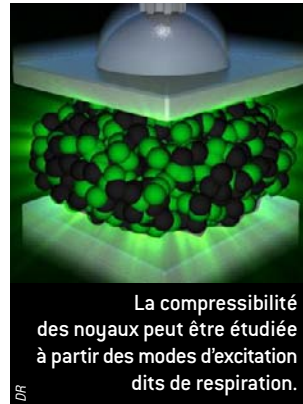


Physique nucléaire

Le noyau atomique qui respire

Lorsque les noyaux atomiques acquièrent une certaine énergie, ils sont excités : ils se déforment, vibrent, se mettent à tourner... Au GANIL (Grand accélérateur national d'ions lourds), à Caen, une équipe internationale autour de Marine Vandebrouck et Elias Khan, de l'Institut de physique nucléaire d'Orsay à l'Université Paris-Sud, a étudié des modes d'excitation particuliers, dits de respiration, dans un noyau instable riche en neutrons, le nickel 68.

Lorsque le noyau « respire », les protons et les neutrons se rapprochent et s'écartent régulièrement. La respiration du noyau est amorcée en le bombardant avec un projectile, tel un noyau de deutérium ou d'hélium. Pour étudier le nickel 68 instable, E. Khan et ses collègues ont adapté et amélioré la méthode d'excitation et de mesure déjà utilisée sur d'autres noyaux. La fréquence du mode de respiration a pu être mesurée avec une meilleure efficacité. Un second mode de respiration, plus faible et



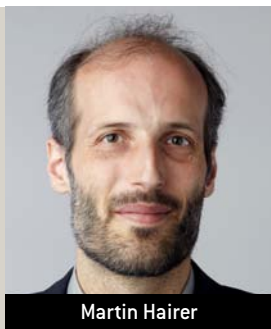
La compressibilité des noyaux peut être étudiée à partir des modes d'excitation dits de respiration.

Sean Bailly

Phys. Rev. Lett., vol. 113, 032504, 2014



Manjul Bhargava



Martin Hairer

une fonction inconnue à une ou plusieurs de ses dérivées), mais où la fonction inconnue est une fonction de plusieurs variables et non d'une seule. L'équation est dite stochastique lorsqu'elle contient des termes à valeurs aléatoires, selon une certaine loi de probabilité.

M. Hairer a travaillé en particulier sur l'« équation KPZ », introduite en 1986 par des physiciens pour décrire l'évolution au cours du temps de la frontière entre deux substances, liquides par exemple. Il a conçu une méthode permettant de donner un sens mathématique précis à cette équation – voire à d'autres – et d'en trouver des solutions ayant également un sens.

Quant à Maryam Mirzakhani, professeur à l'Université Stanford, ses travaux ont notamment porté sur les géodésiques (chemins de longueur minimale) tracées sur des surfaces de géométrie hyperbolique (non euclidienne) et leurs « espaces de modules », des espaces abstraits et encore imparfaitement compris qui leur sont associés. Ses résultats portent en particulier sur les géodésiques fermées qui ne se recoupent pas. Plus généralement, ses recherches sont au carrefour de plusieurs domaines des mathématiques : géométrie hyperbolique, analyse complexe, topologie et théorie des systèmes dynamiques.

Maurice Mashaal

<http://www.icm2014.org/>

Nevanlinna, Chern, Gauss...

Trois autres prix notables ont été décernés lors du Congrès de Séoul :
- Le prix Rolf Nevanlinna (pour les aspects informatiques des mathématiques) à Subhash Khot, de l'Institut Courant de sciences mathématiques de l'Université de New York. S. Khot a formulé en 2001 une conjecture dite UGC portant sur le coloriage de graphes. Lui et d'autres ont ensuite montré que si cette conjecture était vraie, on pourrait trouver des limites précises sur l'approximation qu'il est possible

d'obtenir dans un grand nombre de questions de type combinatoire.
- La médaille Chern à l'Américain Phillip Griffiths, de l'Institut d'études avancées à Princeton, dont les principales contributions portent sur la géométrie algébrique et la géométrie différentielle. Cette distinction récompense l'œuvre de toute une carrière de mathématicien.
- Le prix Gauss à l'Américain Stanley Osher, de l'Université de Californie à Los Angeles ; ce prix est attribué pour des contributions ayant eu des

applications significatives en dehors des mathématiques. S. Osher a en particulier développé, avec James Sethian, la méthode dite des surfaces de niveau, une méthode numérique de suivi de la déformation d'un objet consistant à considérer ce dernier comme une section d'un objet en dimension supérieure. Cette méthode a de nombreuses applications dans les domaines du traitement des images, des effets spéciaux, de la simulation numérique des écoulements fluides, etc.

Moisson de poussières

En 2006, une capsule de la mission *Stardust* est revenue sur Terre. Elle abritait un réceptacle à aérogel qui a capté des poussières dans l'espace. Pour identifier celles-ci, 30 000 volontaires ont scruté les clichés de l'aérogel. Parmi les impacts, sept candidats ont été retenus comme pouvant être des poussières interstellaires. Mais Andrew Westphal, de l'Université de Berkeley, et ses collègues ont montré que les grains ont des compositions et des structures variées, qui s'accordent mal avec les modèles théoriques.

Une nuée de robots

De nombreux exemples de systèmes auto-assemblés existent dans la nature, mais la capacité de gérer simultanément les interactions d'une foule et le comportement des individus est un défi pour les systèmes artificiels. Michael Rubenstein et ses collègues, de l'Université Harvard, ont fabriqué une nuée de 1 000 petits robots autonomes. Chacun est équipé d'algorithmes qui définissent les règles qu'il doit appliquer en fonction de son voisinage, tout en suivant une instruction globale qui conduit la nuée à reproduire une forme simple, telles une étoile ou la lettre H.

Des coraux qui ont du nez

Les coraux déclinent : près de 50 % de ceux du Pacifique tropical ont déjà disparu. Or Danielle Dixon, de l'Institut *Georgia Tech*, à Atlanta, et ses collègues ont montré que leurs larves et celles des poissons coralliens se fient à leur odorat (sensibilité aux composés présents dans l'eau) pour se diriger préférentiellement vers les récifs sains, négligeant ceux qui sont détériorés et envahis par les algues. Les chercheurs suggèrent donc de diffuser des composés chimiques adéquats lors de la réhabilitation des récifs.

Science des matériaux

Comment protéger les canalisations en béton ?

Les réseaux de canalisation, sur lesquels les gouvernements du monde entier ont tant investi depuis plus d'un siècle, se dégradent et nécessitent d' coûteux travaux de maintenance. On sait que la dégradation des canalisations en béton est en grande partie due à la présence de sulfure d'hydro-

gène (H_2S) dans les eaux usées. Ilje Pikaar et ses collègues de l'Université du Queensland, en Australie, ont analysé l'eau d'une banlieue urbaine de la région. Ils ont montré que 52 % du H_2S présent sont dus à l'utilisation de sulfate d'aluminium comme coagulant ou comme purifiant, lors du traitement de l'eau potable. En

dehors du sulfate d'aluminium, le H_2S provient des déchets à 38 % et de l'eau de source à 10 %.

Les ions sulfate (SO_4^{2-}) sont transformés en H_2S par certaines bactéries, puis en acide sulfurique (H_2SO_4) par d'autres. Il en résulte une dégradation du béton de plusieurs millimètres par an. I. Pikaar et ses collègues proposent de remplacer le sulfate d'aluminium par d'autres coagulants plus coûteux mais dépourvus de sulfate, tel le chlorure de fer. Différentes simulations sur ordinateur ont indiqué que dans de nombreux cas, cette solution permettrait de réduire notablement la dégradation des canalisations.

Benoît Mahé

Science, vol. 345, pp. 812-814, 2014

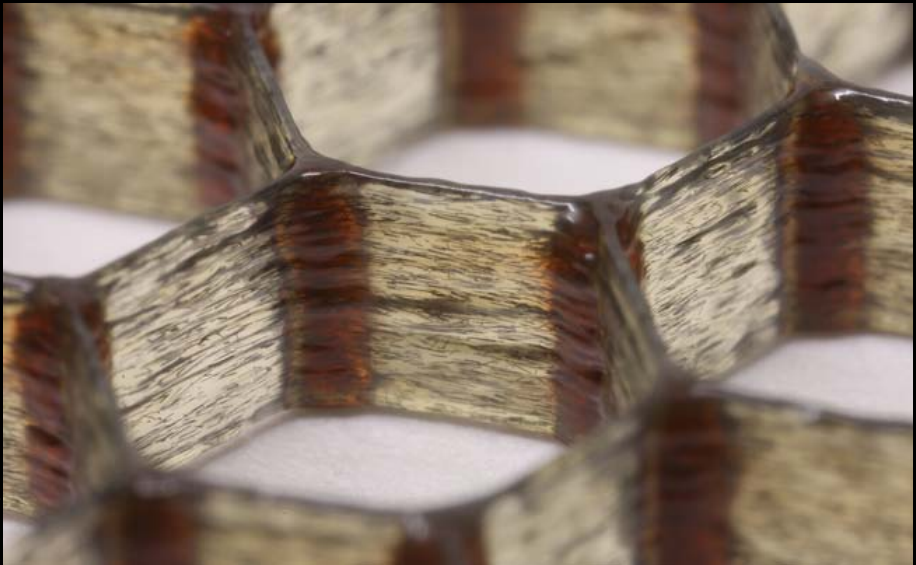


© Ami natari / shutterstock.com

Insolite

Un matériau en nid d'abeille qui imite le bois

Brett Compton et Jennifer Lewis, de l'Université Harvard, se sont inspirés de la structure du bois pour fabriquer avec une imprimante 3D un matériau composite léger et rigide. Le bois est constitué de fibres de cellulose intégrées dans une matrice de lignine. Les chercheurs ont introduit des fibres de carbone dans la résine d'époxy de leur dispositif, l'ont façonné en nid d'abeille, et ont ainsi obtenu un matériau deux fois plus rigide que les composites plastiques imprimés.



© Brett Compton, Lori Sanders et Jennifer Lewis, Université Harvard



ESA/Hubble, NASA, HST Frontier Fields M. Jauzac et J.-P. Kneib

Astrophysique

Un amas de galaxies cartographié avec une précision inégalée

En combinant les effets de lentille gravitationnelle et l'observation en rayons X d'un amas de galaxies, des astrophysiciens ont déterminé très précisément comment sa masse est répartie.

Dans le cadre du programme *Hubble Space Telescope Frontier Fields*, des effets de lentille gravitationnelle ont été répertoriés pour cartographier la distribution de la matière dans des amas de galaxies. Mathilde Jauzac, de l'Université de Durham, et ses collègues ont ainsi établi, pour l'amas MACSJ0416, la carte de la distribution de matière la plus précise jamais réalisée d'un amas galactique. Ils en ont aussi étudié la dynamique.

D'après la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein, une grande concentration de masse – telle une étoile, une galaxie ou un amas de galaxies – déforme l'espace-temps autour d'elle et dévie ainsi les rayons lumineux provenant d'une source plus éloignée et passant à proximité. Si l'objet massif est aligné avec la source d'arrière-plan, les rayons lumineux convergent vers l'observateur, de sorte que la luminosité de la source paraît amplifiée ; on parle alors de lentille gravitationnelle. L'effet de lentille est dit fort lorsque la lumière est amplifiée, que plusieurs images de la source sont visibles ou que l'image est

tellement déformée que la source apparaît sous forme d'arcs lumineux. Lorsque la déviation est moins importante et l'image de la source légèrement déformée, on parle d'effet de lentille gravitationnelle faible.

Les effets de lentille gravitationnelle permettent d'estimer la masse de l'objet constituant la lentille. M. Jauzac et ses collègues ont ainsi utilisé les données du télescope *Hubble* pour mesurer les effets de lentille créés par l'amas MACSJ0416. L'élément remarquable est le nombre élevé d'images liées à l'effet de lentille gravitationnelle fort : les chercheurs en ont recensé 194 à partir de 68 objets situés en arrière-plan. En ajoutant les observations d'effets de lentille faible en périphérie de l'amas, et les données en rayons X du télescope spatial *Chandra*, ils ont estimé la masse de l'amas à environ $1,15 \times 10^{15}$ masses solaires, pour trois millions d'années-lumière d'extension. Le gaz et les étoiles représenteraient environ un dixième de la masse totale, le reste étant sous forme de matière noire, de nature encore inconnue.

Les astrophysiciens ont pu cartographier la répartition de la matière dans l'amas avec une précision inégalée. Ils y observent deux zones très denses, confirmant ce que l'on savait déjà en observant la répartition de ses galaxies : MACSJ0416 est formé de deux amas en cours de collision. Mais l'état actuel correspond-il à un état antérieur ou postérieur à la collision ?

Dans l'amas MACSJ0416, la situation n'est pas claire. M. Jauzac et ses collègues ont imaginé deux scénarios pour expliquer les observations. L'un correspond à une situation antérieure à la collision ; dans l'autre, les amas se sont déjà frôlés – échauffant une partie du gaz – puis se sont éloignés. Mais du fait de l'attraction gravitationnelle, l'amas le plus léger revient vers l'amas le plus lourd et une deuxième collision est en vue. De nouvelles données du télescope *Chandra* sont attendues ; elles permettront de trancher entre ces deux scénarios.

S. B.

M. Jauzac et al., *MNRAS*, vol. 443(2), pp. 1549-1554, 2014

Cette image en fausses couleurs représente la distribution de matière dans l'amas de galaxies MACSJ041. On distingue les galaxies, le gaz chauffé (en rouge autour des galaxies), qui émet des rayons X, et la matière noire (en bleu), trahie par les effets de lentille gravitationnelle.

Mathématiques

La conjecture de Kepler formellement démontrée

Quelle est la meilleure façon d'empiler les oranges sur les étagères des primeurs pour perdre le moins d'espace possible ? Ou, en termes mathématiques, quel est l'arrangement compact de sphères identiques le plus dense ? En 1611, Johannes Kepler émet la conjecture que l'arrangement optimal est un empilement de plans où chaque sphère repose dans le creux formé par trois sphères adjacentes du plan inférieur. Cela correspond à deux configurations, l'empilement cubique à faces centrées et l'empilement hexagonal, la densité étant d'environ 74 pour cent. Thomas Hales, de l'Université de Pittsburgh, et son équipe ont enfin obtenu une démonstration formelle de cette conjecture.

En 1998, T. Hales avait soumis une première démonstration, longue de 300 pages. Une équipe de 12 mathématiciens avait été constituée pour vérifier la preuve, mais, après quatre années d'efforts, elle déclara que la démonstration est probablement juste à au moins 99 pour cent. Elle n'a pas pu s'assurer qu'aucune faille ne s'y était glissée.

En effet, dans une démonstration mathématique, il n'est pas rare que certaines étapes logiques soient omises, parce que considérées comme simples ou connues du lecteur. C'est aussi vrai lorsque des programmes informatiques sont utilisés, comme c'est le cas dans la démonstration de T. Hales. Par exemple, l'appel à certaines fonctions cache des algorithmes dont il n'est pas prouvé qu'ils n'introduisent pas des failles dans le raisonnement.

T. Hales a alors décidé de produire une preuve formelle de la conjecture et a créé, dès 2003, le projet *Flyspeck*. Dans une démonstration formelle, on s'assure que chaque étape de la preuve est logiquement valide. Cette approche est mise en œuvre grâce à des assistants de preuve sur ordinateur, qui utilisent une syntaxe logique pour construire la démonstration. Le 10 août 2014, l'équipe de T. Hales a annoncé la réussite du projet : la preuve formelle de la conjecture de Kepler a été obtenue, ce qui confirme que le résultat de 1998 était correct.

S. B.

<https://code.google.com/p/flyspeck/>

Astrophysique

Rosetta à portée de la comète

Après un voyage de 10 ans, la sonde spatiale *Rosetta* arrive au terme de son périple. Lancée le 2 mars 2004, cette mission de l'ESA (l'Agence spatiale européenne) devait étudier de près la comète 67P / Tchourioumov-Guérassimenko. La rencontre a eu lieu le 6 août.

La sonde est maintenant en orbite à quelques dizaines de kilomètres de la surface de la comète, dont le noyau est constitué de deux blocs collés. Grâce aux photographies de la comète prises par les instruments de *Rosetta*, les chercheurs du CNES ont sélectionné cinq sites possibles pour larguer l'atterrisseur *Philæ* en novembre. Ce dernier s'amarrera à la surface, car la gravité de la comète est faible. Il effectuera une batterie de mesures pendant quelques mois

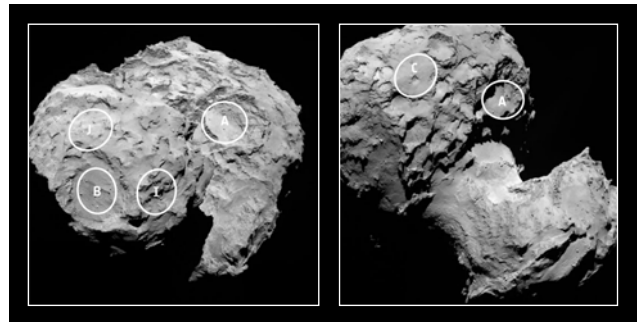
si les conditions sont bonnes. En particulier, il percera la roche, prélèvera des carottes et en analysera la composition grâce à un petit laboratoire embarqué.

De prochaines photographies à plus basse altitude permettront d'évaluer plus précisément chacun des sites d'atterrissage.

Si tout se passe comme prévu, les données recueillies par *Rosetta* et *Philæ* permettront aux astrophysiciens de mieux comprendre comment le Système solaire s'est constitué. Les chercheurs en ont une vision globale, mais de nombreuses questions restent à éclaircir à l'aide des comètes, qui ont une composition proche de celle du Système solaire lors de sa formation.

S. B.

<http://blogs.esa.int/rosetta/>



Pour poser l'atterrisseur *Philæ*, les chercheurs de l'ESA doivent trouver un site favorable. Ils en ont déjà sélectionné cinq (notés A, B, C, I et J). Une analyse plus fine permettra d'estimer celui qui sera retenu.

Transformer un mauvais souvenir en un bon

L'émotion associée à un souvenir peut changer. Roger Redondo, du MIT, et ses collègues ont conditionné certaines souris à avoir peur d'un endroit (associé à un choc électrique) et d'autres à le trouver agréable. Ils ont ensuite inversé le conditionnement, tout en réactivant le souvenir par des techniques dites d'optogénétique. Ils ont alors constaté un changement des connexions entre les traces neuronales du souvenir situées dans l'amygdale, une aire cérébrale associée aux émotions, et celles localisées dans d'autres aires.

Les neutrinos, témoins de l'activité solaire

L'énergie du Soleil provient surtout de la fusion de protons, qui émet entre autres des neutrinos et des photons. Les neutrinos s'échappent en quelques secondes de l'astre, contre plus de 100 000 ans pour les photons. Le flux de ces neutrinos a été mesuré avec l'expérience *Borexino*, une détection difficile du fait de leur faible énergie. Les valeurs de la puissance du Soleil calculées à partir de ce flux et de celui des photons sont très proches. Cela montre que l'activité solaire a été stable durant les 100 000 dernières années.

Réparer les articulations avec le nez

Pour traiter l'arthrose ou les blessures articulaires, les médecins cultivent des cellules du tissu lésé qu'ils réimplantent. Mais la méthode est peu efficace. L'équipe d'Ivan Martin, de l'Université de Bâle, a montré que le cartilage du nez se développe mieux que les autres. D'où l'idée d'utiliser ses cellules dans d'autres tissus lésés.

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

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



POINT DE VUE

Fièvre d'Ebola : une épidémie déroutante

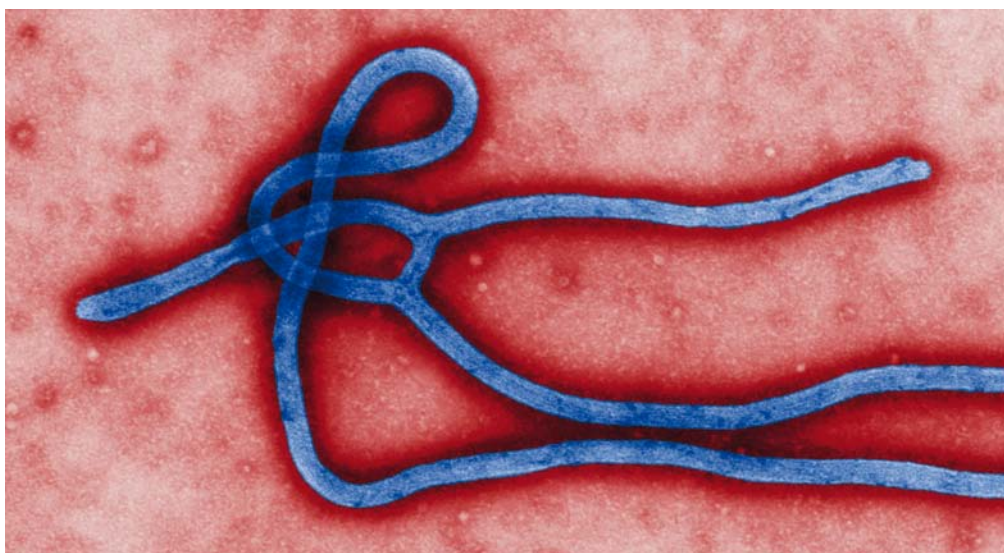
Une inquiétante et inédite épidémie de fièvre hémorragique sévit en Afrique de l'Ouest. La contagion est en principe facile à enrayer... à condition d'en avoir les moyens !

Jean-Claude MANUGUERRA

Ebola est le nom d'une rivière proche de Yambuku, localité du Nord-Est de la République démocratique du Congo (RDC, l'ex-Zaïre). C'est dans cette ville d'Afrique centrale qu'a éclaté, en 1976, l'une des deux premières épidémies identifiées de cette fièvre hémorragique, qui ont touché 602 personnes au Zaïre et au Soudan, dont 431 sont décédées. Depuis février 2014, une nouvelle épidémie sévit en Afrique de l'Ouest ; elle est déroutante et sa gravité inquiète, avec plus de 1 400 décès dénombrés à la fin août. Qu'en connaît-on et quelles sont les principales craintes ?

Le virus Ebola, isolé en 1977 et dont des chauves-souris frugivores seraient le réservoir, est un virus à ARN du genre *Ebolavirus*. Parmi les cinq espèces de ce genre, l'espèce *Zaïre* est la plus pathogène pour l'homme, avec une létalité maximale de 90 %, suivie de l'espèce *Soudan* (létalité maximale de 65 %), puis de *Bundibugyo* (25 %) et enfin du virus *Forêt de Tai* (un seul cas non mortel). Quant au virus *Reston*, il n'est pas pathogène pour l'homme.

Le début de la maladie, en phase clinique, est non spécifique et ressemble à un syndrome grippal : brusque montée de la température avec une importante asthénie, des douleurs musculaires, des maux de tête et de gorge. Puis apparaissent très vite des douleurs abdominales avec vomissements, diarrhée et parfois éruption cutanée, accompagnés d'une importante altération de l'état général. Insuffisances hépatique et rénale complètent le tableau avec des signes hémorragiques fréquents



[assez peu toutefois dans l'épidémie en cours] et variés.

Le virus Ebola peut infecter à tout âge tant les femmes que les hommes. Les personnes infectées encore en phase d'incubation (qui dure cinq à dix jours en général) ne transmettent pas le virus. Ainsi, seul un malade, c'est-à-dire une personne infectée présentant des signes cliniques, est contagieux.

La contamination exige un contact direct avec des organes et fluides corporels tels que le sang, les urines, les selles, les vomissements et la sueur d'un malade. L'infection résulte de la pénétration du virus par une plaie (même minime) sur la peau ou par les muqueuses buccales ou oculaires, ou par une piqûre avec une seringue par exemple.

Il n'existe aucun traitement spécifique de la fièvre d'Ebola. Des molécules actives

et des vaccins sont en cours d'essais cliniques, mais restent non commercialisés. L'efficacité de l'immunothérapie passive (administration d'anticorps) fait débat et n'a pas été prouvée, le nombre de patients traités étant encore trop petit. Quant à des vaccins potentiels, ils ne sont sans doute pas compliqués à concevoir, mais prouver leur efficacité sur le terrain et les appliquer serait pratiquement impossible, compte tenu du petit nombre de flambées épidémiques et de leurs lieux imprévisibles.

L'épidémie en cours, pour laquelle l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a reconnu que les conditions d'une urgence de santé publique de portée internationale étaient réunies, est inédite pour plusieurs raisons. À part la Côte d'Ivoire en 1994, le virus Ebola n'avait jamais frappé l'Afrique

de l'Ouest. Le berceau de la nouvelle épidémie se situe dans le Sud forestier de la Guinée-Conakry, sans doute dans le village de Meliandou où les premiers cas seraient apparus en décembre 2013. Des foyers sont ensuite apparus dans des villages alentour, puis se sont multipliés et ont gagné plusieurs régions du pays et, ce qui est inédit, une capitale de taille importante : Conakry.

Autre fait sans précédent, l'épidémie s'est propagée à deux pays limitrophes : le Libéria et la Sierra Leone, dont presque toutes les régions sont touchées, y compris les capi-

maines. C'est possible par l'isolement précoce et systématique des malades et le suivi exhaustif de leurs contacts durant les 21 jours précédents. Mais cela nécessite d'importants moyens humains et financiers ainsi que l'adhésion des populations, alors que les pays concernés sont des régions pauvres, où la guerre civile a sévi dans un passé récent et où les autorités ont peu de crédit.

On peut être d'un relatif optimisme pour la région de Conakry en Guinée. En revanche, la situation en Sierra Leone et au Libéria est très préoccupante. Au Libéria, la situation est telle que l'état d'urgence a été instauré le 6 août, avec un couvre-feu sur l'ensemble du pays. Dans cet État comme en Sierra Leone, le système de santé, déjà défaillant, est soumis à une forte pression. Et des compagnies aériennes ont suspendu leurs vols avec ces deux pays, vers lesquels il sera de plus en plus difficile d'apporter l'aide internationale...

La grande crainte est que l'épidémie atteigne les pays limitrophes tels le Sénégal, la Côte d'Ivoire, voire le Mali, malgré les précautions de ces pays et de leurs partenaires. Quant à l'Europe, elle peut redouter un petit nombre de cas importés, mais ses ressources et ses systèmes de santé sont aptes à casser tout début de chaîne épidémique. Les épidémies, comme les autres fléaux, s'attaquent surtout aux pauvres. L'épidémie actuelle devrait donc rester limitée aux pays aux plus bas revenus et dont les populations partagent des traits culturels communs, notamment ceux consistant à toucher le mort lors des funérailles.

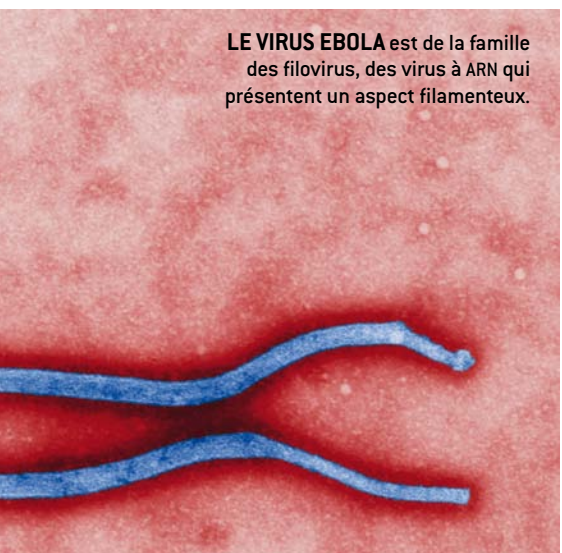
Certes, les partenaires du réseau mondial d'alerte et d'action en cas d'épidémie piloté par l'OMS – *Médecins sans frontières*, la *Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge*, les *Centers for Disease Control and Prevention* américains, l'Institut Pasteur et son réseau international, etc. – sont pleinement mobilisés. Mais ils peinent à maintenir l'effort compte tenu de l'ampleur et de la durée de cette épidémie. ■

Jean-Claude MANUGUERRA dirige la Cellule d'intervention biologique d'urgence (CIBU) de l'Institut Pasteur, à Paris.

La 26^e épidémie depuis 1976

- L'épidémie actuelle de fièvre d'Ebola a été précédée de 25 autres.
- Les plus petits épisodes épidémiques ont touché une seule personne ; le plus important, en Ouganda en 2000, a fait 425 victimes dont 224 sont mortes.
- Le nombre total de cas et de décès était, avant 2014, de 2 299 et de 1 540 respectivement.
- Pour les épisodes épidémiques de plus d'un cas, la létalité a varié de 25 % (Ouganda, 2007) à 90 % (RDC, 2003).
- Pour l'épidémie de 2014, le taux de létalité est jusqu'ici d'environ 50 %.

LE VIRUS EBOLA est de la famille des filovirus, des virus à ARN qui présentent un aspect filamenteux.



© Centers for Disease Control - digital version copyright Science Faction/Science Faction/Corbis

tales. C'est la plus grave épidémie d'Ebola avec, au 28 août 2014, un total de 3 069 cas recensés (plus que l'ensemble des 25 épidémies précédentes), dont 1 552 décès. Et la situation est rendue logistiquement très difficile par le nombre de foyers simultanés, lui aussi sans précédent.

Un quatrième pays non limitrophe a été touché par un voyageur ayant pris l'avion pour le Nigéria. C'est la première fois qu'un patient à symptômes prend un vol commercial (mais sans contaminer d'autres passagers ou des membres de l'équipage). Pour l'instant, la situation est contrôlée dans ce pays (17 cas dont six décès, tous des cas secondaires liés directement au voyageur).

L'épidémie devrait durer encore plusieurs mois, six à neuf selon l'OMS. L'urgence est d'arrêter la chaîne de contamination interhu-



Réagissez au
Point de vue sur
www.pourlascience.fr

ENTRETIEN

Gaz de schiste : pourra-t-on les exploiter proprement ?

Entretien avec Gilles PIJAUDIER-CABOT

Les hydrocarbures de schiste, un nouvel eldorado énergétique ou un désastre environnemental ? Le débat, vif, est exacerbé par des vidéos circulant sur Internet et montrant par exemple de l'eau contaminée par du gaz qui s'enflamme quand on approche un briquet à la sortie du robinet, dans des zones situées à proximité des forages. La technique de la fracturation hydraulique, pourtant utilisée pour

extraire des hydrocarbures conventionnels depuis le milieu du XX^e siècle, est au centre de toutes les critiques. Les partisans des hydrocarbures de schiste vantent l'ampleur des réserves. Mais les estimations sont-elles fiables ? Aux États-Unis, la production de gaz de schiste a en tout cas explosé au milieu des années 2000. Cet essor massif s'est déroulé dans un contexte peu réglementé, où la quête de la rentabilité a conduit à des

accidents écologiques, telle la contamination des nappes phréatiques. Quelle est la part des limitations techniques et celle des mauvaises pratiques dans ces accidents ? Peut-on améliorer les techniques d'extraction pour exploiter sans risque les réserves ? Le point avec Gilles Pijaudier-Cabot, qui dirige le Laboratoire des fluides complexes et leurs réservoirs (UMR 5150, Total-CNRS-Université de Pau et des pays de l'Adour), et l'Institut Carnot ISIFoR.



POUR LA SCIENCE

Qu'est-ce qu'un pétrole, une huile ou un gaz de schiste ?

GILLES PIJAUDIER-CABOT : Il s'agit d'hydrocarbures piégés dans des argiles très peu perméables nommées schistes. Dans le cas d'hydrocarbures conventionnels, le pétrole ou le gaz se forme dans une roche qualifiée de roche-mère, puis migre vers le haut dans une « roche-réservoir » poreuse, surmontée par une « roche d'étanchéité », qui empêche leur fuite. Pour les schistes, les hydrocarbures restent piégés dans la roche-mère.

Par conséquent, les gisements sont plus difficiles à exploiter : il faut fracturer la roche pour que les hydrocarbures s'en échappent. Pour ce faire, on injecte de l'eau sous pression, mélangée à du sable (pour éviter que les fissures ne se referment trop vite) et à divers additifs (tels des lubrifiants favorisant la pénétration du sable dans les fissures).

Le terme d'huile désigne de façon générique tous les hydrocarbures liquides. Ceux-ci

vont des pétroles « légers » (peu visqueux et comportant peu d'impuretés) aux plus lourds (les bitumes).

PLS

Quelle est l'ampleur de leur exploitation et des réserves ?

G. P.-C. : Aujourd'hui, on exploite surtout du gaz. Dans la plupart des cas, les huiles sortent beaucoup moins facilement de la roche. Elles sont tout de même exploitées dans quelques champs de puits aux États-Unis, et des recherches sont en cours pour développer des techniques d'extraction. En effet, la demande des pétroliers se redirige vers ce produit, en raison d'une certaine saturation des marchés du gaz due à l'afflux des gaz de schiste.

L'exploitation des schistes a surtout lieu aux États-Unis. Plusieurs pays commencent à explorer leur sous-sol en détail, voire, pour certains, à extraire du gaz. Ainsi, début 2014, une

centaine de puits avaient déjà été creusés en Chine (contre 40 000 au total aux États-Unis).

Les réserves mondiales s'élèveraient à 345 milliards de barils de pétrole (55 milliards de mètres cubes) et 207 000 milliards de mètres cubes de gaz de schiste techniquement extractibles, selon une estimation de l'Agence américaine d'information sur l'énergie (EIA) datée de 2013. Cela représenterait 10 % du pétrole et 32 % du gaz techniquement exploitables dans le monde. Plusieurs pays seraient particulièrement bien dotés : États-Unis, Argentine, Russie, Algérie, Canada et le Mexique. En Europe, la France serait, avec 3 900 milliards de mètres cubes de gaz, en deuxième position, derrière la Pologne.

PLS

Ces estimations sont-elles fiables ?

G. P.-C. : Pas toujours. Dans le cas de la France, l'estimation est fondée sur des reconnaissances effectuées par le BRGM (Bureau de recherches