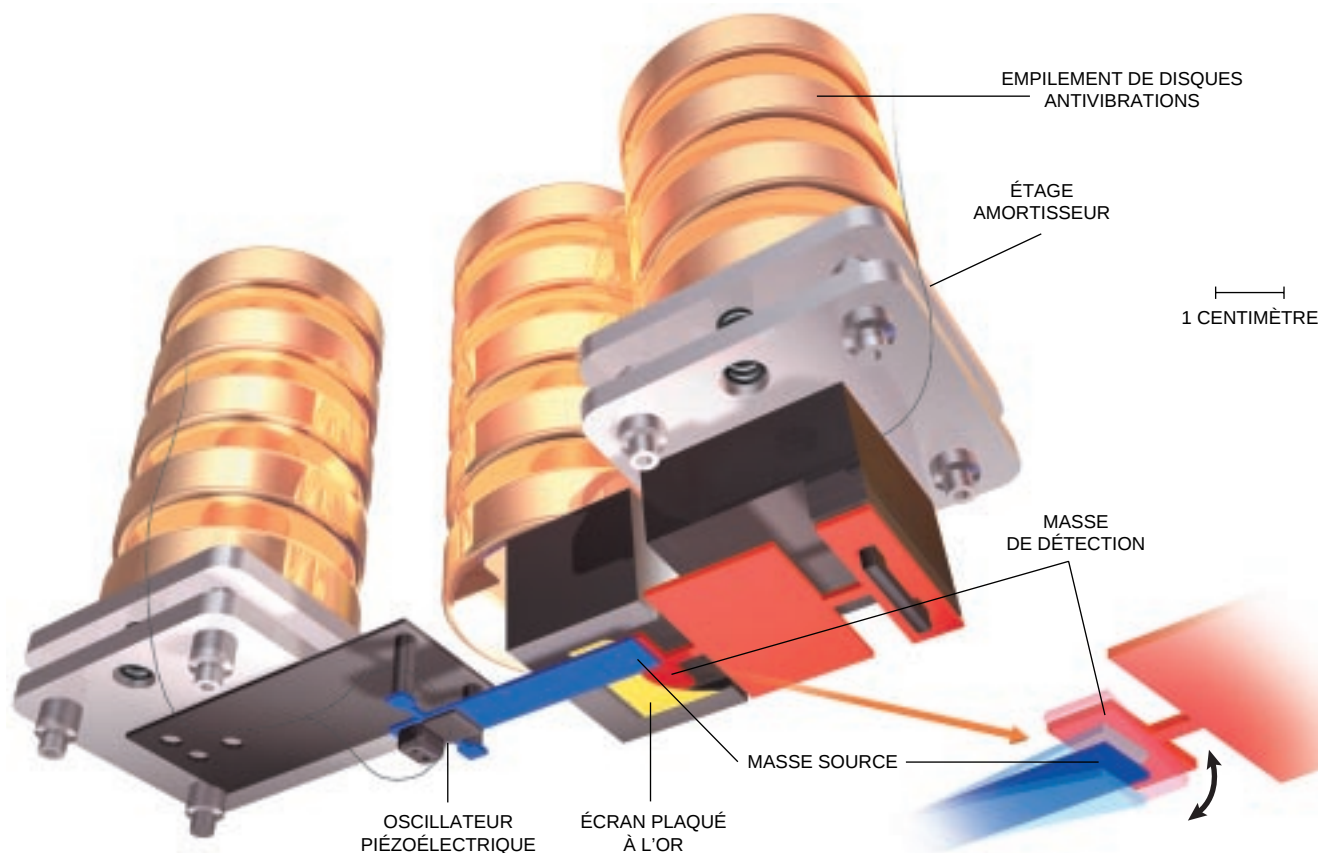




8. UN OSCILLATEUR À TORSION, construit à l'Université du Colorado, mesure des forces de gravitation à des distances comprises entre 0,05 et 1,0 millimètre. Des cristaux piézo-électriques font vibrer une lame en tungstène (*en violet*) comme un plongeur. Toute force agissant entre la masse source et le détecteur (également en tungstène, *en rouge*) produit des oscillations de torsion du détecteur (*cartouche*), qui sont détectées par un dispositif électronique. Un bouclier recouvert d'une mince couche

d'or supprime les forces électrostatiques, et la suspension des piles d'isolation en laiton empêche les vibrations de se propager de la source au détecteur. Les boucliers électrostatiques entourant le dispositif ne sont pas représentés ici. On attend cette année les résultats des expériences effectuées à la température ambiante. Ultérieurement, afin d'obtenir des mesures plus précises, on refroidira le dispositif à l'hélium liquide, jusqu'à une température de quatre kelvins (-269°C).

idée, Joseph Lykken a ensuite tenté d'abaisser l'échelle d'unification à 10^{-19} mètre, mais sans invoquer de grandes dimensions supplémentaires. De leur côté, Keith Dienes et Tony Gherghetta, au CERN, ont observé en 1998 que des dimensions supplémentaires de rayon inférieur à 10^{-19} mètre permettraient une unification des forces à des distances bien supérieures à 10^{-32} mètre.

Après la publication de notre théorie, en 1998, plusieurs propositions dérivées sont apparues. Toutes font appel aux mêmes ingrédients de base : des dimensions supplémentaires cycliques et un modèle de monde sur une membrane. Ainsi, nos collègues Lisa Randall et Raman Sundrum ont proposé que la gravitation soit confinée dans une membrane à cinq dimensions infinies (non cycliques). Dans un tel univers, la gravitation serait nécessairement plus faible, car nous ne serions pas sur la membrane où elle se fait sentir.

Toutes ces théories cherchent différemment à résoudre le même pro-

blème de la hiérarchie. Pendant 20 ans, on a laissé l'échelle de Planck à 10^{-35} mètre tout en supposant que les interactions changent à partir de 10^{-19} mètre. Cette approche a le défaut de reléguer toute tentative de quantifier la gravitation au statut de pure spéculation théorique, à jamais hors de portée de l'expérience ! Les deux années écoulées ont révélé une nouvelle voie. Si des dimensions cachées existent, si nous détectons bientôt des écarts par rapport à la loi de New-

ton, si le LHC révèle l'existence de minuscules trous noirs et d'états exotiques dus aux vibrations des cordes, la théorie quantique de la gravitation et celle des cordes deviendront des théories réfutables. Quoi qu'il en soit, l'étude du comportement de la gravité dans le domaine submillimétrique va enfin être entreprise. Avant 2010, nous appréhenderons mieux pourquoi la gravitation est si faible et nous saurons peut-être dans quel univers nous vivons.

Nima ARKANI-HAMED, Savas DIMOPOULOS et Georgi DVALI ont inventé la théorie des dimensions supplémentaires alors qu'ils étaient réunis à l'Université de Stanford, en février 1998. N. Arkani-Hamed est physicien à l'Université de Berkeley. S. Dimopoulos est professeur de physique à l'Université de Stanford. G. Dvali est professeur de physique à l'Université de New York.

Michael DUFF, *Les nouvelles théories des cordes*, in *Pour la Science*, avril 1998.

Edward KEARNS, Takaaki KAJITA et Yoichi TOITSUKA, *La détection des neutrinos massifs*, in *Pour la Science*, septembre 1999.

Brian GREENE, *The Elegant Universe : Superstrings, Hidden Dimensions and the Quest for the Ultimate Theory*, W.W. Norton, 1999.

Steven WEINBERG, *Vers l'unification de la physique*, in *Pour la Science*, janvier 2000.

Chris Llewellyn SMITH, *Le Grand Collisionneur de hadrons*, in *Pour la Science*, septembre 2000.

Des plastiques extraits des plantes



TILLMAN GERNGROSS • STEVEN SLATER

Techniquement, les ingénieurs savent faire des matières plastiques à partir de plantes chlorophylliennes plutôt qu'à partir de combustibles fossiles. Ces plastiques préserveront-ils l'environnement ?

Quelques régions du Globe abritent aujourd'hui des champs de maïs d'un type particulier : dans les feuilles, des granules de matière plastique sont fabriqués par la plante. Un vieux rêve des écologistes devient techniquement réalisable : les végétaux produiront à la fois des matières alimentaires et des matériaux, sans que les réserves de pétrole soient dilapidées.

Chaque année, les usines pétrochimiques du monde engloutissent 270 millions de tonnes de pétrole et de gaz dans la fabrication des matières plastiques. Les combustibles fossiles fournissent l'énergie et la matière première nécessaires à la transformation du pétrole brut en matériaux tels que le polystyrène, le polyéthylène ou le polypropylène. Des emballages de lait aux bouteilles de boissons gazeuses ou d'eau minérale, en passant par les pièces automobiles et les vêtements, les matières plastiques sont partout dans notre vie. Toutefois, la pérennité de leur production par les méthodes classiques est débattue.

On estime que les ressources mondiales en pétrole seront épuisées dans environ 80 ans, celles de gaz naturel dans 70 ans et les gisements de charbon dans 700 ans. La raréfaction progressive de ces matières organiques s'accompagnera inévitablement d'une augmentation de leur coût. Aussi, depuis quelques années, plusieurs pays ont demandé à leurs organismes de recherche de mettre au point des substituts végétaux des ressources fossiles, aussi bien comme combustibles que comme matières premières.

Progressivement, des biochimistes ont découvert comment on peut modifier les végétaux pour qu'ils produisent du plastique. Cette avancée technique assurerait en apparence la durabilité des ressources, car les plastiques produits par les plantes sembleraient « verts » à double titre : ils étaient fabriqués à partir d'une ressource renouvelable, et ils étaient décomposés par biodégradation après usage. Des travaux récents ont pourtant remis en question l'intérêt de telles approches.

D'abord, la dégradation des plastiques libère du gaz carbonique et du méthane, deux gaz à effet de serre dont on essaye de limiter les émissions. Ensuite, l'énergie nécessaire à l'extraction du plastique des plantes requiert des combustibles fossiles. Pire encore, cette extraction nécessite bien plus d'énergie qu'on le soupçonnait. Les plastiques « verts » ne s'imposeront industriellement que si les biochimistes surmontent cet obstacle sans créer de nuisances environnementales supplémentaires.

Moins de pétrole

La fabrication classique des matières plastiques utilise des quantités élevées de combustibles fossiles. Certes, 90 pour cent du pétrole utilisé l'est par les transports ou par les centrales thermiques, mais l'industrie des plastiques consomme l'essentiel de ce qui reste, soit quelque 80 millions de tonnes par an rien qu'en Europe et la même quantité aux États-Unis. Jusqu'à aujourd'hui, les industries agro-alimentaires et biotechnologiques ont pro-

posé trois approches pour remplacer les plastiques classiques par des produits dérivés des plantes : la transformation des sucres des plantes en plastique, la production de plastique par des micro-organismes et la production directe de plastique par le maïs ou par d'autres plantes cultivées.

En 1977, le géant de l'industrie agricole (*Cargill*) et une grande société de l'industrie chimique (*Dow Chemical*) ont joint leurs efforts pour tenter de transformer les sucres du maïs en un plastique nommé acide polylactique (APL ou PLA en anglais). Des micro-organismes transforment les sucres en acide lactique, puis les molécules d'acide lactique sont polymérisées en un enchaînement de macromolécules dotées de propriétés semblables à celles du téréphtalate de polyéthylène (ou PET), un plastique d'origine pétrochimique très utilisé pour les bouteilles d'eau minérale. Ce nouveau produit dérivé du maïs s'ajoute aux sirops à forte teneur en fructose, à l'acide citrique, à l'huile alimentaire, au bioéthanol et à la nourriture pour les animaux. En 1999, aux États-Unis, l'industrie de ces dérivés a traité 39 millions de tonnes de maïs, soit près de 15 pour cent de la récolte annuelle. Au début de l'année 2000, les industriels ont investi près de deux milliards de francs (300 millions d'euros) pour produire ce nouveau plastique (voir l'encadré de la page 70).

1. LA PRODUCTION DE MATIÈRES PLASTIQUES par les plantes semblait être une manière efficace de réduire la consommation mondiale de combustibles fossiles.