

## Résumé

Suite à l'annonce récente d'une découverte faite par l'équipe de BICEP2, j'ai décidé de rédiger un petit article récapitulant les liens entre cette découverte et la création divine. En effet, il est souvent argumenté que la découverte de BICEP2 appuie l'existence d'une inflation primordiale. Cette inflation, en plus de résoudre quelques questions de physique difficiles, impliquerait un multivers. Dans un multivers, de nombreux univers différents apparaîtraient ce qui rendrait l'existence d'un univers aussi élégant que le nôtre certaine. En d'autres termes, un tel multivers est censé expliquer l'ajustement fin des lois de la physique. Il semblerait donc que cette découverte élimine un argument en faveur de l'existence de Dieu.

Dans ce court article, je vais tenter d'expliquer un peu de quoi il retourne sur ces différents points. En particulier, je détaillerai la relation entre l'inflation et le multivers. En ce qui concerne la relation avec l'apologétique, je soutiens que cette découverte change peu ou pas l'argumentation de l'ajustement fin. J'essaierai notamment de montrer quelques limites de l'explication de l'ajustement fin par le multivers.

## 1 Introduction

Récemment, les médias se sont enthousiasmés à l'annonce d'une découverte faite par l'équipe de l'expérience BICEP2 [1]. Les articles à ce sujet foisonnent (par exemple [5], [6] ou encore [7]) et déjà beaucoup ont discuté de ces résultats (voir par exemple [2] ou bien [4]). Mais surtout certains en tirent des conclusions sur la genèse de l'univers et sur notre (manque d') importance dans l'univers (comme dans [3]).

Par rapport à tout ce tapage médiatique et toutes les idées véhiculées à ce sujet, il m'a semblé nécessaire d'écrire un article à ce sujet. Avant de continuer cependant, je vous invite à la clémence vis-à-vis de toute erreur que vous croyez percevoir. C'est un sujet difficile qui, bien que proche de ma spécialisation, n'est pas mon domaine d'expertise. Sur ce, commençons sans plus attendre.

Dans les deux premières parties, je vais surtout donner un rapide cours de rattrapage en physique et plus précisément en cosmologie primordiale. Je conçois que cela peut étonner au premier abord, d'autant plus que la pertinence de ce que j'évoque n'est pas forcément évidente. Je vous invite à endurer mes propos jusqu'à la troisième partie qui devrait vous éclairer. Dans la première partie, mon but est de vous exposer, très succinctement, ce que l'on considère comme connu aujourd'hui et qui est nécessaire à la compréhension du résultat de BICEP. En seconde partie, j'expliquerai ce que l'équipe prétend<sup>1</sup> avoir détecté et son lien avec l'inflation. Et c'est donc seulement en troisième partie que je détaillerai les liens avec les questions

1. Il peut sembler que j'utilise des expressions très prudentes. En effet, tant qu'aucune équipe indépendante n'a confirmé le résultat, je préfère rester au conditionnel.

d'ajustement fin et donc du multivers. Enfin, je conclurai sur mes propres réflexions et ce qu'il me semble être la bonne attitude à avoir par rapport à ces résultats.

## 2 Rappels “élémentaires” sur le fond diffus cosmologique

Récapitulons rapidement la compréhension actuelle de la cosmologie : l'univers grandit. On dit qu'il y a expansion de l'univers. Cette expansion suit des lois relativement bien établies (données par la relativité générale) qui prédisent que par le passé, l'univers était beaucoup plus dense et chaud. En fait à une certaine époque, l'univers était tellement chaud que les atomes ne pouvaient se former, les électrons restant ainsi libres. Cela a une conséquence intéressante : ils interagissaient très fortement avec la lumière, à tel point que l'univers était opaque. Ainsi, jusqu'à vers 380 000 ans après sa naissance, l'univers resta sombre. Mais, lorsque les électrons ont été capturés par les noyaux atomiques (ce que l'on appelle la recombinaison), la lumière a été libérée, en gardant toutefois une empreinte de cet âge sombre.

Du coup, l'univers est aujourd'hui rempli d'un rayonnement électromagnétique, appelé soit fond micro-onde (assez rarement) soit fond diffus cosmologique (appellation à préférer) ou encore rayonnement fossile (on l'entend souvent). Ce dernier nom fait directement référence à son origine : il s'agit d'une marque, d'un fossile, de comment était l'univers 380 000 ans après sa naissance.

Ce fond diffus constitue, aujourd'hui, les plus vieilles données que nous avons sur l'univers. Il ne faut cepen-

dant pas croire qu'il est impossible de savoir quoi que ce soit sur ces 380 premiers milliers d'années. En effet, si vous possédiez uniquement une photographie de moi aujourd'hui, vous pourriez tout de même savoir que j'ai eu une nuit agitée en constatant le bouton de moustique sur mon bras. De la même manière, on peut déduire quelques informations de ce fond sur l'état antérieur de l'univers via ce fond diffus.

### 3 Qu'a détecté BICEP2 ?

Afin d'élucider ce passé, nous devons étudier l'univers dans son ensemble. Mais pour étudier un sujet aussi compliqué que l'univers entier, nous physiciens devons faire des hypothèses simplificatrices. En particulier, nous supposons l'univers homogène<sup>2</sup> et isotrope<sup>3</sup>. Bien qu'il soit possible de relâcher un peu ces hypothèses, nous restons contraints d'en faire certaines, assez proches, pour pouvoir finir les calculs.

Mais vous l'aurez remarqué, l'univers n'est ni homogène ni isotrope. Au mieux, il ne peut l'être qu'aux grandes échelles. Aussi, il faut étudier l'influence de petites variations par rapport à cet univers homogène. C'est ce qu'on appelle l'étude des perturbations ou bien une étude perturbative. Il y a trois types de perturbations : scalaires, vectorielles et tensorielles<sup>4</sup>. Les perturbations tensorielles sont particulièrement intéressantes puisqu'elles permettent d'explorer ce qui est particulier au champ gravitationnel.

Or ces perturbations tensorielles ont un effet connu sur le fond diffus cosmologique : cela génère des modes B en polarisation<sup>5</sup>. Ces modes B sont interprétés comme la marque de perturbations gravitationnelles (encore appelées ondes gravitationnelles). Et c'est le signal que l'équipe de BICEP prétend avoir détecté à  $5\sigma$ <sup>6</sup>.

Il reste à noter cependant que ces modes B peuvent avoir d'autres origines (entre autres : perturbations par des blocs de matière et des champs magnétiques intenses). Ces origines sont bien sûr considérées mais il semble qu'aucune ne puisse expliquer le signal observé, en tout cas un signal aussi fort. Et d'ailleurs, c'est bien la force du signal qui est surprenante : même pour des ondes gravitationnelles, cela est colossal. Il y a très peu de sources théoriquement capables de générer des ondes gravitationnelles aussi importantes. En fait, à ce jour, il n'y a qu'une source vraiment considérée comme possible bien que quelques articles suggèrent d'autres possibilités (comme par exemple

2. L'univers a les mêmes propriétés en tout point. Par exemple, le contenu en matière est le même en chaque point.

3. L'univers a les mêmes propriétés en toute direction. Par exemple, il n'y a pas de rotation globale de l'univers

4. Cette classification est un peu technique et correspond *grosso modo* au nombre de direction nécessaire *localement* pour décrire la perturbation. Une perturbation scalaire n'en a besoin d'aucune, une perturbation vectorielle d'une et une perturbation tensorielle de deux.

5. Voir [22] pour une explication précise de ces modes.

6. Avoir une mesure confirmée à  $5\sigma$  signifie que la probabilité d'avoir un signal aussi fort sans aucune source, et donc uniquement par hasard, est inférieure à  $\frac{1}{1744278}$ . Consultez [23] pour plus de détails.

[8]). Cette source s'appelle l'inflation cosmique<sup>7</sup>.

L'inflation cosmique est censée avoir eu lieu dans les tous premiers instants de l'univers. Bien que faisant partie du modèle standard du big bang, cette époque n'était confirmée jusqu'à présent que par des preuves indirectes (la platitude de l'univers, l'absence de monopoles reliques, le problème de l'horizon et le spectre de puissance du fond diffus, voir [14]). À cette époque l'univers aurait grandi à une vitesse titanesque (exponentiellement avec le temps). L'existence d'ondes gravitationnelles provoquées par un tel phénomène avait été prédite et a donc possiblement été détectée par BICEP2.

### 4 L'inflation cosmique et le multivers

Il est cependant très difficile d'imaginer un mécanisme pour l'inflation, la plupart de ceux qui ont été proposés produisant une inflation qui ne s'arrête jamais. C'est évidemment un problème, l'inflation n'ayant pas lieu aujourd'hui, sauf si l'inflation s'arrête localement, c'est-à-dire que certaines zones de l'univers voient leurs expansions ralentir, créant des bulles sans inflation. Cela a donné naissance aux modèles d'inflation éternelle [9] dans lesquels l'univers total poursuit son inflation alors que pour de petites bulles, l'expansion ralentit, ces bulles devenant alors ce que nous percevons comme des univers distincts. Nous serions donc dans l'une de ces bulles.

En pratique, ces bulles se comportant comme des univers indépendants, l'univers total est rebaptisé multivers, terme très répandu dans la presse. Les univers bulles, quant à eux, peuvent être très différents les uns des autres, jusqu'à même parfois avoir des lois physiques effectives différentes (voir [15] pour la classification des multivers).

Par ailleurs, l'univers visible semble adapté à la vie (de manière évidente puisque nous sommes là). Cela est très peu probable et est donc baptisé le problème de l'ajustement fin (pour la vie)<sup>8</sup>. Cela dit, si il existe un mécanisme pour générer suffisamment d'univers différents, un univers adapté à la vie finira par être produit. On peut faire un parallèle avec le loto par exemple : chaque joueur individuellement a peu de chance de gagner mais étant donné le grand nombre de participants, il est presque certain que l'un d'entre eux remportera la cagnotte. Concernant le multivers, les êtres intelligents ne pouvant exister que dans des univers compatibles avec la vie, ils auront nécessairement l'impression d'être dans un univers qui leur est adapté. Si le multivers existe, l'ajustement fin apparent n'est donc pas surprenant.

L'argument est en fait un peu trop simple et un autre problème pernicieux apparaît. Dans les univers non adaptés à la vie, celle-ci peut apparaître par hasard pur, y compris des êtres intelligents (baptisés cerveaux de Boltz-

7. Qui n'a bien sûr rien à voir avec l'inflation monétaire.

8. Pour explorer plus le sujet de l'ajustement fin de l'univers, vous pouvez consulter [17] pour un article relativement détaillé et aussi [16] pour une introduction plus légère. Pour un document un peu plus technique - et neutre quant aux conclusions - vous pouvez consulter [11].

mann). Or il est beaucoup plus facile d'obtenir de tels cerveaux que d'obtenir un univers adapté à la vie. En ce qui concerne le multivers, c'est un problème puisque une vaste majorité des univers produits contiendront des observateurs mais ceux-ci ne seront pas dans des univers adaptés pour eux. Les probabilités sont difficiles à évaluer précisément, mais le problème est reconnu comme réel. Certains mécanismes ont même été proposés (voir [21]) pour résoudre la situation, mais ils ont souvent tendance à repousser le problème d'un niveau (voir [19]). Cela paraît assez intuitif : un mécanisme capable de produire une chose bien ajustée est très spécial parmi l'ensemble des mécanismes possibles. Pour l'instant en tout cas, il semble que pour éliminer l'ajustement fin de notre univers, il faille ajuster finement les lois du multivers.

## 5 Conclusion

J'aimerais désormais revenir sur les problèmes supposés produits par la découverte de BICEP2. On entend traditionnellement trois points à ce sujet :

1. *L'inflation permet un univers éternel et réfute la création ex-nihilo.*

C'est plus qu'une extrapolation. Il y a certes quelques modèles d'univers éternel sans commencement, mais ils sont rarement liés à l'inflation. Les modèles d'inflation éternelle ne sont éternels que dans le futur. De plus, de telles théories rencontrent d'énormes difficultés soulignées par le théorème Borde-Guth-Vilenkin [24]. Seul le modèle de Sean Carroll est vraiment lié à cette question mais dire qu'il est spéculatif est un euphémisme. En règle générale, on considère que seuls les effets quantiques peuvent permettre à l'univers d'éviter la singularité initiale. Mais cela n'est pas relié (en tout cas directement) à l'inflation.

2. *Le multivers montre une nouvelle fois qu'il n'y a pas de dessein dans l'univers. Seul un concours de chance et de sélection est nécessaire pour expliquer l'apparence de dessein.*

Comme je l'ai déjà évoqué, le problème est déjà très loin d'être aussi simple à cause des cerveaux de Boltzmann. De plus, il y a des arguments récents (et donc, il faut le rappeler, pas encore attestés par l'ensemble de la communauté) qui montrent que la situation est encore plus compliquée. En particulier, Robin Collins argumente que l'univers est ajusté pour la technologie et la découvrabilité de l'univers lui-même [20]. Ce type d'ajustement fin, s'il est confirmé, n'est pas expliqué par un multivers. Indépendamment de ces points, le sujet du dessein et du multivers a déjà été traité<sup>9</sup> et il est loin d'être évident que le dessein disparaît.

3. *Le multivers nous retire encore une fois notre statut privilégié en reléguant notre univers au rang de "un parmi d'autre".*

Cet argument m'a toujours laissé froid puisque aussi

bien quantitativement que qualitativement, la situation n'est pas différente de celle d'un univers infini spatialement. Le problème soit existait déjà soit n'a jamais existé.

Enfin bien que les médias soient prêts à toujours enfler certaines nouvelles, je tiens à mesurer la découverte qui a été faite :

1. Les mesures effectuées sont certes intrigantes pourtant elles ne sont pas encore confirmées, ni au niveau des données brutes (par une expérience indépendante) ni au niveau de l'interprétation (par une autre équipe).
2. L'interprétation en particulier est à souligner. Il est encore possible que d'autres phénomènes expliquent le signal.
3. Au mieux, c'est l'inflation qui a été prouvée pour l'instant, pas son mécanisme et donc pas le multivers. Il est possible que d'autres mécanismes prédisent une inflation sans multivers<sup>10</sup>.
4. Pour être tout à fait honnête, si l'inflation était prouvée, la plupart des physiciens accepterait le mécanisme proposé et donc l'existence d'un multivers. Pourtant il reste à montrer que c'est le bon type de multivers (multivers de type II). Dans un multivers de type I, en effet, les lois de la physique sont les mêmes d'un univers à l'autre.

Je ne voudrais pas trop réduire l'accomplissement de l'équipe de BICEP2. Si leur travail est confirmé, il s'agit vraiment d'une grande découverte. Cependant, je pense qu'il est bon de se rappeler que la science va globalement moins vite que les médias et donc une bonne mesure de prudence me semble de mise.

Je dois avouer ici mes inclinations personnelles : je ne trouve pas l'idée de multivers particulièrement convaincante, c'est pourquoi j'ai tendance à appuyer sur ce point. Il reste que ma conclusion est inchangée : en admettant toute la chaîne argumentative, en admettant même l'existence du multivers, je pense que cela n'a pas (ou peu) de conséquence sur la foi chrétienne. Il y a probablement des implications théologiques intéressantes<sup>11</sup> mais rien qui ne remette en cause l'existence de Dieu ou la doctrine de la création *ex-nihilo*.

En conclusion, si un tel résultat est confirmé, seule l'impression de dessein est diminuée et elle l'est probablement plus par le tapage médiatique que par de vrais arguments. Il est même possible que le dessein soit en fait plus grand, même s'il est plus difficile de l'apprécier. Et Dieu, quant à lui, se porte très bien et ne craint rien quant à son existence.

10. Mon préféré est l'inflation causée par la torsion [12, 13], mais je n'ai pas vu de comparaison avec les résultats de BICEP2.

11. J'ai entendu certains amis spéculer sur la possibilité que le paradis soit ainsi un autre univers. Je ne suis pas aussi enthousiaste qu'eux, même c'est une possibilité.

9. Voir [18] pour une introduction tout public

## Références

- [1] BICEP2 COLLABORATION et al. « BICEP2 I : Detection Of B-mode Polarization at Degree Angular Scales ». Dans : *ArXiv e-prints* (mar. 2014). arXiv :1403.3985 [astro-ph.CO].
- [2] Sean CAROLL. *Gravitational Waves in the Cosmic Microwave Background*. URL : <http://www.preposterousuniverse.com/blog/2014/03/16/gravitational-waves-in-the-cosmic-microwave-background/>.
- [3] Christophe DORÉ. « Incroyable découverte sur la genèse de l'Univers ». Dans : *Le Figaro* (2014). URL : <http://www.lefigaro.fr/sciences/2014/04/03/01008-20140403ARTFIG00209-incroyable-decouverte-sur-la-genese-de-l-univers.php>.
- [4] Philip GIBBS. *How certain are BICEP2 findings?* URL : <http://blog.vixra.org/2014/03/20/how-certain-are-the-bicep2-findings/>.
- [5] David LAROUSSERIE. « Depuis le pôle sud, des échos du Big Bang ». Dans : *Le Monde* (2014). URL : [http://www.lemonde.fr/sciences/article/2014/03/17/des-physiciens-observent-les-premiers-instants-de-l-univers\\_4384658\\_1650684.html](http://www.lemonde.fr/sciences/article/2014/03/17/des-physiciens-observent-les-premiers-instants-de-l-univers_4384658_1650684.html).
- [6] David LAROUSSERIE. « Ondes gravitationnelles, Einstein et inflation ». Dans : *Le Monde(blog)* (2014). URL : <http://alasource.blog.lemonde.fr/2014/03/19/ondes-gravitationnelles-einstein-et-inflation/>.
- [7] Tristan VEY. « Big Bang : les ondes gravitationnelles d'Einstein enfin détectées ». Dans : *Le Figaro* (2014). URL : <http://www.lefigaro.fr/sciences/2014/03/17/01008-20140317ARTFIG00366-les-ondes-gravitationnelles-d-einstein-enfin-detectees.php>.
- [8] James B. DENT, Lawrence M. KRAUSS et Harsh MATHUR. « Killing the Straw Man : Does BICEP Prove Inflation? » Dans : *ArXiv e-prints* (2014). arXiv :1403.5166 [astro-ph.CO].
- [9] Alan H. GUTH. « Eternal inflation and its implications ». Dans : *J.Phys.* A40 (2007), p. 6811–6826. DOI : 10.1088/1751-8113/40/25/S25. arXiv :hep-th/0702178 [HEP-TH].
- [10] Jun-Qing XIA et al. « Evidence for bouncing evolution before inflation after BICEP2 ». Dans : *ArXiv e-prints* (2014). arXiv :1403.7623 [astro-ph.CO].
- [11] L. A. BARNES. « The Fine-Tuning of the Universe for Intelligent Life ». Dans : *PASA* 29 (juin 2012), p. 529–564. DOI : 10.1071/AS12015. arXiv :1112.4647.
- [12] Tomoki WATANABE. « Dirac-field model of inflation in Einstein-Cartan theory ». Dans : *ArXiv e-prints* (2009). arXiv :0902.1392 [astro-ph.CO].
- [13] L.C. GARCIA DE ANDRADE. « Criteria for de Sitter inflation in Einstein-Cartan cosmology and COBE data ». Dans : *ArXiv e-prints* (2000). arXiv :gr-qc/0003076 [gr-qc].
- [14] WIKIPEDIA. *Inflation (cosmology)*. [Online; accessed 27-April-2014]. 2014. URL : [http://en.wikipedia.org/wiki/Inflation\\_\(cosmology\)#Motivations](http://en.wikipedia.org/wiki/Inflation_(cosmology)#Motivations).
- [15] M. TEGMARK. « The Multiverse Hierarchy ». Dans : *ArXiv e-prints* (mai 2009). arXiv :0905.1283 [physics.pop-ph].
- [16] Robin COLLINS. « The Fine-tuning Design Argument ». Dans : *Reason for the Hope Within* (1999). [Updated version online]. URL : <http://home.messiah.edu/~rcollins/Fine-tuning/RevisedVersionofFine-tuningforanthology.doc>.
- [17] Robin COLLINS. « The Evidence for Fine-tuning ». Dans : *God and Design : The Teleological Argument and Modern Science* (2003). URL : <http://home.messiah.edu/~rcollins/Fine-tuning/TheEvidenceforFine-tuning.rtf>.
- [18] William L. CRAIG. *Multiverse and the Design Argument*. [Online]. 2006. URL : <http://www.reasonablefaith.org/multiverse-and-the-design-argument>.
- [19] Robin COLLINS. « Design and the Many-Worlds Hypothesis ». Dans : *Philosophy of Religion : A Reader and Guide* (2002). URL : <http://www.lastseminary.com/multiverse-theories/DesignandtheMany-WorldsHypothesis.pdf>.
- [20] Robin COLLINS. *The Fine-Tuning for Discoverability*. [presented at the Greer-Heard Point-Counterpoint Forum]. 2014. URL : <http://home.messiah.edu/~rcollins/Fine-tuning/Greer-HeardForumpaperdraftforposting.pdf>.
- [21] Sean M. CARROLL et Jennifer CHEN. « Spontaneous inflation and the origin of the arrow of time ». Dans : (2004). arXiv :hep-th/0410270 [hep-th].
- [22] Wayne HU. *Electric and Magnetic Modes*. URL : <http://background.uchicago.edu/~whu/polar/webversion/node8.html>.
- [23] WIKIPEDIA. *Standard deviation*. [Online; accessed 11-May-2014]. 2014. URL : [http://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_deviation#Rules\\_for\\_normally\\_distributed\\_data](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_deviation#Rules_for_normally_distributed_data).
- [24] Arvind BORDE, Alan H. GUTH et Alexander VILENKIN. « Inflationary space-times are incomplete in past directions ». Dans : *Phys.Rev.Lett.* 90 (2003), p. 151301. DOI : 10.1103/PhysRevLett.90.151301. arXiv :gr-qc/0110012 [gr-qc].