



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture

Les nouveaux visages de l'Univers, p. 2

Planète

SCIENCE

Bulletin trimestriel
d'information sur les
sciences exactes et naturelles

Vol. 7, No. 1
Janvier-mars 2009

SOMMAIRE

PLEINS FEUX SUR ...

2 Les nouveaux visages de l'Univers

ACTUALITÉS

- 10 Repenser la recherche sur la santé
- 11 La réforme du système scientifique de la Tanzanie sur les rails
- 12 La corrosion des mers pourrait coûter cher aux pêcheries
- 13 L'équipe de SESAME prend possession de son site
- 14 Vers une loi sur les aquifères transfrontaliers
- 14 En Amérique latine, les inégalités affectent le travail scolaire
- 15 Les 40 lauréats du concours de photos

INTERVIEW

16 Giovanni Valsecchi explique comment se prémunir contre une catastrophe cosmique

HORIZONS

- 18 Vieillir jeune
- 21 Ulugh Beg : un savant sur le trône

EN BREF

- 24 Agenda
- 24 Vient de paraître

ÉDITORIAL

Jusqu'aux confins des cieux

Le 3 novembre, la NASA et l'Agence spatiale européenne annonçaient que le télescope spatial Hubble avait réalisé le premier cliché instantané en lumière visible d'une planète en orbite autour d'une autre étoile. Il nous donnait ainsi la première image réelle d'une planète située à 25 années lumière de la Terre. Non que Fomalhaut b, ainsi nommée, ait l'air d'autre chose que d'un grain de poussière dans le ciel. Mais les scientifiques spéculent déjà sur la possibilité que cette planète ait à peu près la même taille que Jupiter et possède aussi un système d'anneaux.

Avant tout, cette prouesse peut nous aider à connaître un peu mieux l'univers où nous vivons et dont nous ne sommes qu'un infime élément. Notre propre galaxie, qui semble immense, n'est que l'une des 100 milliards de galaxies. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que nous nous posions la question « Sommes-nous seuls ? ». Une découverte comme celle de Fomalhaut b ne peut que raviver la curiosité. Elle serait donc semblable à Jupiter dans notre propre Système solaire. Cela veut-il dire que Jupiter ne serait pas unique ? Et si Jupiter ne l'est pas, qu'en est-il de la Terre ? Dans ces pages, nous posons la question à l'exobiologiste André Brack, l'un des orateurs invités lors du lancement de l'Année internationale de l'astronomie, le 15 janvier.

De même qu'André Brack, les autres auteurs de l'article en page suivante sur *Les nouveaux visages de l'Univers* sont membres de l'Union astronomique internationale, partenaire de l'UNESCO pour l'Année. Dans ces pages, Roland Lehouq et Jean-Marc Bonnet-Bidaud nous rappellent que, même si notre regard se tourne vers le ciel, nos pieds restent solidement ancrés sur un corps céleste. C'est pourquoi les scientifiques ont décidé de ne pas chercher ailleurs que sur la Terre elle-même ces particules insaisissables que l'on imagine aussi vieilles que l'Univers et capables de traverser la matière solide : les neutrinos.

C'est pourquoi, après la collision d'une comète avec Jupiter en 1994, la NASA a décidé de lancer un programme de recherche sur les Objets proches de la Terre. Après tout, si cela a pu se produire sur Jupiter, cela pourrait aussi nous arriver. Dans ces pages, l'astronome Giovanni Valsecchi explique pourquoi il est si important de surveiller les cieux à la recherche des risques cosmiques, notamment dès lors que la technologie nous permet de réagir au cas où un astéroïde se placerait en trajectoire de collision avec la Terre. Mais saurions-nous coordonner un système d'alerte rapide au niveau mondial ?

L'Année internationale de l'astronomie a pour thème « *L'Univers, à vous de le découvrir* ». Nous espérons que vous apprécierez ce voyage de 12 mois dans l'inconnu – et le peu connu. Cette revue vous annoncera, tout au long de l'année, les événements à venir. L'aventure commence le 15 janvier à l'UNESCO, ici à Paris, par des présentations de divers aspects de l'astronomie suivies, le lendemain, d'un concert du quatuor à cordes Kronos ; il jouera *Sun Rings*, pièce inspirée des ondes radio recueillies dans les tréfonds du Système solaire par diverses sondes spatiales, comme les deux Voyagers ou Galilée et Cassini. Recueillis pendant 40 ans par le physicien américain Don Gurnett, ces sons viennent d'être arrangés par le compositeur Terry Riley pour constituer ce qui pourrait bien être le premier concerto spatial.

W. Erdelen

Sous-directeur général pour les sciences exactes et naturelles

Les nouveaux visages de l'Univers



Image : Lexicon
 Vue d'artiste des huit plus gros objets transneptuniens connus, représentés à l'échelle ; les quatre plus grands sont des plutoïdes. Si Pluton n'avait pas été déchu de son statut de planète, le Système solaire compterait aujourd'hui une bonne douzaine de planètes !

Pour lancer l'Année internationale de l'astronomie, nous vous proposons de faire un rapide état de nos connaissances. Ceci nous conduira aux confins de notre Système solaire, bien connu, mais qui nous réserve néanmoins encore quelques surprises, comme la présence d'un lac de méthane sur Titan, dont la taille n'a rien à envier à celui du lac Supérieur en Amérique du Nord. Nous partirons ensuite à la recherche de nouvelles terres et de signes de vie extra-terrestres, dans l'espoir de répondre enfin à la question qui nous taraude depuis toujours : sommes-nous seuls dans l'Univers ? Puis, nous voyagerons du trou noir géant de notre Galaxie jusqu'aux galaxies les plus lointaines où nous redécouvrirons matière noire et énergie noire, les deux composantes invisibles les plus étranges de l'Univers. Enfin, nous reviendrons autour de la Terre, sur Terre et même sous Terre pour traquer, à travers des expériences inédites, un des plus grands mystères de l'astrophysique moderne, la composition de l'Univers qui nous entoure.

Combien y a-t-il de planètes dans le Système solaire ? Non, pas neuf comme nous l'avons appris jusqu'ici mais seulement huit ! Rappelons-nous¹ qu'en août 2006, l'Union astronomique internationale (UAI) a déclassé la planète Pluton, la rangeant maintenant dans la catégorie des planètes naines, créée spécialement pour l'occasion. Déchu de son statut de planète, Pluton est aujourd'hui considéré comme l'archétype d'une nouvelle catégorie d'objets dits transneptuniens, autrement dit au-delà de l'orbite de Neptune.

Le nouveau Système solaire

L'étude des confins du Système solaire en a transformé notre perception. En effet, les télescopes modernes ont découvert de nombreux objets glacés au-delà de l'orbite de Neptune, dans une région connue sous le nom de ceinture de Kuiper, en l'honneur de l'astronome hollandais qui en suggéra l'existence en 1951. Le premier objet transneptunien a été découvert en 1992 et des centaines d'autres

suivirent, confirmant l'existence de la ceinture proposée par Kuiper. On s'attend désormais à ce qu'au-delà de l'orbite de Neptune se trouve un vaste réservoir de corps glacés dont le nombre pourrait atteindre plusieurs milliards. Leur observation est particulièrement difficile, car ils sont très peu lumineux à cause de leur petite taille de l'ordre de 10 à 50 km

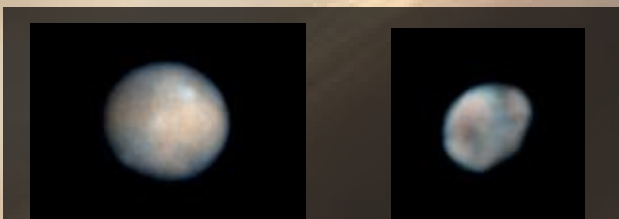


Image: Eliot Young (SwRI) et al., NASA

Cette image de Pluton a été obtenue grâce au télescope spatial Hubble. Sa faible résolution ne doit pas cacher l'exploit qui a permis d'obtenir des images de la surface d'une planète située à presque 6 milliards de kilomètres de la Terre !

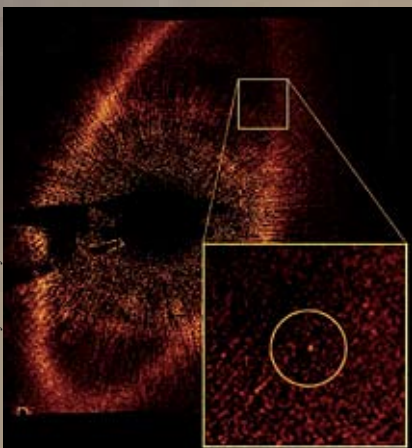
de diamètre, voire moins et de leur extrême éloignement du Soleil. De surcroît, comme plusieurs siècles leur sont nécessaires pour boucler une orbite autour du Soleil, leur mouvement apparent est très lent, à peine perceptible. Ces objets sont probablement des résidus de la formation des planètes, éjectés dans cette région lointaine suite à des interactions avec les planètes géantes.

Pluton est resté quelque temps le plus gros objet de la ceinture de Kuiper. Mais en 2005, l'objet catalogué sous le numéro 2003 UB313 et situé bien au-delà de Neptune fut bien confirmé comme étant plus gros que Pluton. Le problème était posé : le Système solaire avait-il dix planètes ?



Ces images des astéroïdes Cérès et Vesta ont été obtenues grâce au télescope spatial Hubble. On constate aisément que Vesta n'est pas sphérique ce qui explique qu'on ne lui ait pas accordé le statut de planète naine comme Cérès

Images : NASA, ASE, L. McFadden, J. Y. Li (UMCP), M. Mutchler, Z. Levay (STScI), P. Thomas (Cornell), J. Parker, E. Young (SwRI), C. Russell, B. Schmidt (UCLA).



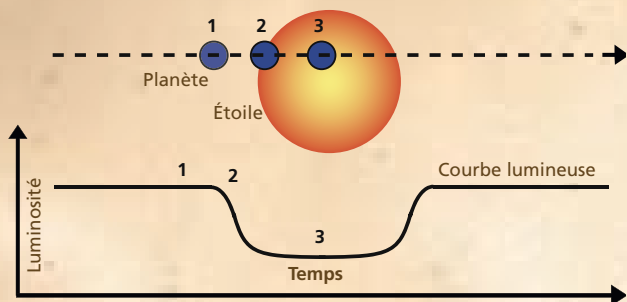
Premier instantané en lumière visible d'une planète en orbite autour d'une autre étoile, pris par le télescope spatial Hubble en novembre 2008. Située « à peine » à 25 années lumière de la Terre, cette planète est probablement proche de la masse de Jupiter. Sa révolution autour de son soleil prend environ 872 ans et s'effectue à une distance environ quatre fois supérieure à celle qui sépare Neptune de notre Soleil. Nommée Fomalhaut b, elle pourrait avoir un système d'anneaux de même dimension que ceux que Jupiter avait dans

les premiers temps, avant que la poussière et les débris ne fusionnent pour former les quatre lunes galiléennes. Fomalhaut est un soleil âgé d'environ 200 millions d'années, qui s'éteindra dans un milliard d'années. Courte vie pour une étoile, en comparaison de notre Soleil, qui a déjà environ 4,5 milliards d'années et devrait briller pendant encore 5 milliards d'années. La vie brève de Fomalhaut vient du fait qu'elle est 16 fois plus brillante que notre Soleil. Il pourrait y avoir d'autres planètes dans la large ceinture qui sépare Fomalhaut b de son soleil

Rebaptisé plus tard Eris, le nouvel objet était le plus lointain du Système solaire : au moment de sa découverte, Eris était deux fois plus loin du Soleil que Pluton. De plus, son orbite très inclinée, comme celle de Pluton, le distinguait des huit premiers corps du Système solaire. On découvrit également qu'Eris avait un satellite qui fut baptisé Dysnomie.

L'UAI a tranché en créant la nouvelle catégorie « planète naine » pour les corps du Système solaire autres que les huit planètes classiques et dont la masse est quand même suffisante pour que leur propre gravité leur impose une forme quasi sphérique. Actuellement, cinq corps sont considérés comme des planètes naines, l'astéroïde Cérès, situé entre Mars et Jupiter, et quatre objets transneptuniens qui forment la nouvelle classe des plutoïdes : Pluton, Eris, Makemake et Haumea.

Pour l'instant, la ceinture de Kuiper n'a jamais été explorée par une sonde spatiale. Cependant, la mission New Horizons de la NASA, lancée le 19 janvier 2006 depuis la base de Cap Canaveral, doit survoler Pluton et son satellite Charon le 14 juillet 2015 pour en obtenir des images à haute résolution. Cette mission permettra aussi d'en savoir plus sur les deux nouveaux satellites de Pluton, Hydra et Nyx, décelés sur les clichés du télescope spatial Hubble. Ultérieurement, si les



Basé sur une image d'Hans Deeg, ASE

circonstances le permettent, New Horizons pourrait étudier un autre objet de la ceinture de Kuiper dont le choix n'est pas encore arrêté.

Les nouvelles Terres

Existe-t-il des systèmes solaires analogues au nôtre dans l'Univers ? La question est longtemps restée théorique, même si les chances d'en trouver un paraissent plutôt bonnes, compte tenu du formidable nombre d'étoiles : on estime à 100 milliards le nombre de galaxies à portée de nos télescopes, chacune contenant une bonne centaine de milliards d'étoiles ! Depuis 1995 et la découverte de la première planète extra-solaire, le problème a été tranché : il existe effectivement d'autres systèmes solaires, plutôt nombreux même (voir encadré au dos).

Comment les astronomes ont-ils procédé ? Essentiellement selon deux méthodes. La première méthode, celle des transits, est fondée sur l'idée qu'une planète passant devant le disque de son étoile produit une mini-éclipse qui fait temporairement baisser la luminosité de l'astre d'un pourcentage égal au rapport des surfaces apparentes de l'étoile et de la planète ; cette valeur varie de 1 % pour une planète comme Jupiter passant devant le Soleil, à 0,01 % dans le cas de la Terre. L'observation continue de la luminosité d'une étoile permet de repérer la période et l'intensité de cette baisse de luminosité et, avec des mesures de vitesses radiales – la vitesse à laquelle l'astre s'approche ou s'éloigne de l'observateur –, de remonter aux paramètres de la planète (voir image).

La seconde se fonde sur le fait qu'un corps massif en orbite autour d'une étoile affecte le mouvement propre de celle-ci : au lieu de se déplacer en ligne droite dans le ciel, l'étoile suit une courbe ondulante. La situation est similaire à celle du lanceur de marteau qui se déplace de droite à gauche lorsqu'il fait tourner son projectile dans la zone d'envoi. Or, ce mouvement d'ondulation peut être détecté



Image : ASE, NASA, G. Tinetti

Vue d'artiste de la planète extrasolaire HD 189733b dont on sait que l'atmosphère contient du méthane et de l'eau. Cette découverte a pu être faite par le télescope spatial Hubble en observant la lumière de l'étoile filtrée par l'atmosphère de la planète

Comment voir les exoplanètes, à des milliers d'années lumière de la Terre, alors qu'aucun télescope ne peut les capter ? Il est possible de détecter la présence d'une planète autour d'une étoile par la photométrie ou par la spectroscopie. Avec la méthode dite des transits, on calcule la baisse de la luminosité de l'étoile parent, lorsque l'exoplanète passe devant elle

Sommes-nous seuls ?

Sommes-nous seuls ? De tout temps, cette question a alimenté l'imaginaire humain. Mais comment passer du mythe à la réalité ? Que chercher ? Où chercher ? Les scientifiques recherchent essentiellement une vie se développant dans l'eau et basée essentiellement sur la chimie du carbone, non pas par simple mimétisme avec la vie terrestre, mais parce que ces deux facteurs sont universels et possèdent des propriétés exceptionnelles, démontrées en laboratoire. De ce fait, la recherche d'une deuxième Genèse va profiter pleinement des travaux consacrés à l'étude de l'origine de la vie terrestre.

L'émergence de la vie terrestre

Il y a environ 4 milliards d'années, un certain nombre de molécules s'auto organisèrent dans l'eau, véritable berceau de la vie, et formèrent des assemblages chimiques capables de générer des copies conformes, produisant ainsi plus d'eux-mêmes par eux-mêmes (auto reproduction). Par suite de légères erreurs de montage, des assemblages plus performants apparurent et devinrent les espèces dominantes (évolution). Auto-reproduction et évolution sont les deux propriétés qui caractérisèrent, a minima, le passage de la matière à la vie.

On considère généralement que ces assemblages primitifs étaient déjà faits de molécules carbonées, dont une partie a pu être fabriquée dans l'atmosphère. Par exemple, Stanley Miller obtint cinq acides aminés, les maillons élémentaires des protéines, en soumettant une atmosphère de méthane, d'hydrogène, d'ammoniac et d'eau à des décharges électriques mimant les éclairs. Les sources hydrothermales sous-marines le long des dorsales océaniques ont pu également fournir une partie des molécules carbonées qui ont participé à l'émergence de la vie. Par ailleurs, l'analyse des météorites carbonées, et plus particulièrement des micrométéorites collectées dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique, indique que la quantité de matière carbonée extraterrestre livrée à la Terre au début de son histoire représentait 25 000 fois la quantité de carbone biologique recyclé actuellement à la surface de la Terre. Des expériences en laboratoire et dans l'espace sont venues conforter la filière extraterrestre.

Signes de vie extraterrestre

Où trouver ailleurs des conditions voisines de celles qui ont permis le passage de la matière à la vie sur Terre ? À l'aide de grands radiotélescopes, les astronomes ont identifié plus de cent molécules carbonées dans les nébuleuses interstellaires, démontrant ainsi que la chimie du carbone est universelle. Mais où trouver de l'eau sous forme liquide ?

Sur Mars, bien évidemment. Les photographies prises par les différentes missions martiennes, depuis Mariner 9 en 1971 jusqu'à aujourd'hui, montrent clairement que de grandes quantités d'eau recouvraient jadis une partie de la surface martienne. Il est dès lors tentant de penser qu'une vie élémentaire de type terrestre ait pu apparaître et se développer sur la planète rouge. La mission américaine Mars Science Laboratory et la mission européenne ExoMars auront précisément comme objectif de rechercher des indices d'une éventuelle vie martienne, en 2011 et 2016, respectivement.

Europe, la plus petite des quatre lunes de Jupiter observées par Galilée, est recouverte d'une carapace de glace dont l'épaisseur pourrait aller de 10 à 100 km. Sous la glace, Europe possède très probablement un océan d'eau liquide. D'éventuelles sources hydrothermales dans cet océan pourraient fournir la matière carbonée nécessaire à l'émergence d'une vie « européenne ».

Titan, le plus gros satellite de Saturne, ressemble à la Terre avec son atmosphère dense. La sonde Huygens, emmenée par le staellite saturnien Cassini, a montré que l'atmosphère de Titan renferme du méthane et d'épais brouillards de molécules carbonées complexes. Des blocs de glace d'eau jonchent le sol mais la présence d'eau liquide est exclue car il y règne une température d'environ -180 °C. Encélade, un autre satellite de Saturne, est couvert de glace mais la sonde Cassini a observé à sa surface des jets de vapeur d'eau qui pourraient provenir d'un réservoir d'eau liquide souterraine.

La vie au-delà du Système solaire

Au-delà du Système solaire, la recherche de l'eau ne peut se faire que par télédétection. Pour qu'une exoplanète, une planète au-delà du Système solaire, puisse héberger de l'eau à sa surface, il faut qu'elle ait la bonne taille et se trouve à la bonne distance de l'étoile. Depuis septembre 1995, date à laquelle deux astronomes suisses découvrirent la première exoplanète, plus de 300 de celles-ci ont été détectées.

Environ 25 systèmes stellaires à plusieurs planètes ont été identifiés mais ce n'est qu'au début de 2008 que fut découverte, par microlentille gravitationnelle*, une étoile accompagnée de deux planètes ressemblant, en rapport de taille et de position, à un modèle réduit du couple Jupiter/Saturne de notre Système solaire. Cette découverte indique clairement que des systèmes stellaires analogues au Système solaire sont probablement courants dans l'Univers. Et les petites exoplanètes habitables de la taille de la Terre ? La précision des mesures ne permet pas encore de les détecter mais ceci sera peut-être à la portée du télescope spatial Corot lancé par l'ASE en décembre 2005.

André Brack**

Pour en savoir plus, voyez en français *L'exobiologie ou l'origine chimique de la vie*, A. Brack (PDF) : <http://astro.u-strasbg.fr/goutelas/g2005>

* Selon cette méthode d'observation par télescope, le champ gravitationnel d'une planète située entre un observateur et une source de lumière stellaire lointaine va dévier les rayons lumineux qui passeront près d'elle et amplifier la lumière reçue, trahissant ainsi la présence de la planète.

** Centre de biophysique moléculaire du Centre national de recherche scientifique, France

Rivière martienne asséchée dans le delta Nepenthes Mensae, image datant de janvier 2008

Image: ASE/DLR/FU Berlin (C. Nott)



En juillet 2005, en passant à 175 km d'Encélade, la sonde spatiale Cassini-Huygens a pris les toutes premières images du panache de matériel glacé s'échappant du pôle sud de la lune – signe possible de l'existence de geysers alimentés par un réservoir d'eau liquide souterrain. Des rochers de glace grands comme des maisons ont également été observés à la surface de cette lune. Encélade renvoie, en outre, une si grande partie de la lumière solaire reçue (près de 100 %) que sa température superficielle n'est que de -201° C. Grâce à cette sonde, qui tourne en orbite autour de Saturne depuis 2004 après avoir quitté la Terre six ans plus tôt, nous savons que la planète a plus de 60 petites lunes, dont 40 découvertes depuis l'an 2000



par les effets qu'il induit sur la lumière de l'étoile : quand l'étoile s'approche de nous, la lumière est décalée vers le bleu ; quand elle s'éloigne, elle est décalée vers le rouge. En mesurant simultanément ce décalage périodique et la période du mouvement, il est possible de calculer une limite inférieure à la masse de la planète et d'estimer ses paramètres orbitaux.

La difficulté de la mesure réside dans la faible valeur de ce décalage, exprimé en vitesse. Cette vitesse vaut 12 m par seconde pour une planète géante, comparable à Jupiter, en orbite autour d'une étoile de type solaire et moins de 0,1 m par seconde pour une planète de la masse de la Terre. C'est grâce à cette méthode, utilisant des spectromètres spécialisés extrêmement performants, que la majorité des exoplanètes ont été découvertes.

La plupart des exoplanètes détectées jusqu'à présent sont au moins aussi grosses que Jupiter. Seule une quinzaine de « super-Terres », c'est-à-dire des planètes 5 à 20 fois plus massives que la nôtre, ont été découvertes. Et pour l'instant cet échantillon est essentiellement constitué d'objets chauds très particuliers car circulant très près de leur étoile, où il règne des températures élevées. Seules deux super-Terres ont été détectées au voisinage de la zone d'habitabilité d'une étoile rouge et peu lumineuse. Une vraie jumelle de la Terre manque toujours à l'appel. Une fois détectée, l'étape suivante sera d'analyser l'atmosphère de cette planète pour y détecter d'éventuelles traces de

vie mais pour cela, il faudra attendre l'envoi de missions spatiales spécialement dédiées à cette recherche ou l'avènement des télescopes terrestres de très grand diamètre.

Portrait d'un trou noir géant

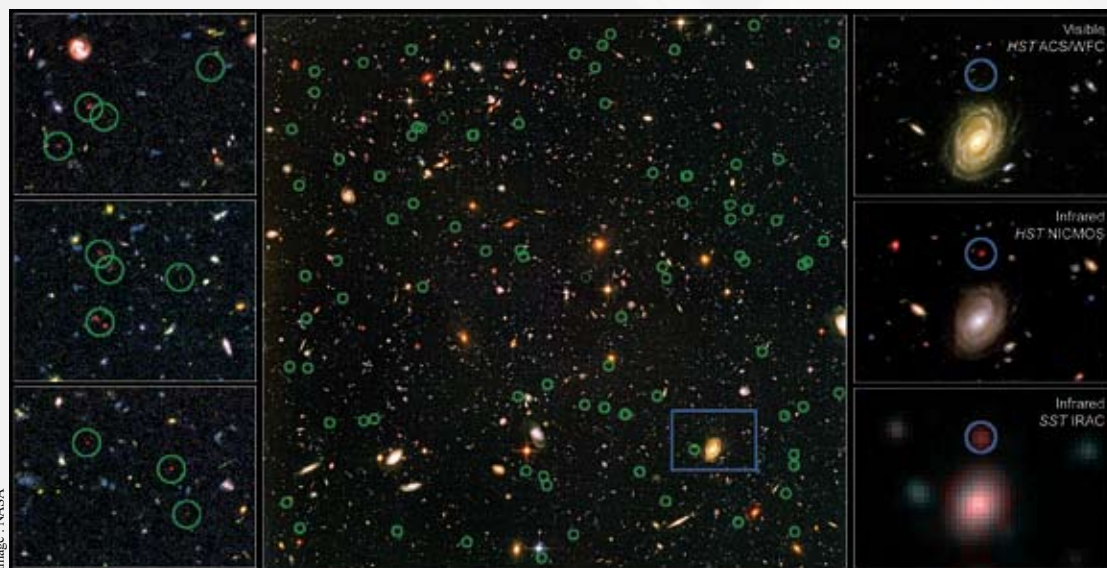
Le centre de notre galaxie, la Voie Lactée, cache un astre très exotique, un trou noir géant dont la masse est plusieurs millions de fois celle du Soleil. Les astronomes ont mis longtemps pour se convaincre de la présence d'un tel astre à l'intérieur même de notre galaxie, mais ils en ont maintenant acquis la certitude.



Un trou noir est un objet dont la gravité est tellement intense qu'elle est capable de retenir toute forme de matière et de lumière : c'est pour cela qu'il n'est pas visible directement. Dans notre galaxie, qui est un vaste disque de plus d'une centaine de milliards d'étoiles, le coeur central est longtemps resté inaccessible. En raison de son éloignement, plus de 20 000 années lumière, de la poussière et du grand nombre d'étoiles confinées dans ces régions centrales, il est particulièrement difficile à observer.

La seule émission clairement détectée au centre de la Voie Lactée a été longtemps une source compacte d'ondes radio découverte en 1974 et dénommée SgrA*, car située dans la constellation du Sagittaire. Ce sont les progrès dans l'observation de la lumière infrarouge qui ont permis de percer l'écran de la poussière et de localiser les étoiles les plus proches

L'image centrale résulte de l'assemblage de 800 photographies prises par le télescope spatial Hubble pour un temps de pose total supérieur à 11 jours. Il s'agit d'un sondage profond de notre Univers réalisé pour observer les plus lointaines galaxies. Le champ de vue de cette image est très petit : dans le ciel, il ne représente qu'une surface 50 fois inférieure à celle de la pleine Lune, soit la surface du chas d'une aiguille tenue à bout de bras. Du coup, on n'y voit que trois étoiles de notre galaxie, alors que l'on dénombre près de 10 000 galaxies ! Si l'on étend ce compte à l'ensemble du ciel, on en déduit ainsi que plus de 100 milliards de galaxies peuplent l'Univers. Cette image marque une rupture dans notre connaissance de l'Univers lointain. Auparavant, les astrophysiciens ne pouvaient l'étudier que par le biais de quelques galaxies très lumineuses appelées quasars, très différentes des galaxies normales. Désormais, les objets les plus faibles de cette image (cerclés de vert et agrandis à gauche) sont des galaxies qui font partie des toutes premières formées, quand l'Univers n'avait que 800 millions d'années environ. Leur analyse révèle que cette classe de galaxies très jeunes est exclusivement composée de galaxies naines à partir desquelles se sont formées les grandes galaxies actuelles, au fil des collisions successives. Ces premières galaxies sont



difficiles à observer en raison de leur extrême éloignement qui affaiblit considérablement leur luminosité et aussi en raison de l'expansion de l'Univers qui décale la lumière vers le rouge, car la longueur d'onde de la lumière est étirée au cours de son voyage dans l'espace. Ce rougissement des sources diminue d'autant l'intensité lumineuse que l'on en reçoit et oblige les astrophysiciens à utiliser des détecteurs sensibles dans l'infrarouge, comme ceux installés à bord du satellite Spitzer. A droite, on peut voir l'agrandissement en visible et infrarouge d'une région de l'image centrale (marquée par un rectangle bleu). On voit nettement apparaître une galaxie en infrarouge (cerclée de bleu) qui était presque imperceptible en lumière visible

Et si la matière noire n'existait pas ?

Les galaxies sont un vaste ensemble d'étoiles, mais aussi de gaz et de poussières, dans lequel se forment sans cesse de nouvelles étoiles.

La plupart des galaxies sont des spirales, en forme de disque aplati, dans lequel les étoiles forment des bras spiraux. La matière visible, étoiles et gaz, tourne autour de l'axe central, comme pour un disque en rotation. La mesure de la vitesse de rotation en fonction de la distance permet de déduire la masse totale de la galaxie. Plus la matière tourne vite, plus la masse est importante. Un des plus grands mystères de la physique des galaxies est que la masse déduite de cette vitesse de rotation est énorme, bien plus grande que la masse visible de la galaxie. Il existe donc une masse invisible, ou « matière noire », qui rend compte de ces grandes vitesses de rotation. Mais de quoi est faite cette matière noire ? Depuis plus de 60 ans que la matière invisible a été découverte, nous ne savons pas répondre à la question.

D'autre part, les galaxies se forment peu après le début de l'Univers, le « Big-Bang », qui a eu lieu il y a 13,7 milliards d'années. L'Univers est en expansion rapide, et l'effondrement de la matière pour former les galaxies est très difficile dans cet environnement où tous les éléments de matière s'éloignent les uns des autres. Les calculs montrent que si l'on ne dispose que de la matière aujourd'hui visible, cela ne suffit pas pour produire l'effondrement : là encore, pour former des galaxies, on est obligé d'avoir recours à de grandes quantités de matière noire, qui aident les galaxies à se former. Mais la nature de cette matière noire reste un grand mystère. Nous sommes aujourd'hui certains que cela ne peut pas être des atomes ordinaires, comme toute la matière ordinaire qui nous entoure, mais cette énorme masse doit être composée de particules exotiques, que nous n'avons pas pu mettre en évidence encore dans les grands accélérateurs de particules.

Il faudrait modifier la loi de Newton

Et si finalement cette matière noire n'existait pas ? Une autre solution au problème serait non pas d'ajouter de la masse inconnue, mais de changer très légèrement la loi de la gravité, la loi de Newton, dans des domaines où cette gravité est très faible, aux bords des galaxies. Ces domaines n'existent pas sur Terre, c'est pourquoi nous n'avons pas pu encore détecter les effets de cette modification de la loi de Newton.

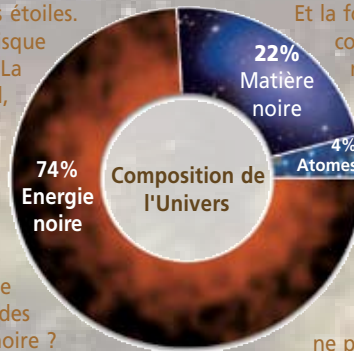
Les observations détaillées des vitesses de rotation des galaxies nous indiquent comment la loi de Newton doit être modifiée: à chaque fois que l'accélération devient plus petite qu'une constante universelle, égale à un Ångström (10^{-10} m) par seconde carré, alors la force de gravitation

ne décroît plus comme le carré de la distance, mais comme la distance. Et la force d'attraction n'est plus proportionnelle à la masse du corps qui attire, mais à sa racine carrée. La force de gravité reste alors dans ce régime plus intense que ce que prévoit la loi de Newton. Si nous interprétons les observations à la lumière de Newton, ceci nous fait croire qu'il y a plus de masse qu'il n'y a en réalité.

Si la gravité devait être modifiée, cela impliquerait beaucoup de conséquences, dont l'impact n'est encore pas totalement compris, que ce soit pour les amas de galaxies à grande échelle, ou pour le début de l'Univers.

Cette piste est aujourd'hui explorée activement, afin de ne pas passer à côté d'une solution possible au problème qui hante depuis des dizaines d'années les astronomes !

Françoise Combes*



*Observatoire de Paris



La galaxie spirale NGC 1232

Comment une pomme a changé le cours de l'histoire

Le physicien et astronome anglais Isaac Newton (1643–1727) se plaisait à raconter comment la vue d'une pomme tombant d'un arbre lui inspira la théorie de la gravitation. Pourquoi la pomme tombe-t-elle tout droit au sol ? se demanda-t-il. Et, si la force de gravité peut s'exercer sur l'arbre le plus élevé, cela signifie-t-il qu'elle peut s'étendre suffisamment loin pour expliquer le fait que la lune ne tombe pas de son orbite ? Le questionnement donna lieu à :

Première loi du mouvement de Newton

Tout objet en état de mouvement uniforme conserve son mouvement, à moins d'être soumis à une force extérieure (on l'appelle également principe d'inertie).

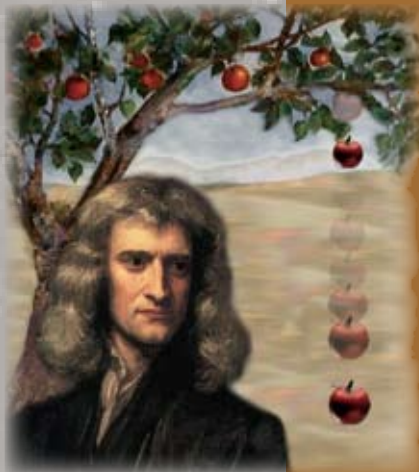
Deuxième loi du mouvement de Newton

La relation entre la masse m d'un corps, son accélération a et la force F qui s'y applique s'écrit $F = ma$. Autrement dit, un corps animé d'une certaine vitesse la conserve, à moins qu'une force n'agisse sur lui pour l'accélérer.

Troisième loi du mouvement de Newton

Tout corps soumis à une force exerce en retour une force de même intensité et de direction opposée. Cette loi est illustrée par ce qui advient si nous quittons une barque pour prendre pied sur le rivage d'un lac : au moment où nous nous rapprochons du rivage, la barque a tendance à se déplacer en sens inverse.

Adapté du Programme du Département de physique et d'astronomie de l'Université du Tennessee (É-U) : <http://cesp10.phys.utk.edu/astr161/lect/index.html>



du point central. Observées sur plus de dix ans, ces étoiles qui semblent avoir un mouvement désordonné suivent en réalité des orbites régulières autour du centre. L'analyse de ces orbites grâce aux lois de la gravitation a permis de calculer pour la première fois la masse située au centre : plus de 3 millions de fois la masse du Soleil, concentrée dans un volume à peine plus grand que le Système solaire ! Seule solution pour expliquer cette observation : un trou noir supermassif est caché au centre de notre galaxie.

Image : NASA, ASE, Andrew Fruchter et l'équipe de FEROS



Un mirage gravitationnel résulte de la déviation de la lumière dans un espace déformé par la présence d'une importante masse

Sa présence avait été prédite dès 1971 par les astrophysiciens anglais Donald Lynden-Bell et Martin Rees. Dans leur scénario, la matière prête à être avalée par un trou noir forme un disque qui ceinture le trou noir et dans lequel se produisent de violents phénomènes de friction. Dans certaines galaxies très actives, baptisés « quasars », on observe ainsi des particules accélérées dans de puissants jets qui s'échappent du cœur compact. Les échauffements considérables qui en résultent donnent lieu à une puissante source de rayonnement, non seulement dans le domaine radio mais également dans la gamme des rayons X et gamma.

Pourtant, des observations effectuées en 2000 et 2001 dans le domaine des rayons X, par l'observatoire européen XMM-Newton et le satellite Chandra de la NASA, n'ont révélé qu'une très faible émission du trou noir de la Voie Lactée, très nettement inférieure à celle attendue pour une telle masse. Pourquoi l'efficacité de conversion de l'énergie de la matière en chute sur le trou noir reste-t-elle très faible ? L'essentiel de l'émission est-elle rayonnée à plus haute énergie ? C'est l'énigme que pose encore ce trou noir géant qui semble anémié.

Le centre de la Voie Lactée reste une région très complexe. Le satellite européen INTEGRAL (INTERNational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory) y a même récemment découvert de l'antimatière, sœur jumelle de la matière qui s'annihile à son contact en produisant des rayons gamma. Cette antimatière est sous forme d'anti-électrons, ou positrons, qui peuvent être produits quand des particules sont accélérées à très grande vitesse.

Une nouvelle matière

La matière visible de l'Univers s'organise de façon hiérarchique. Les étoiles et le gaz se rassemblent en galaxies pouvant compter des centaines de milliards d'étoiles, les galaxies se regroupant elles-mêmes en amas par dizaines à centaines d'unités. L'étude des mouvements de ces différentes structures – étoiles, galaxies et amas – a révélé un mystère qui ne cesse d'intriguer les astronomes : il existe une masse cachée dans l'Univers !

Les indices de l'existence d'une masse invisible à nos instruments, car

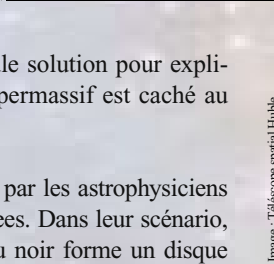


Image : Télescope spatial Hubble

La galaxie Sombrero. La courbe de rotation des galaxies suggère qu'elles contiennent une importante quantité de matière noire

non lumineuse, sont d'abord venus de l'étude du mouvement des galaxies au sein d'un amas. Dans les années 1930, l'astronome suisse Fritz Zwicky s'est penché sur la dynamique des deux amas les plus proches, situés en direction des constellations de la Chevelure de Bérénice et de la Vierge. Il a montré que l'attraction gravitationnelle exercée par le contenu visible de l'amas ne suffit pas à retenir les galaxies : sans une masse supplémentaire invisible, les amas devraient se désagréger. Plus tard, l'étude des galaxies spirales, dans lesquelles les étoiles tournent régulièrement autour d'un centre commun, est venue confirmer cette première constatation. En mesurant la vitesse de révolution de milliers d'étoiles et de nuages interstellaires autour du centre de la galaxie, les astrophysiciens peuvent tracer une courbe représentant la vitesse des étoiles en fonction de leur distance à ce centre. Cette courbe, d'abord croissante, devient remarquablement constante à mesure que l'on s'éloigne du centre. À elle seule, la matière lumineuse, étoiles et gaz, est incapable de rendre compte de cette observation. Pour expliquer cette courbe, il faut invoquer l'effet de la gravitation d'une masse invisible environ dix fois supérieure à celle de la galaxie visible, et considérer que cette masse baigne la galaxie uniformément.

Les astrophysiciens ont enfoncé le clou dans les années 1990 grâce à une nouvelle méthode d'analyse du ciel. Selon la théorie de la gravitation proposée par Albert Einstein, toute distribution de matière engendre une déformation de l'espace qui provoque la déviation des rayons lumineux passant dans leur voisinage. Ainsi, il arrive que l'image d'une source lumineuse située à l'arrière-plan d'un amas de la galaxie soit déformée, voire démultipliée : c'est l'effet de lentille gravitationnelle. Pour certaines régions du ciel, on a pu reconstituer la répartition de masse de l'amas défecteur en étudiant ces mirages. Le résultat a confirmé la présence d'une grande quantité de matière invisible.



Image : Cosmic Evolution Survey

Carte à trois dimensions de la distribution de matière noire dans une région de l'Univers. La distance à la Terre augmente de gauche à droite

De quoi est constituée cette matière noire ? Pas de matière ordinaire (protons et neutrons), car elle aurait déjà fait parler d'elle, par exemple en participant aux réactions de fusion nucléaire à l'origine des premiers atomes. Or, les quantités d'hélium, de deutérium et de lithium qui ont été produites de cette façon indiquent de façon indubitable que la matière ordinaire est tout à fait insuffisante pour constituer toute la masse de l'Univers.

Pour tenter de comprendre la nature de cette matière noire, la physique des particules a rejoint l'astrophysique pour la traquer sur Terre. Deux expériences sont en cours : l'expérience américaine Cryogenic Dark Matter Search dans une mine du Minnesota (USA) et sa concurrente franco-allemande, Edelweiss, située sous le tunnel du Mont Fréjus, dans le laboratoire souterrain de Modane (France). Aucune particule nouvelle n'a été détectée, mais la sensibilité des expériences devrait être multipliée par 100 dans les prochaines années. Si elles ne trouvent rien, il faudra se résoudre à élaborer un autre modèle et d'autres expériences. En revanche, la découverte d'une nouvelle particule exotique résoudrait l'un des plus grands mystères de l'astrophysique moderne et serait le départ d'une fabuleuse aventure scientifique.

La fuite des galaxies

Notre vision de l'évolution de l'Univers est en pleine mutation. En étudiant les supernovae, des explosions d'étoiles visibles jusqu'à de très grandes distances, les astrophysiciens ont découvert une nouvelle composante fondamentale de l'Univers, une énergie d'origine encore inconnue qui accélère son expansion.

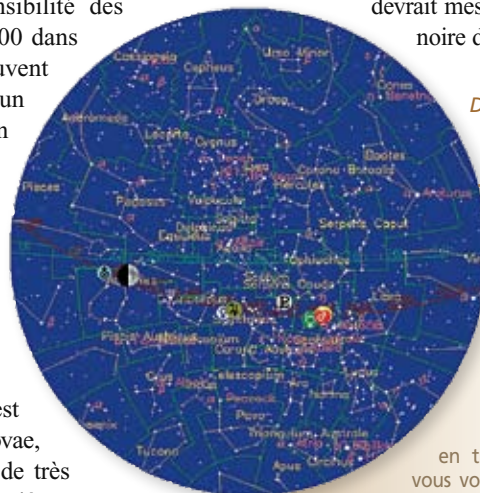
Depuis les observations de l'astronome américain Edwin Hubble en 1920, on sait que les galaxies s'éloignent toutes les unes des autres. Cette fuite des galaxies traduit l'expansion de l'Univers : année après année, siècle après siècle, l'Univers se dilate et la distance entre deux galaxies éloignées augmente. Jusqu'à très récemment, on pensait que cette expansion ne pouvait que se ralentir, en raison de l'effet de la gravitation qui tend à attirer les galaxies les unes vers les autres. Mais les observations ont montré un résultat opposé.

En 1998, pour mesurer l'expansion, plusieurs équipes de scientifiques ont choisi d'utiliser certaines supernovae considérées comme des « chandelles standards », c'est-à-dire dont on imagine que la luminosité intrinsèque est identique. L'affaiblissement de leur éclat apparent n'est alors dû qu'à leur éloignement et permet d'estimer leurs distances, tout comme les géomètres calculent les distances en mesurant la dimension apparente d'un bâton de longueur fixe. Or, les supernovae les plus lointaines sont beaucoup plus affaiblies que prévu, elles semblent plus loin.

Seule conclusion possible, l'expansion n'est pas régulière mais accélérée, l'Univers s'est dilaté plus vite que prévu. Tout se passe comme si une énergie invisible, baptisée « énergie noire » par les astrophysiciens, surpassait l'attraction gravitationnelle

à très grande échelle. À elle seule, cette énergie noire semble représenter les trois-quarts de l'énergie totale de l'Univers.

Aucune théorie physique ne peut expliquer cette composante. Pour l'instant, les physiciens recherchent son origine dans les propriétés du vide et dans de nouvelles théories de l'infiniment petit qui pourraient modifier notre compréhension de la gravitation. Certaines de ces théories, comme la théorie des cordes, considèrent par exemple que l'espace pourrait avoir plus de trois dimensions. Les grands accélérateurs de particules, comme le Grand Collisionneur de Hadrons qui vient d'être mis en service à l'Organisation européenne de recherche nucléaire (CERN) en Suisse, sont l'un des espoirs pour tenter de confirmer ces nouvelles voies de la physique. Dans le même temps, les astronomes imaginent aussi de nouvelles missions spatiales, comme Euclid, qui devrait mesurer très précisément les effets de l'énergie noire dans l'Univers.



Dans cet exemple, tiré de Your Sky, le ciel nocturne est observé au-dessus de la ville d'Abidjan, en Côte d'Ivoire, le 5 décembre 2008

Un planétarium chez vous

Plusieurs sites d'Internet proposent aux internautes un service gratuit leur permettant d'observer sur leur ordinateur le ciel nocturne de leur localité. En voici quelques exemples.

Stellarium est un planétarium en logiciel libre. Il montre en trois dimensions un ciel très réaliste, comme ce que vous voyez à l'œil nu, avec des jumelles ou un télescope. Les planétariums l'utilisent pour leurs projections. Il vous suffit d'inscrire les coordonnées de votre localité et de les envoyer : www.stellarium.org/

Your Sky est un planétarium interactif. Vous pouvez faire apparaître des cartes aux formats illustrés (voir ci-dessus), pour toute heure et date, tout angle de vue et lieu d'observation. Si vous inscrivez les données orbitales d'un astéroïde ou d'une comète, Your Sky calculera sa position du moment et la projettera sur la carte : www.fourmilab.ch/yoursky/

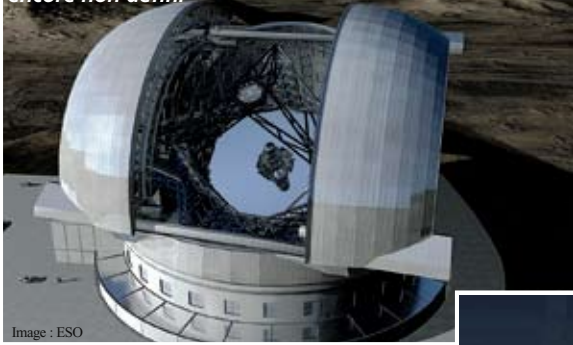
Celestia vous fait explorer l'Univers en trois dimensions. Il fonctionne sur Windows, Linux et Mac OS. Il couvre un vaste catalogue d'étoiles, de galaxies, planètes, lunes, astéroïdes, vaisseaux spatiaux etc. : www.shatters.net/celestial

Les frontières de l'observation

Depuis la première utilisation par Galilée d'une lunette pour observer le ciel, les progrès de l'observation ont permis d'augmenter considérablement le volume d'Univers accessible à nos instruments. La plus lointaine galaxie connue actuellement est observée à près de 12,9 milliards d'années dans le passé, – c'est le temps que met la lumière pour parcourir une telle distance –, l'Univers ayant un âge estimé à 13,7 milliards d'années. La nouvelle génération des très grands télescopes permet désormais d'espérer atteindre les galaxies au moment même de leur formation.

Depuis le sol, les grands observatoires comme le Very Large Telescope au Chili ou le Keck Telescope à Hawaii utilisent aujourd'hui des miroirs de 8 à 10 m de diamètre et des techniques innovantes, comme l'optique active (déformation de

L'Extremely Large Telescope aura un miroir de 40 m de diamètre. Il devrait être achevé vers 2013 dans un site encore non défini



la surface du miroir) et l'optique adaptative (correction en temps réel des déformations de l'image dues à l'atmosphère), permettant une qualité d'image jamais atteinte depuis le sol.

Une panoplie d'instruments futurs est à l'étude comme le Thirty Meter Telescope (TMT) ou l'European Extremely Large Telescope (E-ELT) avec son miroir segmenté de plus de 40 m de diamètre ! Le domaine des ondes radios est aussi couvert depuis le sol. Le radiotélescope géant Atacama Large Millimeter Array (ALMA) sera constitué d'au moins 54 antennes de 12 m de diamètre, sensibles aux ondes millimétriques. Les signaux captés par ces antennes seront combinés de sorte à disposer de la résolution équivalente à une unique antenne de 14 km de diamètre ! La construction de cet instrument s'achèvera en 2013. Dans le futur, le Square Kilometer Array (SKA), qui doit être construit pour 2020, en Afrique du Sud ou en Australie, couvrira un million de mètres carrés avec plusieurs centaines d'antennes.

L'espace joue un rôle de plus en plus important pour capter les lumières du cosmos qui ne peuvent atteindre le sol à cause de l'absorption atmosphérique. Le successeur du télescope spatial Hubble, lancé en 1990, sera le James Webb Space Telescope, mis au point conjointement par la NASA, l'Agence spatiale européenne (ASE) et l'agence spatiale canadienne. Il devrait entrer en service en 2013. Ce télescope spatial aura un miroir de 6 m de diamètre optimisé pour avoir une grande sensibilité dans l'infrarouge afin d'observer les objets les plus lointains, dont

la lumière est fortement décalée vers le rouge par l'expansion de l'Univers. Il sera précédé dans ce domaine par le satellite Herschel, plus modeste avec son miroir de 3,5 m de diamètre, mais observant dans une gamme plus étendue de l'infrarouge. Herschel sera mis en orbite en 2009 pour observer la formation des étoiles et l'évolution des galaxies. Il sera lancé conjointement avec le satellite Planck qui étudiera le fond diffus cosmologique, la lumière émise quand la matière est devenue transparente, dans les premiers temps de l'Univers.

Actuellement, une flotte de satellites astronomiques tourne autour de la Terre pour observer les différents rayonnements qui permettent de mieux comprendre le fonctionnement des astres : le télescope spatial Spitzer pour l'infrarouge, le satellite Chandra et l'observatoire XMM-Newton pour les rayons X, les satellites INTEGRAL et Fermi pour les rayons gamma.

Les astronomes ne se contentent plus de capturer la lumière, ils détectent aussi les vibrations de l'espace et piègent les particules cosmiques. Ils espèrent observer pour la première fois les ondes gravitationnelles prédites par la théorie de la gravitation d'Einstein. Ce sont de minuscules déformations de l'espace-temps, créées lors de l'explosion d'une étoile ou de la fusion d'astres compacts (étoiles à neutrons par exemple) et qui se propagent dans l'espace comme des rides sur l'eau. Sur Terre, les instruments américain LIGO et européen VIRGO ont commencé leur écoute de ces vibrations avec pour objectif un véritable défi : mesurer des modifications de distance de l'ordre du millième de la taille d'un noyau d'atome sur des distances de plusieurs kilomètres ! Depuis l'espace, l'expérience LISA prévue pour 2020 devrait ensuite réaliser une mesure beaucoup plus précise sur des distances de cinq millions de kilomètres.

Les nouveaux objectifs sont aussi de capter les particules qui circulent dans l'Univers. Les plus puissantes sont aujourd'hui analysées par l'Observatoire Pierre Auger, un vaste réseau de 1600 détecteurs répartis sur 3000 km carrés en Argentine. La plus abondante des particules cosmiques, l'insaisissable neutrino qui n'interagit que très peu avec la matière, est aussi activement recherché. Un neutrino peut traverser sans encombre la Terre. Produit en abondance dans l'Univers très dense des débuts, avant même la lumière, c'est un messager unique des tout premiers instants. Pour espérer les capturer, les différents « télescopes à neutrinos » ont dû être placés dans des endroits insolites : ICE CUBE est situé en Antarctique sous 2000 m de glaces et ANTARES à une profondeur de 2500 m dans les eaux de la Méditerranée.

Jean-Marc Bonnet-Bidaud et Roland Lehoucq²

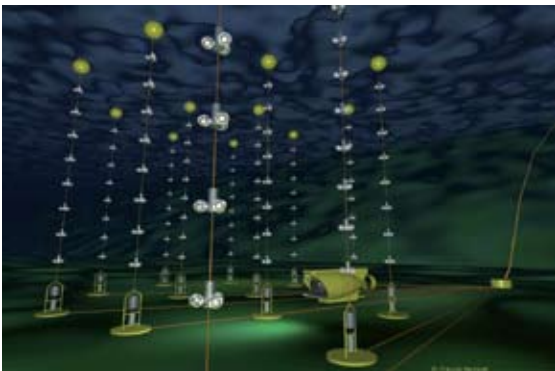


Schéma de l'observatoire sous-marin de neutrinos, ANTARES, en fonctionnement à 2500 m de profondeur au large de Toulon (France)

1. Voir Planète Science, janvier 2007

2. Tous deux du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) en France : bonnetbidaud@cea.fr et lehoucq@cea.fr

Repenser la recherche sur la santé

Les ministres et représentants des ministères de la santé, de la science et de la technologie, de l'éducation, des affaires étrangères et de la coopération internationale de 59 pays ont adopté, à Bamako (Mali), un Appel à l'action qui fixe des objectifs ambitieux d'augmentation des investissements dans la recherche sur la santé.

Adopté le 19 novembre, dernière journée du Forum ministériel mondial sur la recherche pour la santé, l'*Appel à l'action* exhorte les gouvernements à allouer à la recherche au moins 2 % du budget des ministères de la santé. Parallèlement, les bailleurs de fonds pour la recherche et l'innovation, ainsi que les agences internationales de développement, sont invités à investir au moins 5 % de leurs fonds d'assistance dans la recherche pour la santé, en se conformant aux stratégies nationales de recherche. La référence aux « stratégies nationales de recherche » a son importance, car jusqu'ici les donateurs avaient tendance à imposer aux pays bénéficiaires leurs propres programmes de recherche.

L'*Appel à l'action* insiste sur le fait que « la recherche mondiale pour la santé devrait être déterminée par les programmes et les priorités nationales et régionales ». Le président Amadou Toumani Touré a rappelé, en inaugurant le forum, le 17 novembre, que le Mali devait non seulement faire face au paludisme, au VIH, à la tuberculose et aux maladies émergentes telles que les fièvres hémorragiques et la grippe aviaire, mais aussi et de plus en plus à des maladies chroniques telles que le diabète et les problèmes cardiovasculaires. Alors que cette tendance se manifeste dans toute l'Afrique, les pays ont du mal à intéresser les donateurs à leurs nouvelles priorités en matière de recherches sur la santé.

Les signataires lancent un appel à tous les partenaires pour qu'ils mettent en œuvre les recommandations de la Commission de l'OMS sur les Déterminants sociaux de la santé. Lancé en août dernier, le rapport de la Commission, intitulé *Comblant le fossé en une génération*, affirme que les inégalités sanitaires sont évitables et que les responsables politiques disposent aujourd'hui de suffisamment de connaissances scientifiques pour pouvoir réduire ces inégalités, même s'il est indispensable de pousser les recherches plus avant.

Les déterminants sociaux de la santé incluent le niveau d'éducation, la nutrition, l'accès à une eau potable saine et à l'assainissement. L'*Appel à l'action* témoigne d'un tournant en faveur d'une approche plus large, intersectorielle, de la recherche pour la santé, en relation étroite avec les recherches sur l'éducation, l'alimentation, l'eau et l'agriculture.

Les signataires demandent aux gouvernements d'insister, au niveau de l'enseignement secondaire et supérieur, sur l'importance de la recherche scientifique. Ils leur demandent également de « renforcer les capacités de la recherche et de constituer une masse critique de jeunes chercheurs en mettant en place des programmes sur les méthodes et l'éthique de la recherche, notamment – mais non exclusivement – à l'intention des étudiants dans le domaine de la santé ». Les organismes régionaux sont incités à mieux harmoniser au plan éthique les lois et les comportements.

En vertu de son large mandat, l'UNESCO est invitée à promouvoir la recherche pour la santé au rang des grandes questions

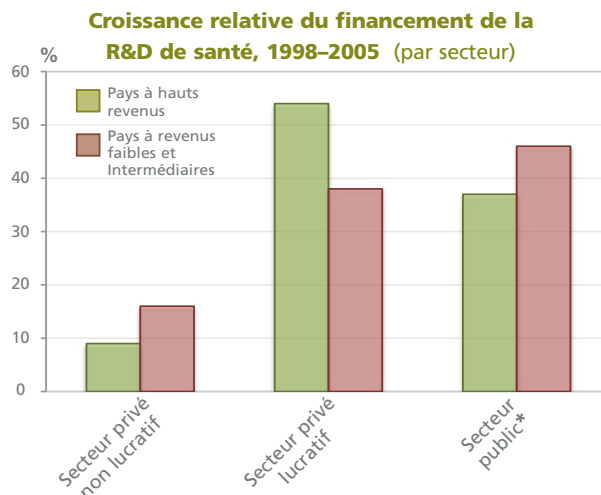
intersectorielles à l'intérieur de ses projets de renforcement des capacités et à en faire une partie intégrante des conseils de politique qu'elle offre aux gouvernements.

Constatant que « seule une faible proportion des dépenses de recherche est actuellement consacrée aux problèmes qui touchent, de façon disproportionnée, les populations pauvres », les signataires invitent les pays, les ministères, les agences internationales et le secteur privé à travailler ensemble plus efficacement, en organisant des « partenariats équitables » afin d'orienter la recherche vers une amélioration de la santé des pauvres dans le monde entier.

La dépense mondiale de R&D pour la santé a doublé entre 1998 et 2005 pour atteindre 160,3 milliards de dollars. À eux seuls, les pays du G7 représentent 88 % du total, proportion nettement supérieure à celle de leur poids dans l'économie mondiale (61 %). « Les pays à revenus faibles et intermédiaires (PRFI) ne figurent peut-être qu'à hauteur de 3 % dans ces dépenses », remarque Charles Gardner, du Forum mondial pour la recherche sur la santé, « mais ces pays investissent dans la recherche sur la santé au moins 2,3 milliards de dollars par an sur leurs propres fonds publics nationaux ». Il rappelle que, « dans beaucoup de ces pays, le coût réduit de la main d'œuvre et des infrastructures donne à ces investissements une forte plus-value. En 2005, la société Goldman-Sachs estimait que la R&D de biopharmacie en Inde ne représentait que 12,5 % du coût de recherches équivalentes dans 'les pays riches' ».

Charles Gardner est convaincu que les partenaires du développement doivent « se soucier bien davantage de renforcer les capacités des institutions publiques de recherche des PRFI pour négocier des partenariats locaux équitables de R&D public-privé, couvrant également les pratiques de gestion de la propriété intellectuelle d'intérêt public, susceptibles de faciliter ce type de partenariats.

Alors que plus de la moitié des recherches mondiales pour la santé est financée par le secteur privé, la collaboration de l'industrie pharmaceutique et des autres partenaires privés est devenue essentielle. Dans les pays à revenus élevés, la dépense du secteur privé dans ce domaine augmente plus vite que celle du secteur public (voir graphique). Lors d'une séance à Bamako consacrée aux leaders de la recherche, le Wellcome Trust britannique a exposé la manière dont son Réseau épidémiologique génétique



*Dans les pays à revenus faibles et intermédiaires, près du quart de l'augmentation concerne l'assistance au développement

Source : Forum mondial pour la recherche sur la santé (2008) : Monitoring Financial Flows for Health Research. Novembre

du paludisme étudiait la résistance à cette maladie dans la population de 11 pays africains et de trois pays asiatiques. Le représentant de la multinationale Merk & Co a ensuite évoqué son don de médicaments au programme d'onchocercose qui combat en Afrique de l'Ouest la cécité des rivières.

La question des droits sur la recherche a été au centre des débats de Bamako. Les gouvernements nationaux sont instamment priés « d'accorder la priorité à l'élaboration de politiques en faveur de la recherche et de l'innovation sur la santé, notamment les soins de santé primaires, afin de pouvoir maîtriser et gérer par eux-mêmes les programmes de recherche pour la santé ». Quant aux partenaires et parties prenantes, tous sont priés de « promouvoir et partager la découverte, la mise au point et la mise à disposition des produits et des technologies consacrés aux maladies négligées et émergentes, qui affectent de manière disproportionnée les PRFI ».

L'OMS devra donner l'exemple en veillant à ce que sa stratégie de recherche pour la santé soit mise en œuvre en conformité avec sa stratégie globale et son plan d'action sur la santé publique, l'innovation et la propriété intellectuelle.

Le groupe de la Banque mondiale et les banques régionales de développement sont priés « d'approfondir et d'élargir leurs recherches pour la santé, avec une attention particulière portée à la recherche et l'innovation en matière de systèmes sanitaires, et au renforcement des capacités nationales en science et technologie ».

L'Appel à l'action invite également les agences multilatérales à étudier avec les États membres et les autres partenaires la possibilité de proclamer le 18 novembre Journée mondiale de la recherche pour la santé.

Le Forum était organisé par le gouvernement du Mali, l'OMS, la Banque mondiale, l'UNESCO et deux ONG ayant leur siège à Genève : le Conseil de la recherche en santé pour le développement et le Forum mondial pour la recherche sur la santé.

Pour en savoir plus : www.bamako2008.org;

(en anglais) : www.tropika.net/svc/home/bamako2008

La réforme du système scientifique de la Tanzanie sur les rails

La réforme du système de science, technologie et innovation (STI) de Tanzanie a commencé les 15 et 16 décembre, par la première consultation des parties concernées, lors d'un atelier à Bagamoyo (Tanzanie). L'UNESCO est à la tête d'une équipe de représentants d'agences et de partenaires du développement, qui accompagne la Tanzanie dans cette opération, dans le cadre de l'initiative Une seule ONU. C'est sous ces auspices que l'UNESCO et les services et agences du gouvernement ont formulé un ensemble de propositions, dont le coût total s'élèvera à 10 millions de dollars, financé par le fonds Une seule ONU ainsi que d'autres sources.

La Tanzanie est l'un des huit pays pilotes³ choisis pour l'initiative Une seule ONU, lancée en 2007, élément d'une plus vaste réforme destinée à améliorer la coordination entre les agences des Nations Unies. Ce programme s'inspire du rapport *Unis dans l'action* soumis aux Nations Unies par une équipe spéciale de haut niveau.

Au cœur de l'initiative Une seule ONU, plusieurs agences des Nations unies collaborent afin de formuler des programmes concertés pour chacun des pays pilotes, financés en majorité par le fonds Une seule ONU. La participation de l'UNESCO au programme de la Tanzanie répondait à la demande adressée en juin 2007 par Jakaya Mrisho Kikwete, Président de la Tanzanie, au Directeur général de l'UNESCO afin que celle-ci aide son pays à effectuer un examen d'ensemble et une réorientation du système de STI en Tanzanie.

En août 2007, les directeurs des agences onusiennes s'accordèrent sur la proposition de l'UNESCO d'inclure les questions scientifiques dans l'objectif Vision 2025 fixé par le gouvernement



Photo UNESCO/Hamina Sopova

L'antique Ville de pierre, sur l'île de Zanzibar, bien connue des touristes. L'UNESCO projette d'aider la Tanzanie à mettre l'innovation au service du développement de l'industrie touristique, tout en respectant l'environnement

destiné à « transformer l'économie en un secteur puissant, résilient et compétitif, bénéficiant des apports de la science et de la technologie ». Pour citer Peter Msolla, ministre tanzanien des communications, de la science et de la technologie : « sans une dose certaine d'innovation [en Tanzanie] seraient anéantis les progrès réalisés au fil des années au plan macro-économique grâce à la mise en œuvre de politiques économiques appropriées ».

Au sein du programme Une seule ONU pour la Tanzanie, l'UNESCO est tête de file dans le domaine thématique de l'innovation et de la technologie, auquel sont également associées la Banque mondiale et la Finlande, qui couvrent conjointement les activités de trois programmes communs. Au titre du programme commun Création de richesses, emploi et émancipation économique, l'UNESCO coordonne la section des politiques et des plans d'action visant à intégrer les STI dans l'économie de façon explicite. Au titre du programme commun Renforcement des capacités en matière de gestion du développement, l'UNESCO coordonne la section de revalorisation du système STI en matière de gestion et de gouvernance. Enfin, au titre du programme commun sur l'éducation, l'UNESCO coordonne la section du renforcement des capacités de STI dans l'enseignement supérieur d'ici 2010.

Au cours de la phase préparatoire, l'UNESCO a collaboré avec l'Agence suédoise d'aide au développement international et son Département de coopération scientifique avec les pays en développement (SAREC), ainsi qu'avec le département de science et de

3. Les autres sont l'Albanie, le Cap-Vert, le Mozambique, le Pakistan, le Rwanda, l'Uruguay et le Vietnam

technologie de l'Afrique du Sud. Des hauts responsables tanzaniens ont effectué des missions d'étude en Suède et en Afrique du Sud.

En qualité de chef de file du domaine thématique Innovation et technologie, l'UNESCO était chargée de coordonner la formulation de propositions de financement initial. Elle superviserait désormais leur mise en œuvre et organisera la répartition du travail entre les agences onusiennes en fonction de leurs capacités d'effectuer au mieux les différentes tâches du programme élaboré par l'UNESCO. La réalisation du programme sera confiée au Comité directeur conjoint d'Une seule ONU, coprésidé par le Secrétaire permanent des Affaires financières et économiques et par le Coordonnateur résident de l'ONU en Tanzanie.

Quant à l'UNESCO, elle apportera régulièrement sa contribution financière à la réforme de la science, notamment par le biais de sa plate-forme interne de soutien aux systèmes nationaux de recherche. L'Organisation mobilisera des donateurs supplémentaires dans d'autres pays, comme la Suède et le Japon.

L'un des premiers projets auxquels l'UNESCO s'attachera consiste à mettre l'innovation au service du développement de l'industrie touristique en Tanzanie. Un autre projet porte sur la création d'une chaire UNESCO dans une grande université du pays, à choisir ultérieurement, qui formera des experts en politique scientifique.

Si l'on se fie aux réformes de la science du même type menées à bien dans d'autres pays en développement, on estime que celle de Tanzanie nécessitera, au total, 500 millions de dollars d'investissements sur les dix prochaines années.

Pour en savoir plus : f.osotimehin@unesco.org ;
a.maduekwe@unesco.org ; www.unesco.org/science/psd

La corrosion des mers pourrait coûter cher aux pêcheries

L'acidification des océans mondiaux, qui s'accélère à un rythme sans précédent, menace les écosystèmes marins et les moyens de subsistance de dizaines de millions de personnes. Telle est la conclusion tirée par 250 scientifiques, originaires de 32 pays, qui participaient à Monaco, du 6 au 9 octobre, au 2^{ème} Symposium international⁴ sur l'océan dans un monde trop acide.

Cette réunion était organisée par la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO, le comité scientifique de la recherche océanique (SCOR), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et le Programme international géosphère-biosphère, sous le haut patronage du Prince Albert II.

À l'heure actuelle, l'océan absorbe environ huit milliards de tonnes de CO₂ par an qui, autrement, resteraient dans l'atmosphère. Il joue donc un rôle important dans l'atténuation du réchauffement de la planète. Mais à quel prix ?

« Nos océans sont malades. Nous ne savons pas exactement à quel point, mais il existe désormais assez de preuves à nos yeux pour affirmer que la chimie des océans se modifie,

ce qui va affecter certains organismes marins, et que les décideurs doivent réagir et prendre acte de ce phénomène », a déclaré James Orr, du Laboratoire de l'environnement marin de l'AIEA, qui présidait le symposium. « Depuis la révolution industrielle, l'acidité des eaux de surface de l'océan a augmenté de 30 %. Ce changement est de plus grande ampleur et 100 fois plus rapide que les épisodes précédents d'acidification subis par les océans depuis plusieurs millions d'années », a ajouté James Orr.

« Les travaux de recherche publiés indiquent que d'ici 2030, l'océan Austral commencera à devenir corrosif pour les coquilles de certains escargots de mer évoluant à la surface des eaux », a-t-il expliqué. « Ces mollusques représentent une source importante de nourriture pour les saumons du Pacifique. Si leur nombre diminue ou s'ils disparaissent dans certaines régions, comme le Pacifique Nord, qu'advient-il du saumon – et de l'industrie de la pêche du saumon ? Et que se passera-t-il si l'acidification affecte de plus en plus les récifs coralliens qui abritent un quart des poissons dans le monde, au moins pendant une partie de leur vie, et qui génèrent une industrie touristique de plusieurs milliards de dollars ? ».

« Les phénomènes précédents d'acidification peuvent nous renseigner » a indiqué Carole Turley, du Laboratoire marin de Plymouth (Royaume-Uni). « Ils se sont traduits, par exemple, par une extermination massive des organismes à coquilles, il y a environ 55 millions d'années. Ceci confirme les études du fond des océans indiquant l'existence de cheminées naturelles émettant du CO₂, qui acidifient hautement leur voisinage. Elles montrent une baisse importante de la biodiversité et l'apparition d'espèces invasives ».

Le taux de saturation de l'aragonite, forme de carbonate de calcium utilisée par de nombreux organismes marins pour construire leur squelette ou leur coquille, laisse prévoir qu'aux latitudes tropicales la vitesse de calcification pourrait diminuer de 30 % au cours du siècle prochain.

Certaines régions, telle la côte ouest des États-Unis, connaissent déjà une sous-saturation saisonnière, phénomène qui fait remonter par upwelling des eaux corrosives sur la plate-forme continentale. Quelque 70 % des coraux du monde vivant en eaux froides profondes, servant d'écloseries à de nombreuses espèces de poissons commerciaux baigneront, d'ici 2100 dans des eaux corrosives.

Que pouvons-nous faire ? Les participants se sont accordés sur la nécessité de comprendre les implications du phénomène

Un ptéropode. Ces petits « escargots ailés » constituent, pour de nombreuses espèces commerciales de poissons, le premier maillon de la chaîne alimentaire. Une étude a récemment observé la dissolution de la coquille de ptéropodes vivants, lorsqu'ils sont exposés à un taux de carbonate équivalent à celui que l'océan devrait atteindre aux latitudes élevées dans 50 ans. Coraux, phytoplancton calcaireux, moules, escargots, oursins et autres organismes marins prélèvent tous dans l'eau de mer leur calcium (Ca) et leur carbonate (CO₃) pour construire leurs coquilles ou leurs squelettes. Dans la mesure où le pH diminue et où les océans s'acidifient, le carbonate se fera plus rare, et les organismes auront plus de difficulté à sécréter du CaCO₃ pour élaborer le matériel de leur squelette. Cela aura des conséquences désastreuses pour l'industrie : l'aquaculture des mollusques produit 12 millions de tonnes par an, pour une valeur marchande de 10,5 milliards de dollars

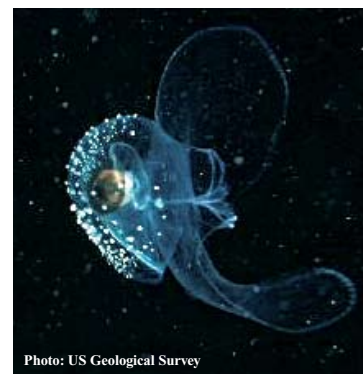


Photo: US Geological Survey

4. Sur le premier, voir Planète Science d'octobre 2004

actuel d'acidification. Hermann Held, de l'Institut de recherche de Potsdam sur les effets du changement climatique (Allemagne) a insisté sur le fait que la réduction des émissions de carbone est la seule voie efficace pour stabiliser ou inverser le processus d'acidification. Il estime que malgré les réticences de nombreux gouvernements, ceci est non seulement possible mais pour un prix abordable : l'élimination des émissions de carbone d'ici un siècle coûterait moins de 1,5 % du PIB mondial.

« En quatre ans, nous sommes passés d'un problème mal compris et peu connu à un problème manifeste, prouvé et de plus en plus présent dans la conscience du public » a remarqué après la réunion Maria Hood, coordinatrice du Réseau international de coordination du carbone océanique à la COI de l'UNESCO. « Nous avons pensé qu'à l'occasion de ce deuxième symposium, nous devons enfin réfléchir aux liens de la science avec l'économie et la politique. Les scientifiques formulent des questions scientifiques qui sont souvent mal reliées aux nécessités politiques ».

« Nous nous efforçons de faire en sorte qu'à l'avenir les groupes d'utilisateurs de référence soient enfin associés à l'élaboration des programmes de recherche. Ce sont des experts issus de l'industrie, des gouvernements et de la protection de la nature. Ils conseillent les gestionnaires et les décideurs sur les types de produits les plus utiles. Ils facilitent en outre la diffusion des résultats au-delà de la communauté des chercheurs ». C'est une situation où tout le monde est gagnant, et une relation essentielle pour donner à la science toute son efficacité en vue des meilleures prises de décisions ».

Pour en savoir plus : m.hood@unesco.org ; www.ocean-acidification.net/

L'équipe de SESAME prend possession de son site

Mieux connu sous son sigle de SESAME, le Centre international de rayonnement synchrotron pour les sciences expérimentales et appliquées au Moyen-Orient a été officiellement dévolu à son personnel, le 3 novembre 2008, cinq ans après la pose de la première pierre.

La cérémonie a eu lieu à Allan (Jordanie) en présence de Koïchiro Matsuura, Directeur général de l'UNESCO, sous les auspices du roi Abdallah II Ben Al-Hussein de Jordanie.

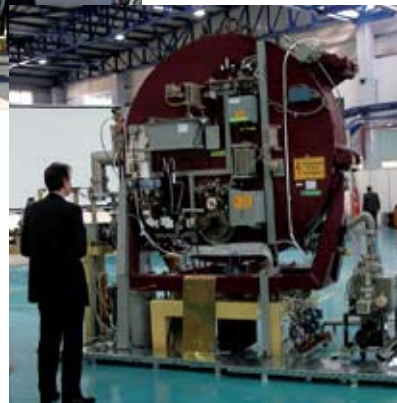
La construction du site de SESAME s'est achevée au début de l'année 2008. Au cours des derniers mois, le secrétariat a pris progressivement possession de ses locaux, après avoir opéré dans les bureaux du siège de l'UNESCO à Amman depuis 2004. Pendant ce temps, l'équipe technique de SESAME, dirigée par un membre de celle qui avait construit le synchrotron SOLEIL en France, a perfectionné le microtron et le booster⁵ offerts au projet par l'Allemagne. Parallèlement, l'équipe scientifique a dirigé des stages de formation pour utilisateurs potentiels. La cérémonie de novembre a également marqué l'installation du microtron et du principal élément du booster de SESAME, l'injecteur.

Lorsqu'il sera pleinement opérationnel, en fin 2011, le centre SESAME offrira au Moyen-Orient un laboratoire de tout premier ordre pour la recherche fondamentale et ses nombreuses



Photos: UNESCO/Maciej Nalecz

Les invités arrivent pour la mini-inauguration. À droite, l'un d'entre eux admire le microtron nouvellement installé dans l'enceinte expérimentale



applications à l'archéologie, la biologie, les sciences médicales, la physique, la haute technologie et l'industrie. Une source de synchrotron représente un outil indispensable pour la recherche et la création de nouveaux matériaux. Des centaines de scientifiques de la région et au-delà pourront travailler dans un centre d'excellence moderne, « de troisième génération », équipé d'un synchrotron qui ne le cède en rien aux meilleurs du monde.

Cette mini-inauguration a été immédiatement suivie de la 13^{ème} réunion du Conseil de SESAME, les 3 et 4 novembre. Après avoir, pendant près de 10 ans, dirigé ce projet cher à son cœur, le P^r Herwig Schopper, ancien directeur général de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), a remis la présidence du Conseil au P^r Sir Chris Llewellyn-Smith, qui préside actuellement le Conseil de l'ITER⁶ et le Conseil consultatif pour l'Euratom sur l'énergie de fusion.

Les membres de SESAME sont : Bahreïn, Chypre, Égypte, Iran, Israël, Jordanie, Pakistan, Autorité palestinienne et Turquie.

Pour en savoir plus : c.formosa-gauci@unesco.org ; www.unesco.org/science/bes

5. Les électrons sont injectés à partir d'un microtron de 22 MeV dans un booster (pré-accelérateur circulaire) du synchrotron de 800 MeV, à une fréquence de répétition de 1Hz. Le rayon de 800 MeV est transporté dans un accélérateur linéaire jusqu'à l'anneau principal de stockage pour être accumulé, puis accéléré à 2,5 GeV. Comme les aimants obligent les électrons à se courber, ils émettent un rayonnement synchrotron, dont la longueur d'onde varie de l'infrarouge aux rayons X durs
6. Le projet de Réacteur international expérimental à fusion thermonucléaire (ITER) prépare, à Cadarache (France), la construction d'un réacteur expérimental fonctionnant à la fusion nucléaire, qui devrait devenir opérationnel en 2038. À la différence de la fission nucléaire, pratiquée par les centrales nucléaires actuelles, et qui produit des déchets radioactifs, la fusion nucléaire est inoffensive pour l'environnement. Mais cette technologie n'est pas encore totalement maîtrisée. Cela est dû au fait que les noyaux résistent fortement aux tentatives de rapprochement car ils sont tous chargés positivement par leurs protons. Or, les charges de même signe se repoussent. En les soumettant à une puissante accélération, on surmonte la répulsion électromagnétique jusqu'à ce que les noyaux soient suffisamment proches pour réussir à fusionner. Le projet ITER est financé par l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Chine, la République de Corée, la Fédération de Russie et les États-Unis

Vers une loi sur les aquifères transfrontaliers

L'Assemblée générale des Nations unies a adopté à New York, le 11 décembre, par une décision historique, une résolution sur la Loi des aquifères transfrontaliers, qui reprend les 19 articles rédigés conjointement par la Commission du droit international des Nations unies et le Programme hydrologique international (PHI) de l'UNESCO.

La résolution encourage les États concernés à « conclure des accords bilatéraux ou régio-naux appropriés, pour gérer convenablement leurs aquifères trans-frontaliers, en tenant compte des dispositions des projets d'articles » annexés à la résolution.

Les dispositions concernent la coopération entre États afin de prévenir, réduire et combattre la pollution des aquifères partagés. Eu égard à l'importance de ces « ressources invisibles », les États sont invités à considérer ces projets d'articles comme base pour l'élaboration d'une convention.

Les aquifères recèlent près de 96 % de l'eau douce de la planète. À l'échelle mondiale, cette ressource est utilisée à 65 % pour l'irrigation, 25 % pour l'alimentation en eau potable et 10 % pour l'industrie. Ils constituent plus de 70 % de l'eau utilisée dans l'Union européenne et sont souvent une des seules, voire l'unique source d'approvisionnement dans les régions arides ou semi-arides: 100 % en Arabie saoudite ou à Malte, 95 % en Tunisie, 75 % au Maroc. Dans de nombreux pays, les systèmes d'irrigation reposent très largement sur les nappes souterraines : 90 % dans la Jamahiriya arabe libyenne, 89 % en Inde, 84 % en Afrique du Sud, 80 % en Espagne.

Depuis 2002, le projet du PHI sur la Gestion des ressources des aquifères transnationaux (ISARM) s'attache à inventorier et évaluer les systèmes d'aquifères transfrontaliers dans le monde. Une évaluation pays par pays des systèmes juridiques concernés a été également lancée. À ce jour, ISARM a recensé 273 aquifères transfrontaliers : 68 sur le continent américain, 38 en Afrique, 65 en Europe orientale, 90 en Europe occidentale – et 12 en Asie, où le recensement se poursuit.

Certains de ces plus grands aquifères du monde se situent en Amérique latine et en Afrique du Nord, comme ceux du Guarani et des Grès nubiens. En Afrique, ils restent largement sous-exploités. Or, comme ils s'étendent généralement sous plusieurs États, leur exploitation suppose des mécanismes de gestion concertée pour éviter que les nappes

ne soient polluées ou ne fassent l'objet d'une exploitation trop intensive par l'un des pays riverains. Depuis quelques années, de tels mécanismes commencent à voir le jour. Ainsi le Tchad, l'Égypte, le Jamahiriya arabe libyenne et le Soudan ont mis en place dans les années 1990 une autorité conjointe pour gérer de manière concertée le système aquifère des Grès nubiens.

La carte du PHI, *World Map of Transboundary Aquifers*, a fourni les données nécessaires à la rédaction du premier ensemble d'articles de droit international sur la question. Elle a été publiée en octobre par le Programme de l'UNESCO

de cartographie et d'évaluation mondiale de l'hydrologie (WHYMAP), qui travaille depuis 2000 à constituer une base de données des eaux souterraines. La carte évalue également la qualité des principaux systèmes d'aquifères et leur taux de recharge.



Taux de recharge des nappes, de 1961 à 1990
Par habitant (2000)

Voir : www.isarm.net/ et
www.un.org/ga/sixth/63/index.shtml

Pour télécharger la carte mondiale :
<http://typo38.unesco.org/en/about-ihp/associated-programmes/whymap.html>

En Amérique latine, les inégalités affectent le travail scolaire

Le Bureau régional de l'UNESCO pour l'éducation en Amérique latine et aux Caraïbes a publié les conclusions de l'évaluation la plus ambitieuse jamais réalisée dans la région sur les résultats des écoliers. Le *Secundo Estudio Regional Comparativo y explicativo : los aprendizajes de los estudiantes de América latina y del Caribe* révèle que le système d'enseignement primaire de Cuba surclasse ceux de ses voisins ; il met en lumière les fortes inégalités des conditions d'apprentissage au sein de la région et au sein des pays.

L'enquête a été menée pendant quatre ans dans 3 065 écoles de 16 pays par le Laboratoire latino-américain d'évaluation de la qualité de l'éducation. Elle a évalué le niveau de 196 000 élèves des troisième et sixième années de scolarité, dans les disciplines des mathématiques, sciences naturelles, lecture et écriture. Chaque élève a passé une série de tests portant sur des éléments de programmes communs à la région, conçus conformément au principe des compétences de la vie courante, prôné par l'UNESCO.

L'étude classe les résultats obtenus par les élèves en quatre niveaux de réussite. Cuba se distingue en sciences, où 35 % des classes de 6^{ème} année atteignent le plus haut niveau (4),

et 31 % le niveau 3, alors que la moyenne régionale se situe respectivement à 2 % et 11 %. En Colombie, en Uruguay et dans l'État mexicain du Nouveau León, pratiquement la moitié des élèves se classent au niveau 2. En Argentine, République dominicaine, El Salvador, au Panama, au Paraguay et au Pérou, plus de 40 % des élèves de 6^{ème} année se placent au niveau 1 ou en dessous.

Cuba se distingue aussi en mathématiques, où 51 % des écoliers de 6^{ème} année atteignent le niveau 4 et 26 % le 3, mais là, les disparités sont moins accusées qu'en science. Au niveau régional, 11 % des élèves atteignent le niveau 4 et 32 % le niveau 3. L'Uruguay suit de près Cuba, avec 32 % des élèves atteignant le niveau 4 et 40 % le niveau 3. Le tiers des élèves ou davantage atteignent le niveau 3 en Argentine, au Chili, en Colombie, au Costa Rica et au Mexique. Cependant, en Équateur, à El Salvador, au Guatemala, Nicaragua, Panama, Paraguay et Pérou, plus de 20 % des élèves se situent au niveau 1 ou en dessous – ils sont même 47 % en République dominicaine.

La comparaison entre filles et garçons indique que les garçons ont un net avantage en science dans certains pays. La différence est la plus marquée en Colombie, à El Salvador, au Pérou et dans l'État mexicain du Nouveau León. Aucun écart significatif n'a cependant été relevé dans les statistiques des 6^{ème} année entre filles et garçons en Argentine, à Cuba, en République dominicaine, au Panama, au Paraguay, ni en Uruguay.

L'étude montre que les élèves fréquentant les écoles urbaines ont tendance à mieux réussir en science que les ruraux, à l'exception notable de Cuba, et avec un écart minime en République dominicaine. Le Pérou présente les résultats les plus contrastés à cet égard, suivi par El Salvador et le Panama.

En conclusion, l'étude confirme que le revenu national par habitant est fortement corrélé au degré de réussite des écoliers en mathématiques, en lecture et en science. À l'intérieur de chaque pays, plus les inégalités sont marquées, plus la performance moyenne est basse⁷.

Lire un résumé de l'étude en anglais :

<http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001610/161045e.pdf>

7. Cuba et l'État mexicain du Nouveau León n'ont pas été couverts par cette partie de l'enquête, faute de données disponibles

Les 40 lauréats du concours de photos

Le concours de photos organisé par l'UNESCO sur Le Visage changeant de la Terre a été gagné par le jeune Muataz-Nasser Al-Adwan, âgé de 15 ans, de Jordanie, et dans la catégorie adultes, par Anil Risal Singh, de l'Inde. Le concours s'inscrivait dans le cadre de l'Année internationale de la planète Terre, destinée à mettre en lumière l'utilité des géosciences pour la société.

Les deux lauréats du prix reçoivent chacun un appareil photo numérique, et les 40 lauréats se verront attribuer deux ouvrages de l'UNESCO : *Le visage changeant de la terre*, qui décrit la dérive des continents depuis 250 millions d'années, et *Explique-moi la Terre*.

Dans la catégorie des 15–20 ans, la mention honorable est attribuée à : Min Htike Aung (Myanmar), Marta Castro (Portugal), Magda



Muataz Nasser montre le spectacle saisissant des monceaux de sel qui se forment au bord de la mer Morte, au Moyen-Orient, au fur et à mesure qu'elle s'évapore

Kotas (Pologne), Desislava Kusheva (Bulgarie), Marcos Lajciak (Slovaquie), Justyna Malgorzata (Pologne), Pedro Matos (Porto Rico), Kosar Miri (Iran), Ugne Palcukaite (Lituanie), Klara Simic (Croatie), Marieta Stefanova (Bulgarie), Reuben Todd (Nouvelle-Zélande), Silvia Toledo (Argentine) et Milan Vujisic (Serbie).

Dans la catégorie 21 ans et plus, la mention honorable est attribuée à : T. R. Bandre (Inde), Plinio Barraza (Colombie), George Cabig (Philippines),IVALDO Cavalcante (Brésil), Abhijit Dey (Inde), Ali Zourkaleini Djibrilla (Niger), Gilbert Gamolo (Philippines), Reza Golchin (Iran), Khaled Hasan (Bangladesh), Juana María López Rojo (Espagne), Edilberto Magpayo (Philippines), Mihail Mancas (Moldavie), Samarendranath Mandal (Inde), Joydeep Mukherjee (Inde), Emma Marks (Nouvelle-Zélande), Somenath Mukhopadhyay (Inde), Mohammed Rakibul Hasan (Bangladesh), Pinaki Ranjan Majumdar (Inde), Milagros Vico Ríos (Espagne), Reza Salarian (Iran), Luciano Sarote (Brésil), Ankit S. Sharma (Inde), Fernando Zapata (Philippines), et Zulkarnain (Indonesie).

Les candidats devaient illustrer l'un des dix thèmes de l'Année internationale de la planète Terre, à savoir : le sol, les eaux souterraines, les risques naturels, la terre et la santé, le changement

climatique, la question des ressources, les mégapoles, les entrailles de la Terre, l'océan, la terre et la vie. *Planète Science* présentera d'autres photos de lauréats dans ses prochains numéros.

Pour consulter en ligne les photos primées : www.unesco.org/science



À Lucknow, un batelier débarrasse la rivière Gomthi de bouteilles de plastique et autres déchets, sur ce cliché d'Anil Risal Singh

Giovanni Valsecchi

Se prémunir contre une catastrophe cosmique



Les astéroïdes sont les gravats de l'espace, vestiges de la formation du Système solaire il y a environ 4,6 milliards d'années. La plupart de ces fragments de roches orbitent autour du Soleil, entre Mars et Jupiter. Cette ceinture d'astéroïdes pourrait en contenir des millions, d'une taille d'environ le quart de notre Lune jusqu'à moins de 100 m de large. À ce jour, les astronomes du monde entier en ont compté officiellement plus de 200 000. L'un de ces astéroïdes, Apophis, passera en 2029 à moins de 40 000 km de la Terre, et les forces de la gravitation pourraient lui imprimer une trajectoire qui l'enverrait s'écraser sur la Terre sept ans plus tard. Avec des conséquences désastreuses. En 1908,

L'astéroïde 951 Gaspra, tel qu'observé par la sonde Galilée en 1991 dans la Ceinture des astéroïdes. Gaspra mesure environ 20 km de long, soit deux fois la taille de l'astéroïde qui a tué les dinosaures



un astéroïde qui, pense-t-on, n'aurait eu que 45 m de diamètre, a détruit en Sibérie 2 000 km² de forêt. Or, Apophis a 300 m de large. La catastrophe la plus célèbre provoquée par un astéroïde sur la Terre est peut-être celle qui a creusé, il y a 65 millions d'années, un immense cratère près de la péninsule du Yucatan, au Mexique ; on estime qu'il a anéanti jusqu'à 70 % de la biodiversité, y compris les dinosaures.

Aujourd'hui, les astéroïdes et les comètes sont surveillés par les astronomes, mais il n'existe pas de filière officielle pour avertir les gouvernements d'un impact prévu. Dans ces conditions, un groupe d'astronomes et de cosmonautes a rédigé un Protocole de décision de déviation d'objets proches de la Terre (Near-Earth Objects, NEO), qu'il espère soumettre cette année au Comité de l'ONU sur l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique. Giovanni Valsecchi, spécialiste de la surveillance des impacts à

l'Institut d'astrophysique spatiale et de physique cosmique de Rome (Italie), explique ici que nous détenons réellement la technologie permettant d'éviter un impact d'astéroïdes. La prévention coûte cher, cependant, et il est peu vraisemblable qu'un astéroïde nous touche au cours de ce siècle. Investir ou ne pas investir dans cette technologie dépendra des gouvernements, selon qu'ils considèrent ou non la prévention comme une priorité.

Quels sont les risques qu'Apophis heurte la Terre en 2036 ?

La probabilité d'un impact en 2036 est d'environ une sur 45 000, si bien qu'il serait pour le moins prématuré, à l'heure actuelle, de se soucier de l'endroit précis où il pourrait se produire sur la Terre. À supposer qu'Apophis s'écrase sur un continent, il pourrait provoquer une explosion de 500 mégatonnes, ou sur la mer un énorme tsunami.

Apophis s'approchera relativement près de la Terre en 2013 et 2021, et pourra être observé au télescope. Cela devrait nous permettre d'éliminer l'infime possibilité qu'il heurte la Terre.

Comment fonctionne le système de surveillance des impacts ?

Voici comment s'enchaînent les réactions. Lorsque les astronomes détectent avec leurs télescopes une comète ou un astéroïde, y compris des NEO, ils transmettent leurs observations au Centre des planètes mineures (MPC) de l'Union astronomique internationale, qui centralise ce genre de données. Le MPC détermine alors si les observations correspondent à des objets connus ou à de nouvelles découvertes. Il publie tous les jours les orbites provisoires des NEO récemment découverts ainsi que toutes les nouvelles observations relatives aux NEO déjà connus.

Deux centres de calcul, le NEODyS, de l'Université de Pise (Italie), dupliqué à l'Université de Valladolid (Espagne), et le Jet Propulsion Laboratory de Pasadena (États-Unis), exploitent

les nouvelles observations pour affiner les calculs de l'orbite de chaque NEO. Les objets dont le passage près de la Terre pourrait être inquiétant sont traités par des logiciels robots spécialisés, qui estiment la probabilité d'une collision avec notre planète au cours du siècle. Les résultats sont alors publiés en ligne dans les pages spéciales de risques de ces centres. Les astronomes du monde entier concentrent leurs efforts sur les objets cités dans les pages de risques. Dès que nous connaissons suffisamment bien l'orbite d'un objet pour pouvoir exclure la possibilité d'une trajectoire de collision avec la Terre, il est éliminé des pages de risques.

Cette procédure de surveillance date de près de dix ans. À tout moment, nous pouvons exclure avec certitude une collision avec la Terre au cours du siècle prochain pour presque tous les NEO qui pourraient être dévastateurs. Pour les autres, nous savons pour quels objets nous devons poursuivre la surveillance avant de les déclarer inoffensifs. Il existe évidemment une autre possibilité, celle de découvrir un jour qu'un objet susceptible de provoquer des dommages considérables a une forte probabilité de heurter la Terre. Dans ce cas, nous aurions des décennies d'alerte anticipée, et assez de temps pour prendre des mesures de prévention.

Mais dès lors que vous aurez découvert, suivi, examiné et déclaré inoffensif pour 100 ans tous les NEO dangereux, en aurons-nous fini avec la surveillance des impacts ?

Non, la surveillance devra, par essence, se poursuivre sans fin, exactement comme pour les autres catastrophes naturelles :

éruptions volcaniques, tsunamis et séismes... Car les lentes modifications systématiques de l'orbite des NEO, dues à la gravitation des planètes, font que l'orbite des objets devant passer à proximité de la Terre pendant ce siècle et le suivant ne nous menacera plus dans les futurs millénaires, alors que d'autres prendront leur place dans la catégorie « à surveiller ».

La validité de la surveillance étant d'une portée actuelle d'un siècle, nous cherchons à l'étendre à plusieurs siècles. Il y a des difficultés techniques, mais les premiers résultats sont encourageants et nous pensons que cela pourra se faire. L'avantage indéniable est que nous pourrions détecter l'approche de tout objet menaçant la Terre, ou même prévoir des impacts frontaux, bien plus tôt que nous ne le pouvons actuellement.

Est-il possible de dévier un astéroïde ?

En théorie, oui, mais cela n'a jamais été fait. Cela n'empêche personne d'imaginer des techniques très ingénieuses. L'idée, par exemple, de placer un vaisseau spatial devant ou derrière l'astéroïde afin d'utiliser sa minuscule force de gravitation pour accélérer ou ralentir quelque peu l'astéroïde et le détourner ainsi de sa trajectoire initiale. Ou encore d'asperger l'astéroïde d'une matière qui modifierait la quantité de rayonnement solaire qu'il réfléchit ou absorbe, car cela changerait lentement mais continuellement son bilan énergétique et donc sa trajectoire !

L'initiative étudiée jusqu'ici avec le plus d'attention est celle de la mission Don Quichotte de l'Agence spatiale européenne⁸. Elle n'est cependant rien d'autre pour le moment qu'une étude, car elle n'est pas encore financée. La mission comporte deux éléments : Sancho, véhicule orbiteur, et Hidalgo, véhicule percuteur. Sancho serait inséré dans une orbite autour d'un astéroïde ciblé, d'environ 500 m de diamètre, pour mesurer pendant plusieurs mois la position, la forme, la masse et le champ de gravité de l'astéroïde, avant et après qu'Hidalgo aurait percuté l'astéroïde, afin de détecter toute modification ultérieure de sa trajectoire.

Si un astéroïde était repéré trop tard pour que l'on envisage de le dévier, il pourrait être pilonné par un missile ou un vaisseau spatial, ou même « atomisé ». Les petits astéroïdes se consomment en pénétrant dans l'atmosphère terrestre. Dans ce cas, un astéroïde de 30 m de large libérerait probablement autant d'énergie qu'une petite bombe atomique.

Plus l'astéroïde sera gros, plus il sera difficile à dévier ou à détruire. D'un autre côté, les astéroïdes de moins d'1 km de large sont plus difficiles à repérer depuis la Terre, et bien plus nombreux que les gros.

Une mission de déviation devrait quitter la Terre plusieurs années à l'avance pour rencontrer l'astéroïde à l'endroit voulu.

Dans le cas d'Apophis, la mission devrait la quitter moins de dix ans avant 2029.

Qui paierait pour dévier ou détruire un astéroïde ?

Bonne question ! Je crains que personne ne puisse encore y répondre.

Que savez-vous du Protocole de décision de déviation d'objets proches de la Terre ?

L'Association des explorateurs de l'espace (ASE), ayant son siège au Texas, a rédigé un rapport⁹ sur la nécessité d'établir un programme international de prise de décisions pour réagir au plan mondial à la menace des NEO. L'ASE soutient que dans 10 à 15 ans, les Nations unies devront décider si et comment on doit agir pour prévenir la menace d'un impact de comète ou d'astéroïde. Le 1^{er} décembre 2008, elle a remis aux délégués nationaux des missions permanentes auprès des Nations unies à Vienne (Autriche) le rapport *Asteroid Threats : a Call for Global Response*. D'autres dossiers liés à ce rapport ont été distribués aux représentants de plusieurs agences spatiales¹⁰.

Que demande son rapport ?

Il propose un programme sur trois fronts, coordonné par les Nations unies. La première fonction consisterait à mettre en place un réseau de collecte et d'analyse des informations et d'alerte. Le réseau fixerait également les critères pour l'émission d'alertes aux impacts.

En deuxième lieu, une équipe chargée de planifier les missions et les opérations définirait les technologies requises et évaluerait les capacités d'action des agences spatiales s'intéressant aux NEO. Cette équipe

mettrait à profit les plans de missions pour préparer une campagne de déviation en cas d'alerte spécifique.

Enfin, une équipe intergouvernementale mandatée par les Nations unies serait chargée de donner les ordres et de superviser ; c'est elle qui fixerait les seuils et les critères de risques d'impact servant à déclencher une campagne de déviation d'un NEO. Elle devrait en outre transmettre au Conseil de sécurité des Nations unies ses recommandations sur l'action à entreprendre.

Interview réalisée par Susan Schneegans



Avec l'autorisation de William Hartmann www.wps.edu/hartmann/index.html

L'artiste dépeint ici la scène quelques minutes après l'explosion d'un astéroïde dans l'atmosphère en 1908, au-dessus de la région de Tunguska, en Russie. Bien qu'elle n'ait pas creusé de cratère, l'explosion de 3 à 5 mégatonnes a tout de même dévasté 2 000 km² de forêt sibérienne. On estime qu'un événement semblable se produit deux à trois fois tous les 1 000 ans. Les comètes sont bien moins nombreuses que les astéroïdes à s'approcher très près de la Terre

8. Voir : www.esa.int/SPECIALS/NEO/SEMZRZNVGJE_0.html

9. www.space-explorers.org/committees/NEO/docs/ATACGR.pdf

10. Indian Space Research Organization, Canadian Space Agency et NASA. L'ASE annonce qu'elle négocie de prochains briefings avec l'Agence spatiale européenne, la Chine, le Japon et la Russie

Vieillir jeune

De nos jours, les êtres humains vivent plus longtemps. D'ici 2100, l'espérance de vie pourrait varier, selon les pays, de 66 à 97 ans. Ce gain serait, pour une bonne part, dû aux progrès de l'hygiène et de la médecine. Mais les scientifiques explorent actuellement une autre piste : la possibilité qu'il existe un gène de la longévité. Ils travaillent sur l'hypothèse qu'il n'y aurait pas un seul mais plusieurs gènes qui influenceraient tous les autres gènes de notre corps, et donc notre capacité à atteindre un âge avancé. Mais vivre plus longtemps n'est pas obligatoirement synonyme d'apprécier ces années supplémentaires. Comment vieillir en restant jeune ? Telle est la question posée à un panel de 14 experts lors d'un forum public sur Longévité et qualité de vie, les dernières avancées pour vieillir jeune, organisé le 16 septembre dernier par l'UNESCO et l'hebdomadaire français *Paris Match* au siège de l'UNESCO.



La population vieillit, le phénomène semble irréversible. Selon un rapport de l'ONU publié en 2007¹¹, l'âge médian pourrait passer de 28 à 38 ans d'ici 2050, en marquant une nette accélération dans les pays en développement. Aujourd'hui, l'âge médian est très variable : 39 ans en Europe et 36 en Amérique du Nord contre environ 28 en Amérique latine et moins de 20 en Afrique. Avec un âge médian de 43 ans, le Japon abrite la population la plus âgée du monde, par la conjonction d'un développement avancé et d'une chute de la natalité : les Japonais de plus de 60 ans devraient représenter, d'ici 2020, 31 % de la population nationale.

Au plan mondial, l'espérance de vie, qui s'établissait à 46 ans en 1950, est passée à 67 ans. Il y avait 30 000 centenaires dans le monde en 1985 : ils sont aujourd'hui 226 000 et leur nombre est estimé à 4 millions pour 2050. Rien qu'en France, le nombre de centenaires passera, vers 2050, de 20 000 à près de 300 000. Cette inversion de la pyramide des âges va peser lourdement sur les pensions de retraite, les impôts, les soins médicaux, la population active, etc.

Mais l'allongement de la durée de vie sera également bienvenu... pour autant que nous pourrions profiter des années supplémentaires. Nous devenons, avec l'âge, plus sensibles à une large gamme de maladies chroniques qui affectent nos facultés mentales, physiques et sensorielles. Les trois choses que la population redoute le plus sont la perte de la vue, des fonctions cérébrales et de l'autonomie.

Le forum de septembre¹² sur la longévité s'est penché sur quelques maux parmi les plus courants de la vieillesse :

les maladies neurodégénératives d'Alzheimer et de Parkinson, les maladies de l'œil : cataracte, glaucome et dégénérescence de la macula – partie centrale de la rétine – liée à l'âge, et l'amincissement des os, comme l'ostéoporose et l'arthrite. Le message issu du panel se veut rassurant : nous commençons à comprendre les mécanismes du vieillissement et même à pouvoir agir sur certains d'entre eux.

En finir avec la peur

Dans le cas de la cataracte, maladie de l'œil très répandue, le chirurgien ophtalmologue remplace la lentille opacifiée de l'œil par un implant souple, opération absolument indolore, sous anesthésie locale, avec un taux de réussite élevé. « La même technique permet de corriger d'autres anomalies de l'œil », explique le P^r Christophe Baudouin, de l'hôpital des Quinze-Vingts à Paris, « telles que la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme ».

Le terme de glaucome terrorise les patients, car cette affection peut entraîner la cécité par destruction progressive du nerf optique. Le glaucome survient lorsqu'un blocage de la circulation de l'humeur aqueuse fait monter la pression dans le globe oculaire. Plus on intervient tôt, plus le pronostic est favorable, car la détérioration du nerf optique est irréversible. Pour le glaucome à angle fermé (20 % des cas), un produit injecté dans l'œil peut faire baisser la tension en irrigant l'œil. C'est la technique du laser Yag. On traite le type de glaucome à angle ouvert en rinçant l'œil tous les jours avec des gouttes. Il est désormais possible de stabiliser ce type de glaucome dans 80 % des cas. Pour les autres, une nouvelle technique par laser peut stabiliser leur état



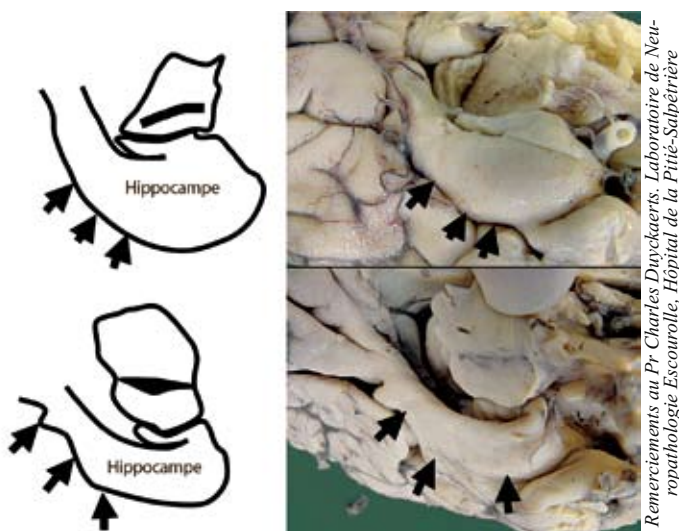
Visages du Kazakhstan, d'Éthiopie, du Pérou, du Maroc, de la Jamaïque et de l'Inde

chez environ 10 % des patients. En dernier ressort, une opération peut nettoyer le canal d'évacuation et libérer la circulation dans l'œil, avec un taux de réussite de 80 %.

Le cerveau, une machine complexe

« Le cerveau humain est constitué de 100 milliards de neurones et autres cellules nerveuses, dont chacune envoie 1 000 signaux par seconde à ses voisins », explique le Pr Yves Agid, ancien chef du service de neurologie à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière et directeur scientifique de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière, à Paris. L'extrême complexité du cerveau fait qu'il accapare, à lui tout seul, 20 % de l'énergie corporelle, alors qu'il ne représente qu'environ 2 % du poids d'un adulte (1 350 g).

Les neurones ne meurent pas selon le processus normal du vieillissement. En revanche, en prenant de l'âge, nous commençons à perdre des terminaisons nerveuses par lesquelles les neurones communiquent entre eux. Mais il n'y a pas deux êtres humains qui vieillissent de la même manière. « Les deux tiers des personnes de plus de 65 ans se plaignent de pertes de mémoire » remarque le Pr Bruno Dubois, neurologue à la Pitié-Salpêtrière. « En fait, il s'agit plutôt d'inattention, comme lorsqu'on ne se rappelle pas où on a laissé ses lunettes ».



Coupe d'un cerveau sain (en haut) et d'un cerveau atteint de la maladie d'Alzheimer. Les flèches noires indiquent l'hippocampe, qui dans l'image du bas est visiblement atrophié

Retarder la progression d'Alzheimer

La différence avec la maladie d'Alzheimer, c'est que la personne perd effectivement des neurones, d'où une perte de mémoire. Une personne qui s'intéresse à la politique, par exemple, n'arrivera pas à se souvenir du nom du premier ministre. Nous ne savons pas ce qui cause l'Alzheimer mais nous connaissons pertinemment le déroulement des événements. Dans une certaine mesure, nous pouvons même la « prédire » : un scanner du cerveau peut détecter une atrophie de l'hippocampe, partie du cerveau où est stockée l'information, avant même l'apparition des premiers symptômes de la maladie.



Scanner à résonnance magnétique. Un scanner du cerveau peut détecter une atrophie de l'hippocampe avant même l'apparition des premiers symptômes d'Alzheimer. Le scanner peut aussi découvrir des lésions de l'hippocampe. En France, la maladie d'Alzheimer touche 860 000 personnes sur une population d'environ 60 millions

La recherche s'efforce d'intervenir à différents stades du développement de la maladie. L'une des études encourageantes a réussi à créer une souris transgénique souffrant de l'Alzheimer, car les animaux ne développent pas spontanément cette maladie. Un vaccin thérapeutique en forme de protéine a été injecté dans le cerveau de la souris. Elle a alors fabriqué des anticorps qui l'ont guérie. Les essais sur des êtres humains durent être interrompus à cause de leurs effets secondaires, mais ils ont ensuite repris. « Je pense que nous ne sommes pas loin de mettre au point un médicament qui puisse retarder la progression de la maladie d'Alzheimer » signale le Pr Dubois.

Un « pacemaker » pour les malades de Parkinson

Le patient atteint de la maladie de Parkinson développe un tremblement de la main en position de repos et un raidissement des muscles qui ralentissent le mouvement. Quelque 10 % des cas sont dus à la mutation d'un gène. Environ 15 % des cas sont bénins, et 15 % des autres sont extrêmement sévères.

La L-dopa est un acide aminé naturel, présent dans la nourriture et fabriqué normalement dans le corps humain à partir de la L-Tyrosine. La L-dopa se convertit en dopamine dans le cerveau et le corps. Aux États-Unis, elle se vend même comme complément alimentaire. L'une des fonctions contrôlées par la dopamine dans le cerveau est l'activité motrice. Or, la maladie de Parkinson provient d'une détérioration du groupe de neurones qui produisent la dopamine. Celle-ci peut être administrée comme médicament mais, étant incapable de traverser la barrière entre le sang et le cerveau, elle ne peut agir directement sur le système nerveux central. Médicament dérivé de la L-dopa, la Lévodopa peut passer cette frontière et être métabolisée en tant que dopamine, et donc soulager les symptômes. La Lévodopa a cependant eu de graves effets secondaires sur certains patients, comme l'agitation, les hallucinations ou l'hypotension.

Il existe aujourd'hui une alternative pour ces patients : la stéréotaxie, technique chirurgicale indolore, consistant à placer dans le cerveau des électrodes reliées à une sorte de pacemaker, qui stimulent électriquement les muscles du patient et améliorent ainsi leurs mouvements.

Lorsque l'âge commence à grignoter vos os

Lorsque nous vieillissons, le cartilage de nos articulations s'amincit, nos muscles réduisent de volume et notre masse osseuse diminue. Quelque 30 % des personnes de plus de 70 ans souffrent des genoux, et 10 % des personnes de plus de 60 ans d'ostéoartrite. L'ostéoporose a tendance à affecter davantage les femmes, car leur masse osseuse diminue plus rapidement après la ménopause en raison de la production réduite d'œstrogènes.



Une femme âgée de 115 ans à Grand-Popo, Bénin

La mise au point d'une nouvelle classe de médicaments, les bisphosphonates, a permis de réduire les douleurs osseuses, l'excès de calcium dans le sang et le risque de fracture des os. Aux États-Unis, par exemple, le nombre d'admissions à l'hôpital pour fractures de la hanche a diminué de 60 % depuis 1990. Les composés de bisphosphonates enrobent la surface des cellules osseuses endommagées, inhibent la résorption osseuse et permettent aux os de se rétablir et de guérir. À l'heure actuelle, des bisphosphonates sont incorporés aux dentifrices, pour prévenir les caries.

Vous êtes ce que vous mangez

« Lorsque le composé resvératrol, l'une des molécules appartenant au groupe des polyphénols, a été administré à des souris suralimentées et sédentaires, leur santé et leur condition s'améliora » remarque le Pr Axel Khan, généticien à l'Institut Cochin de Paris. Mais cela ne signifie pas que nous devrions attendre de la science toutes les réponses. Il est possible d'améliorer grandement ses chances de bien vieillir, tout simplement en observant un régime sain et en faisant régulièrement de l'exercice.

Si vous menez une vie sédentaire, que vous êtes en surpoids, ou si vous avez subi un traumatisme physique, vos articulations pourront en être endommagées. La meilleure façon de prévenir les problèmes articulaires est de faire au moins une heure d'exercice plusieurs fois par semaine. Cela peut même atténuer les effets fragilisants de l'arthrite en maintenant en bon état les tendons et les muscles des jambes. Un exercice régulier favorise également la production d'un type de neurotrophes – famille de molécules fabriquées naturellement par le corps et bénéfique au système nerveux – qui protègent le cerveau et peuvent même générer de nouveaux neurones, notamment dans l'hippocampe.

Le régime alimentaire peut aussi faire des miracles. « Manger du poisson deux fois par semaine réduit de moitié le risque de maladies cardiovasculaires » rappelle le Pr Jean Mariani, neurobiologiste à l'Université Pierre et Marie Curie de Paris. Parce que l'huile de poisson, riche en acides gras oméga-3, stimule la circulation sanguine. Il est également prouvé qu'un régime riche en poisson et en antioxydants réduit le risque de maladie d'Alzheimer. Parmi les antioxydants – qui protègent les cellules corporelles des effets nuisibles de l'oxydation – il y a la vitamine E, la vitamine C et le bêta-carotène contenu dans

les carottes. Les antioxydants seraient en outre capables de nous protéger de la forme sèche de la dégénérescence maculaire liée à l'âge.

Si un mode de vie sain peut préserver les neurones et vous aider à éviter l'hypertension, un taux dangereux de cholestérol ou le diabète, l'abus d'alcool ou le stress chronique produisent des effets opposés, en stimulant la production d'hormones telles que les corticoïdes qui, en quantités excessives, peuvent réellement détruire les neurones.

Approfondir nos connaissances sur le vieillissement

La recherche sur une maladie génétique rare pourrait présenter l'avantage supplémentaire de nous faire mieux connaître le vieillissement. Le symptôme de progéria, qui retarde la croissance des enfants, s'accompagne de symptômes normalement associés au vieillissement, comme le durcissement des artères, l'apparition de rides, la rigidité des articulations et l'athérosclérose. Les enfants qui en sont affectés meurent en général vers 13 ans. Des chercheurs américains et français ont localisé un gène lié au progéria, la lamin A, qui semble muter, anomalie également découverte chez des nonagénaires.

Sommes-nous génétiquement programmés pour vivre 100 ans ?

La longévité humaine n'est évidemment pas une nouveauté. Le pharaon Ramsès II vécut jusqu'à 90 ans (1303 av. J-C. – 1213 après). La nouveauté, c'est qu'aujourd'hui nous sommes bien plus nombreux à vivre nonagénaires, et même plus âgés. Au Japon, la durée de vie moyenne est d'environ 82 ans. Pourrions-nous être génétiquement programmés pour vivre 100 ans et plus ? « Il n'y a pas de programme génétique du vieillissement » explique le Pr Kahn. « Du fait que la réparation de l'ADN mobilise une très grande partie de l'énergie corporelle, il faut que s'établisse un équilibre entre reproduction et réparation. Si notre corps consacrait beaucoup de son énergie à la longévité, il n'en aurait plus suffisamment pour la reproduction. Et une fois que l'être humain s'est reproduit, l'évolution ne se soucie pas beaucoup de ce qui se passe ensuite ».

Il n'existe peut-être pas de fontaine de jouvence, mais cela ne signifie pas que nous ne pouvons pas vieillir jeunes.

Susan Schneegans

Vous pouvez voir sur une chaîne Web une vidéo sur le forum de cette année, en français : www.longevity.com/longevity/22
Pour en savoir plus : r.clair@unesco.org

11. Rapport mondial sur le vieillissement : www.un.org/esa/population/publications/WPA2007/wpp2007.htm

12. C'était le 5^{ème} forum scientifique annuel grand public de l'UNESCO. Le 1^{er}, en mars 2003, traitait du cancer du sein, le 2^{ème} du VIH et du sida chez la femme, le 3^{ème} de l'arthrite et de l'ostéoporose et le 4^{ème} du cancer

Ulugh Beg: un savant sur le trône

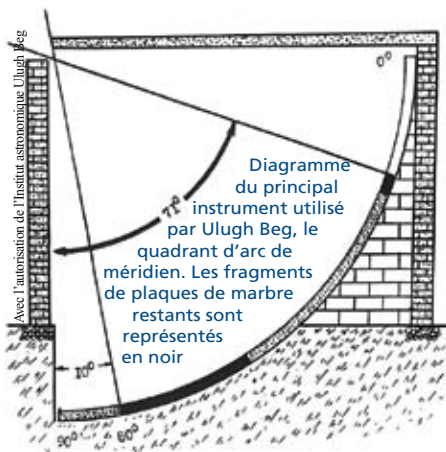
Reconstitution par les techniques de la médecine légale du visage d'Ulugh Beg par M. Gerasimov



L'histoire ne connaît qu'un seul cas d'astronome à avoir gouverné un puissant État. Ulugh Beg (1394–1449) naquit à Sultaniya (Perse) durant une campagne de son grand-père, Tamerlan, fondateur de l'immense empire timouride (voir au verso). À l'âge de 17 ans, Ulugh Beg devint gouverneur de Maverannakhr (Transoxiane), région de l'empire de son grand-père située entre les fleuves Sir Daria et Amou Daria, dont la capitale, Samarcande, se situe dans l'actuel Ouzbékistan.

Ulugh Beg mit sa richesse princière au service de l'éducation et du progrès scientifique plutôt que de ses ambitions militaires et politiques. En 1420, il fit construire à Samarcande un gigantesque observatoire. Sans aucune ressemblance avec les observatoires d'aujourd'hui, cet édifice de forme cylindrique avait environ 48 m de diamètre et 35 m de hauteur. Son principal instrument consistait en deux arcs de méridiens, d'un rayon de 40 m. Leur base était enfoncée jusqu'à 11 m dans la roche et leur sommet dominait le sol de 30 m. Il faut remarquer que l'utilisation des deux arcs assurait la grande précision des observations. Chaque mesure était relevée sur chacun des arcs, afin d'éliminer toute erreur due à la déviation de leur direction par rapport au méridien. Les arcs étaient en brique cuite, doublée de plaques de marbre poli. Celles-ci étaient graduées d'encoches espacées de 70 cm, chacune correspondant à 1°. Des plaques de cuivre scellées portaient des graduations plus fines.

L'instrument servait probablement à observer le Soleil et la Lune afin de déterminer des constantes astronomiques fondamentales, telles que l'inclinaison sur l'écliptique, la course du Soleil dans le ciel vers l'équateur céleste¹³ au cours de l'année. La durée de l'année tropicale, par exemple, était mesurée à la minute près. Il s'agit de la période séparant deux équinoxes successives, qui ont lieu vers le 21 mars et le 23 septembre, lorsque le Soleil dépasse le point d'intersection entre l'équateur céleste et l'écliptique.



Un catalogue de 1 000 étoiles

Les longues années de fonctionnement de l'observatoire de Samarcande ont abouti en 1437 à la publication du *Zij Ulugh Beg*. Cet ouvrage consiste essentiellement en un catalogue de 1 018 étoiles, qui ne fut connu en Europe que 200 ans plus tard. La date de sa publication et le nombre des étoiles répertoriées en font le premier catalogue d'observations jamais établi depuis le 2^{ème} siècle, lorsque Ptolémée reproduisit le catalogue d'Hipparque, dans son *Almageste*.

Pour parvenir à ces mesures, les astronomes de Samarcande durent utiliser d'autres instruments que l'arc de méridien. Il n'existe hélas aucune description des outils ni des méthodes utilisés, et nous en sommes réduits aux suppositions. L'observatoire de Samarcande construit par Ulugh Beg et ses géniaux collaborateurs était sans doute unique. Depuis son excavation par l'archéologue V. L. Vyatkin, en 1908, plus de dix versions de sa construction ont été imaginées. Elles diffèrent non seulement par la forme mais aussi sur le fait de savoir si l'observatoire était un bâtiment cylindrique fermé équipé d'instruments astronomiques disposés sur son toit, utilisant la paroi extérieure comme instrument horizontal (l'azimut) de mesure des objets célestes, ou si c'était une construction creuse, dépourvue de toit. L'une des propositions les plus réalistes a été récemment émise par l'architecte J. F. Oudet : le principal instrument aurait été une gigantesque *camera obscura*. Cela expliquerait l'extrême précision les coordonnées du Soleil et de la Lune. Quant aux autres

Le principal instrument de l'observatoire d'Ulugh Beg était un quadrant d'arc de méridien ayant un rayon de 40 m. Ses vestiges retrouvés sont exposés au public

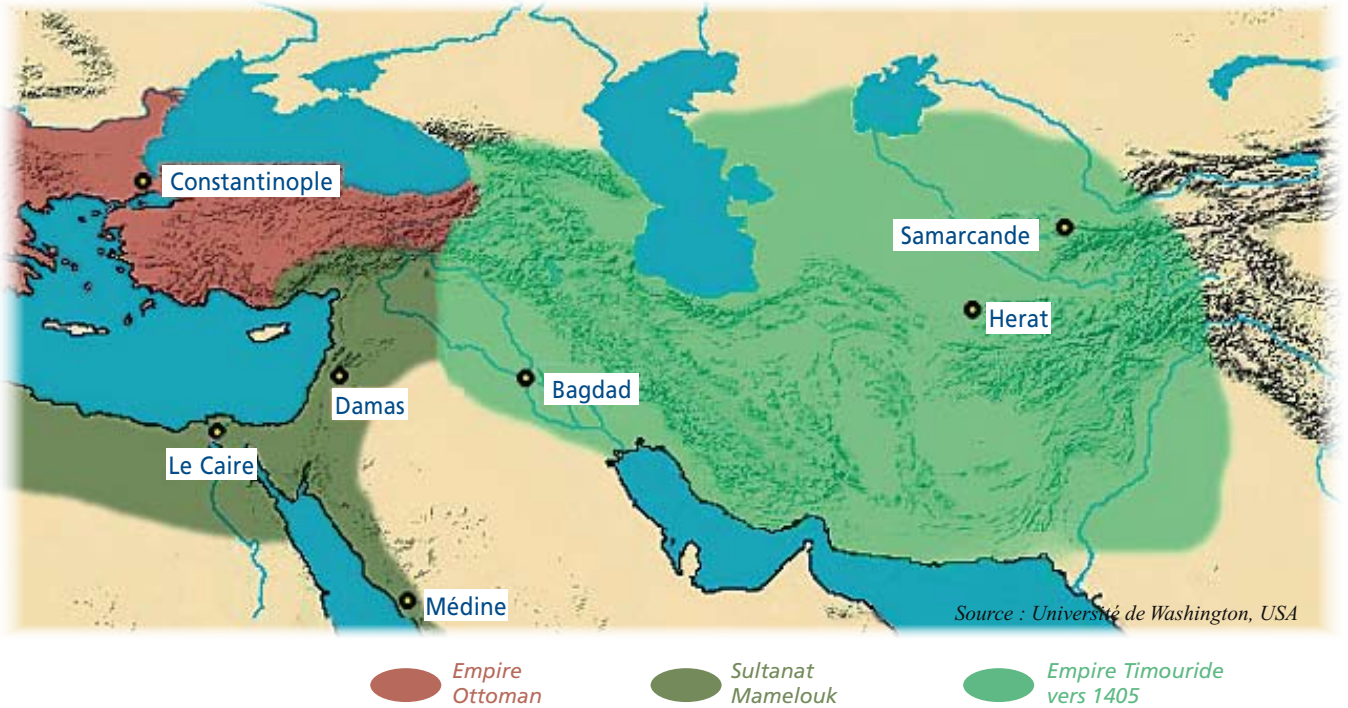


Photo: www.samarcand.uz

Courtesy of the Ulugh Beg Astronomical Institute



Les degrés étaient gravés sur la face intérieure des plaques de marbre conservées des arcs de méridien



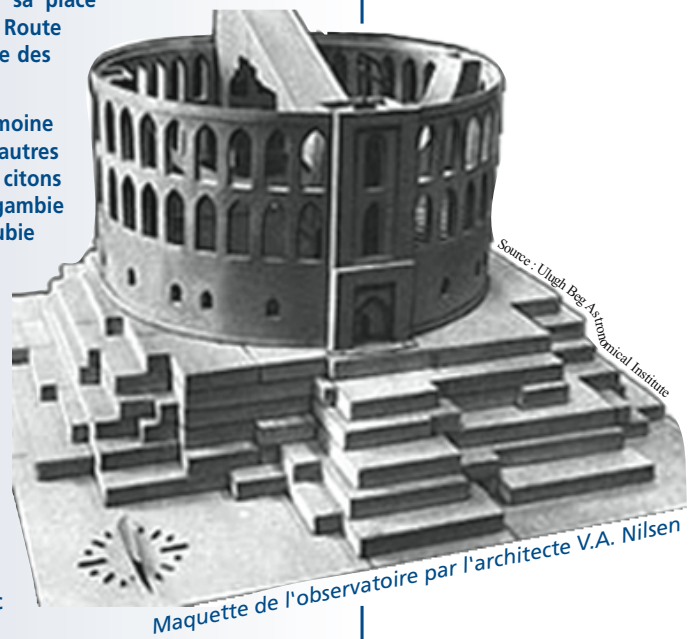
Astronomie et patrimoine mondial

L'observatoire d'Ulugh Beg fait partie du site du Patrimoine mondial de Samarcande – Carrefour de cultures, inscrit en 2001 sur cette Liste. Fondée au 7^{ème} siècle ap. J.C. sous le nom ancien d'Afrasiab, Samarcande devint un creuset culturel de par sa place sur la voie commerciale reliant la Chine et l'Europe, la fameuse Route de la soie. L'âge d'or de Samarcande remonte à la période timouride des 14 et 15^{èmes} siècles.

Samarcande est l'un des quelques sites de la liste du Patrimoine mondial ayant un lien avec l'observation astronomique. Parmi les autres sites, qu'ils aient un lien symbolique ou matériel avec l'astronomie, citons (du plus ancien au plus récent), les Cercles mégalithiques de Sénégambie (Gambie et Sénégal), Stonehenge (Royaume-Uni), les temples de Nubie (Égypte), le site mésopotamien de Persépolis (Iran), le temple d'Apollon Epikourios (Grèce), les Lignes et géoglyphes de Nasca et de Pampas de Jumana (Pérou), la ville précolombienne de Teotihuacan (Mexique), les falaises de Bandiagara, pays dogon (Mali), les temples d'Angkor (Cambodge), le site maya de Tikal (Guatemala), le temple du Soleil (Inde), le site inca du Machu Pichu (Pérou), le Maritime Greenwich (Royaume-Uni) et l'Observatoire Pulkovskaya, élément du Centre historique de Saint Petersburg (Fédération de Russie).

L'initiative de l'UNESCO pour l'Astronomie et le Patrimoine mondial a été lancée afin de soutenir l'Année internationale de l'astronomie, en encourageant les États parties à la Convention du Patrimoine mondial à proposer des sites spécifiques ayant un lien avec l'astronomie, comme candidats à la liste du Patrimoine mondial.

Pour en savoir plus sur l'astronomie et le patrimoine mondial : <http://whc.unesco.org/en/activities/19/> (cliquez sur Group tools, puis Astronomy pour une chronologie); a.sidorenko@unesco.org



instruments, la question reste ouverte. Il nous faut en savoir davantage d'après les manuscrits de l'époque pour mieux comprendre à quoi ressemblait l'observatoire et comment il fonctionnait.

Les méthodes mathématiques utilisées dans cet observatoire sont, quant à elles, bien mieux décrites et argumentées que les instruments, dans les publications scientifiques. Au Moyen Âge, les catalogues d'étoiles indiquaient leur latitude et longitude en prenant comme base le plan de l'écliptique. Il était donc indispensable que les coordonnées mesurées au niveau de l'horizon soient converties au système de l'écliptique, à l'aide de tables trigonométriques précises. Les sinus de certains angles (60°, 45°, 30° etc.) étaient déjà connus avec exactitude par les méthodes géométriques. Mais pour les autres, il fallait faire intervenir dans les calculs des formules d'angles multiples et des interpolations. Ulugh Beg utilisait le $\sin-1$ comme point de départ.

Ulugh Beg avait calculé $\sin-1$ par une méthode itérative originale utilisant un algorithme de base 60. Son résultat¹⁴ ne diffère de la valeur donnée par nos ordinateurs que de 3×10^{-17} ! Ses tables trigonométriques atteignent, dans l'ensemble, une précision allant jusqu'à la 8^{ème} ou la 9^{ème} décimale, et donnent les sinus et les tangentes de toutes les minutes angulaires¹⁵ d'un secteur allant de 0° à 45°. Bien d'autres méthodes mathématiques ont été mises au point à Samarcande, comme l'emploi des décimales, bien avant qu'elles ne deviennent d'un emploi courant en Europe, grâce à Simon Stevin, au 16^{ème} siècle.

Travail d'équipe

Il serait naïf de croire que des résultats d'une telle exactitude aient pu être obtenus sans une excellente organisation scientifique. À la différence des astronomes qui l'avaient précédé

et de beaucoup de ceux qui l'ont suivi, Ulugh Beg n'était pas un observateur isolé. Il avait fondé une école d'astronomie qui comptait beaucoup d'employés. De nombreux brillants scientifiques y travaillaient. De fait, les tables trigonométriques et la conversion des coordonnées dans le système écliptique n'auraient pu être effectuées sans conjuguer les efforts de nombreuses personnes qualifiées, pendant de nombreuses années.

L'école fondée par Ulugh Beg était, sous maints aspects, le prototype des institutions scientifiques modernes.

Au Moyen Âge en Europe, la recherche scientifique s'est surtout concentrée en Orient, où un bon système de communication permettait des échanges relativement rapides entre centres scientifiques. L'observatoire d'Ulugh Beg entretenait ainsi un haut niveau de savoir et d'ambiance scientifiques.

Un génie scientifique

Certains érudits croient qu'Ulugh Beg n'était qu'un bienfaiteur et que les idées et les méthodes qui lui sont attribuées seraient en réalité dues à d'autres personnes. Cependant, de nombreux faits corroborent la thèse de son génie scientifique. Une lettre bien connue de l'astronome persan Jamshid al-Kashi à son père, qui vivait à Kashan (Iran), rapporte que tout en voyageant à cheval, le gouverneur avait calculé mentalement la longitude du Soleil, avec une précision de 2 minutes angulaires.

Une autre anecdote concerne un scribe qui égara un carnet comportant la liste de tous les oiseaux tués par Ulugh Beg dans ses parties de chasse, avec la date, le nom de leur espèce et le nombre de flèches tirées. Le scribe, qui s'attendait à une sévère punition, eut la joie de s'entendre dicter par Ulugh Beg la liste reconstituée, de mémoire. Peu de temps après, le carnet fut retrouvé. À la surprise générale, les fautes étaient rares et ne concernaient que les dates.

En résumé, l'observatoire de Samarcande symbolise une période éblouissante du développement de l'astronomie. Ulugh Beg fut sans aucun doute l'un des acteurs clés de ses succès.

Shuhrat Ehgamberdiev¹⁶



Image de GhanNPU, ministère de la culture d'Ouzbékistan

Reconstruction de l'observatoire de Samarcande par un artiste



La madrasa (école) d'Ulugh Beg, à Samarcande, où l'astronomie et les mathématiques faisaient l'objet d'études approfondies

13. L'équateur céleste est une projection de l'équateur terrestre dans l'espace

14. Ulugh Beg a dérivé $\sin(1^\circ)$ de : $1/60 + 2/60^2 + 49/60^3 + 43/60^4 + 11/60^5 + 14/60^6 + 44/60^7 + 16/60^8 + 26/60^9$

15. $1/60$ de degré

16. Institut astronomique Ulugh Beg de l'Académie des sciences d'Ouzbékistan : shuhrat@astrin.uzsci.net

Agenda

2 Janvier

Entrée en vigueur de la Convention

sur la protection du patrimoine culturel sous-marin (2001). Voir le prochain numéro de *Planète Science* pour compte rendu détaillé (voir aussi 26 mars ci-dessous).

Film disponible : www.unesco.org/culture/en/underwater; u.koschtial@unesco.org

11-13 Janvier

L'Arabie off-shore

Conf. intern. pour développer le potentiel de l'industrie du pétrole et du gaz, le marché et l'environnement mondiaux. Organisée par INDEX, coparrainée par l'UNESCO. Défis énergétiques, changement climatique, viabilité, environnement mondial et rôle des gouvernements, protection de la nature en mer et à terre, etc. Dubaï (EAU) : www.index.ae; offshorearabia@index.ae; b.boer@unesco.org

15-16 Janvier

Année internationale de l'astronomie

Lancement. Les intervenants évoqueront l'histoire et l'actualité de l'astronomie. Exposition et concert. UNESCO (Paris) : www.unesco.org/ifa2009; www.astronomy2009.org; y.berenguer@unesco.org

19-23 Janvier

Rôle de l'astronomie dans la société et la culture

Symposium avec le CNRS (France), UNESCO (Paris) : y.berenguer@unesco.org; www.astronomy2009.org/

24-25 Janvier

Clôture de l'Année polaire internationale

Diluviation du rapport *State of Polar Research* et réunion du comité conjoint avec exposition de photos. Palais des Nations, Genève (Suisse) : www.tpy.org; k.alverson@unesco.org

12 Février

200^e anniversaire de la naissance de Charles Darwin

Et 150^e anniversaire de *Sur l'Origine des espèces*. Parmi les manifestations, l'UNESCO parraine un séminaire aux îles Galapagos en juillet : m.clusener-godt@unesco.org

3-5 Mars

État de l'écosystème du Golfe

Gulf II, conf. intern. Organisée par le Centre d'études et de recherche sur la santé et la gestion des écosystèmes aquatiques de Bahreïn, avec l'UNESCO-Doha et l'Université de Bahreïn. Inscriptions avant le 25 janvier. Bahreïn : www.aehms.org; www.bcsr.gov.bh; b.boer@unesco.org

3-6 Mars

L'Arctique face au changement climatique

Réunion intern. d'experts pour examiner les défis scientifiques, sociaux, culturels et éducatifs d'un développement durable en Arctique. Monaco. UNESCO et Principauté de Monaco : d.nakashima@unesco.org

16 Mars

Lancement du 3^e rapport sur la mise en valeur de l'eau dans le monde

intitulé *L'eau dans un monde qui change*. Au 5^e forum mondial de l'eau, Istanbul (Turquie) : www.unesco.org/water/wwap

31 Mars - 2 Avril

Éducation en vue du développement durable (EDD)

Conf. mondiale sur le passage à la 2^e moitié de la Décennie des Nations unies (2005-2014). UNESCO et Min. allemand de l'éducation et de la recherche. Expo sur initiative de l'UNESCO de recyclage dans la région arabe ; colloque sur *La transmission du savoir : synergies entre patrimoine culturel immatériel et EDD*. Com. autrichienne pour l'UNESCO/Agence nat. du patrimoine culturel immatériel. Bonn (Allemagne) : esdecade@unesco.org; eck@unesco.at, (colloque) : d.nakashima@unesco.org

26-27 Mars

Patrimoine culturel sous-marin

1^{ère} réunion des États parties à la Convention (voir 2 janvier ci-dessus). UNESCO Paris.

Vient de paraître

Plan d'action de Madrid pour les réserves de biosphère (2008-2013)

Produit par le MAB de l'UNESCO, avec le soutien du gouvernement espagnol. Existe en anglais, arabe, chinois, espagnol, français et russe. 36 p. Approuvé par le 3^e congrès mondial sur les Réserves de biosphère et par la 20^e session du Comité international de coordination du MAB, à Madrid en février 2008. Il entend faire des réserves de biosphère les principaux sites consacrés à l'échelle internationale au développement durable. Il s'agit de développer des modèles de durabilité locale, nationale et mondiale, et de permettre aux réserves de biosphère de fonctionner comme des sites d'apprentissage où décideurs, chercheurs et communauté scientifique et acteurs concernés puissent travailler ensemble. Téléchargement : <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001633/163301f.pdf>

Uncertainties in Water Resource Management

Causes, technologies and consequences

De D. Basundorj et D. Oyumbataar; produit par le Bureau rég. de l'UNESCO pour la science en Asie, à Jakarta, série des documents techniques d'hydrologie du PHI. En anglais, 132 p. Actes d'une conférence tenue à Oulan-Bator (Mongolie) du 29 septembre au 3 octobre 2008, pour partager et diffuser savoir, informations et expériences et promouvoir le travail en collaboration. La conférence était organisée par le Comité national mongol du PHI et parrainé par l'UNESCO. Téléchargement : <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001632/163281E.pdf>

Coastal Basins on the Edge

UNESCO-SCOPE -UNEP Policy Brief n°7, en anglais, 6p.

Les mers littorales semi-fermées, les baies et les golfes rendent des services essentiels à l'entretien de la vie marine et à l'humanité. Ils exigent une gestion et une gouvernance intégrées, impliquant les multiples parties prenantes au-delà des frontières nationales et des juridictions politiques. Pour en savoir plus : a.persic@unesco.org; pour le télécharger : <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001632/163268e.pdf>

Tsunami News

Bulletin trimestriel d'information émis par la COI de l'UNESCO. En anglais, 3 p.

Il fournit des nouvelles fraîches des activités des États membres au sujet des systèmes d'alerte aux tsunamis et autres dangers pour les côtes.

Téléchargement : <http://ioc.unesco.org/tsunami/newsletter>

Teachers' Guide for Education for Sustainable Development in the Caribbean

Produit par le Bureau rég. de l'UNESCO pour l'éducation en Amérique latine et aux Caraïbes (Santiago) avec le bureau de l'UNESCO à Kingston et des spécialistes de la région, avec soutien financier du gouvernement japonais. ISBN : 978-9568302917, En anglais, 112 p.

Les expériences menées aux Caraïbes et décrites ici pourraient être exploitées dans les salles de classe, les écoles et les communautés de la région. Pour en obtenir un exemplaire : c.jerez@unesco.org; téléchargement : <http://unesdoc.unesco.org/image/0016/001617/161761e.pdf>

Student Achievement in Latin America and the Caribbean

Second Regional Comparative and Explanatory Study. Produite par le Bureau régional de l'UNESCO pour l'éducation en Amérique latine et aux Caraïbes. En anglais et en espagnol, Résumé en anglais : 52 p. Voir page 14.



Biocombustível para o MERCOSUL

UNESCO Brasilia, RECYT/Mercosul, MCT, MBC, CNPq, Petrobrás. En portugais, 203 p.

Présentation des projets de recherche primés, sur les biocombustibles, sujet du Prix Mercosur de science et technologie de l'année dernière. Chacun pourrait contribuer au développement des pays du Mercosur : Argentine, Brésil, Paraguay, Uruguay et Venezuela. Pour en savoir plus : grupoeditorial@unesco.org.br

Guide pratique du recyclage des équipements informatiques

Éléments pour lancer une entreprise de recyclage des équipements informatiques dans les marchés émergents – Publié également en anglais.

De Benoît Varin et Pierre-Étienne Roinat. Produit par l'UNESCO, l'Agence française de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), Tic Ethic, l'Association Emmaüs solidarité Ouagadougou, Les Ateliers du Bocage ainsi que l'ONU. « Open license ». Près de 180 millions d'ordinateurs ont été remplacés par de nouvelles machines en 2008 et on estime à 35 millions le nombre d'ordinateurs mis au rebut, au mépris des substances toxiques qu'ils contiennent. Ce guide aide les entrepreneurs à acquérir le savoir-faire pour traiter le flux croissant de déchets provenant du marché des ordinateurs neufs et utilisés. La réutilisation des équipements obsolètes est préférable à leur destruction. Les équipements et composants informatiques qui ne sont pas adaptés à la réutilisation doivent être démontés afin de valoriser les matières premières, dans le respect de la protection de l'environnement. Les ordinateurs personnels (PC) contiennent en effet des matières valorisables, ferreuses (comme le fer), non ferreuses (comme l'aluminium et le cuivre) et des métaux précieux, comme l'or, le palladium, l'argent, l'indium et le gallium. L'augmentation des cours des matières premières rend cette activité de recyclage de plus en plus intéressante. Il y a actuellement près de 4 milliards de téléphones portables et plus d'1 milliard de PC en service. Le fossé numérique se réduit : 58 % des ordinateurs sont aujourd'hui dans les pays développés, mais ces pays ne devraient plus représenter que 30 % d'ici 2014, quand les PC passeront le cap des 2 milliards, dont un demi-milliard en Chine, contre 55 millions en 2007. Pour en savoir plus : r.chusel@unesco.org; téléchargement : www.ticethic.com/guide

Chaîne irakienne de télé éducative

Lancée, le 20 octobre par l'UNESCO et le ministère irakien de l'éducation, financée par l'Union européenne (6,5 millions de dollars).

Pour parer à l'insécurité actuelle du pays, qui tient 22 % des enfants éloignés de l'école, dont un grand nombre de filles. Depuis 2003, plus de 250 enseignants ont été assassinés et des centaines ont disparu. IRAQI EDU diffusera, 24 h sur 24, des émissions conformes aux programmes de l'enseignement primaire et secondaire, sur NILESAT, 10775 Hz. Pour en savoir plus : www.unesco.org/education



UNESCO and Research for Health

Rédactrice : S. Schneegans. Coordination : Division des sciences fondamentales et de l'ingénieur. En anglais, 16 p. Diffusé lors du Forum ministériel mondial sur la recherche pour la santé (Bamako, Mali), voir p.10. Les exemples de projets de l'UNESCO cités dans la brochure illustrent l'approche nouvelle recommandée par le forum. Téléchargement : www.unesco.org/sciences/bes, ou en demander un exemplaire à j.hasler@unesco.org, ou l.hoareau@unesco.org