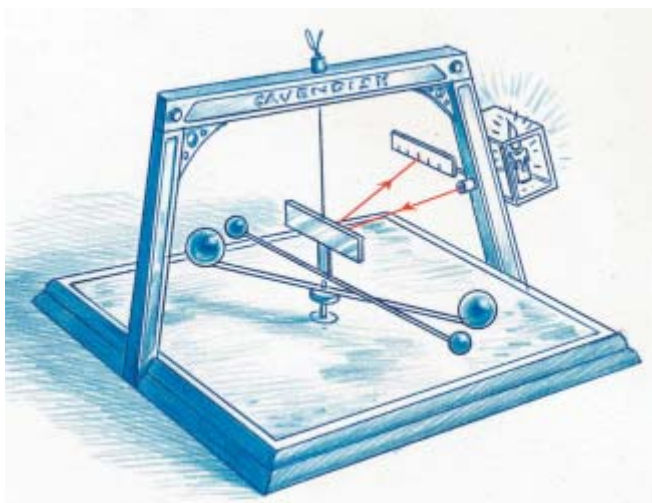




**1.** Cette machine, inventée il y a 200 ans par Cavendish, livra la première estimation expérimentale de la constante de gravitation universelle : les sphères, suspendues à un pendule de torsion sont attirées par des boules placées à proximité. L'attraction entre les masses s'oppose à la torsion du fil. Le pendule oscille et la mesure de sa période d'oscillation conduit à la constante de gravitation.

utilisait un pendule de torsion à l'extrémité duquel sont accrochées deux petites sphères pesantes (voir la figure 1). Lorsque deux boules massives identiques sont placées à proximité de chacune des deux sphères, celles-ci sont attirées et le pendule tourne. Le système est conçu de telle façon que l'attraction gravitationnelle entre les grandes et les petites sphères s'oppose à la torsion du fil. L'attraction des masses fait tourner le pendule d'un très petit angle, et influe sur sa période d'oscillation ; la mesure de la période conduit notamment à  $G$ . Pour comprendre quelle virtuosité expérimentale Cavendish déploya, il faut réaliser que, dans ce montage, la force d'attraction entre les corps est 500 millions de fois plus petite que leur poids !

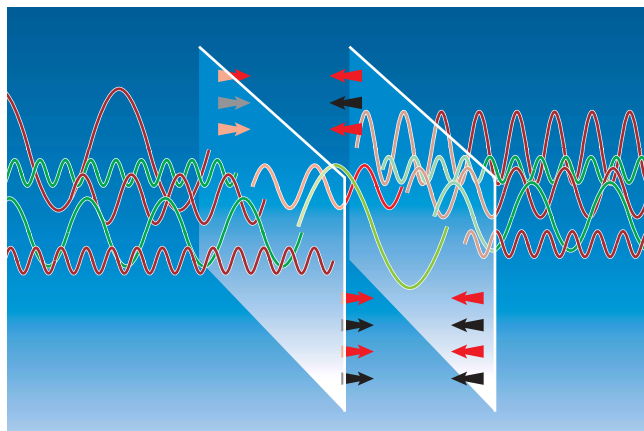
## VAN DER WAALS ET CASIMIR

Aller plus loin était difficile. Un problème est la nature cumulative de la gravité à petite échelle. Ainsi, quand un corps interagit par la gravitation avec un autre, chacune de ses particules est concernée ; leur position dans l'espace joue un rôle essentiel dans la force d'attraction résultante. Une difficulté que le cas de deux sphères quasi tangentes illustre bien. Proportionnelle au produit de leurs masses (et donc à  $R^3$  au carré, soit  $R^6$ ) divisé par le carré de leurs distances ( $R^2$ ), leur attraction gravitationnelle varie selon la puissance quatrième de leur rayon ( $R^4$ ). Cette dépendance implique que l'attraction gravitationnelle entre deux sphères est très petite à courte distance. Pour pallier cette difficulté, on choisit des dispositifs, où la plupart des particules des deux corps sont à la même distance, par exemple en utilisant des plaques parallèles. Malheureusement, une autre difficulté gêne l'étude de la gravitation entre

deux plaques : deux forces s'ajoutent à l'attraction gravitationnelle. La première, la force de Van der Waals, est une force intermoléculaire d'origine électrostatique, qui apparaît entre particules proches. La seconde, la force de Casimir, est d'origine quantique.

Le physicien théoricien Hendrick Casimir montra en 1948 que les fluctuations quantiques du vide électromagnétique engendrent une force à courte portée entre deux plaques conductrices (voir la figure 2). Quelle pourrait en être la cause ? Représentons-nous le vide comme une mer agitée de clapot : des vaguelettes apparaissent à la surface, au hasard, semble-t-il, mais toujours de sorte que le niveau moyen de la mer reste le même. Ces fluctuations du vide correspondent à la superposition d'oscillateurs (photons, paires particules-antiparticules...) de toutes longueurs d'onde. Comme le clapot à la surface de la mer, ces fluctuations apparaissent et disparaissent sans cesse, et assurent au vide un niveau d'énergie constant.

Que se passe-t-il lorsque l'on plonge dans ce vide agité deux plaques infinies, parfaitement conductrices et parallèles ? Dans l'intervalle qu'elles délimitent, seuls les oscillateurs dont la longueur d'onde est un sous-multiple de la distance séparant les plaques, peuvent exister. On peut les comparer à des cordes de guitare fixées aux deux extrémités, et qui ne vibrent qu'avec des fréquences bien précises. La « pression de rayonnement » engendrée par les fluctuations électromagnétiques est plus faible à l'intérieur qu'à l'extérieur des plaques. Ainsi, une force d'attraction à courte portée règne entre les plaques : à température ambiante, elle varie comme l'inverse du cube de la distance entre plaques. Le calcul montre que pour des plaques carrées en cuivre d'un millimètre d'épaisseur, à



**2.** Entre deux plaques proches s'exercent les forces de Van der Waals, l'attraction gravitationnelle et la force de Casimir due aux fluctuations quantiques du vide. Entre les deux plaques, seules les longueurs d'onde égales à la distance des plaques ou à des sous-multiples de cette distance sont tolérées. La pression de radiation créée par les ondes extérieures aux plaques tend à les rapprocher.

300 kelvins, et éloignées d'un micromètre, la somme des forces de Van der Waals et de Casimir est égale à la force d'attraction gravitationnelle. Longtemps, l'absence de mesures fiables de la force de Casimir a empêché l'étude de la gravitation à petite échelle. Ce n'est plus le cas depuis qu'en 1997, le physicien américain Steven Lamoreaux mesura la force de Casimir avec précision.

Le principe d'équivalence devait être aussi testé. Les succès des théories qui se fondent sur lui constituent, certes, une sorte de vérification *a posteriori*. Le baron Roland von Eötvös fut le premier à vouloir aller plus loin en 1886. À l'aide d'une version modifiée du dispositif de Cavendish, il montra que l'écart relatif entre masse gravitationnelle et masse inertielle est inférieur à un milliardième. Cette expérience fut reprise et améliorée par Robert Dicke en 1966 et par Vladimir Braginsky en 1972 ; ils en augmentèrent notablement la précision. La future expérience spatiale STEP (*Satellite Test of the Equivalence Principle*) devrait atteindre la précision fabuleuse d'un centième de milliardième de milliardième ( $10^{-17}$ ) !

Ainsi l'extrême difficulté de réaliser des expériences à très petites distances explique pourquoi la gravité est si mal testée en deçà du millimètre. Y varie-t-elle par rapport à la loi de Newton ? Le vérifier serait précieux : un écart serait un indice de nouvelles structures de l'espace.

**Roland LEHOUCQ** est astrophysicien au service d'astrophysique du CEA. **Jean-Philippe UZAN**, chargé de recherche au CNRS, travaille au laboratoire de physique théorique de l'Université d'Orsay.

*Les enfants d'Einstein*, Clifford Will, 1988.  
*Y.T. CHEN et A. COOK, Gravitational Experiments in the Laboratory*, Cambridge University Press, 1993.

## Dinosaures. Enquête sur une disparition

Eric Buffetaut, Éditions Phare, 2000 (128 pages, 58 francs).

**L**es dinosaures réconcilieront-ils Charles Darwin, le père de l'Évolution, et Georges Cuvier, l'apôtre des « révolutions du Globe » ? On oppose souvent le fixisme rétrograde de Cuvier, qui évoquait des créations successives d'organismes suivant de grandes catastrophes, à l'évolutionnisme de Darwin. Aujourd'hui, et depuis longtemps déjà, l'évolutionnisme est universellement accepté par le monde scientifique (seules quelques sectes « créationnistes » s'y opposent encore) : on admet que le monde vivant que nous connaissons aujourd'hui résulte de l'évolution des espèces depuis 3 500 millions d'années, et on pense que cette lente évolution découle de la sélection de caractères qui favorisent l'adaptation des êtres vivants à leur milieu. La spéciation, c'est-à-dire l'évolution de nouvelles espèces, est donc un phénomène relativement lent, tout comme la plupart des phénomènes géologiques (sédimentation, dérive des continents, etc.). C'est l'action de ces phénomènes durant de très longues durées géologiques qui provoque des modifications considérables.

Ce gradualisme des phénomènes géologiques et biologiques, mis en évidence au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, relégua aux oubliettes le catastrophisme de Cuvier et de quelques uns de ses successeurs. C'est dans ce contexte qu'ont longtemps été appréhendés les phénomènes d'extinction de masse de l'histoire de la vie.

Toutefois les nombreuses hypothèses échafaudées depuis des décennies pour expliquer la disparition des dinosaures

ont la plupart du temps un défaut majeur : elles n'expliquent que la disparition des dinosaures. Or ces animaux, qui ont constitué environ 95 pour cent des animaux terrestres (au sens de « vivant sur les terres émergées ») moyens et grands pendant 100 millions d'années, n'ont pas disparu tout seuls. Ne peuvent être testées raisonnablement que les hypothèses qui expliquent aussi les innombrables disparitions d'animaux terrestres et marins il y a 65 millions d'années. L'étude scientifique de cette question a réellement commencé en 1980, lors de la découverte, par une équipe américaine, d'une couche géologique enrichie en iridium, élément abondant dans les météorites.

La découverte d'anomalies d'origine cosmique exactement à la limite Crétacé-Tertiaire, dans le monde entier, puis la découverte d'un énorme cratère d'impact dans la péninsule du Yucatan sont des indications de l'écrasement sur la Terre d'un astéroïde dont le diamètre devait être voisin d'une dizaine de kilomètres, il y a 65 millions d'années. Aussi suppose-t-on que cet impact aurait perturbé l'atmosphère au point de bloquer temporairement la photosynthèse ; le bouleversement des chaînes alimentaires qui en aurait découlé aurait eu des répercussions en chaîne avec, notamment, les disparitions sélectives de la fin du Mésozoïque.

Comment tester l'hypothèse ? Les lacunes de l'enregistrement fossile ne donnent pas une résolution chronologique de l'ordre de l'année ni de la décennie, mais de seulement quelques dizaines de milliers d'années en milieu marin, de quelques centaines de milliers d'années (au mieux) en milieu continental. On ne peut donc affirmer avec certitude que les extinctions de la limite Crétacé-Tertiaire se sont réellement produites en un an plutôt qu'en 100 000 ans, ou en un million d'années. En revanche, on sait qu'elles s'achèvent avec la chute de la météorite. Cet impact a-t-il porté un « coup de grâce » à des écosystèmes affaiblis par d'autres phénomènes, telles de grandes éruptions volcaniques ? Ou bien les extinctions antérieures à la limite Crétacé-Tertiaire ne sont-elles que des phénomènes apparents, dus à la mauvaise qualité de l'enregistrement fossile ?

Les récentes approches statistiques montrent que l'enregistrement fossile ne permet pas de réfuter l'hypothèse météoritique, et de nouvelles études de terrain s'imposent. Une autre voie de recherche est le perfectionnement du scénario de ces extinctions et, notamment, l'étude de la biologie des animaux survivants (amphibiens, crocodiles, etc.) : on donne ainsi des limites biologiques raisonnables au scénario météo-

ritique. Non, la surface de la Terre n'a pas été transformée en four à micro-ondes pendant quelques heures, comme cela a parfois été écrit...

On le voit, cette histoire n'est pas terminée. « Reconstituer dans ses détails une crise écologique qui s'est produite il y a 65 millions d'années est une entreprise passionnante, mais qui n'a rien d'aisé », note justement Eric Buffetaut dans son nouveau livre. Ces avancées considérables dans notre connaissance de la limite Crétacé-Tertiaire ont néanmoins suscité une prise de conscience de l'importance des épisodes d'extinctions de masse dans l'histoire de la vie. Cette dernière s'est construite lentement, selon les processus évolutifs décrits par Darwin, mais elle a aussi été le théâtre des événements violents postulés par Cuvier.

En mêlant l'histoire des sciences et les plus récentes connaissances acquises sur la fin de l'ère secondaire par des disciplines aussi variées que la géochimie, la planétologie ou la paléontologie, E. Buffetaut, l'un des rares acteurs français de cette aventure scientifique, présente sans fard l'état des lieux d'un problème enfin en cours de résolution. La disparition des dinosaures n'est plus un poétique mystère aux explications pittoresques, mais une question traitée scientifiquement, dont le mécanisme bouscule certaines de nos certitudes biologiques.

Tous ceux qui s'intéressent à la façon dont la science se construit liront avec profit cette enquête passionnante, qui relate une des plus importantes avancées scientifiques de cette fin de millénaire.

Jean LE Lœuff

## Biochimie

### Le grain de blé, composition et utilisation

Pierre Feillet. INRA Éditions, 2000 (312 pages, 330 francs).

**L**es enfants des écoles comprendraient le miracle du pain s'ils en faisaient, et ils seraient mis sur la voie de son « intelligence » s'ils répétaient l'expérience faite en 1745 par Jacopo Beccari : après avoir malaxé de la farine de blé avec un peu d'eau, il passa le pâton obtenu sous un petit filet d'eau ; une poudre blanche s'écoula avec l'eau – c'est l'amidon – et une masse élastique lui resta dans les doigts, c'est le gluten.



Peter Trusler

Dinosaures du Crétacé inférieur.