



Muséum national
d'Histoire naturelle

Écologie acoustique



des chiroptères d'Europe

Identification des
espèces, études de
leurs habitats et
comportements
de chasse

Michel Barataud

Animaux nocturnes, les chiroptères ont développé un système de repérage dans l'espace du type sonar. Inaudibles à l'oreille humaine, les cris des chauves-souris peuvent être perçus, enregistrés et analysés grâce à différents appareils et logiciels.

Cet ouvrage dresse le bilan des connaissances acquises par l'auteur depuis plus de vingt ans en matière de détection ultrasonore. Aux premières approches, purement auditives, il ajoute une autre dimension : l'identification par l'analyse informatique des ultrasons. Grâce aux détecteurs de plus en plus performants et à l'analyse informatique, la méthode décrite permet d'identifier en Europe environ 85 % des contacts acoustiques, de mener des inventaires et d'entreprendre des études toujours plus fines sans perturber les animaux. Ce livre traite 33 des 42 espèces de chauves-souris européennes.

DVD en supplément

Vous y trouverez les échantillons sonores illustrant la méthode ainsi que les fichiers (graphiques) nécessaires à l'identification des espèces.



ISBN : 978-2-85653-685-8

format 170 x 245 mm • impression quadri
nombreuses photos • DVD • 344 p. • 49,90 € TTC

ouvrage en vente dans la librairie des Publications
Scientifiques face à la Grande Galerie de l'Évolution

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES DU MUSÉUM

Commandes et renseignements :

Muséum national d'Histoire naturelle
Publications scientifiques
Case postale 41 • 57 rue Cuvier • 75231 Paris cedex 05
Tél. : 01 40 79 48 05 • Fax : 01 40 79 38 40
diff.pub@mnhn.fr • <http://www.mnhn.fr/pubsci>

de ces composants microscopiques susceptibles de prendre différents états reste inconnue. Appelés « degrés de liberté », ils devraient être décrits dans le cadre d'une théorie quantique de la gravitation.

De prime abord, l'espace à deux dimensions semble peu prometteur pour chercher des réponses à ces questions. En 1963, le physicien polonais Andrzej Staruszkiewicz a déterminé une loi de la gravitation en deux dimensions en appliquant la relativité générale. Alors qu'en trois dimensions, la présence d'un objet massif courbe doucement l'espace-temps, en deux dimensions, elle tord l'espace pour former un « cône » centré sur l'objet, comme un « cornet de frites » fait d'une feuille de papier enroulée (voir l'encadré page 74). Un petit objet qui passe près du sommet du cône voit sa trajectoire défléchie, de la même façon que le Soleil courbe la trajectoire d'une comète. En 1984, le Hollandais Gerard 't Hooft et les Américains Stanley Deser et Roman Jackiw ont déterminé comment des particules quantiques (c'est-à-dire représentées par des fonctions d'onde) se déplaceraient dans un tel espace.

La déformation de l'espace bidimensionnel qu'induit la gravitation est beaucoup plus simple que le motif complexe de courbure qu'elle crée dans notre Univers tridimensionnel : la géométrie du cône reste essentiellement plane. En conséquence, il n'y a pas d'équivalent de la loi de l'attraction newtonienne. Deux corps initialement immobiles l'un à côté de l'autre ne « tomberont » pas l'un vers l'autre.

Un modèle simpliste ?

Cette simplicité est séduisante, et laisse penser que quantifier la gravitation à deux dimensions est plus facile que quantifier la relativité générale complète en trois dimensions d'espace. Malheureusement, la théorie de A. Staruszkiewicz est trop simple : elle ne possède pas assez de degrés de liberté pour être quantifiée. Un espace à deux dimensions ne laisse aucune place aux ondes gravitationnelles, un élément important de la théorie d'Einstein.

Considérons le cas plus simple de l'électromagnétisme. Les champs électriques et magnétiques sont produits par des charges et des courants électriques. Comme l'a montré James Clerk Maxwell, les variations de ces champs se propagent librement sous forme d'ondes électromagnétiques. Dans la version quantique de la théorie de Maxwell, l'énergie de ces ondes est véhiculée par des quanta, les photons, particules qui transmettent l'interaction électromagnétique. De la même façon, les variations du champ gravitationnel de la relativité générale se propagent sous forme d'ondes gravitationnelles, et une théorie quantique de la gravitation devrait associer à ces ondes des particules nommées gravitons, médiatrices de l'interaction gravitationnelle.

Mais les ondes gravitationnelles sont fondamentalement tridimensionnelles : le champ varie périodiquement dans deux directions perpendiculaires à la direction du mouvement (voir l'encadré page 74).

Or dans un espace à deux dimensions, il n'y a pas de place pour un tel comportement. Une fois que la direction du mouvement est fixée, il ne reste qu'une dimension perpendiculaire. Les ondes gravitationnelles et leurs gravitons ne peuvent tout simplement pas être contenus dans deux dimensions spatiales.

Malgré quelques ponctuels regains d'intérêt, la théorie de A. Staruszkiewicz était donc restée sans suite. Jusqu'à ce qu'en 1989, Edward Witten, de l'Institut d'études avancées de Princeton, apporte une contribution décisive. E. Witten travaillait sur une classe particulière de champs où les ondes ne se propagent pas librement. Lorsqu'il s'est rendu compte que la gravitation en deux dimensions appartenait à cette classe, il a ajouté l'ingrédient crucial qui manquait : la topologie.

Quand l'espace ressemble à une chambre à air

E. Witten a fait remarquer que même si la gravitation ne peut pas se propager sous forme d'ondes, elle peut avoir un effet sur la forme générale de l'espace, ce que les mathématiciens appellent sa topologie. La topologie décrit les caractéristiques générales d'une surface, comme le nombre de trous. Deux surfaces ont la même topologie si l'on peut passer de l'une à l'autre par une déformation continue, sans rien couper, déchirer ou coller. Un hémisphère et un disque ont par exemple la même topologie ; il suffit d'étaler le premier pour obtenir le second. Une sphère a une autre topologie, car pour la transformer en un disque, il faudrait en couper un bout (au moins un point). Une chambre à air, ou tore, a encore une autre topologie, identique à celle d'une tasse munie d'une anse.

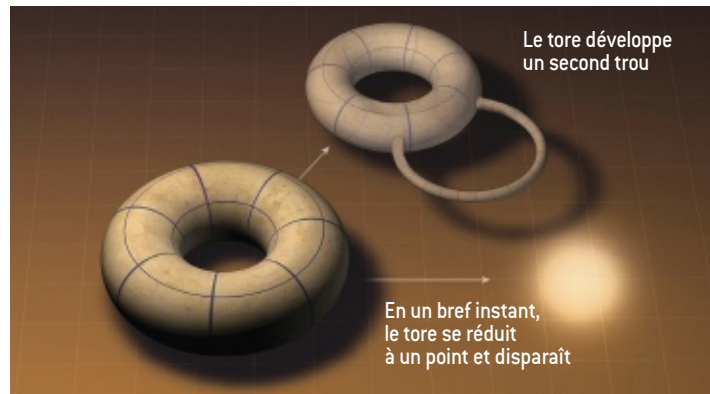
Bien que les tores apparaissent courbes vus de l'extérieur, ils sont plats du point de vue de leur géométrie interne. Ce qui caractérise un tore, c'est qu'on peut décrire une courbe fermée dans deux directions indépendantes, l'une entourant le trou et l'autre perpendiculaire. Cette caractéristique est similaire à celle de l'ancien jeu vidéo *Pac man*, où les personnages qui sortent par un côté de l'écran rentrent par le côté opposé. L'écran de jeu est plat ; il obéit aux règles de la géométrie plane – par exemple deux droites parallèles ne se rencontrent jamais – mais sa topologie est celle d'un tore.

En fait, il existe une famille infinie de tores, caractérisés par un paramètre nommé module. Lié au rapport entre les tailles des deux cercles qui définissent le tore, il donne une mesure de la « forme » du tore (plus ou moins épais, avec un trou plus ou moins large, etc.).

Dans un univers à deux dimensions en forme de tore, la gravitation crée une dynamique qui fait évoluer le module, c'est-à-dire la géométrie globale du tore, au fil du temps (voir l'encadré page 75). E. Witten a montré que ce processus peut être quantifié, c'est-à-dire qu'on peut transformer la théorie classique de la gravitation en deux dimensions en une théorie quantique.

TROUS DE VER ET AUTRES BIZARRERIES

Dans l'une des formulations de la gravitation quantique à deux dimensions, contrairement à ce qui se passe en théorie de la relativité générale, la topologie de l'univers peut changer. Cela pourrait résoudre des questions posées de longue date. Par exemple, un tore à un seul trou a une probabilité non nulle d'évoluer vers un tore doté d'une anse, c'est-à-dire à deux trous. Cela reviendrait à créer un trou de ver, un passage direct d'un endroit à un autre. L'univers pourrait aussi subitement devenir un point et disparaître.



Le tore développe un second trou

En un bref instant, le tore se réduit à un point et disparaît

Malcolm Godwin

Ainsi, la gravitation quantique à deux dimensions n'est pas une théorie des gravitons, mais une théorie de l'évolution de la forme globale des tores. Cette vision diffère de la représentation habituelle de la théorie quantique comme une description de l'infiniment petit. La gravitation quantique en deux dimensions est, en fait, une théorie qui porte sur l'Univers dans son ensemble en tant qu'objet contrôlé par les lois quantiques. Ce point de vue livre un modèle suffisamment riche pour explorer certains des problèmes conceptuels fondamentaux de la gravitation quantique.

La gravitation en deux dimensions indique par exemple comment le temps pourrait émerger d'un cadre fondamentalement atemporel. Dans l'une des formulations de la théorie, l'univers entier est décrit par une unique fonction d'onde quantique. Mais cette fonction d'onde ne dépend pas explicitement du temps. En effet, le temps, lié à l'espace, est partie prenante de la géométrie et est donc inclus dans la quantification. Ce n'est pas un paramètre indépendant.

D'une façon ou d'une autre, cette fonction d'onde « atemporelle » fait émerger le flux du temps tel que nous l'observons. Selon l'aphorisme d'Einstein, le temps est ce qui est mesuré par une horloge. Cela semble être une banalité, mais signifie qu'il n'existe pas de temps absolu déconnecté de la réalité physique. Le temps est toujours déterminé par un sous-système qui est corrélé avec le reste de l'univers, par exemple le mouvement de rotation de la Terre ou la fréquence d'un rayonnement de l'atome de césium.

La théorie offre différentes options en matière d'horloge – en fait, l'évolution de toute grandeur observable – et le choix définit ce que signifie le « temps ». Une fois ce choix fait, toutes les autres observables physiques changent en fonction du temps de cette horloge.