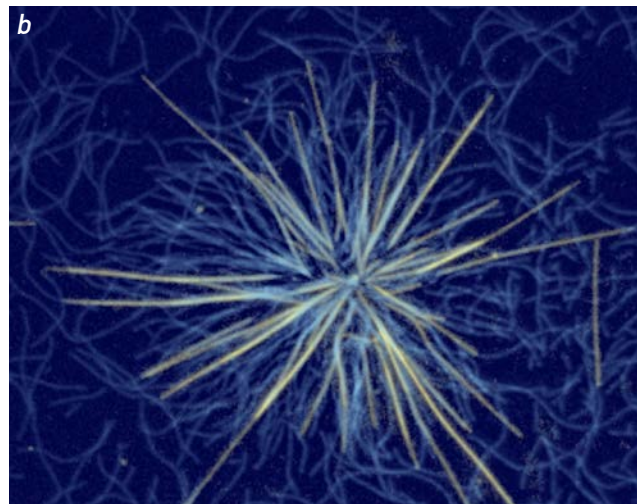
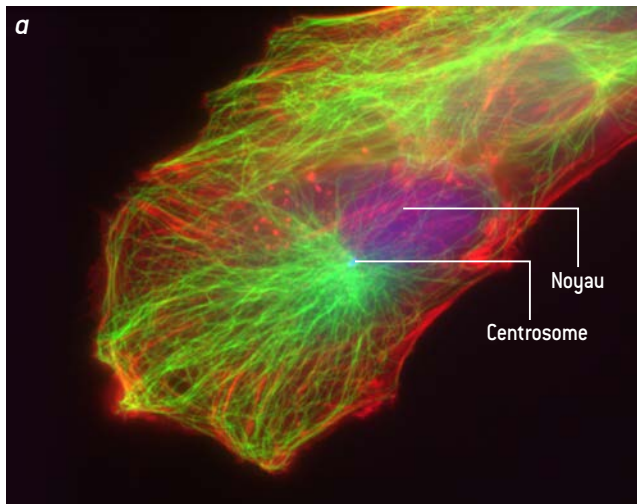


Biologie cellulaire

Quand l'actine se prend pour une star

L'actine, un composant du squelette des cellules, est connue pour façonner leur forme. Mais elle assurerait aussi d'autres fonctions, notamment en se structurant en étoile.



© a : Ana Joaquina Jimenez, b : F. Farina et al., Nature Cell Biology, 2016

Dans la cellule, on pensait que le centrosome (a), près du noyau, n'assemblait que les microtubules (en vert), tandis que les filaments d'actine (en rouge) tapissaient la paroi cellulaire. En fait, il est aussi capable de polymériser *in vitro* des filaments d'actine (b, en bleu), avec des microtubules (b, en jaune) ou non.

L'actine n'est pas seulement là où on l'attend. Cette protéine polymérise en courts filaments qui tapissent la paroi intérieure des cellules et qui sont l'un des principaux constituants du squelette de la cellule avec les microtubules, de longs filaments qui irradient de son centre. Depuis longtemps, on distingue les rôles de ces deux éléments. L'actine agit sur la forme des cellules comme une sorte de muscle, tandis que les microtubules servent de moyen de communication entre le centre et la périphérie des cellules, et interviennent dans le déplacement des chromosomes lors de la division cellulaire – la mitose. Toutefois, deux études récentes montrent que les choses ne sont pas si simples.

D'une part, l'actine peut, comme les microtubules, former une étoile au centre de la cellule. C'est ce qu'a observé l'équipe du CytomorphoLab (cytomorpholab.com), à Grenoble et Paris, sous la direction de Manuel Théry. D'autre part, l'équipe de Marie-Hélène Verlhac, du Centre interdisciplinaire de recherche en biologie (Inserm/CNRS/Collège de France), à Paris, a mis en évidence le rôle clé de l'actine dans la première mitose – la division de l'embryon au stade d'une cellule, le zygote.

L'étoile de microtubules est assemblée par un organite, le centrosome. Diverses études ont suggéré qu'il interagissait avec l'actine. De l'actine a été détectée non loin, et un réseau dynamique de ses filaments est impliqué dans la formation et l'orientation du fuseau de microtubules qui orchestre la mitose, le fuseau mitotique, dont les extrémités sont les centrosomes des deux futures cellules filles. Toutefois, on pensait que l'interaction centrosome-actine se faisait *via* des microtubules.

En extrayant le centrosome et en le mettant en présence de monomères d'actine dans une solution imitant le milieu intracellulaire, Manuel Théry et ses collègues ont montré qu'il peut induire la croissance de filaments sans l'aide de microtubules. Et dans les cellules, ils ont parfois détecté un nuage similaire autour du centrosome. À quoi sert ce nuage ? La question reste ouverte, mais il n'apparaît que dans les cellules les moins adhérentes. Une façon d'indiquer au centre de la cellule quand celle-ci se décolle de son substrat, par exemple lors de la mitose ?

L'autre équipe a voulu comprendre par quel mécanisme la mitose du zygote est symétrique, alors que celle d'un ovule, pourtant

de même taille et de même forme, ne l'est pas. Les ovules n'ont pas de centrosome ; les microtubules s'y autoorganisent pour former un fuseau, mais celui-ci s'ancrage dans le réseau d'actine de la plus proche paroi. L'actine régule alors le positionnement fin du fuseau, mais la division reste asymétrique à cause de l'ancrage excentré. Que se passe-t-il dans le zygote, lui aussi dépourvu de centrosome ?

En perturbant la polymérisation de l'actine ou des microtubules au fil de la mitose, les biologistes, avec l'aide de biophysiciens, ont montré que l'actine régule aussi son centrage, mais d'une autre façon. La division débute avec la formation de deux structures identiques contenant le même matériel génétique – des pronoyaux. Un réseau d'actine les déplace peu à peu vers le centre de la cellule. Puis leur membrane se rompt et le fuseau se forme. L'actine sous la paroi du zygote procède alors à son centrage fin en se tendant fortement – alors que dans l'ovule, la tension se relâche... L'actine est décidément bien plus qu'un simple « muscle » cellulaire.

M.-N. C.

F. Farina et al., Nature Cell Biology, 14 décembre 2016 ; A. Chaigne et al., Nature Communications, 4 janvier 2016

94%
de la séquence

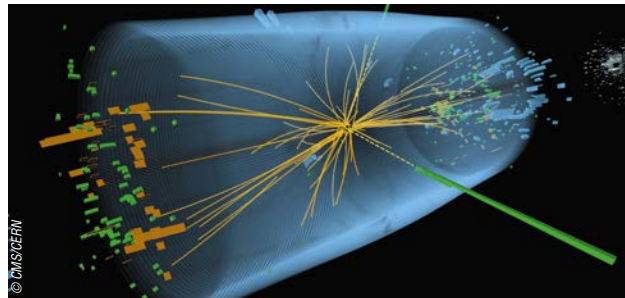
protéique de l'actine de la levure est similaire à celle de la forme humaine. L'actine était donc déjà chez leur ancêtre commun... *

Physique des particules

Une nouvelle particule détectée au LHC ?

Après deux ans de travaux consacrés à l'augmentation de sa puissance, le collisionneur LHC du Cern a redémarré en juin 2015 avec des collisions de protons à une énergie de 13 téraélectronvolts. Récemment, la blogosphère et les réseaux sociaux bruisaient de rumeurs concernant un signal prometteur : un excès de paires de photons à une énergie proche de 750 gigaélectronvolts, signature possible d'une nouvelle particule.

Lors d'une conférence tenue le 15 décembre, les coordinateurs de la physique des deux complexes de détection CMS et ATLAS, Jim Olsen, de l'université de Princeton, et Marumi Kado, du Laboratoire de l'accélérateur linéaire de l'université Paris-Sud, ont confirmé l'observation d'un tel signal, indépendamment par les deux dispositifs. Ils soulignent cependant que la prudence est de mise, les détecteurs n'ayant pas encore accumulé assez de données pour que l'on puisse parler d'une découverte.



Simulation d'un signal à deux photons (les longs traits verts) dans le détecteur CMS.

La mise en évidence du boson de Higgs en 2012 avait une nouvelle fois confirmé le modèle standard de la physique des particules, mais ce modèle, soupçonne-t-on, serait la version effective à relativement basse énergie d'une théorie plus fondamentale. Le signal à 750 gigaélectronvolts pourrait relever d'une telle théorie et être dû à la désintégration d'une particule inédite.

Cependant, ce signal pourrait aussi n'être qu'une accumulation fortuite de données à cette énergie. Les collisions proton-proton

reprendront en avril 2016. Les données supplémentaires accumulées en trois mois devraient alors suffire pour trancher la question.

De leur côté, les théoriciens essayent déjà d'imaginer quelle serait la nature de cette éventuelle particule qui se désintègre en deux photons. Peut-être un deuxième boson de Higgs que prévoient certaines théories ? Ou une particule liée à des modèles où l'espace est de dimension supérieure à trois ?

Sean Bailly

Migrateurs mal protégés

Les populations d'un grand nombre d'espèces d'oiseaux migrants ont décliné ces trente dernières années, malgré des efforts de protection. Claire Runge, de l'université du Queensland en Australie, a étudié avec plusieurs collègues américains, anglais et australiens dans quelle mesure les oiseaux sont protégés ou non tout au long de leurs routes migratoires. Ces chercheurs montrent notamment que seuls 9 % des 1 451 espèces migratrices bénéficient d'aires protégées couvrant toutes les étapes de leur cycle annuel. Deux espèces ne disposent même d'aucune zone protégée sur leur aire de répartition. Les oiseaux non migrants sont bien mieux lotis, avec 45 % d'espèces adéquatement protégées. Étant donné ce constat, Claire Runge et ses collègues appellent notamment à l'amélioration des mécanismes internationaux mis en place pour choisir de nouvelles aires de protection ou pour les étendre, et à renforcer considérablement la coordination entre les différents pays.

Neurophysiologie

Des bactéries intestinales coupe-faim

Avoir faim ou non, est-ce uniquement une question de communication entre notre cerveau et nos intestins ? Non. Les travaux de l'équipe de Sergueï Fetissov, à l'Inserm et à l'université de Rouen, confirment que notre flore intestinale, quelque 1,5 kilogramme de bactéries, joue aussi un rôle essentiel.

Ces chercheurs ont cultivé des colibacilles de la flore intestinale de rats (une bactérie banale dans la flore humaine). Vingt minutes après avoir commencé à recevoir des nutriments, ces bactéries se sont multipliées et ont produit des protéines différentes de celles qu'elles sécrétaient avant. Or vingt

minutes, c'est aussi le délai requis pour qu'un humain ou un rat ressent une sensation de satiété lors d'un repas. En outre, des rats et des souris affamés auxquels les chercheurs ont injecté ces protéines de bactéries « rassasiées » ont moins mangé que d'habitude durant leur repas. À l'inverse, les protéines produites par des bactéries « affamées » favorisaient la prise alimentaire.

Restait à identifier les protéines impliquées. Davantage de protéine ClpB a été trouvée avec les bactéries « rassasiées ». Elle ressemble beaucoup à une hormone de la satiété et stimulerait chez le rongeur la production intestinale

d'autres hormones favorisant la satiété, ainsi que la sécrétion d'insuline. Sergueï Fetissov et ses collègues ont montré qu'elle active directement les neurones anorexigènes de l'hypothalamus des rats et qu'elle circule dans le sang plusieurs heures après un repas. Elle a donc probablement un effet à plus long terme sur la satiété. C'est la première fois que l'on identifie une protéine de la flore intestinale qui intervient sur notre équilibre alimentaire en modulant directement l'activité du centre cérébral de la faim.

Bénédicte Salthun-Lassalle

J. Breton et al., *Cell Metabolism*, en ligne le 24 novembre 2015



Par les protéines qu'elles produisent, les bactéries de nos intestins agiraient sur l'activité du centre de contrôle cérébral du comportement alimentaire.

Les sites actifs des enzymes

Simon Aubailly et Francesco Piazza, du Centre de biophysique moléculaire du CNRS à Orléans, ont développé un code de calcul pour prédire la localisation du ou des sites actifs au sein d'une enzyme, un enjeu important en recherche biomédicale. Leur méthode, testée sur une base de données de 835 enzymes dont les sites catalytiques sont connus, a permis de retrouver au moins un site dans plus de 50 % de ces molécules, et cela à un acide aminé près dans 70 % des cas.

La blague idéale

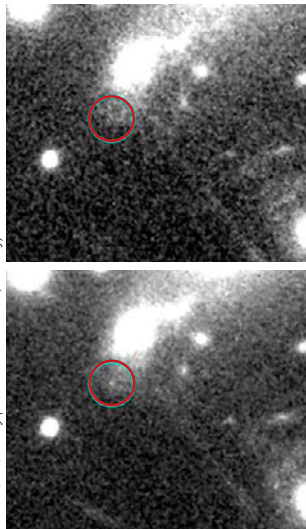
Plus une blague est complexe, plus elle offre de possibilités pour surprendre, et donc faire rire. Encore faut-il ne pas égarer son auditeur ! Robin Dunbar et ses collègues de l'université d'Oxford ont ainsi montré que les plaisanteries sont, en moyenne, jugées de moins en moins drôles quand le nombre de personnages augmente – l'idéal étant deux. En effet, nous peinons à suivre les histoires d'un « degré d'intentionnalité » trop élevé, c'est-à-dire comportant trop d'états mentaux imbriqués (« il pense qu'elle croit que son mari s'imaginer que... »).

Dispersion par dérive

Lorsque des particules sont injectées dans un fluide (un polluant dans de l'air par exemple), elles se dispersent par deux effets : l'agitation thermique à l'échelle moléculaire, et les mouvements dont est animé le fluide. Thomas Guérin et David Dean, du Laboratoire ondes et matière d'Aquitaine (CNRS/université de Bordeaux), viennent de montrer que dans un milieu hétérogène (un fluide dans un solide poreux par exemple), un troisième effet de dispersion intervient si les particules sont soumises à une force extérieure : cette force les fait dériver dans une direction donnée, et cette dérive a pour conséquence de modifier la dispersion à la fois dans la direction de la dérive et dans la direction perpendiculaire.

Astrophysique

Une supernova aux airs de déjà vu



© NASA/ESA/P. Kelly (université de Californie, Berkeley)

Deux images de Hubble montrant l'apparition de la supernova Refsdal, prises le 30 octobre (en haut) et le 11 décembre 2015.

En novembre 2014, le télescope spatial *Hubble* a observé une supernova exceptionnelle, nommée Refsdal, distante de plus de 9 milliards d'années-lumière. Du fait de la présence d'un amas de galaxies entre l'étoile qui a explosé et nous, la lumière de l'explosion a suivi plusieurs chemins dans l'espace avant de parvenir à *Hubble*. L'instrument a alors enregistré dans son champ de vision quatre images de la supernova, une première ! Encore plus extraordinaire : la même supernova est réapparue en décembre 2015 ! Comment est-ce possible ?

Selon les lois de la relativité générale, l'amas de galaxies déforme l'espace-temps, ce qui crée des images multiples de la supernova située en arrière-plan.

De plus, comme la répartition de matière dans l'amas n'est pas homogène, les trajets empruntés par la lumière de l'explosion ne sont pas identiques, ce qui entraîne une différence sur les temps d'arrivée des rayons lumineux.

Plusieurs équipes d'astrophysiciens ont alors calculé que la supernova aurait pu être observée à un certain moment entre 1994 et 2004, et qu'elle le serait à nouveau entre fin 2015 et début 2016. Par exemple, l'équipe de Mathilde Jauzac, de l'université de Durham, prévoyait une apparition entre novembre 2015 et janvier 2016. Or la supernova est apparue le 11 décembre. Un grand succès pour ces astrophysiciens !

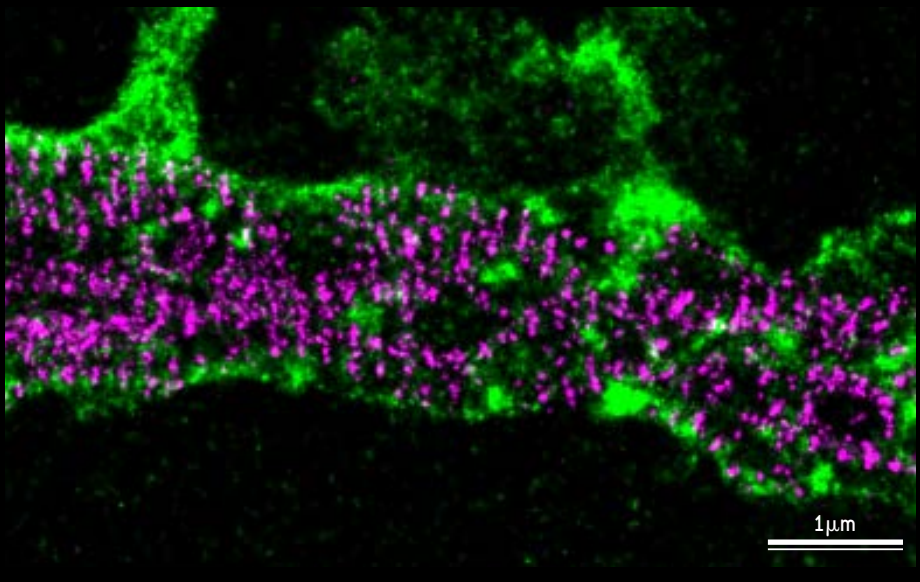
S. B.

<http://arxiv.org/abs/1509.08914>

Insolite

Neurones zébrés

La microscopie optique de superrésolution, récompensée par le prix Nobel de chimie en 2014, a permis à Christophe Leterrier et à ses collègues, à Marseille (CNR2M, CNRS/Aix-Marseille Université), de révéler l'organisation interne des neurones avec une précision inégalée. Au début de l'axone, deux protéines, l'actine (*en vert*) et la spectrine (*en rose*), forment sous la membrane un complexe périodique qui lui confère une grande robustesse.



© Ch. Leterrier et al., Cell Reports, 29 décembre 2015

Neurosciences

Testostérone et orientation

Selon plusieurs études, mais pas toutes, les hommes sont plus performants que les femmes dans des tâches de navigation spatiale, comme parcourir le plus court chemin entre deux points dans un labyrinthe, ou des exercices de rotation mentale d'un objet en trois dimensions. Et les hormones sexuelles, notamment la testostérone, seraient impliquées en modifiant l'activité de certaines régions cérébrales. Toutefois, on ignore le rôle exact de la testostérone. Carl Pintzka, de l'université norvégienne des sciences et des technologies (NTNU), et ses collègues ont voulu en avoir le cœur net.

Ils ont proposé à quarante-deux jeunes femmes de mémoriser un grand espace virtuel en trois dimensions avec des pièces, des couloirs et des *open spaces*, puis d'y effectuer diverses tâches de navigation pendant qu'ils enregistraient leur activité cérébrale par IRM. La moitié des femmes recevaient une dose de testostérone sous la langue, l'autre moitié un placebo. On évaluait ensuite leur connaissance de l'environnement, leurs stratégies de déplacement et leur capacité de rotation mentale.

Résultat: les femmes ayant reçu la testostérone se représentaient un peu mieux les trajets dans le bureau virtuel et étaient un peu meilleures dans les tâches de rotation mentale, comparé aux autres participantes. Mais elles ne se déplaçaient pas mieux dans l'environnement et n'avaient pas de meilleures stratégies de navigation! Les chercheurs ont toutefois observé des différences d'activité cérébrale. Chez les femmes « testostéronées », le lobe temporal médian était davantage excité quand elles réussissaient un trajet dans le bureau virtuel, et plus cette région cérébrale était imprégnée de l'hormone, plus elle s'activait. Or cette aire est riche en récepteurs des hormones sexuelles et intervient dans les aptitudes à la navigation, du moins chez les hommes. En outre, les femmes ayant eu davantage de testostérone lors de leur développement fœtal (ce qui est mesuré par le rapport des longueurs de deux doigts) réussissaient légèrement mieux les exercices de rotation mentale et leur cortex parahippocampique s'activait plus.

La testostérone ne modifie donc pas beaucoup la cognition spatiale des femmes et n'a aucun effet sur leurs facultés de navigation. En revanche, elle augmenterait bien l'activité cérébrale de certaines aires impliquées dans le sens de l'orientation... des hommes.

B. S.-L.

C. W. S. Pintzka et al., *Behavioural Brain Research*, vol. 298 B, pp. 78-90, 2016

Planétologie

Des sels qui font briller Cérès

Lors de son approche de la planète naine Cérès qui avait débuté en janvier 2015, la sonde *Dawn* a révélé à la surface du corps des points brillants dont la nature échappait aux astrophysiciens. Andreas Nathues, de l'institut Max Planck à Göttingen, et ses collègues ont analysé les données et les images de la caméra *Framing Camera* de la sonde *Dawn*, en orbite autour de Cérès depuis le 6 mars 2015. D'après les résultats, les régions brillantes sont riches en sels, de sulfate de magnésium probablement.

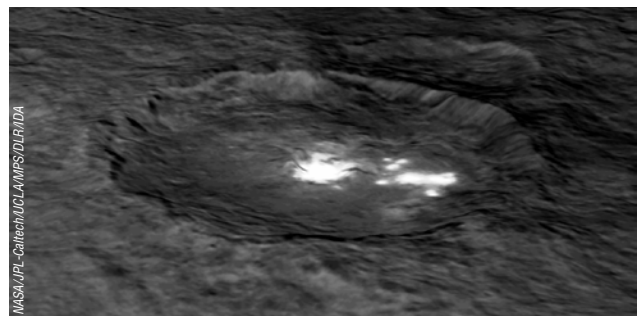
La sonde *Dawn* a commencé son périple à travers le Système solaire en 2007. À son arrivée dans la ceinture principale d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter, elle a rendu visite à l'astéroïde Vesta de 2011 à 2012, puis s'est mise en orbite autour de Cérès, le plus gros corps (diamètre moyen d'environ 950 kilomètres) de la ceinture d'astéroïdes. Les photographies de la surface de la planète naine révèlent

130 zones brillantes, dont les plus lumineuses sont celles des cratères Occator (90 kilomètres de large) et Oxo (10 kilomètres de large). Les propriétés optiques de ces points et la détection de vapeur d'eau dans l'environnement de Cérès par le télescope spatial *Herschel* pointaient vers trois explications possibles quant à la nature de ces points lumineux: de la glace d'eau, des minéraux argileux ou des sels. L'analyse spectroscopique a tranché et indique la présence d'hexahydrite, des sels de sulfate de magnésium hydratés.

Dawn a par ailleurs observé la formation de brume dans Occator et Oxo, lorsque ces cratères sont éclairés par le Soleil. Il s'agit probablement de glace d'eau qui, en chauffant, se sublime et emporte des petits cristaux de glace et de la poussière, créant ainsi la brume.

Philippine Caré

A. Nathues et al., *Nature*, vol. 528, pp. 237-240, 2015



Les zones brillantes sur Cérès, ici dans le cratère Occator, devraient leur luminosité à des sels de sulfate de magnésium hydratés.

L'électron est-il éternel ?

Si la loi de la conservation de la charge électrique pouvait connaître des exceptions, ce qu'envisagent certaines théories encore très spéculatives, l'électron pourrait se désintégrer en un photon de 256 kiloélectronvolts et un neutrino. C'est un tel processus qu'a traqué le détecteur de neutrinos Borexino, en Italie. Sans succès, ce qui pose une borne supérieure sur la probabilité de la désintégration, et donc une limite inférieure à la durée de vie de l'électron: au moins $6,6 \times 10^{28}$ années!

De récents ancêtres africains ?

Helicobacter pylori, bactérie à l'origine d'ulcères, vit dans le milieu acide de l'estomac humain. Autour de Frank Maixner, de l'Institut pour les momies, à Bolzano, en Italie, une équipe a séquencé le génome des *H. pylori* de l'homme des glaces Ötzi, mort il y a plus de 5 000 ans. L'étude montre

que la bactérie d'Ötzi est proche de l'*H. pylori* européenne actuelle, hybride de souches asiatiques et est-africaines anciennes, mais bien plus proche de la souche asiatique qu'elle ne l'est de la souche est-africaine. Cela suggère que la population européenne postérieure à Ötzi a reçu un important apport migratoire africain.

Suivez les dernières actualités
de Pour la Science
sur les réseaux sociaux



Retrouvez
plus d'actualités sur
www.pourlascience.fr

POINT DE VUE

Espace : la loi du plus fort sera toujours la meilleure

En adoptant une loi permettant à ses citoyens de posséder et d'exploiter des ressources spatiales, les États-Unis ouvrent grand à leur secteur privé les richesses des corps célestes. Quitte à violer le traité international qu'ils ont signé en 1967.

Philippe ACHILLEAS

Le 25 novembre 2015, le président des États-Unis, Barack Obama, a signé le *Space Resource Exploration and Utilization Act* (« Loi sur l'exploration et l'utilisation des ressources de l'espace »), soumis à la Chambre des représentants en mai 2015. Cette loi vise à encourager l'exploitation commerciale des ressources spatiales par des entreprises privées.

Il ne s'agit pas de la première initiative américaine destinée à associer la sphère privée à l'utilisation commerciale de l'espace. Les opérateurs américains ont déjà investi l'espace dans les domaines des télécommunications, de l'observation de la Terre et, plus récemment, dans celui du transport spatial et des vols suborbitaux. Cependant, avec le texte de 2015, les États-Unis s'attaquent à un tabou en remettant en cause l'un des piliers du droit international de l'espace.

La loi engage ainsi l'administration américaine à mettre en place un cadre réglementaire visant à conférer à toute personne de citoyenneté américaine le droit d'exploiter, à des fins commerciales, les ressources spatiales. Ainsi, sous réserve de l'obtention d'autorisation d'exploitation délivrée par le gouvernement fédéral, un citoyen américain engagé dans la récupération commerciale d'une ressource de l'espace détiendra tous les droits sur la ressource. Cela inclut le droit de la posséder, de la transporter, de l'utiliser et de la vendre.

Le texte vise expressément les ressources provenant des astéroïdes, mais aussi, plus généralement, les ressources

spatiales. Celles-ci, toujours selon la loi adoptée, comprennent l'eau et les minéraux.

La loi ouvre ainsi la voie à l'exploitation privée des ressources spatiales. Ce feu vert était très attendu par certaines entreprises, notamment *Planetary Resources*, qui développe des techniques d'exploitation minière des astéroïdes. Il s'agit surtout pour le gouvernement américain de poursuivre son ambitieuse politique spatiale sur des fonds privés, alors que les budgets publics sont en baisse.

Contradiction flagrante avec le Traité de l'espace

Le *Space Resource Exploration and Utilization Act* de 2015 est en contradiction flagrante avec les traités internationaux. Il s'oppose directement au principe de non-appropriation de l'espace tel qu'il découle du Traité de l'espace du 27 janvier 1967 et de l'Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes du 18 décembre 1979.

La non-appropriation de l'espace extra-atmosphérique représente l'un des principes fondamentaux du droit de l'espace. Il est énoncé à l'article II du Traité de l'espace de 1967. Selon cet article, « L'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, ne peut faire l'objet d'appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par aucun autre moyen. »

L'Accord sur la Lune va plus loin. Son article 11 précise que l'ensemble des corps célestes du Système solaire ainsi que leurs ressources font partie du patrimoine commun de l'humanité. En conséquence, l'exploitation des ressources naturelles des corps célestes doit être mise en œuvre dans le cadre d'un régime international que les États signataires de l'Accord sur la Lune se sont engagés à mettre en place.

Le principe de patrimoine commun de l'humanité s'est heurté à l'opposition des puissances spatiales, qui ont préféré ne pas s'engager sur le texte. On comprend alors que l'Accord sur la Lune n'ait été ratifié que par seize États, dont aucun acteur spatial majeur (États-Unis, Russie, Chine, Japon, Inde, France...) ne fait partie. Par ailleurs, à ce jour, ces États n'ont toujours pas élaboré le régime international relatif à l'exploitation des ressources naturelles prévu par le texte.

La plupart des pays, notamment les États-Unis, restent ainsi liés par le principe de non-appropriation tel que posé par le Traité de l'espace de 1967. Or ce traité, selon son interprétation historique, interdit toute forme de propriété dans l'espace. Les États-Unis, qui sont à l'origine de la règle, en sont parfaitement conscients.

Les États-Unis ne comptent ni dénoncer ni modifier expressément le Traité de l'espace. C'est d'abord sous l'angle de l'interprétation qu'ils entendent affirmer le caractère internationalement licite de leur loi. Un premier