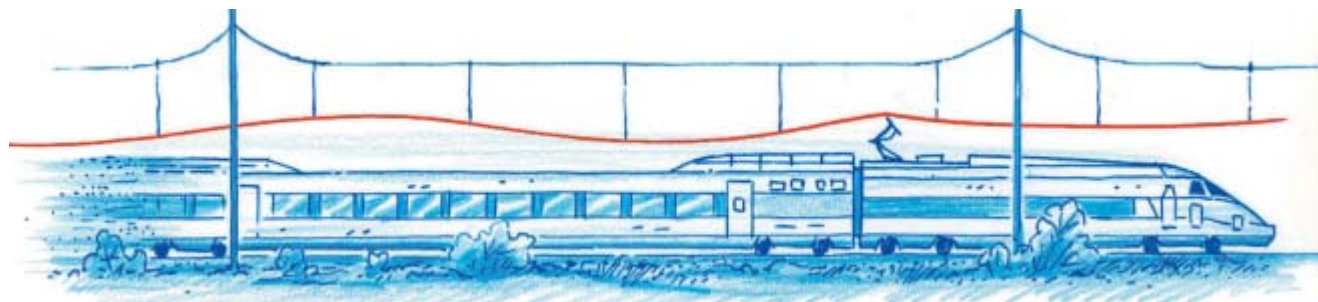




La motrice d'un TGV est alimentée en courant électrique par l'intermédiaire du pantographe, un bras articulé conçu pour soulever le câble électrique suspendu au-dessus du train (la caténaire). Après le passage du TGV, la déformation imposée par le pantographe engendre des oscillations de ce câble, d'autant plus nocives que la vitesse du TGV est proche de la vitesse de propagation des

ondes mécaniques dans la caténaire (500 kilomètres par heure) : à cette vitesse l'onde est stationnaire par rapport au train et les déformations de la caténaire détachent celle-ci du pantographe, ce qui coupe l'alimentation en électricité. La SNCF limite pour cette raison la vitesse des TGV à 70 pour cent de la vitesse de propagation, c'est-à-dire à 350 kilomètres par heure.

de propagation des ondes mécaniques est proche de 500 kilomètres par heure, un bon captage de l'électricité n'est possible que si le TGV ne dépasse pas 470 kilomètres par heure. La SNCF a d'ailleurs spécifié que, lors des trajets normaux, la vitesse de ses TGV ne devait jamais excéder 70 pour cent de la vitesse de propagation des ondes le long de la caténaire. Pour franchir la barre symbolique des 500 kilomètres sur rails il faut donc augmenter la vitesse de propagation des ondes mécaniques le long de la caténaire. Pour y parvenir, les ingénieurs avaient le choix entre deux solutions : abaisser la masse par unité de longueur de la caténaire ou augmenter sa tension. La première solution imposait de changer de matériau ; moins dense que le cuivre, le cadmium aurait fait l'affaire. Cependant, le temps disponible pour préparer le record de vitesse ne suffisait pas pour concevoir, fabriquer et tester des caténaires d'un nouveau type. Aussi, les ingénieurs ont-ils choisi d'augmenter la tension de la caténaire. Après des tests de résistance des installations en place, la caténaire a été retendue sous une plus forte tension, 3 000 décanewtons. Cette précaution a porté la vitesse de propagation des ondes mécaniques à 532 kilomètres par heure sur tout le tronçon du record. Finalement, le 18 mai 1990, la rame 325 a pu atteindre la vitesse record de 515,3 kilomètres par heure. Conformément à ce qu'avaient prévu les ingénieurs, la caténaire ne se souleva pas plus de 30 centimètres.

## LE MUR DES ONDES DE GRAVITÉ

Si le «mur de la caténaire» semble infranchissable, la plupart des «murs d'ondes» ne le sont pas. Bien avant le mur du son, un autre mur, moins célèbre avait été franchi, dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle, sur les canaux anglais : le «mur des ondes de gravité». Les ondes

de gravité sont, par exemple, les vagues sur la mer ou celles que crée un bateau sur une surface d'eau. Leur formation est un phénomène d'analyse délicate, car la vitesse de propagation de telles vagues varie avec leurs longueurs d'onde, lesquelles dépendent à leur tour de leurs conditions de création.

La situation se simplifie toutefois dans un canal peu profond car la vitesse de propagation de toutes les vagues dont la longueur d'onde est supérieure à la profondeur du canal y est constante ; elle est égale à la racine carrée du produit de la profondeur du canal par l'accélération de la pesanteur.

Dans les canaux de faible profondeur (1,2 mètre) en usage en Angleterre au XIX<sup>e</sup> siècle pour la navigation de barges à fond plat, cette vitesse excède à peine 12 kilomètres par heure. Si le canal est étroit, les ondes en occupent toute la largeur, et le sillage en V habituellement observé à l'arrière des bateaux ne se développe pas. Les ondes prennent naissance à l'avant du bateau et forment plusieurs ondulations qui suivent la poupe de l'embarcation. Ces ondes se déplacent avec la barge, leurs crêtes restant quasi perpendiculaires au bord du canal. Elles ralentissent le bateau qui doit en permanence gravir la vague qu'il crée devant lui, contrairement au surfeur qui profite de l'énergie de la vague qu'il chevauche en la descendant continuellement.

Comme les déformations d'une caténaire, ces ondulations de la surface de l'eau augmentent en amplitude quand s'accroît la vitesse de l'embarcation. Ces oscillations commencent à se briser et à écumer quand le bateau approche de la vitesse de propagation des ondes dans le canal (12 kilomètres à l'heure). Ce phénomène dissipe de l'énergie, ce qui freine encore plus le bateau. Cet effet est toutefois beaucoup moins gênant que les oscillations de la caténaire ou que les effets aérodynamiques à l'approche du mur du son. Le bateau peut continuer à

naviguer malgré l'apparition de ces vagues turbulentes, et si l'on dispose d'un bon cheval, il est même possible de lui faire dépasser la vitesse des vagues.

Dans un savoureux texte de 1844, l'Anglais Scott Russel raconte comment le phénomène fut découvert par hasard dans le canal de Glasgow à Ardrossan. «Un cheval fougueux tirant une barge de William Houston, l'un des propriétaires du canal, prit peur et partit au galop, tirant le bateau avec lui. Il fut observé par Monsieur Houston à son grand étonnement, que les vagues pleines d'écume de la poupe qui dévastaient les rives habituellement avaient disparu ; le bateau semblait porté sur une eau bien plus lisse qui freinait beaucoup moins le bateau. Monsieur Houston eut l'intelligence de reconnaître l'intérêt de cette découverte pour la société exploitant le canal, dont il était actionnaire. Il s'occupa lui-même d'introduire sur le canal des bateaux naviguant à des vitesses pouvant atteindre neuf miles par heure, ce qui augmenta considérablement les bénéfices des propriétaires du canal».

Une fois le «mur de l'onde» passé, les vagues créées par le bateau sont désordonnées et ont une amplitude très faible. L'eau est à nouveau plate devant le bateau et la résistance à l'avancement fortement réduite.

Le grand physicien Rutherford, à qui l'on demandait s'il suivait la mode dans ses recherches en physique, avait déjà répondu : «Je crée la vague, je ne la suis pas...». Comme le batelier de William Houston.

**R. LEHOUCQ** est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA. **J.-M. COURTY** est physicien, chargé de recherche au CNRS.

*La caténaire, au-delà du mur Michel Barberon, L'album des records La vie du rail hors série juin 1990*

*James Lighthill, Waves in Fluids, Cambridge University Press, 1978.*

# Astronomie

## *L'Univers chiffonné*

Jean-Pierre Luminet.  
Éditions Fayard, 2001  
(384 pages, 140 francs).

**J**ean-Pierre Luminet défend depuis plusieurs années une idée originale : l'Univers occuperait un volume plus petit que celui que nous voyons et, s'il donne l'impression de s'étendre au-delà, ce serait une pure illusion d'optique. La forme (la topologie) particulière – «chiffonnée» – de l'espace permettrait à la lumière issue d'une galaxie d'emprunter plusieurs chemins pour parvenir à nos yeux : cet effet créerait de multiples images fantômes de ce même objet qui, plus lointaines, simuleraient un espace plus grand.

D'emblée, l'ouvrage séduit. Le style est clair, précis et agréable. Les ferments de cosmologie redécouvriront avec plaisir des notions familières, et en assimileront de nouvelles avec aisance. L'auteur mêle avec bonheur les explications théoriques au développement des concepts scientifiques et des idées philosophiques. D'anecdotes savoureuses en événements historiques, on apprend toujours quelque chose en lisant Jean-Pierre Luminet. On appréciera le découpage en chapitres courts et indépendants, ainsi que les renvois dans le texte qui permettent d'accéder de façon commode à des sujet précis.

Tandis que la première partie de l'ouvrage présente et défend la thèse du «chiffonnage» de l'Univers, la seconde expose les sujets classiques de cosmologie. Si on apprécie l'analyse des questions d'actualité, on regrettera l'omission des problèmes touchant aux limites de notre physique, comme les singularités ou le problème de la causalité (lors du Big Bang,

aucun signal n'a eu le temps de connecter entre eux les points de l'Univers).

La forme est plaisante, le fond, en revanche, pose des questions communes à nombre d'hypothèses cosmologiques. La réticence principale à la thèse du chiffonnage vient de ce qu'elle échappe à toute contrainte théorique ou physique, donnant en cela le sentiment d'être formulée «gratuitement». L'auteur reconnaît, en toute honnêteté, que la preuve expérimentale de son idée est fort délicate à obtenir. En vérité, il paraît difficile de séparer l'influence de la seule topologie de l'Univers des autres hypothèses sur lesquelles repose l'interprétation des données, car une observation «pure» n'existe pas en cosmologie. Par ailleurs, toute vérification est impossible dans le cas où le rayon de l'Univers réel dépasse le rayon de l'Univers visible (car alors, les images fantômes n'ont pas eu le temps de se former), ce qui limite encore la portée de l'hypothèse.

L'intérêt du modèle chiffonné est qu'il nous permettrait de concevoir que notre Univers soit fini, alors que sa courbure (déduite d'un paramètre de densité  $\Omega$  égal ou légèrement inférieur à un), indiquerait qu'il serait, dans l'interprétation classique, infini (si  $\Omega$  est inférieur à un, la courbure globale de l'Univers est positive et l'Univers est fermé, s'il est inférieur à un, sa courbure est négative et l'Univers est ouvert). L'auteur rappelle utilement que le concept d'infini n'est pas opérationnel en physique, et juge que son modèle d'univers chiffonné fini règle la question. Toutefois, on peut envisager sans aucune incohérence que s'il possède localement une courbure négative, notre Univers pourrait se refermer à plus grande distance, et rester ainsi fini. Dans ce cas, l'hypothèse de l'Univers chiffonné n'a plus d'utilité.

Le problème d'infini ne se présente que dans le cadre des univers homogènes et isotropes, et la critique majeure que j'adresserai à notre auteur est de se cantonner à ce cadre trop strict. Affirmer que l'Univers posséderait à toute échelle les mêmes propriétés que celles qui sont observées sur une dizaine de milliards d'années-lumière me semble infondé. En outre, imposer l'idée d'homogénéité au nom d'un «principe cosmologique» de perfection ne revient-il pas à régresser à une époque vieille de plus de trois siècles, avant que Kepler n'ose désacraliser la figure mythique du cercle ? En bref, si la topologie de l'Univers est fascinante à bien des égards, le physicien pourra légitimement estimer que ce problème ne se pose pas pour le monde réel.

Christian MAGNAN,

Groupe de recherche en astronomie-astrophysique du Languedoc



ESO

Parmi ces milliers de galaxies prises au VLT (Very Large Telescope) au Chili, les plus rouges sont (en moyenne) les plus éloignées, les plus bleues, les plus proches. Mais les sources les plus lointaines sont-elles des galaxies réellement situées à plus grande distance ou, selon la théorie de l'univers chiffonné, des images fantômes de galaxies plus rapprochées ?