



Einstein et les révolutions quantiques

ALAIN ASPECT

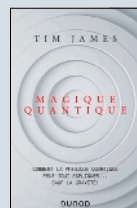
CNRS, 2019

(80 PAGES, 8 EUROS)

La première révolution quantique a bouleversé notre vision du monde et conduit à des inventions majeures: le transistor, le laser, les ordinateurs.

Moins connue est la deuxième révolution quantique engagée en 1935 par le débat entre Albert Einstein et Niels Bohr. Cette révolution repose sur la notion étrange de particules intriquées qui pourrait déboucher à terme sur des technologies nouvelles comme l'informatique quantique.

Cet ouvrage raconte une magnifique histoire de science, dans laquelle l'expérimentation a permis de trancher des débats philosophiques.



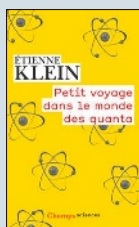
Magique quantique

TIM JAMES

DUNOD, 2020

(240 PAGES, 19,90 EUROS)

Au début du xx^e siècle, la science semblait complète et les lois de la nature toutes découvertes, mais des chercheurs intrépides ont réveillé un géant endormi, la mécanique quantique. Dans le monde quantique, les objets peuvent se trouver en deux endroits à la fois, voyager dans le temps est non seulement possible, mais nécessaire, la cause et l'effet peuvent s'inverser et l'observation de quelque chose change son état. Des univers parallèles à l'antimatière, laissez-vous guider par le facétieux Tim James à la découverte des bizarreries du monde de l'infiniment petit!



Petit voyage dans le monde des quanta

ÉTIENNE KLEIN

FLAMMARION, 2016

(194 PAGES, 8 EUROS)

En 1905 apparaissait une nouvelle physique qui allait révolutionner la façon de décrire la matière et ses interactions: la physique quantique. Elle obligea ses pères fondateurs, Einstein, Bohr, Heisenberg et Schrödinger notamment, à rediscuter le déterminisme et les critères de réalité de la physique classique. Pour la première fois dans l'histoire des sciences, une discipline exigeait un travail d'interprétation afin d'être comprise et appliquée. D'où provient l'incroyable efficacité de la physique quantique?



La Physique quantique en 5 minutes par jour

BLANDINE PLUCHET

FIRST, 2019

(160 PAGES, 2,99 EUROS)

Un petit livre pour tous ceux qui, curieux de physique, mais néophytes en la matière, souhaitent enfin comprendre ce qui se cache derrière cette notion de «quantique», dont on entend régulièrement parler sans bien savoir ce qu'elle signifie, souvent d'ailleurs utilisée à tort et à travers. Pour tous ceux qui, curieux, ont envie de faire un voyage dans la pensée des scientifiques, pour y découvrir un monde insaisissable à nos sens, celui de l'infiniment petit, où les lois qui régissent les phénomènes n'ont rien à voir avec celles du monde à notre échelle.



BANDE DESSINÉE

Quantix - La physique quantique et la relativité en BD

LAURENT SCHAFER

DUNOD, 2019

(176 PAGES, 18,90 EUROS)

Nos sens nous mentent: temps, matière et énergie n'existent pas tels que nous les percevons. Découvrez cette réalité cachée en suivant les aventures d'une famille ordinaire, et partez à la rencontre de ces chercheurs dont les idées ont révolutionné notre vision du réel: Einstein, Schrödinger, Bohr... et bien d'autres! Le physicien spécialiste de physique quantique Carlo Rovelli a trouvé cet ouvrage «Amusant et fascinant!», tandis que Zep, le créateur de Titeuf, y a trouvé une excuse pour ne plus faire de jogging...

RENDEZ-VOUS

P. 110

REBONDISSEMENTS

DES ACTUALITÉS SUR
DES SUJETS ABORDÉS
DANS LES HORS-SÉRIES PRÉCÉDENTS



P. 114

DONNÉES À VOIR

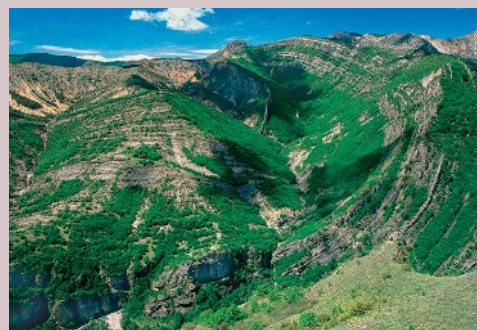
DES INFORMATIONS
SE COMPRENNENT MIEUX
LORSQU'ELLES SONT MISES EN IMAGES



P. 116

LES INCONTOURNABLES

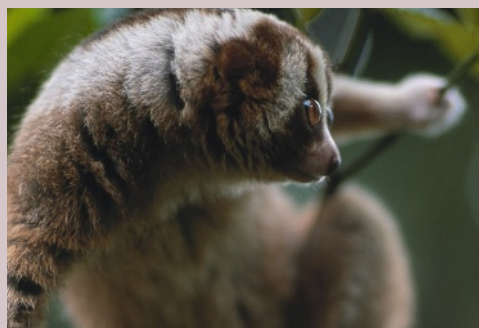
DES LIVRES, DES EXPOSITIONS,
DES SITES INTERNET, DES VIDÉOS,
DES PODCASTS... À NE PAS MANQUER



P. 118

SPÉCIMEN

UN ANIMAL ÉTONNANT CHOISI
PARMI CEUX PRÉSENTÉS SUR
LE BLOG «BEST OF BESTIOLES»



P. 120

ART & SCIENCE

COMMENT UN ŒIL SCIENTIFIQUE
OFFRE UN ÉCLAIRAGE INÉDIT
SUR UNE ŒUVRE D'ART



HORS-SÉRIE N° 106 : UNIVERS NOIR

Et si la matière noire n'existait pas ?

La théorie Mond dispense l'Univers de la mystérieuse matière noire. Une simulation de galaxie à partir d'un simple nuage de gaz accredit sa plausibilité.

Parmi les grandes énigmes de l'Univers, figure notamment la matière noire, décrite dans le *Hors-Série* n° 106: «Enquête sur l'Univers noir». Elle a surgi dans les années 1930 à la suite des observations de Fritz Zwicky montrant des vitesses de dispersion des galaxies bien trop élevées par rapport à ce que laissait supposer la matière visible: il devait donc y avoir une «masse manquante», une matière noire. Celle-ci représenterait quelque 25% du contenu l'Univers. Problème, on n'a jamais réussi à la détecter! Est-on si sûr de son existence?

En 1983, le physicien israélien Mordehai Milgrom a proposé de s'en passer avec une théorie de la gravitation modifiée nommée Mond (pour *Modified Newtonian dynamics*) et selon laquelle sur de grandes échelles, la gravité selon Newton est modifiée: pour de très faibles accélérations comme on les rencontre dans les galaxies, la force de gravitation augmenterait et les empêcherait de se désagréger malgré les vitesses de rotation observées. Mais jusqu'où Mond est-elle compatible avec les observations?

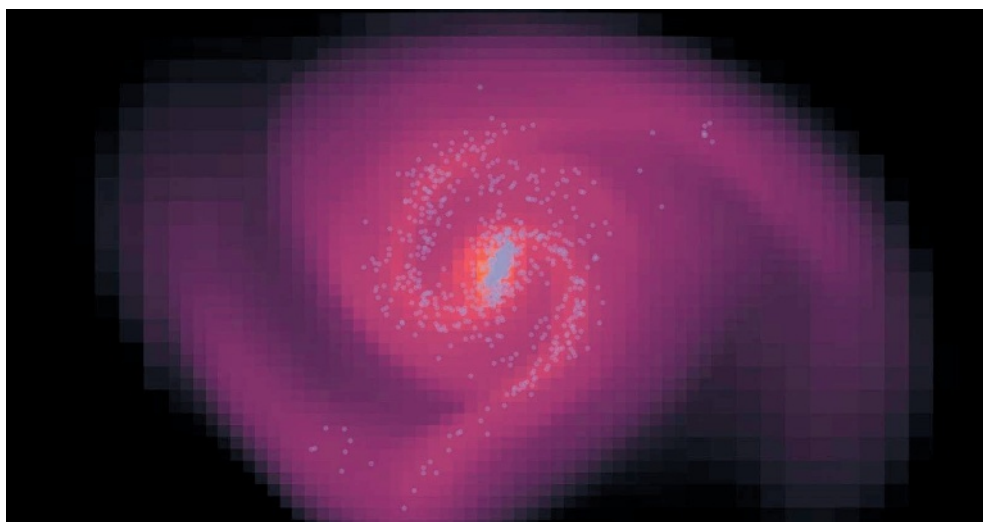
Benoît Famaey, de l'observatoire astronomique de Strasbourg, et deux collègues de l'université de Bonn, en Allemagne, ont publié récemment la première simulation de la formation d'une galaxie selon les principes de Mond

avec un outil informatique spécialement conçu, *Phantom of Ramses*. C'est une première!

La nouveauté est ici que la modélisation débute dans un nuage de gaz sphérique, en rotation, peu après le Big Bang, dans des conditions bien plus primitives que les tentatives précédentes. Plus encore, le modèle tient compte de l'influence de divers phénomènes stellaires comme le rayonnement des étoiles, le souffle des supernovæ... À mesure des calculs, apparaissent les premières étoiles, puis les caractéristiques connues des galaxies, à savoir un centre plus dense, puis une densité en gaz et en étoiles diminuant vers la périphérie. On distingue également des bras spiralés.

C'est un nouveau succès pour Mond, qui expliquait déjà mieux que le modèle standard avec matière noire le disque de galaxies naines autour d'Andromède. Pour autant, est-ce la mort de la matière noire? Pas sûr, car elle a d'autres arguments, non observationnels cette fois, en sa faveur. Par exemple, grâce à l'étude de la nucléosynthèse primordiale, on sait que la matière ordinaire (dite «baryonique») ne peut représenter plus de 5% de l'Univers. Le mystère reste entier... ■

N. WITTENBURG ET AL.,
[HTTPS://ARXIV.ORG/ABS/2002.01941](https://arxiv.org/abs/2002.01941)



Une galaxie née sans matière noire. Les points clairs représentent les jeunes étoiles.

Coraux profonds australiens

Le *Hors-Série* n° 104: «Océans. Le dernier continent à explorer» explorait les étonnants récifs coralliens qui, contre toute attente, prospèrent loin de la surface et abritent d'extraordinaires écosystèmes. Une expédition menée par Julie Trotter, de l'université d'Australie occidentale, grâce au véhicule autonome SuBastian, de l'institut Schmidt pour les océans, a découvert de nouveaux coraux des profondeurs dans le canyon Bremer, à la pointe sud-ouest de l'île-continent. Les échantillons prélevés, de 200 à 4000 mètres de profondeur, ont révélé des espèces inconnues. Selon les explorateurs, la région est d'une importance capitale pour comprendre l'histoire du climat dans la région et au-delà, notamment l'Antarctique.

LE COMMUNIQUÉ DE L'INSTITUT SCHMIDT: [HTTP://BIT.LY/SCHMIDT-OCEANS](http://bit.ly/schmidt-oceans)

Plus fort que CRISPR

L'outil CRISPR-Cas9 a soulevé de nombreux espoirs quant au développement de nouveaux traitements, le *Hors-Série* n° 105: «Qui sommes-nous? Les nouvelles réponses de la génétique» s'en faisait l'écho. Cependant, l'apparition d'effets secondaires, dus à la nécessaire coupure de l'ADN par CRISPR, dans plusieurs essais a réfréné l'enthousiasme des débuts. Hans Clevers, de l'université d'Utrecht, a utilisé une nouvelle technique plus fiable, dérivée de CRISPR. L'outil en question, dit *base-editing*, remplace une base de l'ADN par une autre, sans couper la double hélice de l'ADN. Les biologistes l'ont utilisée avec des organoïdes (des structures reproduisant *in vitro* des organes) pour corriger les gènes impliqués dans la mucoviscidose sans entraîner, les analyses le montrent, d'autres mutations possiblement délétères. La prochaine étape consistera à appliquer la méthode dans des cellules souches.

M. GEURTS ET AL., *CELL STEM CELL*, PRÉPUBLICATION EN LIGNE, 2020

Collisions, π et ordinateur quantique

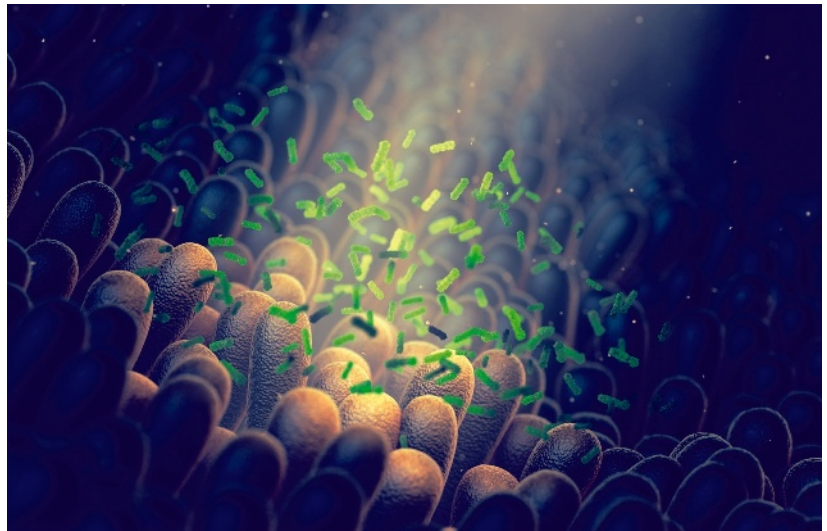
Le nombre π est partout, et le *Hors-Série* n° 103: «L'ordre caché des nombres» s'attachait à le découvrir dans les endroits les plus inattendus! C'est le cas dans les collisions, comme l'a montré en 2003 Gregory Galperin, de l'université de l'Illinois. Et Adam Brown, de l'université Stanford, vient de relier ce résultat à un algorithme quantique de recherche dans une base de données! Commençons par les collisions. Sur une surface sans friction, une masse X de 1 kilogramme est posée. À sa droite, un mur et à sa gauche, une autre masse Y glissant et venant la percuter. S'ensuit une série de rebonds avant que Y ne s'en retourne d'où elle venait. π se cache dans le nombre N de collisions: quand le rapport des masses $Y/X=1$, $N=3$; lorsque $Y/X=100$, $N=31$; $Y/X=10000$ $N=314...$ Plus généralement, avec un rapport $Y/X=102n$, on obtient les $n+1$ premiers chiffres décimaux de π !

Voyons maintenant à quoi ressemblent, schématiquement, les mathématiques qui se cachent derrière l'algorithme de Grover conçu pour rechercher un élément dans une liste, parfois gigantesque, avec un ordinateur quantique. Dans ce cas, à chaque élément de la liste est associée une probabilité et l'algorithme va s'attacher à débusquer la plus proche de 1. Plus précisément, l'ensemble des probabilités définit un vecteur que l'ordinateur quantique manipule (rotation, symétrie...) et Grover a découvert une façon astucieuse de la faire afin d'obtenir l'élément de la liste recherché.

Dans ses travaux, Gregory Galperin raisonne dans l'espace des positions des deux masses, mais on peut aussi exprimer leurs vitesses par un vecteur unique qui est modifié à chaque collision. Par exemple, il subit une symétrie autour de l'axe des abscisses quand X rebondit sur le mur. Adam Brown a montré que la façon dont les chocs modifient le vecteur des vitesses est semblable à celle dont l'algorithme de Grover modifie le vecteur représentant une liste afin de trouver l'élément recherché. De là à chercher un nom dans le bottin (à partir du seul numéro) avec deux masses glissantes... ■

Le microbiote, maître ès épigénétique

Les bactéries de nos intestins influent sur notre santé, mais plus encore ils contrôlent en partie le fonctionnement de nos gènes *via* des mécanismes épigénétiques.



Le *Hors-Série* n° 105: «Qui sommes-nous? Les nouvelles réponses de la génétique» montrait que notre ADN est loin d'être le seul à gouverner le fonctionnement de nos cellules et de notre organisme. De fait, il doit compter, d'une part, sur l'apport des milliards de bactéries de notre microbiote intestinal et, d'autre part, sur les modifications épigénétiques qui influent sur l'expression des gènes. Dina Bellizzi, de l'université de Calabre, à Rende, en Italie, et ses collègues font le point sur les liens entre ces deux niveaux de contrôle.

Les bactéries intestinales fabriquent de nombreux métabolites dont les fonctions complètent celles de nos propres enzymes, avec des effets à court et long terme. Des déséquilibres dans cette production peuvent entraîner divers troubles. Parmi ces substances, citons des acides aminés, des vitamines, des hormones, des neurotransmetteurs et des acides gras à chaîne courte (acétate, propionate et butyrate) sur lesquels l'accent est mis.

Et pour cause, ils interviennent à la fois dans la méthylation de l'ADN et la modification des histones, deux mécanismes épigénétiques majeurs. Ainsi, on a montré que le profil épigénétique des cellules sanguines et du tissu adipeux diffère chez les individus obèses, dont le microbiote était appauvri en bactéries *Bacteroidetes* par rapport à celui de sujets sains. Autre exemple, les acides gras à chaîne courte exercent un effet anti-inflammatoire en favorisant l'acétylation des histones dans les lymphocytes T CD4⁺.

Pour achever de vous convaincre, citons un dernier lien important. Les vitamines B2, B12, B6... synthétisées par le microbiote sont essentielles aux ADN- et histones-méthyltransférases (des enzymes responsables de transformations épigénétiques), car elles leur fournissent indirectement le groupe méthyle qui influera sur l'expression des gènes.

Les exemples sont multiples, et au terme de leur énumération, les auteurs lancent un appel: certes les liens entre microbiote et épigénétique sont connus, mais la recherche sur les mécanismes qui les sous-tendent est encore insuffisante. ■

HORS-SÉRIE N° 104: OCÉANS

Le mystère du carbone perdu

Pourquoi tout le carbone absorbé à la surface des océans n'atteint-il pas le fond ? À cause de la fragmentation.

Les océans sont des acteurs clés du climat, notamment parce qu'ils piègent une grande part du carbone atmosphérique, le *Hors-Série* n° 104: «Océans. Le dernier continent à explorer» en détaillait les rôles. L'une des pompes à carbone est purement physique: le carbone se dissout dans l'eau et est entraîné par les mouvements marins. L'autre est biologique. Grâce à la photosynthèse, le phytoplancton capture le dioxyde de carbone pour en faire des molécules organiques qui, à la mort des organismes, sombrent. Mais tout n'atteint pas le fond et la zone abyssale... Que se passe-t-il? Nathan Briggs, du Centre d'océanographie de Southampton, en Grande-Bretagne, s'est penché sur la question.

De fait, sur les 50 milliards de tonnes de carbone transformé en matière organique à la surface de l'océan par les microorganismes, seuls 20% pénètrent dans la zone mésopélagique soit 10 milliards de tonnes. Et seuls 10% de ces 20%, soit un milliard de tonnes (2% de la masse initiale) finira séquestré dans les profondeurs abyssales pour y rester à perpétuité. Des balises Argo déjà équipées pour des mesures physiques (température, salinité...) ont été dotées de nouveaux instruments de mesure par Hervé Claustre, du Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer, comme des capteurs de chlorophylle (pour estimer la quantité de phytoplancton) et de rétrodiffusion de la lumière (pour l'ensemble des particules). Après avoir exploré à différentes saisons plusieurs régions océaniques, essentiellement dans l'Atlantique Nord et dans le sud de l'océan Indien, cette panoplie d'outils a précisé les aléas du destin du carbone.

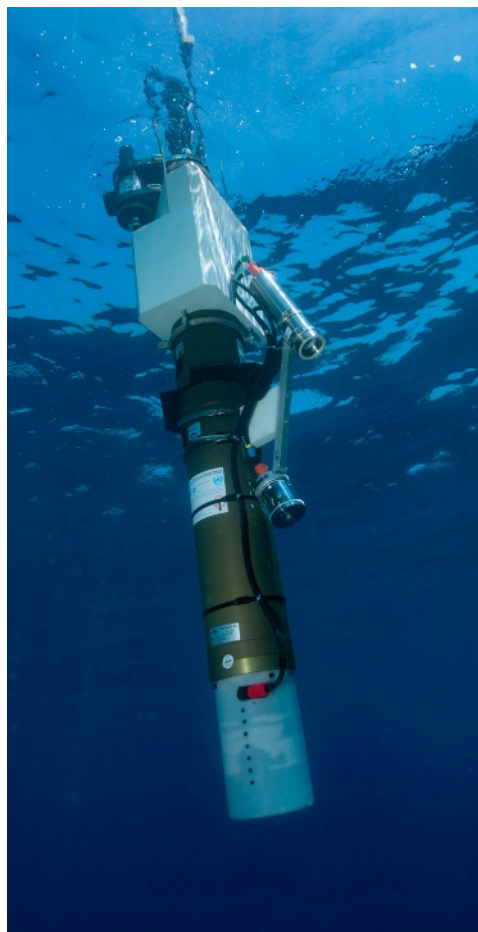
Jusqu'à 200 mètres, le carbone issu du phytoplancton, mais aussi des déjections du zooplancton, de bactéries et de divers composés organiques... s'agrègent en «gros» amas de 200 à 2000 micromètres de diamètre qui franchissent la frontière supérieure de la zone mésopélagique. Avec une telle taille, ils devraient ensuite la traverser sans difficulté.

Mais non, leur destin est tout autre. Sous l'effet probable de bactéries et de la turbulence, les agrégats se fragmentent, et beaucoup plus qu'on ne l'imaginait. Dès lors, la chute vers les profondeurs du carbone est en partie

interrompue, car les toutes petites particules ainsi produites sont prises dans les courants et la circulation de l'eau: la gravité n'est plus suffisante. La fragmentation serait donc l'explication principale à la «disparition» du carbone avant qu'il ne rejoigne le plancher océanique.

Étonnamment, des disparités régionales ont été observées. Un nouvel engin plus encore perfectionné est en cours de préparation pour éclaircir ce point, et répondre à d'autres questions... en suspens dans l'eau! ■

N. BRIGGS ET AL., *SCIENCE*, VOL. 367(6479), P. 791-793, 2020



Un robot flotteur-profondeur équipé de capteurs biologiques et chimiques, qui peut réaliser des mesures entre la surface de l'océan et 2000 mètres de profondeur.

Inéluctable suite

Les nombres sont au cœur de plusieurs problèmes dont certains étaient exposés dans le *Hors-Série* n° 103: «L'ordre caché des nombres». Sarah Peluse, de l'université d'Oxford, vient d'en résoudre un. Il concerne les suites polynomiales construites à partir d'un nombre initial, auquel on ajoute les puissances successives d'un autre nombre: par exemple, $2, 2 + 3^1, 2 + 3^2, 2 + 3^3, 2 + 3^4...$ soit $2, 5, 11, 29, 83...$ La mathématicienne a déterminé la taille que doit avoir un ensemble de nombres de façon à ce qu'il contienne nécessairement une suite polynomiale donnée. Selon elle, des éléments de sa preuve peuvent aider à l'étude des nombres premiers.

S. PELUSE, [HTTPS://ARXIV.ORG/ABS/1909.00309](https://arxiv.org/abs/1909.00309)

Trou noir et berceau de la vie

Les trous noirs ont été les «stars» de l'année 2019, et le *Hors-Série* n° 106: «Enquête sur l'Univers noir» leur a largement rendu hommage. Et ils font encore parler d'eux en 2020. Xian Chen, de l'université de Pékin, en Chine, et ses collègues se sont penchés sur Sagittarius A*, le trou noir supermassif tapi au centre de notre galaxie. Aujourd'hui bien calme, il a été par le passé pris de soubresauts violents accompagnés d'émissions intenses de rayons X durs. Ces ondes électromagnétiques de haute énergie, en traversant le disque de gaz de la galaxie, auraient favorisé la production de molécules organiques comme l'eau H_2O , le méthanol CH_3OH , le méthanal CH_2O ... en arrachant les électrons de certains atomes. Doit-on les premières briques de la vie aux humeurs d'un trou noir supermassif?

L. CHANG ET AL., [HTTPS://ARXIV.ORG/ABS/2002.03086](https://arxiv.org/abs/2002.03086)

DÉJOUER LES PIÈGES DES STATISTIQUES

- Une sélection d'articles rédigés par des chercheurs et des experts
- Une lecture adaptée aux écrans

3,99 €



Les *Thema* sont une collection de hors-séries numériques. Chaque numéro contient une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* sur une thématique.

Dans la collection *Thema* découvrez aussi



**Commandez et téléchargez
les numéros en pdf**



Pour lire votre numéro, rendez-vous dans votre compte client



boutique.pourlascience.fr/tous-les-numeros/thema.html

Et au milieu coule un fleuve

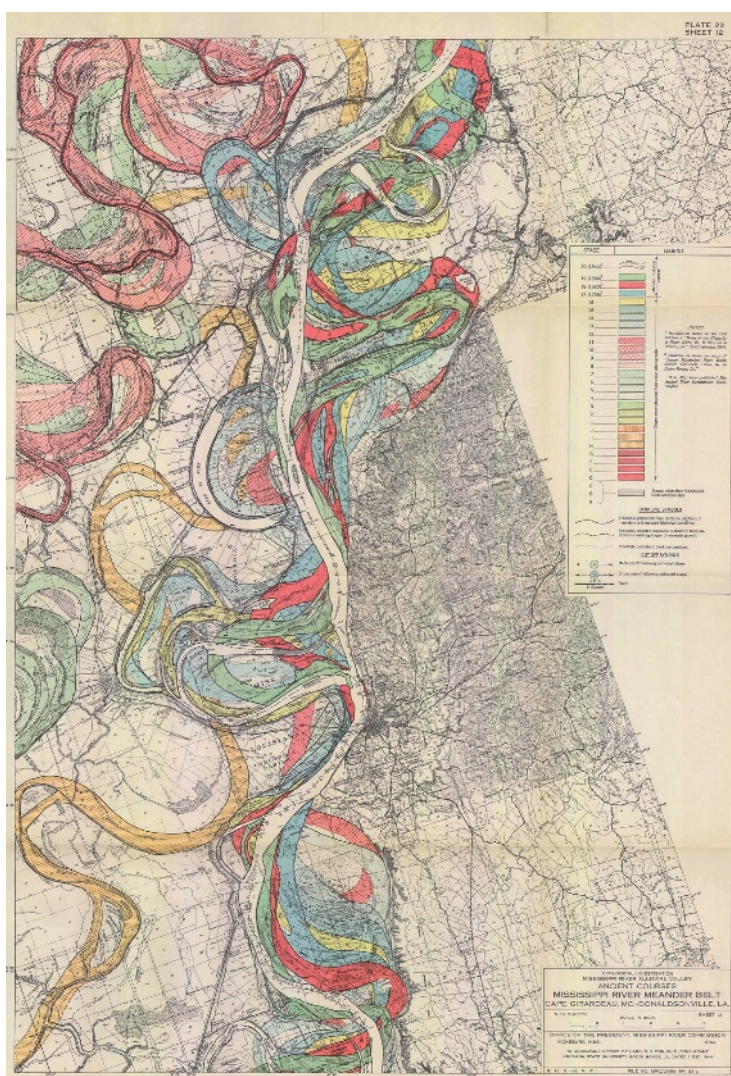
Des cartes en couleurs racontent 6 000 ans d'histoire des vicissitudes du Mississippi, et de son cours changeant.

La civilisation égyptienne s'est bâtie sur le Nil dont les crues et autres soubresauts ont été sinon maîtrisés du moins apprivoisés. Ce n'est qu'un exemple parmi de nombreux dans le monde de populations qui ont prospéré grâce aux bienfaits d'un fleuve: la fertilisation des champs par le limon apporté par les inondations et l'irremplaçable voie de navigation et d'échanges offerte. Le Mississippi est un autre cas. Long de 3 780 kilomètres, traversant les États-Unis du nord au sud, il était important pour de nombreux peuples amérindiens et reste encore aujourd'hui un élément fondamental de l'économie américaine. Néanmoins, ce cours d'eau est capricieux et ses crues puissantes compliquent régulièrement le commerce.

Dès 1879, pour le canaliser au mieux, on entreprit de grands travaux dont l'insuffisance éclata au grand jour lors d'une inondation historique en 1927. Pour gagner en efficacité, il fallait mieux connaître l'histoire du Mississippi. C'est la mission que s'assigna au début des années 1940 Harold Norman Fisk en se lançant dans une étude approfondie de la géomorphologie du fleuve, essentiellement la partie aval.

Ce furent deux ans de photographies aériennes, de conception de modèles, d'analyse de cartes historiques (1765, 1820, 1880 et 1940), de recherches sur le terrain... au terme desquelles le géologue a pu reconstituer l'histoire du fleuve sur environ 1 000 kilomètres. Dans le rapport que Fisk rédigea pour la commission du fleuve Mississippi, rattachée à l'armée, quelque 15 cartes colorées résument les informations collectées correspondant à 6 000 ans d'évolution complexe du fleuve, de sa vallée, de la plaine alluviale. Au gré des couleurs, on suit les déplacements des méandres et les changements de cours en réaction aux dépôts de sédiments.

Ces cartes se sont révélées fort utiles lorsque durant la Seconde Guerre mondiale, le Mississippi fut une importante voie de transport. Elles ont aussi aidé les géologues en quête de pétrole et de gaz. Mais l'épisode de crue majeure au printemps 2011 montre que le Mississippi ne se laisse pas facilement dompter. ■



Le cours du Mississippi a changé au cours de l'histoire. Chaque couleur de cette « tresse » correspond à une époque.

H. Fisk, *Geological investigation, Mississippi river alluvial valley, ancient courses, Mississippi river meander belt, Cape Girardeau, Mo.-Donaldsonville, La.*, Mississippi River Commission, 1945.