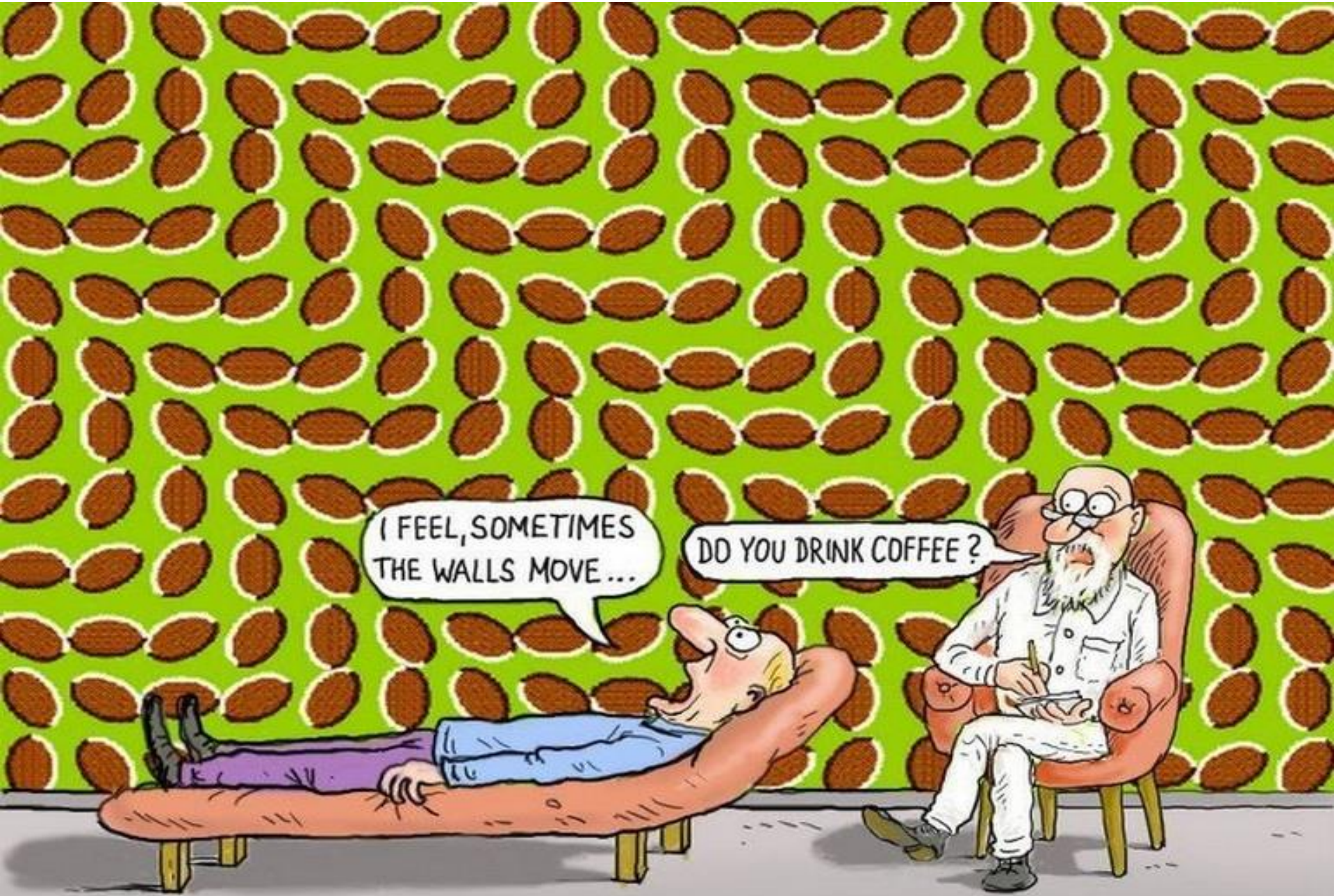
*Director of Research at the Centre for Theoretical  
Cosmology within the University of Cambridge*





**PROBLEME 1: UNICITE de notre Univers.  
Pourquoi un univers capable de créer la VIE ?**





**PROBLEME 2: ORIGINE du temps ? le mur de Planck**



# PROBLEME 3: .... FIN DES TEMPS dans environ 100 à 400 milliards d'années ! A QUOI BON ... ?

ANDROMEDE

Notre ciel dans  
~ 3 milliards  
d'années

VOIE LACTEE

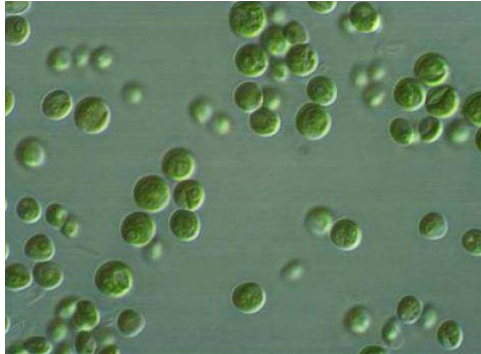
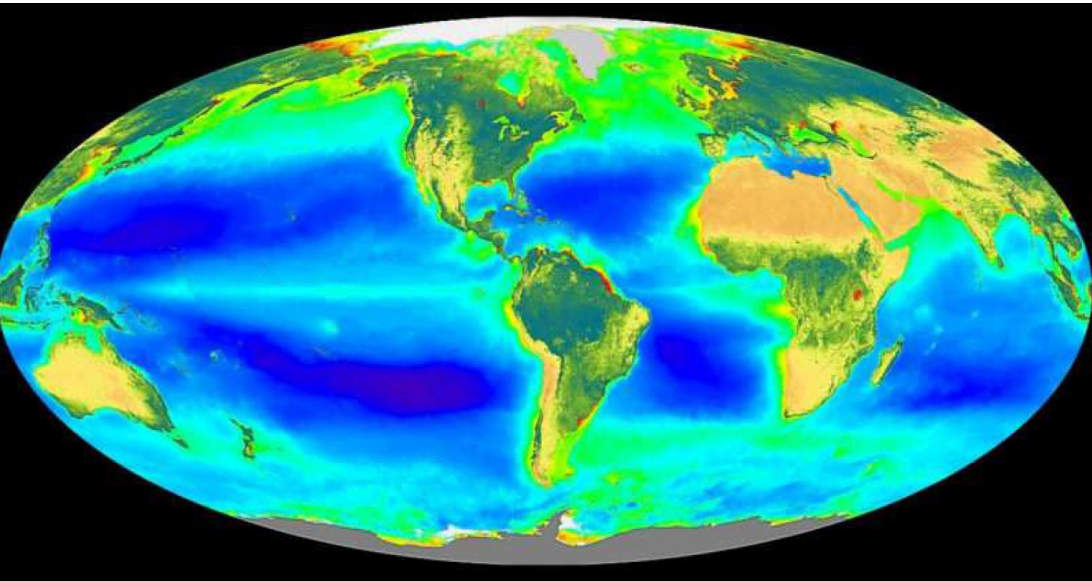




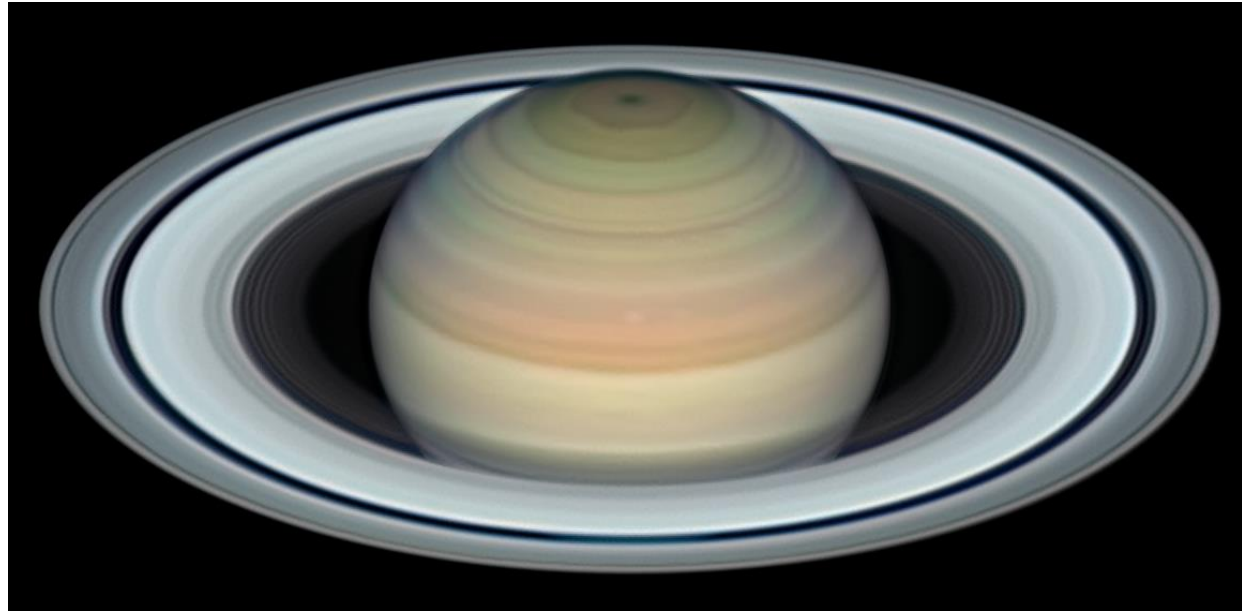


**LA VIE AILLEURS ? C'EST QUOILA VIE ?**



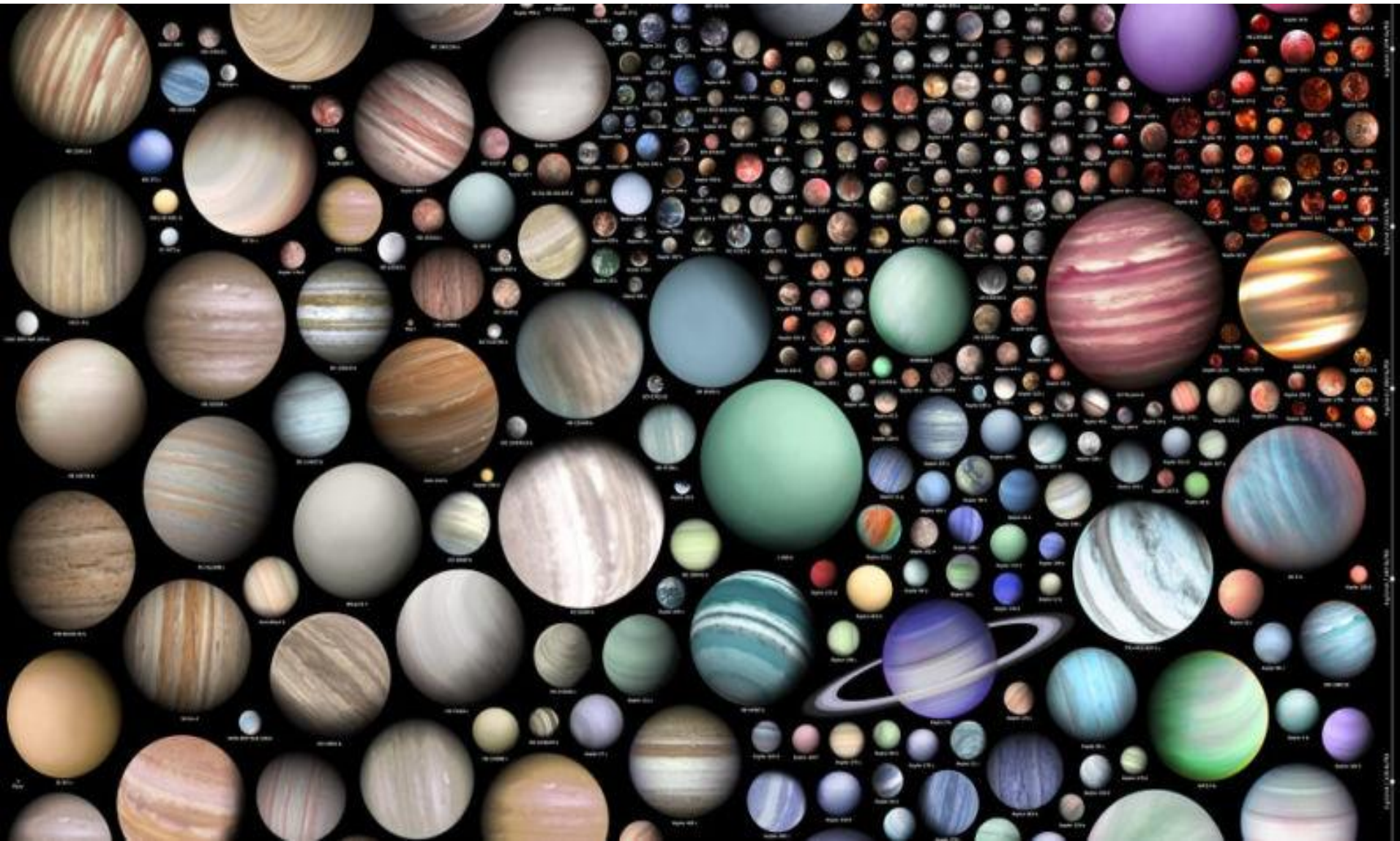


# Une autre vie dans notre système solaire ?





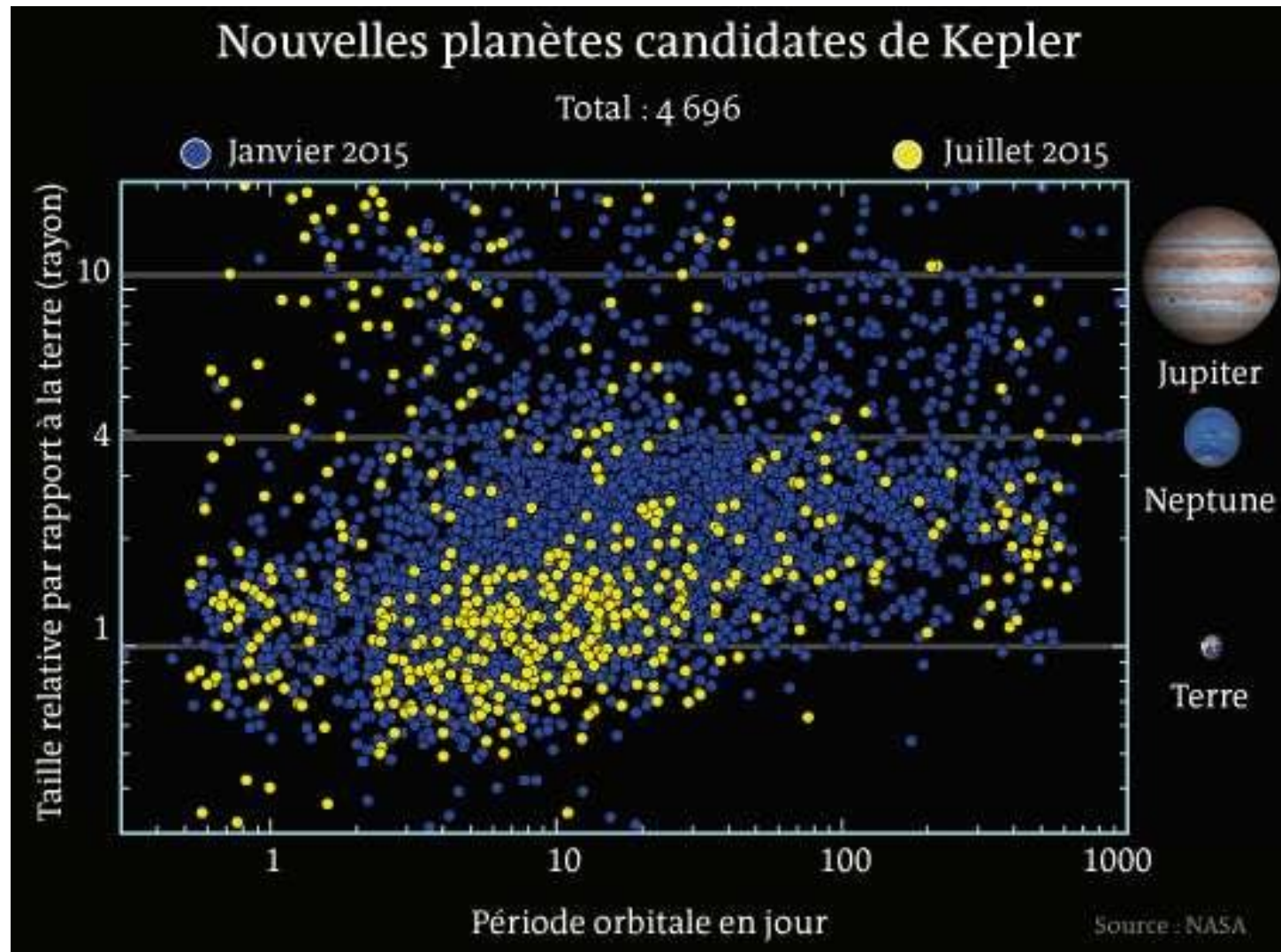
# Un florilège d'exoplanètes



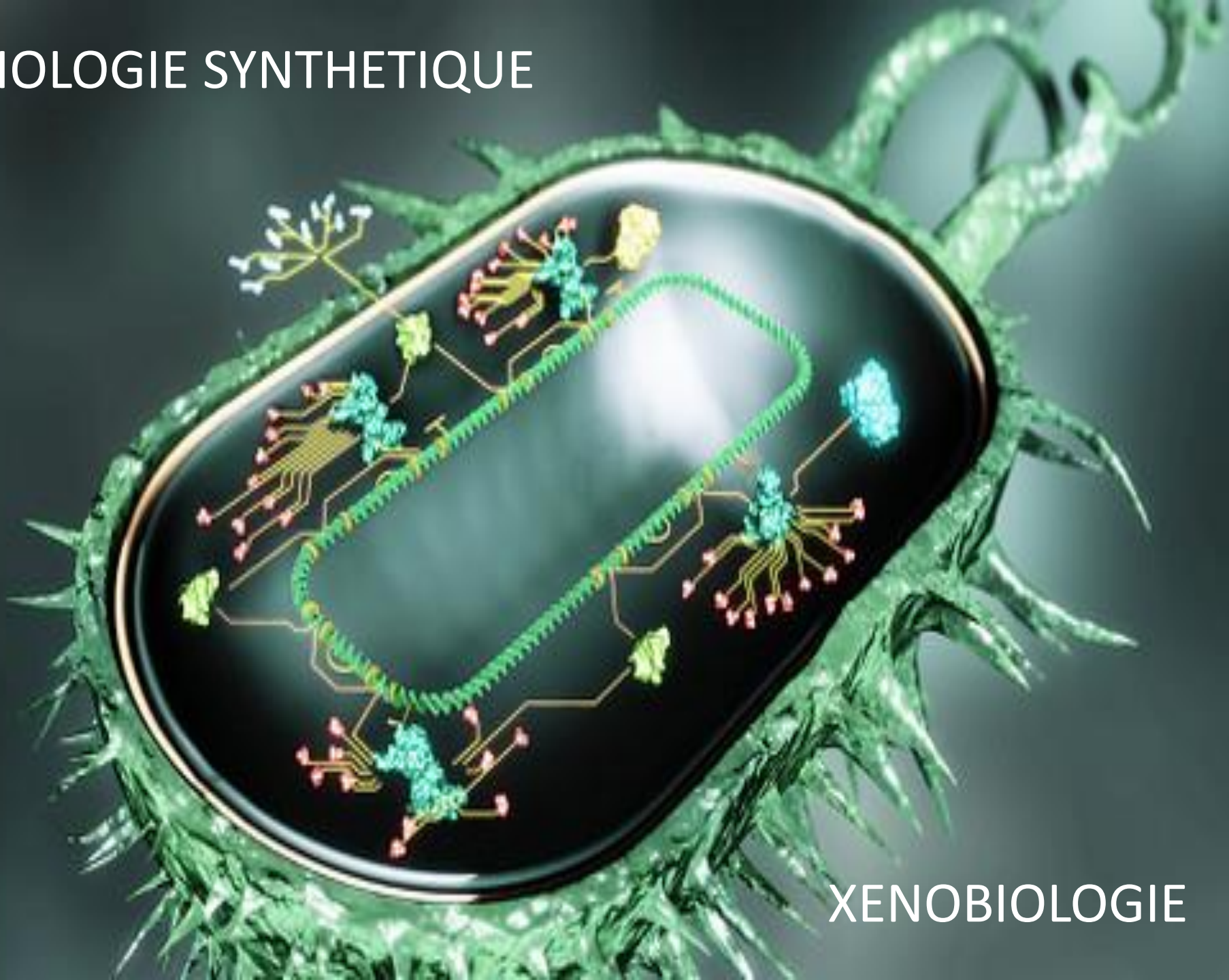


# Détection par la mesure Du TRANSIT

# Détection par la mesure de la VITESSE RADIALE



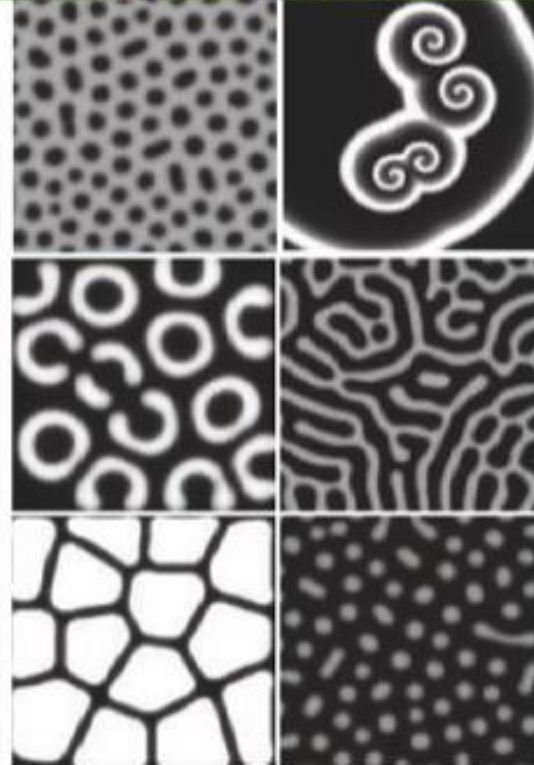
BIOLOGIE SYNTHETIQUE



XENOLOGIE



# Alan Turing et la Morphogénèse

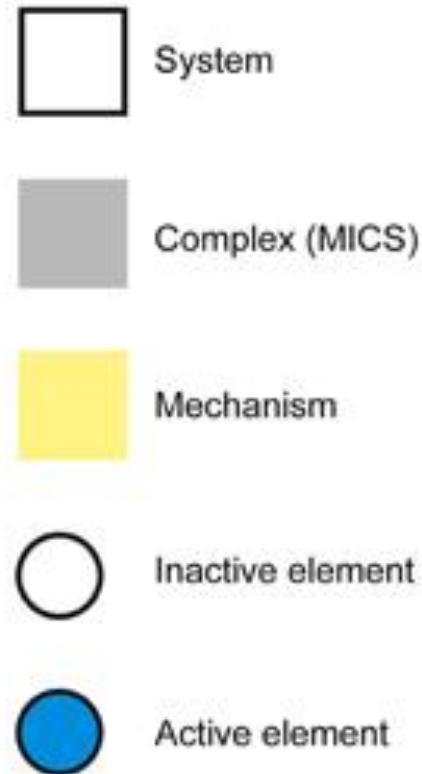
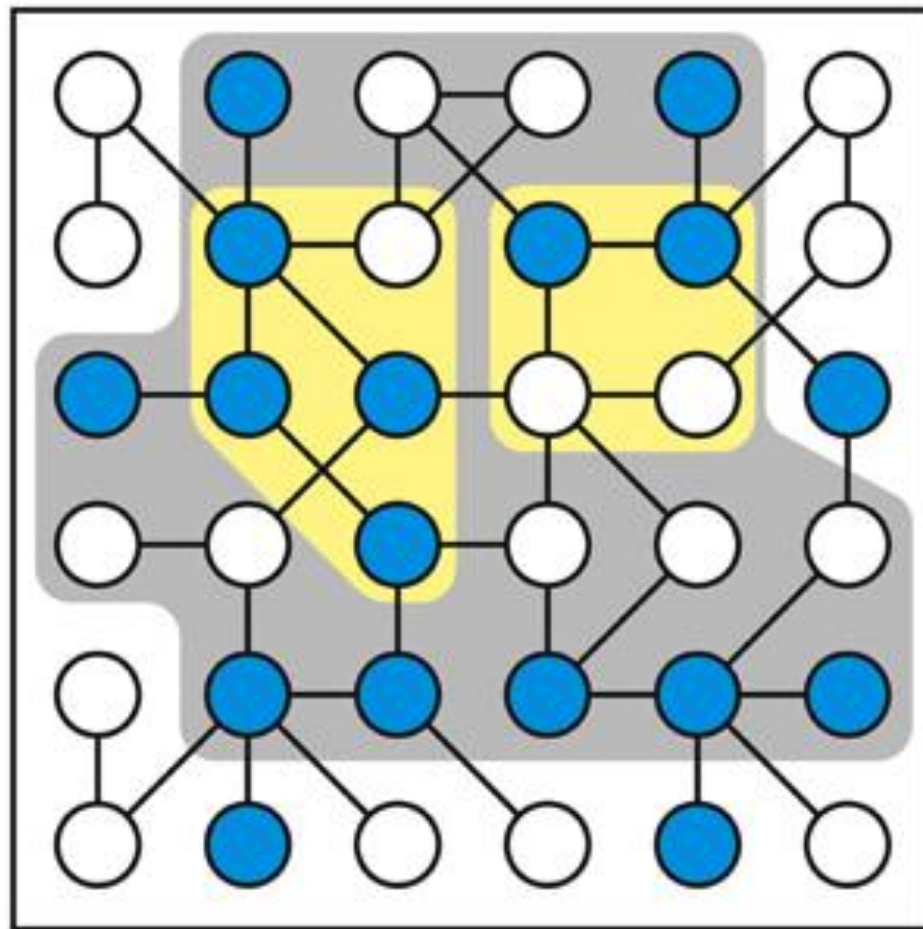
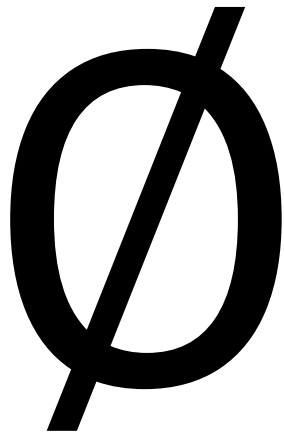




# Le jeu de la vie de Conway



*Cf. IIT de Giulio Tononi*



**LA CONSCIENCE AILLEURS ?**

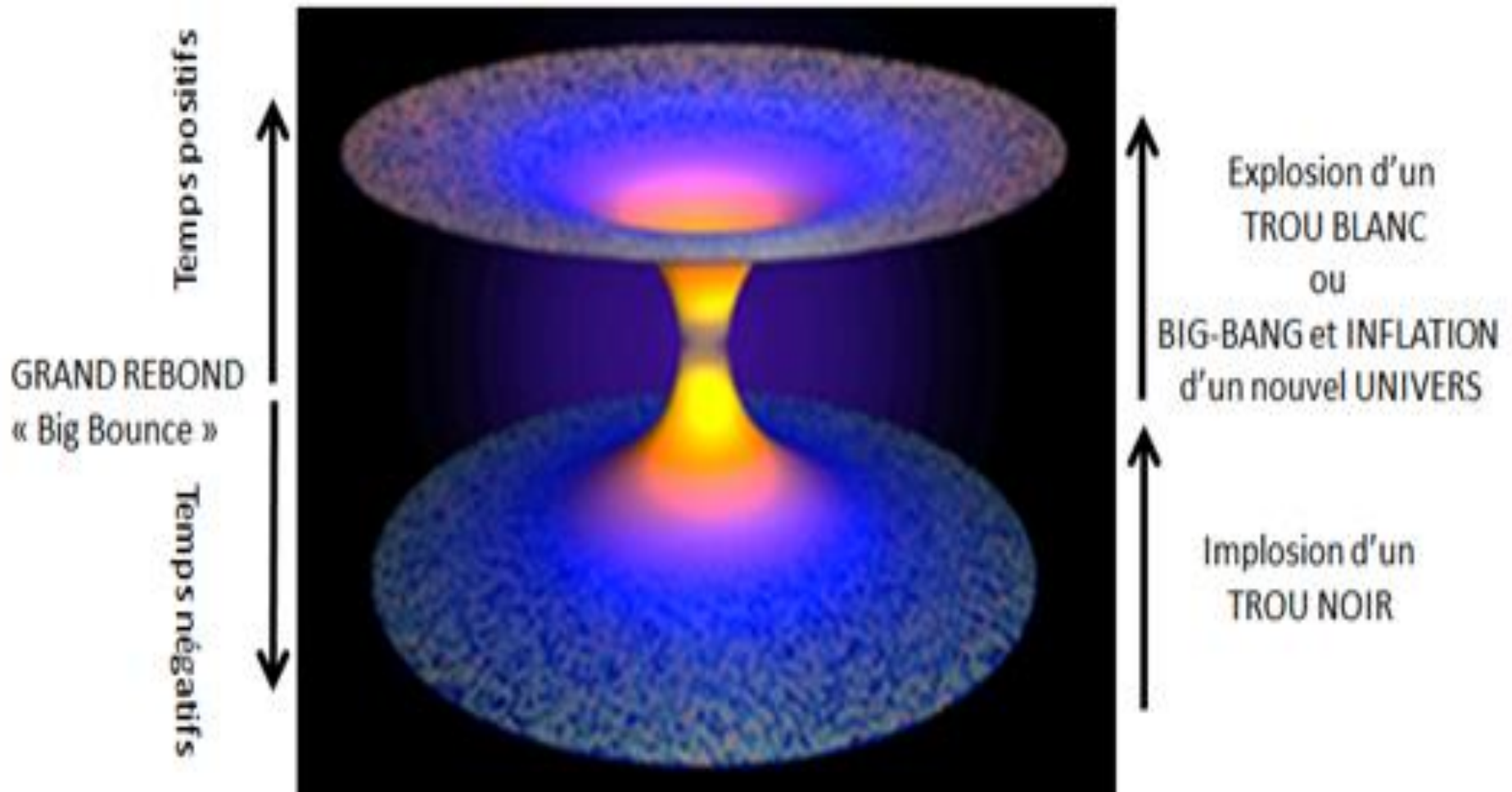


# The Gaia Hypothesis

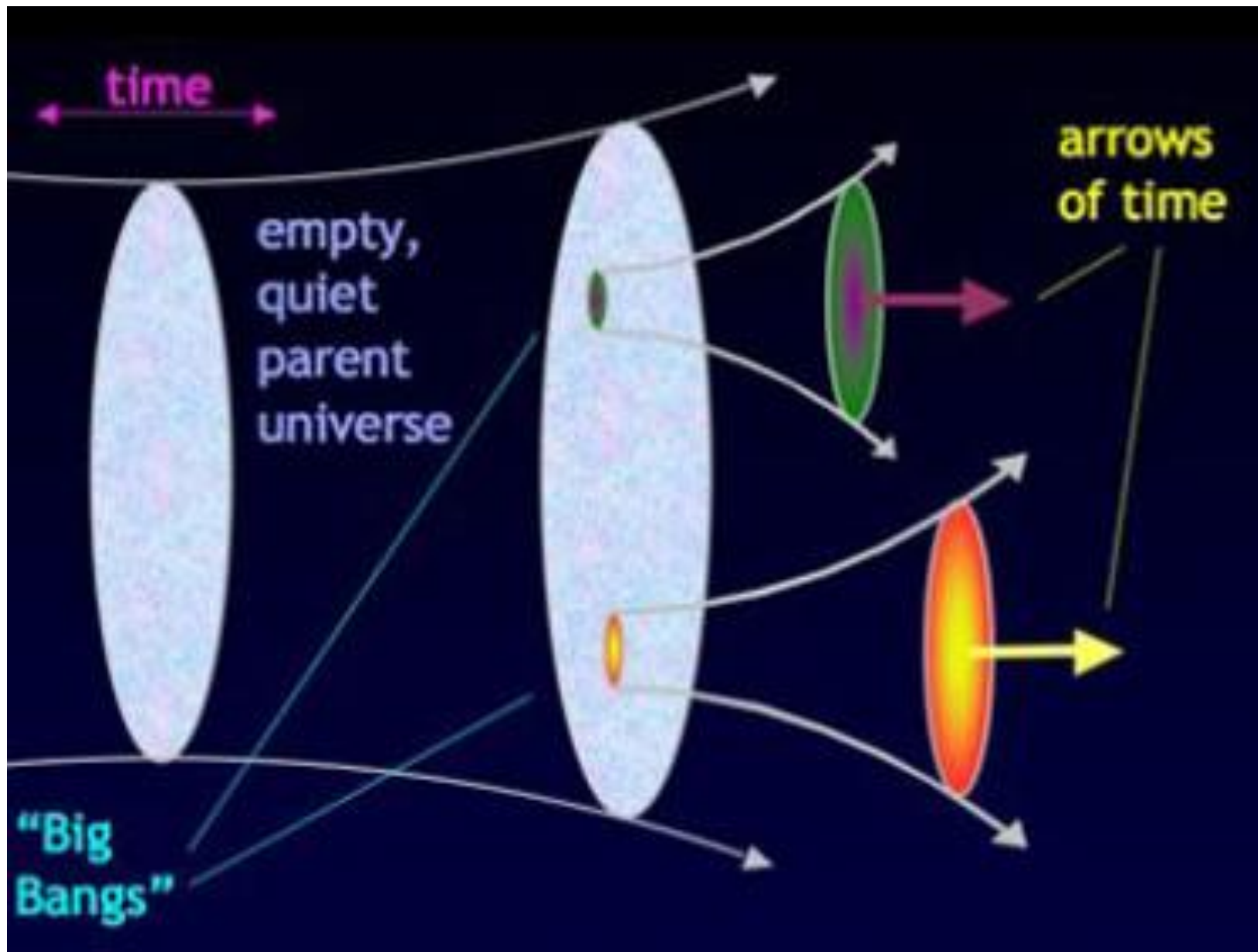
**The earth is more  
than just a home,  
it's a living system  
and we are part of it.**

**- James Lovelock -**





**VERS UN BIO-MULTIVERS ?**





# DEFI 3: Voyage interstellaire

Le projet STARSHOT envisage dans les décennies à venir d'accélérer (à l'aide de rayons laser synchronisés, situés sur Terre) un nanosatellite jusqu'à une vitesse non négligeable devant la vitesse de la lumière.

Ce nanosat est équipé d'une voile solaire, de caméras et de moyens de communication, le tout faisant moins d'un gramme: les nanotechnologies permettront probablement cette prouesse dans les années à venir ...

Le nanosat et les stations de suivi sur Terre sont équipés d'horloges identiques et synchronisées à un  $t=0$  correspondant au moment où le nanosat quitte la Terre.

Toutes les 24 heures, le nanosat envoie un bip lumineux en direction de la Terre (ainsi que des images de son périple).

Sur Terre, tous ces bips sont reçus, mais l'intervalle entre 2 bips est de 10 jours !

*L'objectif du nanosat est d'atteindre une planète extrasolaire située à 5 années lumières de la Terre. Quel temps indiquera l'horloge du nanosat lorsqu'il aura atteint la planète ? Et l'horloge terrestre ?*





# MERCI !

*du Big-Bang aux Bio-Univers*

C2+. 22 Mars 2018. Saint Pierre

<http://www.laurentgautret.sitew>