

Réflexiences n°7

Avril / Mai 2007

Le magazine de la culture scientifique // [es.com](http://www.reflexienc<span style=)

Dossier nano :
Plus c'est petit, plus
c'est mignon ?



Nouvelle
édition !

La dérive des continents

Des ferments dans votre assiette

Les cellules souches : des promesses
bridées ?

Sommaire n° 7

p3 // Aujourd'hui en sciences

Innovations technologiques ou découvertes scientifiques, la rubrique Actualité vous dit tout !

p4 // La dérive des continents

50 ans pour admettre que les continents se déplacent ! Retour sur une des plus longues controverses de l'Histoire.

p6 // Des ferments dans votre assiette

Pain, fromage, bière, vin... Tous ces aliments et bien d'autres encore sont issus du travail d'êtres microscopiques, les ferments.

p8 // DOSSIER NANO : Plus c'est petit, plus c'est mignon ?

Un dossier pour décrypter le langage nano et comprendre les enjeux

p10 // Partir à la découverte des sciences avec

Claire Lemoine

Découvrez le parcours d'une passionnée des sciences et de la médiation.

p11 // Les cellules souches : des promesses bridées ?

Entre promesses et controverses, les cellules souches se retrouvent souvent au coeur des débats.

p12 // La science sort sa culture

Expositions, livres, conférences, films : cette rubrique vous dit où trouver la science !

EDITO

Réflexiences est de retour !

Pour ceux qui l'attendaient de pied ferme, le voici relooké en couleurs ; pour ceux qui le découvrent, sachez que Réflexiences a eu une autre vie et que vous tenez entre les mains le 7^e numéro.

Pendant un an Réflexiences a été distribué gratuitement dans les lycées et universités d'Essonne dans le but de participer au développement de la culture scientifique. Nous souhaitons que ce magazine continue son chemin dans le petit monde de la vulgarisation. Pour cela, notre objectif principal n'a pas changé : nous espérons vous aider à mieux appréhender la science, *via* son histoire et les débats qu'elle suscite.

Depuis juin 2006, nous avons mis de la couleur à Réflexiences, nous l'avons remanié graphiquement, nous avons changé de format, et nous avons développé un partenariat. Vous avez peut être trouvé ce numéro inséré dans la prestigieuse revue Technology Review. Ce n'est pas un hasard. Nous nous sommes associés à la version française du magazine du Massachusetts Institute of Technology car son approche de la technologie rejoint notre approche de la science. Technology Review a pour ambition d'explorer les interactions de *l'innovation et des technologies* dans la société ; Réflexiences souhaite présenter l'impact des *découvertes et des avancées scientifiques*, également dans la société.

Un magazine de l'innovation, pour accompagner le magazine de la culture scientifique, les complémentarités sont intéressantes - on espère que vous serez d'accord avec nous !

Bonne lecture à tous.

La rédaction

Directrice de la publication : Mathilde Royer

Directeurs de rédaction : Elsa Godet, Jérôme Nicolle, Jérémie Pottier, Mathilde Royer, Nathalie Dubois

Ont participé à ce numéro : Nathalie Dubois, Elsa Godet, Nada Joo, Claire Moras, Olivier N'Go, Jérôme Nicolle, Myriam Rebeyrotte

Editeur : Association Réflexiences / 5-7 rue Crespin du Gast / 75 011 PARIS

Contact : contact@reflexiences.com

Site Internet : www.reflexiences.com

Crédits images : Photo tortue : Nemo's Great Uncle

<http://www.flickr.com/photos/maynard/67039506/>

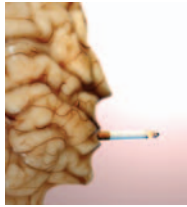
Avec l'aimable autorisation de l'auteur

ISSN : 1778-1825

Aujourd'hui

en sciences

On a trouvé la zone du cerveau complice des lobbies du tabac



Arrêter de fumer est une tâche très ardue. Pourtant, il est de plus en plus difficile de consommer sa dose de nicotine dans les lieux publics où les interdictions font rage. Stopper la cigarette est plus que jamais d'actualité, et pourtant aucune méthode scientifique n'a encore été trouvée pour aider ces pauvres fumeurs à dire « demain j'arrête »...

Le chercheur Antoine Bechara (Université de Californie du Sud) a remarqué que les fumeurs parvenaient une bonne fois pour toutes à arrêter de fumer quand une zone précise du cerveau était détruite ou endommagée. Cette zone du cortex cérébral nommée « insula » ou « île de Reil » a donc concentré les efforts des chercheurs qui ont remarqué que plus elle était active lors d'une prise de décision chez un sujet toxicomane, plus celui-ci risquait de rechuter. A. Bechara a étudié l'impact de l'activité de cette zone sur la dépendance à la cigarette. Son étude a montré que les fumeurs dont l'insula était détruite suite à un accident parvenaient plus facilement à arrêter de fumer que les autres (plus rapidement, plus facilement, et sans rechute). Notons que ces personnes « sans insula » présentaient aussi des destructions de régions cérébrales adjacentes : il est donc possible que d'autres zones proches jouent également un rôle dans l'addiction au tabac. Mais les chercheurs privilégient la piste de l'insula car cela confirme un phénomène déjà connu : l'insula est le centre de la dépendance subjective aux drogues.

Jérôme Nicolle

Les tortues marines utilisent le magnétisme de la Terre !



Credits : Nemo's Great Uncle

Pour rejoindre leur site de ponte, souvent éloigné de leur zone d'alimentation, les tortues de mer parcourent des centaines de kilomètres dans les océans sans jamais se perdre. Mais comment font-elles ? Simon Benhamou, du Centre d'Écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier (CNRS, Université de Montpellier, Cirad, ENSA et EPHE) a réalisé l'expérience suivante : il capture des tortues vertes (*Chelonia mydas*) de l'Océan indien puis les relâche très loin de leur point de destination en ayant pris soin de leur poser un capteur satellite sur le dos. Résultat : les tortues retrouvent leur cap sans problème, comme si elles étaient dotées d'une boussole. En revanche, elles compensent très mal la dérive des courants et peuvent tourner sur des milliers de kilomètres avant de rejoindre le site.

Dans une deuxième expérience, il leur place sur la tête un aimant très puissant afin de perturber leur perception du champ magnétique de la Terre. Bilan : les tortues ont de sérieuses difficultés pour garder leur cap, mais arrivent quand même à destination.

Conclusion de l'étude : le système d'orientation des tortues est assez simple. Elles utilisent le champ magnétique naturel comme certains oiseaux migrateurs. Mais le fait qu'elles arrivent à surmonter les perturbations du champ montre qu'elles utilisent d'autres informations. Comme pour les poissons, les chercheurs pensent que l'odorat serait la clé du mystère. Il ne reste plus qu'à inventer une nouvelle expérience pour vérifier cette hypothèse. Affaire à suivre.

Claire Moras

La star des comètes



Photo prise par l'ESO (European Southern Observatory) le 19 janvier 2007.

En ce début d'année 2007, la Terre a assisté à un magnifique spectacle céleste : le passage entre la Terre et le Soleil de la comète la plus brillante depuis Ikeya-Seki en 1965. La comète C/2006 P1 a été découverte en août 2006 par Robert

McNaught, un astronome anglo-australien, grâce à des photos prises par D.M. Burton au Siding Spring Observatory en Australie. Au moment de sa découverte, la comète McNaught n'était pas visible à l'œil nu mais, en se rapprochant du Soleil, elle est devenue tellement brillante que sa luminosité trop intense a saturé les capteurs de SOHO (Solar and Heliospheric Observatory).

La comète a atteint sur son orbite le point le plus proche du Soleil (son périhélie) le 12 janvier 2007. Elle est passée à 0,17 UA du Soleil (1 Unité Astronomique correspond à la distance moyenne Terre-Soleil). Elle était alors si proche de notre étoile qu'elle n'était plus visible de la Terre. Elle est réapparue le 18 janvier dans le ciel austral, toujours aussi brillante, au grand bonheur des astronomes professionnels et des amateurs de l'hémisphère sud qui ont pu réaliser de superbes photos de la comète.

Nada Joo

Des garçons qui naissent dans des roses et des filles dans des choux ?

En 2006, de nombreuses équipes de chercheurs se sont penchées sérieusement sur le problème : comment fabriquer des ovules et des spermatozoïdes humains ? Si on y parvenait, cela permettrait d'une part à des personnes stériles de donner naissance à une descendance, et d'autre part à deux hommes ou deux femmes de procréer ! Les cellules souches sont encore au devant de la scène puisque, après modifications génétiques, elles pourraient se transformer en cellules reproductrices. L'institut Max Planck de Münster s'exerce sur les souris mais le développement et la maturation des ovules ne sont pas encore maîtrisés. Quant aux spermatozoïdes créés par l'Université de Newcastle upon Tyne, ils sont mauvais nageurs et doivent donc être aidés par une micropipette pour féconder l'ovule. Les cellules souches masculines pourraient produire à la fois des spermatozoïdes et des ovules, ce qui permettrait à deux hommes d'avoir un enfant qui soit génétiquement le leur. Cependant une femme sera indispensable pour la gestation, en attendant l'utérus artificiel. En revanche, il est plus délicat de transformer des cellules féminines en spermatozoïdes car elles sont dépourvues du chromosome Y qui contient des informations indispensables pour fabriquer les gamètes mâles. Finalement, hommes et femmes ne sont pas près de pouvoir totalement se passer les uns des autres.

Myriam Rebeyrotte

Histoire d'une grande controverse

La dérive des continents

Admettre que les continents se déplacent n'a pas été chose facile. Tout comme admettre que la Terre est ronde, ou que les espèces évoluent, pour ne citer que deux exemples. Mais pourquoi l'avancée des sciences suscite-t-elle autant de conflits ? Retour sur une des plus grandes controverses du XX^e siècle : la tectonique des plaques.



(1) : Alfred Wegener, *La genèse des continents et des océans*, 1928

Il y a des millions d'années, la carte du monde ne ressemblait absolument pas à celle d'aujourd'hui. Nos continents se sont déplacés, et ils continuent de le faire. Mais pas d'affolement, il ne s'agit au maximum que de quelques centimètres par an. Difficile à concevoir, pour nous, pauvres humains dont la durée de vie moyenne ne dépasse pas 80 ans...

Pourtant, il y a près d'un siècle, un homme y réfléchissait déjà. Assis devant une carte du monde, il fit une observation que nous avons tous faite au moins une fois. « *La première idée des translations continentales me vint à l'esprit dès 1910. En considérant la carte du globe, je fus subitement frappé de la concor-*

dance des côtes de l'Atlantique, mais je ne m'y arrêtais point, tout d'abord parce que j'estimais de pareilles translations invraisemblables » (1).

Sans le savoir, Alfred Wegener allait révolutionner toutes les théories scientifiques de l'époque...

Une théorie qui fait sourire

En 1912, Alfred Wegener est un jeune astronome et météorologue allemand. Contrairement à beaucoup d'autres scientifiques, il s'intéresse non pas à un unique domaine d'étude mais à l'ensemble des sciences se rapportant à l'étude du globe (il faut dire qu'au début du XX^e siècle, les sciences de la Terre n'en sont qu'à leurs prémices, notamment en matière de tectonique). Il réunit ainsi un nombre considérable de données et arrive pour finir à l'hypothèse suivante : les continents, autrefois réunis en une seule masse continentale, la Pangée (voir schéma ci-contre), se sont dispersés pour atteindre leur position actuelle.

Cette thèse est grandiose. Elle apparaît comme un boulever-

sement radical des concepts classiques, bouleversement tellement important que la majorité des scientifiques la rejette massivement. Les preuves de Wegener ne sont pas assez précises pour convaincre et, surtout, il laisse une question en suspens : quel est le moteur de ces déplacements ?

Nous voici au cœur du problème lié aux avancées de la science : quand une théorie vient détrôner les précédentes, des réticences s'ensuivent irrémédiablement. Ce sont souvent plusieurs dizaines d'années de recherches remises en question, du jour au lendemain. Et reconnaître que les connaissances actuelles sont erronées, c'est prendre conscience que la réalité n'est qu'illusion. Difficile à admettre. Que dirait-on, nous, si quelqu'un venait à prouver que la Lune est plate, ou que les étoiles n'existent pas ?

Les sciences ont ainsi suscité de grandes controverses dans les siècles précédents, conduisant le plus souvent à la formation de deux camps opposés. Wegener faisait partie des « mobilistes », un camp minoritaire au sein de la communauté scientifique. Il fut écarté, et sa thèse rapidement oubliée par la grande majorité des savants.



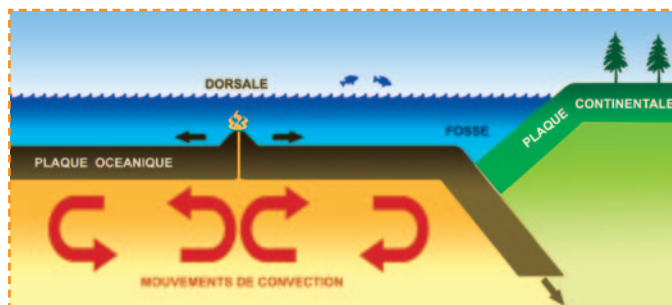
La « Pangée » est le nom donné au supercontinent rassemblant la quasi-totalité des terres émergées (fin du Carbonifère, début du Jurassique).



À la conquête des océans

Oubliée, mais pas par tous. En 1927, le Hollandais Vening-Meinesz réalise les premières mesures de gravité en pleine mer. Il découvre alors des anomalies à l'aplomb des grandes fosses, comme il en existe près de la côte ouest de l'Amérique. Il explique cet étrange phénomène par une force dirigée vers la Terre. Il prouve ainsi la théorie que l'Anglais Holmes avait émise deux ans plus tôt : l'intérieur du manteau de la Terre est le siège de courants de convection (voir schéma ci-dessus), c'est-à-dire de déplacements de matière en forme de boucle, comme dans une casserole d'eau bouillante.

Voilà quel est le moteur du déplacement des continents ! L'idée est là, mais malheureusement personne n'y croit. C'est au tour de l'Américain Harry Hess d'entrer en jeu. En tant que commandant de navires d'assaut durant la Seconde Guerre mondiale, il étudie la géologie sous-marine en vue d'une reconnaissance de terrain pour le débarquement. Il découvre alors des monts sous-marins d'origine volcanique. Il pense que ces monts sont d'anciennes îles qui auraient glissé le long des flancs de la dorsale (voir schéma ci-dessus) pour se retrouver



La chaleur du manteau est évacuée au niveau de la dorsale par des mouvements de convection.

sous l'eau (la dorsale étant la chaîne de montagnes longiligne au centre des océans). L'idée que quelque chose naissait au niveau des dorsales puis s'en écartait commençait à prendre forme.

Pendant la guerre, les prospections océaniques se multiplient et conduisent à des découvertes surprenantes. Non seulement le fond de l'océan est beaucoup plus jeune que prévu, mais il est le siège de phénomènes volcaniques encore inconnus. Pis : les dorsales ont une activité volcanique constante ! C'est une véritable révélation. Mais pourquoi toute cette activité ? Il fallait maintenant trouver une explication...

Loin des critiques, un homme réfléchit

Si les efforts d'exploration du fond des mers redoublent, les réflexions et les modèles d'explication s'épuisent. La recherche d'innovations technologiques occupe davantage les esprits (télévision, fusée, satellite...) si bien qu'à la fin des années 50 la théorie de la dérive des continents arrive dans une impasse.

Mais Hess, lui, ne perd pas espoir. Il continue de mener ses recherches. Pendant près d'un an, il essaye de réunir toutes les données. Et puis, enfin, une piste s'ouvre : et si le plancher océanique naissait en permanence à partir des dorsales ?

L'idée se précise, tout devient clair. Les fameux courants de convection font remonter du magma au niveau des dorsales

et le plancher océanique s'écarte au fur et mesure, de part et d'autre de la dorsale. C'est ce qui explique l'étrange jeunesse de cette

croûte ainsi que le « glissement » des monts sous-marins, et enfin... la dérive des continents. Tout est clair !

Toutefois, un problème demeure : où va l'excédent de matière ? Car si Hess refuse l'augmentation du volume de la Terre et accepte la croissance permanente des océans, il faut bien que la croûte océanique disparaisse quelque part.

Et soudain, le déclic : l'anomalie de Vening-Meinesz au-dessus des fosses ! Celles-ci sont le siège de mouvements descendants. Autrement dit, c'est là que le plancher océanique disparaît. Le fond des océans est donc une sorte de tapis roulant, entraînant avec lui les continents. Le dernier maillon manquant était trouvé. Tout se tenait parfaitement.

L'argument de la victoire

Hess présente sa théorie en 1962, mais avec grande réserve de peur qu'elle soit immédiatement rejetée. Et, en effet, c'est ce qui arrive.

Il faut attendre l'année d'après (avec la découverte des inversions magnétiques dans la croûte océanique) pour que la théorie de l'expansion océanique devienne enfin une évidence. En 1967, Harry Hess expose sa théorie au congrès de Washington. C'est la consécration.

Grâce à l'acharnement de cet homme et d'une très étroite lignée de chercheurs, le mouvement des plaques est enfin reconnu. Les preuves sont cette fois beaucoup trop nombreuses pour que quiconque ose réfuter la dérive des continents. C'est une véritable révolution scientifique, une totale remise en question des connaissances actuelles. Entre Wegener et Hess, il aura donc fallu près de 50 ans pour arriver à changer les concepts établis, une des plus longues controverses de l'histoire des sciences.

Claire Moras
claire@reflexiences.com

À table avec les ferments

Tout gastronome prend plaisir à déguster un bon fromage avec du pain, accompagné pourquoi pas d'un verre de vin. Sait-il cependant que la fabrication de tous ces produits, ainsi que de bien d'autres, met en jeu un processus biologique très répandu, la fermentation ?

La fermentation est l'une des plus anciennes techniques de transformation et de conservation des aliments, utilisée depuis des millénaires en Égypte, en Grèce ou encore en Chine (voir encart)... Aujourd'hui, plus de 3500 aliments fermentés traditionnels, d'origine animale ou végétale, existent dans le monde.

La fermentation : qui et comment ?

Le terme de fermentation provient du latin *fervere* qui signifie « bouillir ». En effet, lors de la fermentation de certains liquides, on observe un dégagement important de gaz (habituellement du dioxyde de carbone ou CO₂) qui provoque la formation d'une « mousse » en surface et qui donne l'impression d'un liquide en ébullition. On sait aujourd'hui que la fermentation est en fait une réaction biochimique réalisée par des micro-organismes comme les levures ou les bactéries en l'absence de dioxygène (ou O₂). Ces derniers transforment le sucre des matières premières en substances chimiques diverses. De ce fait, il est plus approprié de parler « des fermentations » plutôt que « de la fermentation » : en fonction du produit libéré, on distinguera par exemple les fermentations alcoolique, lactique, butyrique, propionique...

Le pain, le vin, et la bière

La fermentation mise en jeu dans la fabrication de produits tels que le pain, le vin, la bière ou encore le cidre est la fermentation alcoolique. Elle fait essentiellement intervenir un champignon microscopique, la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

Le pain est un produit fermenté d'origine

végétale à base de blé. La pâte est composée uniquement de farine de blé (ou de seigle dans certains cas), d'eau potable et de sel de cuisine. Pour la faire fermenter, on ajoute de la levure de boulanger *Saccharomyces cerevisiae* ou du levain, mélange de farine et d'eau déjà fermenté naturellement. Dans la pâte, en absence d'O₂, les levures dégradent les sucres présents dans la farine (glucose et saccharose essentiellement) pour produire l'énergie qui est nécessaire à leur vie. Cette dégradation s'accompagne d'une libération de CO₂ qui provoque la levée caractéristique de la pâte. De l'alcool est aussi produit, mais il s'évapore totalement au cours de la cuisson. Les produits issus en très faibles quantités d'un certain nombre d'autres fermentations participent au goût et à l'arôme du pain. Lorsqu'on ne met pas de levures dans la pâte, le pain ne lève pas et on obtient un pain dit « azyme ».

La fabrication du vin met en jeu deux types de fermentation : alcoolique et malolactique. Dans un premier temps, le sucre dégradé par les levures (essentiellement le glucose qui se trouve dans le jus de raisin), est transformé en alcool éthylique et en CO₂. Les levures responsables de cette fermentation peuvent être celles qui se trouvent naturellement dans la peau du raisin, mais dans la pratique on rajoute souvent des levures sélectionnées en laboratoire pour leur efficacité. Outre l'alcool éthylique, un grand nombre de produits sont fabriqués au cours de la fermentation, en particulier de l'acide malique. Sa présence est le plus souvent ressentie comme un défaut du vin. Pour éliminer cet acide malique, on procède à une deuxième fermentation qui transforme l'acide malique en acide lactique. On fait subir quasi systématiquement cette fermentation malolactique aux vins rouges. Pour les blancs, cela dépend du résultat

désiré, selon que l'on souhaite obtenir un vin sec et frais ou un vin plus gras et capable de vieillir.

Dans le cas de la bière, la fermentation alcoolique suit les étapes de maltage (transformation des grains d'orge en malt) et de brassage (production du moût). Les levures sont ajoutées au moût et entraînent la transformation des sucres en alcool éthylique et en CO₂. Deux principaux types de fermentation sont encore possibles en fonction de la variété des levures utilisées et de la température de fermentation. La fermentation basse, de type « pils », dure de 6 à 10 jours, se déroule entre 8 et 10 °C, et tire son nom du fait que les levures se déposent au fond de la cuve à la fin du processus. La fermentation haute, ou traditionnelle, dure au maximum 5 jours et est réalisée par des levures actives entre 15 et 25 °C qui travaillent à la surface du moût en formant une couche épaisse et mousseuse.

Des bactéries lactiques en fin de repas

La plupart des produits laitiers sont issus d'un processus de fabrication qui repose sur la fermentation lactique.

La fabrication du fromage se déroule en plusieurs étapes et fait essentiellement intervenir de bactéries lactiques dont les principales appartiennent aux genres *Lactococcus*, *Streptococcus* et *Lactobacillus*. Elles transforment le lactose du lait (un type de sucre) en acide lactique qui acidifie le produit. Cette acidification entraîne d'une part la coagulation du lait et donc l'obtention d'un gel, d'autre part l'égouttage qui permet la séparation spontanée du caillé (la partie solide) du lactosérum (la partie liquide).

Deux étapes facultatives peuvent ensuite intervenir : le salage qui contribue à la formation de la croûte et au développement de goûts particuliers, et l'affinage pour les fromages affinés. D'autres fermentations prennent également place au cours de ces étapes de fabrication et participent à créer la flaveur (ensemble des sensations perçues lors du flairage ou de la mise en bouche de l'aliment) et la texture spécifiques à chaque fromage. Pour le yaourt, les bactéries lactiques utilisées sont thermophiles (elles peuvent vivre même à haute température). Elles appartiennent aux genres *Streptococcus* et *Lactobacillus*. Elles transforment là encore le lactose du lait en acide lactique, entraînant sa prise en masse et la formation d'un coagulum ferme, sans écoulement de lactosérum. Le goût acidulé du produit final est dû à cette fermentation lactique, et sa saveur caractéristique est liée à la production de composés aromatiques par les bactéries. Certaines souches de bactéries sont également responsables de la production de filaments qui contribuent à la viscosité du yaourt. Les ferments lactiques doivent d'ailleurs rester vivants dans le produit final, à raison de 10 millions par gramme. Certains yaourts, au bifidus par exemple, relèvent d'un procédé de fabrication identique, mais les bactéries utilisées ne produisent pas autant d'acide lactique : le goût est alors plus doux et la texture moins gélifiée. Selon le type de yaourt désiré, du sucre, des colorants, des arômes, des fruits peuvent être ajoutés avant ou après la fermentation.

Vous reprendrez bien un peu de bactéries ?

Les processus fermentaires interviennent dans la fabrication de très nombreux autres aliments. Le saucisson sec par exemple est un produit carné cru et fermenté. Il s'agit d'un aliment fini et stable, dont la durée de conservation est relativement longue sans besoin particulier de le garder au froid. La viande utilisée pour le fabriquer est naturellement colonisée par de nombreuses bactéries et il n'existe aucun moyen de la stériliser. Cependant, au cours de la fabrication, la plupart disparaissent, notamment celles qui pourraient se révéler pathogènes, alors que les bactéries lactiques, en particulier *Lactobacillus sakei*, subsistent. Ce sont elles qui réalisent la fermentation lactique, un des processus favorisant la

disparition de la flore pathogène. La choucroute est issue de la fermentation lactique du chou, qui permet de conserver la préparation plusieurs mois et de doubler le taux de vitamine C. La fermentation est un procédé qui s'applique à bien d'autres légumes ou fruits, comme les navets, carottes, radis, olives, melons...

Les boissons alcoolisées ne sont pas les seules boissons fermentées puisque le cacao, le café et certains thés le sont aussi : les fèves, les grains ou les feuilles dont ils sont issus sont mis à fermenter après récolte afin de développer des arômes caractéristiques. Par exemple, pour le cacao, le procédé de fermentation commence par la conversion des sucres de la pulpe en alcool et en dioxyde de carbone. Les bactéries transforment ensuite l'alcool en acide lactique et, le milieu devenant de plus en plus pauvre en dioxygène, en acide acétique.

De plus, les produits de fermentation revêtent une spécificité géographique : si en Europe le fromage et le pain sont particulièrement appréciés, en Afrique, les aliments fabriqués à partir de féculents fermentés (igname ou manioc) tiennent une place importante dans l'alimentation, tandis qu'en Asie les produits dérivés du soja (comme le Miso japonais) ou à base de poissons (comme le nuoc-mâm vietnamien) sont consommés quotidiennement.

La fermentation permet ainsi la conservation de nombreux aliments tout en améliorant leur qualité nutritionnelle (le lait fermenté sous forme de yaourt est mieux toléré par l'organisme) et leur saveur (le CO₂ produit lors de la fabrication du pain le rend moelleux et léger). Aujourd'hui, la fermentation est utilisée pour fabriquer des aliments appelés probiotiques, c'est-à-dire des suppléments contenant des micro-organismes vivants et ayant un effet bénéfique, par exemple sur l'immunité ou la digestion. Les aliments dits biopréservés tirent aussi leur origine de la fermentation qui permet d'éliminer la flore pathogène ; ce sont essentiellement les produits laitiers, carnés ou issus de la mer. Enfin, les fermentations microbiennes sont également exploitées ailleurs que dans l'industrie alimentaire et trouvent des applications dans des domaines aussi variés que la chimie, la pharmacie, l'agriculture ou encore l'environnement.

Olivier N'Go

olivier@reflexiences.com

Comprendre

Une utilisation multimillénaire des fermentations

Les fermentations sont utilisées de façon empirique depuis des millénaires pour la préparation du pain, des boissons alcoolisées (vin et bière) et du vinaigre. Les Sumériens maîtrisaient déjà la fermentation du pain et de la bière 8000 ans avant J.C. ; la fabrication du vin remonte, elle, à plus de 10 000 ans et on peut imaginer que celle du vinaigre est aussi ancienne puisqu'il s'agit d'une « maladie » du vin. Les Babyloniens (5000 ans avant J.C.) le fabriquaient à partir du vin de palme. Le chou fermenté dans le vin aurait servi plus récemment de nourriture de base aux bâtisseurs de la Grande Muraille de Chine (3000 ans avant J.C.). Des papyrus égyptiens mentionnent l'utilisation thérapeutique de légumes et de lait fermentés, qu'on retrouve en Grèce, au premier siècle de notre ère, où Dioscorides soignait les infections avec des betteraves rouges fermentées et de la choucroute.



Quelques chiffres sur la consommation de produits fermentés en France (données INRA)

La consommation moyenne de pain par Français représente 165 g par jour et par personne en 2002 contre 900 g en 1900. La consommation française annuelle de fromage s'élève en moyenne à 24 kg par habitant. La consommation de yaourts par an et par habitant est de 20,5 kg (2001). La diminution de la consommation de vin est constante en France depuis 35 ans : 118 litres par Français de plus de 14 ans en 1970, 54 litres pour les prévisions 2006. Contrairement aux idées reçues, les Français sont parmi les plus faibles consommateurs de bière en Europe avec en moyenne 33,4 litres par habitant et par an. Les Irlandais en consomment pas moins de 118 litres chaque année, devant les Allemands (117,7 litres).



Les nanos : plus c'est petit,

Les nanos sont parmi nous... et ça ne date pas d'hier. Au mois d'octobre 2006, on apprenait que les anciens Égyptiens utilisaient déjà des petites particules qu'on ne voit pas à l'œil nu pour teindre leurs cheveux en noir. Pourquoi une polémique a-t-elle donc surgi autour de particules que nous côtoyons depuis tant d'années ? Parce qu'au préfixe « nano » s'est trouvé associé un mot représentatif de notre temps : « technologies ». Les nanotechnologies, elles, sont apparues au siècle dernier dans le but d'exploiter le caractère minuscule des particules pour trouver de nouvelles applications. Alors s'agit-il d'une technologie de plus, créée pour faire le bonheur des peuples, ou bien doit-on craindre un remake du scandale de l'amiante ?

Prenez un cheveu, coupez-le en deux dans le sens de la longueur, puis encore en deux, et encore en deux, et encore... Continuez

l'opération jusqu'à obtenir 100 000 morceaux de cheveu. Vous n'y êtes pas parvenu ? C'est normal, il est impossible d'opérer à l'œil nu sur des entités qu'on ne voit pas. Pourtant les chercheurs en nanotechnologies, eux, travaillent quotidiennement sur des molécules d'un milliardième de mètre. Pour cela, ils utilisent des instruments très spéciaux, comme le microscope à effet tunnel qui, grâce à une pointe métallique très fine, peut se déplacer à quelques nanomètres d'une surface et « voir » les atomes de la surface.

Les nanosciences concernent l'étude des phénomènes observés pour des objets dont la taille est de quelques nanomètres et dont les propriétés découlent spécifiquement de cette taille nanométrique. Les nanotechnologies regroupent, elles, l'ensemble des techniques permettant de fabriquer, d'observer ou de mesurer ces objets. Les promesses sont nombreuses, en voici un inventaire non exhaustif :

- électronique : vitesses de traitement des millions de fois plus rapides ;
- matériaux : matériaux et outils de coupe plus résistants ;
- médecine : nouveaux systèmes de diffusion des médicaments qui ciblent les endroits voulus dans l'organisme ;
- énergie : nouveaux types de batte-

rie, stockage de l'hydrogène ;

- espace : systèmes robotiques petits et efficaces ;

- environnement : membranes pour filtrer les polluants ou le sel dans l'eau ;

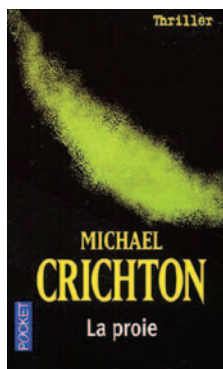
- défense : textiles légers qui se réparent d'eux-mêmes, remplacement du sang, systèmes de surveillance miniaturisés.

De Bill Joy au Prince Charles en passant par Michael Crichton

Richard Feynman (physicien américain, mort en 1988) est le premier scientifique à avoir envisagé la possibilité d'opérer au niveau des atomes. En décembre 1959, lors de sa célèbre conférence « There's Plenty of Room at the Bottom » (« Il y a beaucoup de place en bas ») donnée à l'American Physical Society, il interpelle l'assemblée : « *Que se passerait-il si nous pouvions déplacer des atomes, un à un, et les assembler de la façon voulue ?* » C'est Eric Drexler (ingénieur américain) qui répondra en 1986 à cette question dans son livre « Engins de création », que l'on considère comme l'ouvrage fondateur de la discipline. Drexler anticipe une révolution technologique basée sur la maîtrise de la matière à l'échelle nanométrique. Grâce au développement d'« assembleurs » capables de répliquer et de créer n'importe quelle nanostructure, nous serions à terme capables de recréer toutes les choses de la nature. Cette capacité des nanorobots à s'autoreproduire a alimenté bien des fantasmes. Elle a surtout

propulsé la controverse sur le devant de la scène. En avril 2000, Bill Joy, cofondateur de Sun Microsystems, publie lui-même un article alarmiste dans Wired Magazine : « Why the Future Doesn't Need Us » (« Pourquoi le futur n'a pas besoin de nous »). Il met en garde la communauté scientifique contre un danger bien plus grave que le nucléaire : la prolifération des nanorobots. « *Hélas, comme pour la technologie du nucléaire, l'usage des nanotechnologies à des fins de destruction est significativement plus aisé que son usage à des fins constructives. [...] Une bombe n'explose qu'une fois ; un robot, en revanche, peut proliférer et rapidement échapper à tout contrôle. [...]* »

En 2002, Michael Crichton s'est emparé du discours de Bill Joy pour rédiger le scénario de son roman « Prey » (Proie). Crichton met en scène des scientifiques qui perdent le contrôle de l'autoréplication de nano-engins qui dévorent tout sur leur passage et transforment le monde en une « gelée grise » (grey goo). On peut douter de la rigueur scientifique, mais il faut reconnaître que le roman a permis le transfert de la polémique de la sphère des initiés à la sphère populaire, en passant par la sphère princière. Car c'est suite à la lecture du livre de Crichton que le Prince Charles a alerté l'opinion britannique sur le danger des nanotechnologies. Au grand dam du Premier ministre Tony Blair qui venait tout juste de lancer son grand plan Nanotech- nologies...



Michael Crichton (né le 23 octobre 1942 à Chicago) est écrivain de science-fiction, scénariste et producteur de films. Il est également diplômé de la Harvard Medical School. Son roman *La Proie*, paru en 2002, met en scène des nanorobots destinés à la recherche militaire qui échappent au contrôle de leurs créateurs.

plus c'est *mignon* ?



*Si c'est bon pour les cheveux
des Égyptiens,
c'est bon pour moi ?*

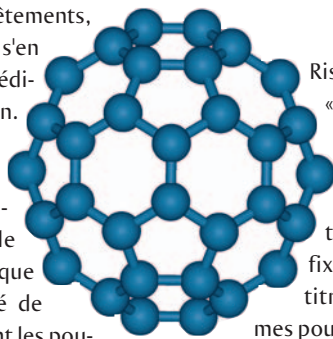
Pour le moment, nous ne voyons de gelée grise qu'à Londres en plein brouillard. Alors que doit-on craindre des nanotechnologies ?

On connaît bien mal les effets des nanotechnologies sur notre santé. Pourtant, quand on sait que les nanoparticules, de par leur petite taille, peuvent pénétrer notre système respiratoire et interagir avec nos cellules, la prudence doit être de mise. Surtout quand cette polémique suit de très près la catastrophe de l'amianté...

Aujourd'hui, on peut incorporer des nanoparticules presque partout (vêtements, cosmétiques, pneus, etc.) et s'en servir pour acheminer des médicaments dans le corps humain. Mais on connaît très mal les effets cardiovasculaires, respiratoires et cancérigènes de telles incorporations. Pour le moment, on sait simplement que si l'on respirait un air chargé de nanofibres industrielles, ce sont les poumons qui trinqueraient. Car si la présence de nanoparticules dans notre environnement n'est pas une nouveauté (l'air que nous respirons contient des quantités très importantes de particules naturelles ultrafines), l'augmentation de l'exposition est, elle, potentiellement dangereuse. Concernant les nanotubes, ces tubes creux composés d'atomes disposés de manière régulière, les risques potentiels concernent surtout les nanotubes de carbone et les fullerènes qui sont déjà produits massivement dans les pays industrialisés. On a déjà observé chez le rat l'apparition dans les poumons de lésions inflammatoires et d'une fibrose suite à l'implantation de nanotubes de carbone dans la trachée (étude parue en 2004 dans *Toxicological Sciences* et menée par l'équipe de Chiu-

Wing Lam).

Cependant, il faut préciser que les effets toxicologiques observés jusqu'à aujourd'hui s'appliquent aux nanoparticules et nanotubes « libres », c'est-à-dire non piégés dans une structure. Si vous manipulez une nanostructure, le risque d'exposition est a priori nul, mais on ne connaît pas encore les risques encourus pour les populations lors de la dégradation des déchets. Finalement, ce sont les chercheurs eux-mêmes, ceux qui ont fait le choix de manipuler les nanoparticules « libres » en laboratoire, qui auraient le plus à craindre pour leur santé en cas de toxicité avérée.



Fullerène

Nano à gogo

Risques ou pas, le préfixe « nano » est à la mode dans le domaine universitaire. Les directeurs de laboratoire glissent très facilement ce préfixe magique dans les titres de leurs programmes pour faciliter l'obtention de crédits de recherche. Pourtant, la mésaventure survenue récemment au nettoyant ménager Magic Nano (censé projeter un film invisible capable de repousser la saleté) révèle l'ironie de la situation. Ce produit a été précipitamment retiré de la vente en Allemagne en mai 2006 en raison de l'apparition de plusieurs cas de détresses respiratoires déclarés suite à son utilisation. Un mois après, l'expertise menée par l'Institut Fédéral Allemand de l'Évaluation des Risques (étude complètement oubliée par l'opinion publique) est tombée : le produit ne contenait pas de nanoparticules ! L'emploi du préfixe « nano » ne se justifiait que par la taille nanométrique de la couche de produit vaporisé. Depuis cette polémique, certains reculent, craignant que des produits, finalement très

peu « nanos », soient boudés par les consommateurs. Alors qu'il y a 10 ans on aurait sans état d'âme qualifié de « nano » un produit contenant des particules de 100 nm, aujourd'hui on préfère revenir en arrière et employer le préfixe « micro », plus rassurant (car 100 nm, c'est 0,1 μm ...).

Finalement, en voulant ouvrir le débat sur les nanos, ne sommes-nous pas nous-mêmes sur le mauvais chemin ? Car en organisant de plus en plus de débats citoyens sur les nanosciences et les nanotechnologies, que faisons-nous à part noyer le citoyen dans un domaine gigantesque ? Des recommandations telles que celles formulées le 20 janvier dernier par le panel des 10 citoyens nommés par le conseil régional d'Île-de-France sont-elles vraiment utiles : nécessité de prendre des précautions, d'adapter la législation sanitaire actuelle à l'échelle nano, d'apposer des étiquetages précis, de communiquer largement sur le sujet, etc. ? Car comment peut-on appréhender et discuter de problématiques qui recoupent des dizaines de domaines scientifiques différents, alors que même un chercheur « travaillant dans les nanos » serait bien en peine de discuter des applications du domaine voisin ? Peut-être que la solution serait d'arrêter de discuter « des nanotechnologies » en général, et d'organiser des débats portants sur « les problèmes éthiques des puces RFID » ou sur « l'utilisation des nanocapsules dans le corps humain », ou encore sur « les enjeux liés à l'introduction des nanotechnologies dans l'armement », sujet hautement sensible qui rappelle étrangement celui du nucléaire... Restreindre les sujets de débat et aborder des problématiques précises dans des domaines bien définis serait peut-être des solutions simples pour éviter de patauger dans la soupe nano.

Elsa Godet

elsaareflexiences.com

Partir à la découverte des sciences avec

Portrait

Claire Le Moine

Claire Le Moine est responsable des animations scientifiques à l'Explor@dome, espace interactif de découverte de la science, de l'art et du multimédia où elle se donne à 100 % pour embarquer petits et grands dans l'exploration du monde scientifique.

Réflexiences : Quel a été votre parcours scolaire et comment en êtes-vous arrivée à l'animation scientifique pour les enfants ?

Claire Lemoine : J'ai tout d'abord passé le Bac C (ndlr : maths-physique) puis je suis entrée en fac de biologie à Rennes où je me suis arrêtée en maîtrise. Je ne souhaitais pas continuer mes études de biologie car je me voyais mal faire de la recherche : cela demande de faire des études beaucoup trop longues et difficiles. J'ai donc décidé d'intégrer l'ICST (Information et communication scientifique et technique) de Paris 7 où j'ai repassé une licence et une maîtrise. Durant mon DEA « enseignement et diffusion des sciences et techniques » fait à Orsay, j'ai travaillé chez les Petits Débrouillards en tant qu'animatrice et aussi fait du bénévolat sur divers projets scientifiques. Une fois le DEA en poche, j'ai collaboré avec différentes associations de culture scientifique et travaillé en tant que rédactrice pigiste pour des journaux. Puis j'ai intégré l'Explor@dome en 1999 en tant qu'animatrice où je suis aujourd'hui responsable pédagogique pour les activités scientifiques.

RX : Comment se déroule un atelier type à l'Explor@dome ?

C. L. : Un atelier scientifique se déroule avec 15 enfants au maximum. Pour commencer, on les amène à se poser des questions et on essaie de faire le point sur leurs représentations initiales du sujet abordé. Puis s'ensuit un enchaîne-

ment logique de questions. Les réponses sont apportées via diverses expériences scientifiques que les enfants réalisent eux-mêmes. Pour conclure, on refait le point sur toutes ces nouvelles notions abordées au cours de l'atelier, pour être certain que les enfants n'ont pas intégré les choses de travers. Le plus souvent possible, ils construisent un objet qu'ils rapportent chez eux.

RX : N'est-ce pas une tâche difficile de faire comprendre des théories scientifiques à des petits ? N'y a-t-il pas un risque de trop simplifier ces théories ?

C. L. : Je parle plus de faits, de phénomènes scientifiques que de théories. Je trouve cela relativement facile dans le sens où les enfants sont, contrairement aux adultes, vierges de connaissances sur le sujet. Mais c'est vrai qu'il faut être vigilant et rester juste tout

en simplifiant. Il faut surtout essayer de voir comment les enfants interprètent la notion abordée. Et, bien évidemment, il faut soi-même déjà avoir des connaissances scientifiques et être capable d'expliquer les phénomènes de façons différentes selon l'âge des enfants.

RX : Pensez-vous qu'expliquer les sciences aux enfants peut susciter chez eux une future vocation de scientifique ?

C. L. : Oui ! De nombreux scientifiques parlent de leur visite au Palais de la Découverte ou à la Cité des Sciences et de l'Industrie durant leur enfance. Les lieux de culture scientifique apportent

une envie de découverte et de l'enthousiasme pour les sciences que ne donne pas toujours l'école. Il est également important que l'image du chercheur change auprès des jeunes, ce que permettent souvent ces lieux favorisant la rencontre et l'échange.

RX : Quels conseils ou idées pourriez-vous donner à un jeune étudiant qui souhaite faire de l'animation scientifique ?

C. L. : Ne pas hésiter à se renseigner sur les associations comme les Petits Débrouillards, Planète Science, l'ASTS (ndlr : l'Association Science Technologie Société)... et travailler pour l'une d'elles, cela apporte de l'expérience mais aussi un salaire. Et surtout bien se tenir informé des nouvelles expositions scientifiques et en visiter un maximum !

Propos recueillis par
Nathalie Dubois
nathalie@reflexiences.com

Il est important que
l'image du
chercheur change
auprès des jeunes

Pour en savoir plus

Le site de l'Explor@dome :
<http://www.exploradome.com>

Vous souhaitez vous initier à l'animation scientifique ? Voici une petite liste de sites de quelques associations :

Le site des Petits Débrouillards :
<http://debrouillonet.dyndns.org>

Le site de Planète Science : <http://www.planete-sciences.org>

Le site de l'Association Science Technologie Société : <http://www.ast.sasso.fr>

Cellules souches :

des promesses bridées ?

Depuis le 30 septembre 2004, la loi relative à la bioéthique autorise à des fins de recherche l'importation en France de cellules souches embryonnaires humaines. Pourquoi la loi se mêle-t-elle de la recherche sur ces cellules ?

Tout d'abord, sachez que nous avons tous été un jour des cellules souches. En effet, avant d'être un adulte, vous étiez un bébé, et avant cela un fœtus dans le ventre de votre mère, et encore avant un embryon formé de cellules toutes identiques, appelées « cellules souches embryonnaires ». Elles sont engendrées par les divisions de la cellule œuf issue elle-même de la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde.

Ce qui est étonnant, c'est que ces premières cellules d'embryon sont semblables, et pourtant ce sont elles qui, quelques mois plus tard, vont se multiplier, se différencier et se spécialiser pour former un être humain avec tous ses tissus et ses organes. C'est la capacité de ces cellules à donner les diverses cellules de l'organisme qui leur a valu ce nom de « cellules souches ». Elles sont les mères de toutes les cellules de notre corps. Ces mères veillent encore sur nous d'ailleurs. On sait aujourd'hui qu'il existe des cellules souches chez l'adulte. Par exemple, celles de la moelle osseuse sont capables de se multiplier et de se différencier pour donner les différentes sortes de cellules du sang. En cela, les cellules souches adultes jouent le rôle d'une banque qui fournit des cellules spécialisées lorsque l'organisme en a besoin.

Un trésor pour les chercheurs et les malades

Imaginez qu'on parvienne à prélever des cellules souches embryonnaires et qu'on les cultive en laboratoire : les cellules pourraient ainsi donner tous les tissus d'un organisme. Ces cultures permettraient par exemple de fournir à volonté des cellules nerveuses qui pourraient remplacer les cellules anormales d'un malade.

Pour cela, des chercheurs tentent de contrôler les divisions et les différenciations des cellules pour obtenir les cellules spécifiques voulues. Pour y parvenir, ils doivent comprendre les informations génétiques que portent ces cellules souches et qui leur donnent la capacité de se multiplier et de se spécialiser. Le fait de pouvoir cultiver en laboratoire des cellules de tissus humains permettra également de tester directement les médicaments sur leur cible et de voir s'ils sont efficaces et non toxiques.

Les cellules souches adultes, elles aussi, sont loin d'avoir fini de nous livrer tous leurs secrets. Nos propres cellules souches pourraient être cultivées puis réinjectées pour remplacer les cellules malades. De cette façon, les cellules injectées ne seraient pas rejetées par l'organisme puisqu'elles en proviennent. Aujourd'hui, ce genre de greffe de cellules se fait avec les cellules souches de la moelle osseuse pour obtenir des cellules sanguines ; elle se fait aussi avec les cellules de la peau pour soigner les grands brûlés.

Il y en aura pour tout le monde !

Les chercheurs du CNRS notamment essaient d'identifier les cellules souches de chaque organe. Des cellules souches qui se différencient en os, en cartilage ont été localisées et seraient utilisées pour soigner les fragilités du squelette. Contrairement à ce qu'on a longtemps cru, les neurones sont issus de cellules souches qui permettraient de traiter les maladies neurodégénératives, comme la maladie de Huntington ou encore celle d'Alzheimer. En seulement six mois, le laboratoire IStem du Genopole d'Évry a

trouvé la recette de fabrication des neurones, ce qui présage une thérapie dans les deux ans à venir. Comment soigner les myopathies, maladies qui atteignent les muscles ? Grâce à des cellules souches qui se situent au niveau des fibres musculaires. Comment réparer le muscle cardiaque après un infarctus ? Avec des cellules cardiaques qui se contractent de façon rythmique et qui pourraient remplacer la partie lésée.

Tout cela paraît très prometteur.

Donc, où est le problème ?

Malgré les prouesses médicales envisagées, la polémique concerne la recherche sur les cellules souches embryonnaires car elles nécessitent des expérimentations sur les embryons. Le Conseil National Consultatif d'Éthique veille à ce que la recherche scientifique se fasse dans le respect de l'être humain. Il a fait en sorte que la loi sur la bioéthique votée en 2004 « respecte l'être humain dès le commencement de la vie et protège l'embryon ». Mais depuis les promesses thérapeutiques faites dans ce domaine, des recherches sont autorisées sur l'embryon lorsqu'elles sont susceptibles de permettre des progrès majeurs. Les recherches sont limitées aux embryons en excès, conçus in vitro pour un couple qui fait appel à une procréation médicalement assistée. Alors, maintenant, à vous de prendre soin de vos cellules souches car vous en aurez peut-être besoin un jour pour vous soigner, en attendant que la recherche sur les embryons humains avance.

Myriam Rebeyrotte
myriam@reflexiences.com

La science sort sa culture

Culture

La Terre est ronde et tourne autour du Soleil. Si aujourd'hui ce constat relève de l'évidence, ce n'était pas le cas il y a à peine 500 ans. Entre histoire, mythologie, art, philosophie et science, ces deux livres retracent les différentes perceptions de l'univers à travers les siècles : « Mondes, mythes et images de l'Univers » de Leïla Haddad et Guillaume Duprat et « Comment la Terre devint ronde » de Jean-Pierre Maury.

Mondes : mythes et images de l'Univers



D'où vient le monde et à quoi ressemble-t-il ? Chaque peuple a tenté de répondre à sa manière à ces deux questions. Ce magnifique livre raconte et illustre les visions de l'univers de chaque civilisation aux quatre coins du globe. L'éternelle naissance japonaise, le monde viking, la double pyramide des Mayas et des Aztèques, et beaucoup d'autres mythes tout aussi merveilleux et étranges les uns que les autres. Pour réaliser un tel travail, Guillaume Duprat, jeune illustrateur français, a énormément voyagé et s'est plongé pendant six ans dans les textes anciens. Il s'est entretenu avec des anthropologues, des ethnologues et des archéologues afin de valider ses illustrations. Les textes sont écrits par Leïla Haddad, journaliste scientifique et auteur de plusieurs ouvrages de vulgarisation scientifique : Le Principe du tire-bouchon (Table ronde, 2005), Soleil noir (Seuil, 1999) et Clés de voûte (Seuil, 2001).

Comment la Terre devint ronde



La Terre est plate et ronde comme une assiette. Au centre s'étend la Méditerranée. La voûte du ciel est le domaine des dieux. Loin en dessous de la surface, il y a les enfers où vont les morts. Plus bas encore, c'est le Tartare, l'épouvantable prison noire où les dieux ont enfermé leurs ennemis les Géants. C'est la vision du monde que partageaient les Méditerranéens jusqu'au VI^e siècle av. J.C. Jean-Pierre Maury raconte étape par étape comment cette vision du monde a laissé la place à celle qu'on connaît aujourd'hui. Thalès de Milet et Anaximandre présentent pour la première fois un modèle rationnel où les mythes n'interviennent pas. Pythagore émet l'idée que la terre est une boule. Grâce à des méthodes simples, Ératosthène détermine le rayon de la terre et Aristarque évalue le rayon de la lune ainsi que la distance Terre-Lune... Ce beau livre nous fait redécouvrir le monde. Notre regard change, les évidences que nous admettions jusqu'alors prennent une autre dimension et se chargent en histoire.

Nada Joo

nadaareflexiences.com



En ce moment et jusqu'au 29 avril, le Palais de la Découverte vous invite à explorer tous vos sens en parcourant l'exposition : « Illusions, ça trompe énormément ». Dans une ambiance festive évoquant le monde du cirque, vous pourrez tester vos sens et constater que votre cerveau peut parfois vous jouer des tours. Des installations ludiques mettent en évidence également, de façon très troublante, des sens que vous ne soupçonnez pas comme la proprioception et la perception vestibulaire. Nous n'avons pas conscience de ces sixième et septième sens, ils sont innés. Ils nous informent sur la position de notre corps dans l'espace et par rapport à la verticale. Un foisonnement de manipulations est à votre disposition pour tromper vos sens et créer des sensations intrigantes. Et pour avoir plus d'explications sur comment le cerveau crée ces illusions, vous pouvez assister aux exposés proposés par les médiateurs scientifiques du Palais.

Myriam Rebeyrotte
myriamareflexiences.com

