

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE** EN TOUTE LIBERTÉ

NOUVELLE
FORMULE



FORMULE
PASSION
-28%



FORMULE
DÉCOUVERTE
-25%

FORMULE
INTÉGRALE
-42%



8,20€*



6,50€*



4,90€*

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ OUI, JE M'ABONNE À **POUR LA SCIENCE** EN PRÉLÈVEMENT AUTOMATIQUE, JE CHOISIS MA FORMULE ET JE COMPLÈTE L'AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT CI-DESSOUS.

☐ FORMULE **INTÉGRALE**
12 n° de Pour la Science + 4 Hors-Séries
+ Accès illimité aux archives en ligne depuis 1996

8,20€
Par mois
-42%
IPV8E20

☐ FORMULE **PASSION**
12 n° de Pour la Science
+ 4 Hors-Séries

6,50€
Par mois
-28%
PPV6E50

☐ FORMULE **DÉCOUVERTE**
12 n° de Pour la Science

4,90€
Par mois
-25%
DPV4E90

MES COORDONNÉES

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____

Code postal _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____ @ _____

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA

PAS479P

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) _____

IBAN _____

(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Date et signature

Organisme Créancier : Pour la Science
170 bis, bd. du Montparnasse - 75014 Paris
N° ICS FR92ZZZ426900
N° de référence unique de mandat (RUM)

Merci de joindre impérativement un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

* Par mois et par rapport au prix de vente en kiosque, l'accès numérique aux archives. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/12/2017 en France métropolitaine. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à Pour la Science. Votre abonnement en prélèvement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre. Photos non contractuelles.

**SÉBASTIEN
RENAUX-PETEL**

est chercheur du CNRS dans le groupe Physique théorique : gravitation et cosmologie de l'IAP (Institut d'astrophysique de Paris). Il est spécialiste de l'inflation cosmique.



L'inflation cosmologique reste le scénario le plus satisfaisant

INGRÉDIENT ESSENTIEL DE LA THÉORIE MODERNE DU BIG BANG ET DES SPÉCULATIONS SUR LES UNIVERS MULTIPLES, L'INFLATION COSMIQUE EST UNE IDÉE QUI AGITE ENCORE BEAUCOUP LES THÉORICIENS. POURQUOI? LES EXPLICATIONS DE SÉBASTIEN RENAU-PETEL.

Qu'est-ce que l'inflation cosmique ?

Sébastien Renaux-Petel : Il y a 13,7 milliards d'années, l'Univers aurait connu une phase d'expansion extrême, les distances dans le cosmos ayant été multipliées par environ 10^{30} en une fraction de seconde. L'idée de cette « inflation » a été introduite dans les années 1980 pour résoudre divers problèmes liés à la théorie du Big Bang.

De quels problèmes s'agissait-il ?

La théorie du Big Bang dans sa forme moderne a été développée durant l'après-guerre, notamment par George Gamow. En partant des observations d'Edwin Hubble montrant que l'Univers est en expansion, Gamow et ses collègues ont conclu que l'Univers était plus chaud et plus dense par le passé. Ils ont alors compris que lorsque l'Univers n'avait que quelques minutes, les protons et les neutrons se sont liés pour former les noyaux atomiques des éléments les plus légers (hydrogène, hélium...). Environ 380 000 ans plus tard, les électrons et les noyaux se sont assemblés pour former des atomes neutres, ce qui a permis à la lumière de se propager. Cette lumière originelle devait laisser sa trace sous la forme d'un rayonnement, le « fond diffus cosmologique ».

Les observations ont confirmé ces prédictions du modèle du Big Bang. Le fond diffus cosmologique a été observé pour la première fois par les Américains Arno Penzias et Robert Wilson en 1964. Ils ont montré qu'il est uniforme à travers tout le ciel et que son spectre correspond à celui d'un corps noir chauffé à 2,7 kelvins (Gamow et ses collègues avaient calculé une valeur de 5 kelvins).

Or cette homogénéité à grande échelle pose problème, car, compte tenu du taux d'expansion de l'Univers, on montre que des régions du fond diffus séparées de plus de deux degrés sur la voûte céleste n'ont jamais pu être en contact. Elles n'ont donc pas de raison d'être à la même température, à moins de supposer que l'état initial de l'Univers était extrêmement uniforme, ce qui n'est pas très naturel. D'où l'idée de l'inflation.

Comment l'inflation résout ce problème ?

Si l'on suppose que l'Univers a connu une gigantesque expansion avant les ères décrites par le modèle conventionnel du Big Bang, les régions du ciel qui ne sont pas causalement liées sans l'inflation le deviennent. L'inflation apporte aussi une réponse à une autre difficulté : le fait que la géométrie spatiale de l'Univers soit euclidienne à grande échelle. Une telle géométrie suppose un ajustement très fin des conditions initiales de l'Univers. Avec l'inflation, cette géométrie devient naturelle. On illustre souvent cette idée avec l'image d'un ballon de baudruche que l'on gonfle. Un petit élément de

la surface du ballon dégonflé est lissé et devient presque plat lorsque le ballon se remplit d'air.

L'idée de l'inflation conduit-elle aussi à des prédictions ?

Les premiers physiciens qui ont travaillé sur cette idée, dans les années 1980, ont montré que les fluctuations quantiques qui ont lieu pendant l'inflation seraient amplifiées. Elles formeraient des zones de surdensité, où vont naître les galaxies et les amas de galaxies. Plus important, ces fluctuations seraient aussi visibles dans le fond diffus cosmologique comme de petits écarts à la température moyenne de 2,7 kelvins, fluctuations que l'on n'avait pas encore observées.

Les chercheurs avaient aussi prédit certaines caractéristiques de ces fluctuations. Notamment, elles devaient être statistiquement corrélées et presque invariantes d'échelle (il y a presque autant de fluctuations aux petites échelles qu'aux grandes). Ces fluctuations ont été découvertes en 1992 par le satellite COBE, puis elles ont été mesurées avec une grande précision surtout par les satellites WMAP et Planck. Ces fluctuations sont de l'ordre de 10^{-5} par rapport à la température moyenne et présentent les propriétés prévues.

Quel serait le mécanisme de l'inflation ?

L'ingrédient fondamental du scénario inflationnaire est ce qu'on nomme un champ quantique scalaire. Un champ scalaire est un objet mathématique qui associe une valeur à chaque point de l'espace et à chaque instant. La carte des températures est un exemple de champ scalaire... non quantique !

Le seul champ quantique scalaire fondamental que l'on connaisse aujourd'hui est celui associé au boson de Higgs. Mais supposons l'existence d'un autre champ scalaire qui remplit l'Univers primordial. Comme il contient une certaine énergie, d'après les équations de la relativité générale, il participe à la dynamique de l'Univers. Cette énergie a deux formes. L'une, cinétique, est liée aux variations de la valeur du champ au cours du temps ; l'autre, potentielle, dépend de la valeur du champ suivant une certaine fonction que l'on nomme le potentiel. On montre que, pour qu'il y ait inflation, le potentiel doit être horizontal : l'énergie potentielle est alors constante et, le champ ne variant pas, l'énergie cinétique est nulle.

Si le potentiel est complètement plat, l'Univers reste en inflation. Comment en sortir ? Une solution est de supposer que le potentiel diminue d'abord légèrement quand la valeur du champ augmente (voir la figure page 38). La valeur du champ scalaire augmente alors lentement et l'énergie potentielle diminue. Lors de ce « roulement lent », l'énergie cinétique est encore négligeable, et cette phase correspond ➤