

Le pivot copernicien

par Richard Taillet, sur le blog Signal sur bruit

On présente souvent Copernic comme un visionnaire qui aurait bouleversé notre vision du cosmos, en remplaçant une Terre centrale et immobile par une Terre en mouvement autour d'un Soleil central et fixe. Sans vouloir diminuer le rôle qu'a joué la publication du *De Revolutionibus* en 1543 dans l'évolution des sciences et de notre vision du cosmos, il est intéressant de revenir sur la façon dont cette œuvre s'inscrit dans l'astronomie médiévale.

Avant Copernic, c'est le point de vue ptoléméen qui fait autorité : la Terre est au centre de l'Univers, entourée d'une grande sphère céleste qui porte les étoiles et tourne sur elle-même. La Lune, le Soleil et des planètes tournent sur des cercles (épicycles) dont les centres tournent eux-mêmes sur des cercles (déférents), ces derniers n'étant pas exactement centrés sur la Terre (excentricité). L'un des apports de Ptolémée fut de proposer que certains cercles étaient décrits à une vitesse variable : ce n'est que vu depuis un point distinct du centre du cercle, l'équant, que le mouvement paraissait régulier. Plus de mille ans d'astronomie ont affiné cette vision sans la remettre en cause.

On sait peu de chose sur les motivations de Copernic, mais la plupart des historiens des sciences mettent en avant le désir de se débarrasser de cet équant qu'il jugeait abominable et de refonder l'astronomie sur des mouvements circulaires uniformes. En ce sens, cela ressemble davantage à un pas en arrière qu'à une révolution ! On tombe là sur un premier paradoxe : c'est la recherche de mouvements « parfaits » et non des causes physiques qui pousse Copernic à placer le Soleil près du centre de son système (et non au centre, pour reproduire l'excentricité de l'orbite terrestre) ... ce qui permettra à Kepler, quelques décennies plus



Le système solaire présenté par Copernic dans *De Revolutionibus* en 1543.

tard, de remplacer les orbites circulaires par des ellipses, ruinant ainsi la perfection géométrique revendiquée par Copernic.

Second paradoxe : il semble que les astronomes prénewtoniens s'intéressaient surtout à la description du mouvement des astres et non à leur cause physique. En réalité, Ptolémée avait considéré l'hypothèse que le mouvement apparent des étoiles puisse être dû à la rotation de la Terre et non à celle de la sphère céleste, avant de l'écarter sur la base d'une discussion physique (fausse). Ces arguments ont par la suite été contredits à plusieurs reprises, ce que rappelle Copernic. Toutefois, l'opposition entre ces modèles cosmologiques repose en partie sur un malentendu : il est vain de chercher à savoir qui, de la Terre ou du Soleil, est immobile, car l'immobilité est une notion relative. Ce concept de relativité sera mieux compris au siècle suivant, après Galilée.

D'un point de vue technique, le modèle de Copernic n'a pas franchement simplifié la description des mouvements célestes. Il comprenait au moins autant d'épicycles et de déférents que celui de Ptolémée, et les calculs proposés dans le *De Revolutionibus* sont complexes. Il faudra attendre que d'autres astronomes les simplifient et dressent des tables astronomiques pour que des éphémérides soient élaborées, dont le pouvoir prédictif ne surpasse que modestement ceux de Ptolémée (contrairement à celles établies après Kepler). En revanche, une avancée majeure du modèle de Copernic est l'ordre des planètes et la taille relative de leurs orbites, des quantités arbitraires dans la vision ptoléméenne. Cette propriété sera cruciale pour Kepler.

Un pied dans le Moyen Âge, un autre dans un futur dont il ne verra pas les promesses, Copernic a révolutionné l'astronomie sans révolutionner la physique : il a fourni un pivot sur lequel elle a pu basculer et se reconstruire. Il faudra attendre Kepler pour que cesse l'obsession du cercle, Galilée pour que germe l'idée de relativité du mouvement, puis Newton pour que les trajectoires des planètes soient étudiées en termes de forces de gravitation, et non de figures géométriques ayant tel ou tel mérite. C'est alors seulement que prend fin la science médiévale. ■



Richard TAILLET est professeur à l'université Savoie-Mont-Blanc et chercheur au Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique théorique (LAPTh). Il est l'auteur du blog Signal sur bruit (www.scilog.fr/signal-sur-bruit).



Retrouvez tous nos blogueurs sur www.SciLogs.fr et suivez-les sur les réseaux sociaux.



LA MARCHÉ DES SCIENCES

DÉCOUVERTES, INVENTIONS, AVENTURES SAVANTES AU FIL DE L'HISTOIRE

AURÉLIE LUNEAU
CHAQUE JEUDI
16H - 17H



© RADIO FRANCE / CHRISTOPHE ABRAMOWITZ

en partenariat avec **POUR LA
SCIENCE**

Écoute, réécoute, podcast
franceculture.fr



Le GPS de notre cerveau

May-Britt Moser et Edvard Moser



Le sens de l'orientation n'est pas un mythe : notre cerveau est bien doté d'un système de localisation et de navigation hors pair. La découverte récente de ce GPS biologique a valu le prix Nobel aux époux Moser, qui nous décrivent ici ce système et son fonctionnement élaboré.

L'invention du GPS (*Global Positioning System*, c'est-à-dire « système de localisation global ») a entièrement transformé notre capacité à conduire une voiture, à piloter un avion ou même à parcourir à pied les rues de la ville. Mais comment naviguions-nous avant d'avoir un appareil GPS ? De récents travaux ont montré que le cerveau des mammifères est doté d'un système de navigation incroyablement élaboré, qui nous guide d'un endroit à un autre.

Comme le GPS de nos téléphones et de nos voitures, notre cerveau évalue où nous sommes et où nous allons en intégrant des signaux multiples concernant notre position et le temps qui s'écoule. Normalement, le cerveau effectue ces calculs avec un minimum d'effort, de sorte que nous en avons à peine conscience. C'est seulement lorsque nous sommes perdus ou lorsque notre aptitude à naviguer est dégradée par une lésion ou une maladie neurodégénérative que nous prenons conscience de l'importance de ce système de cartographie et de navigation pour notre existence.

La capacité de savoir où nous sommes et où nous devons aller est essentielle à notre survie. Sans elle, nous-mêmes, comme tous les autres animaux, serions incapables de trouver de la nourriture et de nous reproduire.

Le caractère perfectionné du système utilisé par les mammifères ressort lorsqu'on le compare à celui d'autres animaux. Le petit ver nématode *Caenorhabditis elegans*, muni de seulement 302 neurones, navigue presque exclusivement en réaction à des signaux olfactifs, en suivant une concentration d'odeur croissante ou décroissante spatialement (un gradient d'odeur).

Les animaux dotés de systèmes nerveux plus élaborés, telles les fourmis du désert ou les abeilles domestiques, trouvent leur chemin à l'aide de stratégies supplémentaires. L'une de ces dernières s'appelle l'intégration du trajet. C'est un mécanisme similaire à celui du GPS, au cours duquel les neurones déterminent la position sur la base d'un suivi continu de la direction et de la vitesse du déplacement de l'animal par rapport à un point de départ. Cette tâche est effectuée sans référence à des indices externes, tels que des points de repère physiques.

Chez les vertébrés, et en particulier chez les mammifères, le répertoire des comportements qui permettent à un animal

de se repérer dans son environnement est encore plus étendu.

Plus que toute autre classe d'animaux, les mammifères s'appuient sur leur capacité à former des cartes neurales de leur environnement. Il s'agit de profils d'activité électrique dans le cerveau, où des groupes de cellules nerveuses s'activent de façon à refléter l'agencement du milieu environnant et la position qu'y occupe l'animal. On présume que la formation de ces cartes mentales a lieu principalement dans le cortex, cet ensemble de couches supérieures du cerveau qui forment des replis sinueux et qui sont apparues très tardivement dans l'évolution.

Au cours des dernières décennies, les scientifiques ont acquis une connaissance approfondie de la façon dont le cerveau forme ces cartes et les révisé quand l'animal se déplace. Les récents travaux, menés principalement chez des rongeurs, ont révélé que les systèmes de navigation sont constitués de plusieurs types de cellules spécialisées, qui calculent en permanence la position de l'animal, la distance qu'il a parcourue, la direction dans laquelle il avance et sa vitesse. L'ensemble de ces différentes cellules élabore ainsi une carte dynamique de l'espace local, qui non seulement fonctionne au présent, mais peut également être mémorisée pour une utilisation ultérieure.

L'ESSENTIEL

■ **Savoir se localiser et s'orienter est une capacité essentielle à la survie d'un animal.**

■ **Plusieurs réseaux de cellules profondément enfouis dans le cerveau se conjuguent pour établir une carte mentale de l'environnement, constituant ainsi un système de localisation.**

■ **Les régions cérébrales intervenant dans l'orientation sont aussi intimement liées à la création de souvenirs.**

■ **Chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer, ces réseaux d'orientation sont souvent touchés.**

Les neurosciences de l'espace

L'étude des cartes spatiales du cerveau a commencé avec Edward Tolman, un professeur de psychologie de l'université de Californie à Berkeley, de 1918 à 1954. Auparavant, des expériences de laboratoire sur le rat semblaient indiquer que les animaux trouvent leur chemin en répondant à des stimuli successifs le long de leur trajet et en les mémorisant. En apprenant à parcourir un labyrinthe, par exemple, ils étaient supposés se souvenir des séquences de virages qu'ils avaient effectués entre le point de départ du labyrinthe et son arrivée. Cependant, on n'envisageait pas que les animaux puissent se faire une image globale de la totalité du labyrinthe pour être à même de prévoir le meilleur chemin.

Tolman a radicalement rompu avec les idées prévalant alors. Il a observé des rats prenant des raccourcis ou faisant des détours, des comportements qui seraient