

repos à un système à vitesse v , puis de ce système à un autre système à vitesse $-v$, avant de revenir au système initial). Il ne se trouve donc plus dans une situation d'équivalence. Langevin le premier a montré que, parmi toutes les lignes d'univers qui relient deux événements dans l'espace-temps, celle qui possède le temps propre le plus long (et induit donc le vieillissement le plus rapide) est la trajectoire sans accélération, c'est-à-dire celle du frère sédentaire (voir encadré pages précédentes).

Dans ce contexte, l'histoire des jumeaux de Langevin, loin d'être un réel paradoxe, souligne simplement la limitation du principe de relativité. La symétrie des points de vue n'est vraie que pour les systèmes de référence ne subissant aucune accélération. La réalité de l'« effet Langevin » a été mesurée avec précision grâce aux accélérateurs de particules du CERN. Des muons, particules instables qui se désintègrent normalement au bout de 1,5 microseconde, ont été accélérés jusqu'à atteindre 0,9994 fois la vitesse de la lumière. Leur temps de vie apparent (dans le référentiel du laboratoire) atteint alors 44 microsecondes, soit trente fois plus que leurs jumeaux non accélérés – ceci en parfait accord avec la relativité restreinte.

On comprend dès lors que, contrairement à une opinion couramment répandue, la théorie de la relativité, bien qu'interdisant de dépasser la vitesse de la lumière, favorise l'exploration du cosmos lointain. Dans une variante de l'expérience des jumeaux (laquelle suppose des accélérations instantanées dues à de brusques changements de direction), le vaisseau spatial maintient une accélération *constante*, égale à celle induite par la pesanteur terrestre – donc tout à fait confortable pour le cosmonaute. La vitesse du vaisseau va rapidement augmenter et approcher la vitesse de la lumière, sans jamais l'atteindre. À son bord, le temps va s'écouler beaucoup moins vite que sur Terre. En deux ans et six mois de sa propre horloge, le vaisseau atteindra l'étoile la plus proche (Alpha Centauri), située à quatre années-lumière, et au bout de quatre années et demie il aura parcouru quarante années-lumière, alors que quarante ans se seront écoulés sur Terre. Le centre de la Galaxie sera atteint en dix ans, mais quinze mille années auront passé sur Terre. En vingt-cinq années de temps propre (moins que la durée de vie du cosmonaute), le vaisseau serait capable de parcourir *trente milliards d'années-lumière*, c'est-à-dire de traverser pratiquement tout l'Univers observable ! Mieux vaudrait d'ailleurs qu'il ne revienne pas sur Terre : le Soleil serait éteint depuis longtemps, après avoir calciné ses planètes.

Ce fantastique voyage est malheureusement irréalisable en raison de l'énorme quantité d'énergie nécessaire pour accélérer en permanence le vaisseau. Le meilleur moyen serait de transformer la substance même du vaisseau en énergie de propulsion, selon la formule $E = mc^2$. En supposant une conversion parfaitement efficace, on calcule ce que coûterait un voyage vers le centre galactique : à l'arrivée, il ne resterait plus au vaisseau que le *milliardième* de sa masse initiale. Une montagne transformée en souris !