

Environnement

Où en est la couche d'ozone ?

Dans les années 1980, on découvrait au-dessus de l'Antarctique un « trou » dans la couche d'ozone – en réalité une zone très appauvrie en ozone. La couche d'ozone est dégradée par des gaz regroupés sous le terme SAO (substances appauvrissant l'ozone). Le protocole de Montréal a été adopté en 1987 pour limiter leurs émissions. Sous l'égide de l'Organisation météorologique mondiale et du Programme pour l'environnement de l'ONU, quelque 300 chercheurs viennent d'évaluer son efficacité. Ils ont conclu que la couche d'ozone va mieux et devrait se reconstituer d'ici le milieu du siècle sur la plus grande part de la planète. Toutefois, certains remplaçants des SAO risquent d'exercer un effet de serre important.

G. J.

www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/ozone_asst_report.html

Géosciences

Titan : des dunes à l'envers

Des dunes dépassant parfois 100 kilomètres de long et parallèles à l'équateur s'étendent aux tropiques de Titan, le plus gros satellite de Saturne. Elles semblent s'étirer d'Ouest en Est, alors que dans cette région, le vent dominant au niveau du sol souffle dans le sens opposé. Antoine Lucas, du CEA à Saclay et associé au pôle de recherche en sciences planétaires de l'Université Paris-Diderot à Paris, et ses collègues ont modélisé la dynamique des vents pour résoudre cette contradiction apparente. Les dunes se seraient formées sous l'action des rafales violentes qui soufflent vers l'Est pendant les équinoxes. Les géologues ont aussi montré que l'orientation des dunes n'est compatible avec la dynamique des vents que si le sol ne s'érode pas. Il reste donc à identifier la source des sédiments transportés par le vent et dont ces dunes sont constituées.

S. B.

A. Lucas et al., *Geophys. Res. Lett.*, en ligne le 10 septembre 2014

Archéologie

L'aile cavalière du Mont Castel

Des archéologues ont découvert qu'après la guerre des Gaules, une unité de cavalerie fut stationnée sur le Mont Castel qui domine Port-en-Bessin-Huppain, en Normandie.

Quand ils ont abordé ce plateau, Anthony Lefort et Cyril Marcigny, de l'Inrap, ont pris sur le fait un « détectoriste », qui leur a montré sa collection. Ils ont été étonnés d'y voir des monnaies de toute la Gaule du I^{er} siècle avant notre ère... Pensant avoir affaire à un affabulateur, ils ont sondé le mont en deux endroits. Ils ont alors eu la surprise de trouver le même genre d'échantillon varié de monnaies ; elles se trouvaient dans les limites de ce qui s'est révélé être un casernement militaire. Reconnaisables aux trous

des poteaux de fondation, les bâtiments rectangulaires sont disposés les uns par rapport aux autres suivant un plan très géométrique... qui trahit son ingénieur romain.

La découverte de restes d'armement romain, de clous de semelles de *caligae* et d'éperons suggère un cantonnement d'une *ala* gauloise, c'est-à-dire d'une « aile de cavalerie ». Après Alésia, les Romains ont en effet employé des troupes auxiliaires pour maintenir la paix, et les cavaliers gaulois avaient l'avantage de pouvoir intervenir vite, tout en connaissant bien le terrain. Manifestement, ils étaient payés avec des monnaies collectées (pillées ?) dans toute la Gaule.

François Savatier



Deux des pièces en argent trouvées au Mont Castel.

Océan des Tempêtes... magmatiques

Sur la Lune, l'Océan des Tempêtes est une vaste région presque plane de près de 3 200 kilomètres de diamètre. On a longtemps pensé qu'il s'agissait d'un bassin d'impact. Les mesures gravimétriques des deux sondes GRAIL écartent cette hypothèse. Des structures linéaires délimitant une forme quasi rectangulaire se cachent sous la lave refroidie. Il s'agit probablement d'anciens rifts, vestiges de l'activité magmatique de la Lune. L'impact d'un astéroïde aurait, lui, produit un bassin de forme circulaire.

Les Néandertaliens, disparus plus tôt ?

Les derniers Néandertaliens auraient disparu il y a quelque 35 000 ans, mais l'équipe de Thomas Higham, de l'Université d'Oxford, avance que cela s'est produit plus tôt. Les chercheurs ont raffiné les méthodes de datation au carbone, puis ont estimé les âges de 196 échantillons fossiles

humains provenant de 40 sites néandertaliens en Europe. Les résultats suggèrent que les derniers Néandertaliens auraient disparu il y a 41 000 à 39 000 ans. Selon ces nouvelles datations, les Néandertaliens et les hommes modernes, qui ont commencé à pénétrer en Europe il y a 45 000 ans, n'ont pu se côtoyer que brièvement.

Suivez les dernières actualités

de Pour la Science

sur les réseaux sociaux



Retrouvez

plus d'actualités sur

www.pourlascience.fr

POINT DE VUE

L'Europe et les vols habités dans l'espace

En dehors de sa contribution à la Station spatiale internationale, l'Europe ne devrait pas s'engager maintenant dans d'inutiles et très coûteuses missions habitées vers la Lune ou vers Mars.

Thierry COURVOISIER

Doit-on envoyer des hommes ou des femmes dans l'espace ? Cette question occupe souvent les discussions, tant parmi le public que chez les professionnels de l'espace. L'EASAC (*European Academies Science Advisory Council*), qui rassemble les académies des pays membres de l'Union européenne, de la Norvège et de la Suisse afin d'apporter des connaissances scientifiques dans les processus de décision politique en Europe, a souhaité contribuer à la réflexion stratégique européenne en matière d'exploration spatiale. Un rapport écrit par un groupe d'experts dans différents domaines d'activités spatiales vient ainsi de paraître (disponible sur www.easac.eu). Voici quelques-uns des points discutés.

L'exploration spatiale est l'un des éléments centraux de notre découverte du monde. Elle se situe entre la connaissance détaillée de notre planète acquise au fil de siècles de voyages et l'observation de l'Univers lointain avec nos télescopes et satellites. Poursuivre cette exploration, c'est approfondir ce chaînon de notre connaissance entre l'espace accessible à tous, sur Terre, et celui qui n'est accessible à personne. C'est aussi poursuivre des défis technologiques passionnants, par exemple construire des instruments de mesure légers et fonctionnant avec un minimum d'énergie. C'est encore mettre en œuvre d'importantes collaborations industrielles pour développer

et déployer dans l'espace, milieu hostile, des systèmes complexes répondant à des exigences très strictes.

Pour toutes ces raisons, la nécessité de poursuivre et développer un programme d'exploration spatiale vigoureux est une évidence. Ce programme doit inclure une composante européenne autonome importante. Il est en effet essentiel pour l'Europe de maîtriser les technologies spatiales afin de diminuer sa dépendance vis-à-vis des États-Unis et ainsi asseoir son indépendance sur la scène mon-

DES MISSIONS HABITÉES VERS MARS ne sont pas nécessaires sur le plan scientifique et poseraient de nombreux problèmes non encore résolus.

diale. Ce qui n'est pas en contradiction avec une étroite collaboration intercontinentale, tant dans le cadre de projets à la pointe de la science que pour des raisons qui peuvent être plus politiques ou sociétales. Une concertation accrue entre tous les acteurs de l'exploration spatiale permettrait déjà d'harmoniser les différents programmes et éviterait des compétitions stériles.

En matière de vols habités, le seul élément européen est la contribution à la Station spatiale internationale, ou ISS. Ce programme s'est développé à l'origine pour des raisons dont la science n'était qu'un élément mineur. Aujourd'hui, cependant, l'ISS est devenue un

laboratoire fiable qui livre des résultats de premier plan en biologie, en médecine fondamentale ou en science des matériaux et des fluides. L'Europe devrait donc participer pleinement dans les années à venir à l'exploitation scientifique de ce laboratoire unique.

Faut-il prévoir des missions habitées pour explorer nos plus proches voisins, la Lune et Mars ? L'analyse des potentialités et des difficultés d'une telle mission indique que, dans l'avenir proche, seule une exploration robotique doit être considérée.

D'une part, la présence humaine dans l'exploration martienne ou lunaire n'est pas nécessaire sur le plan scientifique. D'autre part, un vol – de longue durée – vers Mars poserait de nombreux problèmes non encore résolus, par exemple la protection de l'équipage contre les effets des rayons cosmiques ou le développement de moyens pour assurer nourriture et survie.

Il s'ensuit notamment que le coût d'une mission habitée vers Mars ne peut être évalué. De tels projets ne doivent ni ne peuvent faire partie des efforts de planification actuels ! Quant à d'éventuels vols habités en direction de la Lune, ils devront aussi venir après une exploration systématique automatisée et non la précéder.

Se pencher sur le programme d'exploration européen et sur l'éventualité de vols habités mène naturellement à des considérations plus générales sur certains aspects de la politique spatiale européenne.



ENVOYER DES COSMONAUTES sur une autre planète ? Cela coûterait très cher et il faudrait auparavant trouver la solution à de nombreux problèmes, par exemple la protection des personnes contre le rayonnement cosmique qu'elles subiront pendant leur long voyage.

Le programme spatial des pays européens a des composantes nationales, mais il s'inscrit en premier lieu dans celui de l'ESA, l'Agence spatiale européenne, qui peut se targuer de très beaux succès depuis des décennies. Les chercheurs européens imaginent maintenant, en continuité avec les réalisations passées, des projets ambitieux dans divers domaines. L'Europe a les capacités technologiques et industrielles de réaliser nombre de ces projets. La réelle limite est le financement. Pour Mars, le programme d'exploration est ainsi limité à une seule mission robotique. Il ne paraît donc pas opportun de transférer des ressources budgétaires de ces programmes vers l'exploration spatiale humaine.

Pour finir, mentionnons un autre aspect, d'ordre éthique. Le coût extrêmement élevé des vols habités est en grande partie lié à la volonté de diminuer au maximum les risques encourus par les équipages. Or l'exploration passée de notre planète s'est faite en prenant des risques considérables. Par exemple, sur les quelque 265 personnes ayant participé avec Magellan à la première circumnavigation, seules 18 sont revenues. On peut donc se demander dans quelle mesure notre culture actuelle de la sécurité est propice à l'exploration humaine de

Quelques-uns des projets de l'ESA

BepiColombo : exploration (robotisée) de Mercure, en collaboration avec le Japon (lancement en 2015)

ExoMars : mission robotique vers Mars avec un orbiteur et un atterrisseur, puis un rover (2016 puis 2018)

Solar Orbiter : mission robotique d'étude du Soleil (2017)

Cheops : satellite dédié à l'étude des exoplanètes (2017)

Euclid : télescope spatial dédié à l'étude des effets de la matière noire sur l'Univers (2020)

JUICE : mission robotique vers Jupiter et ses lunes (2022)

l'espace et si une approche acceptant plus de risques pourrait être plus fructueuse. C'est un débat de société, et une telle discussion devrait notamment avoir lieu entre les acteurs des programmes d'exploration.

L'exploration spatiale amène des contributions très variées à nos sociétés : des connaissances fondamentales, de nouvelles technologies, de nouvelles approches industrielles... Elle contribue aussi à une culture de collaboration et de paix internationales. Et pour de nombreux jeunes, elle constitue une motivation à s'investir dans les sciences et les techniques. Étant la première puissance économique du monde, l'Europe est capable de poursuivre dans cette voie. Mais il reste à développer une stratégie internationale afin d'optimiser les programmes d'exploration humains et robotiques, et l'étude de l'EASAC en est une étape. ■

Thierry COURVOISIER est astrophysicien à l'Université de Genève et président des Académies suisses des sciences. Il a présidé le groupe de travail à l'origine du rapport de l'EASAC.



Réagissez au
Point de vue sur
www.pourlascience.fr

ENTRETIEN

Médecine personnalisée et cancer : quel avenir ?

Entretien avec Fabrice ANDRÉ

Depuis une dizaine d'années, de nouvelles techniques d'analyse moléculaire – notamment le séquençage génétique à haut débit – ont doté la cancérologie de pistes de traitements individualisés, adaptés à la tumeur particulière du patient. L'étude génomique des tumeurs permet de dresser un catalogue des altérations et de rechercher, parmi les médicaments connus,

celui le plus approprié aux caractéristiques de la tumeur étudiée. Toutefois, les choses ne sont pas aussi simples : un patient ne porte pas une, mais des tumeurs ; les caractéristiques d'un cancer évoluent au fil du temps ; il n'existe pas autant de médicaments que de spécificités tumorales, mais autant de spécificités que de patients. Or rien qu'en France, près de trois millions de personnes de 15 ans et

plus étaient concernées par le cancer en 2008 selon le dernier rapport de l'Institut national du cancer (juillet 2014)... Alors, qu'attendre de cette nouvelle médecine, dite personnalisée ou de précision ? Le point avec Fabrice André, médecin oncologue spécialisé dans le cancer du sein à l'Institut Gustave Roussy et directeur de l'unité UMR981 (Inserm, Gustave Roussy, Université Paris XI).



POUR LA SCIENCE

Qu'entend-on exactement par médecine personnalisée en cancérologie ?

FABRICE ANDRÉ : La médecine personnalisée est la recherche, parmi les options thérapeutiques existantes, de la mieux adaptée à chaque patient en fonction des spécificités génétiques et biologiques de sa tumeur, de l'environnement du patient et de son mode de vie. Avec ce profil génétique, biologique et environnemental, on cherche à déterminer quels mécanismes moléculaires contribuent à la progression du cancer chez le patient, afin de les cibler le mieux possible lors du traitement. Ces mécanismes peuvent concerner toutes les voies : la signalisation intracellulaire, le métabolisme, le système immunitaire, la réparation de l'ADN...

PLS

Comment concrètement met-on en évidence les mécanismes impliqués dans la progression d'un cancer donné ?

F. A. : On effectue une biopsie de la tumeur, de préférence dans une région produisant des métastases, car ce sont les cellules de ces régions qui évoluent le plus vite [la médecine personnalisée est avant tout destinée aux personnes présentant un cancer qui s'étend]. On séquence le génome de cet échantillon et l'on y recherche des anomalies. On compare alors ces altérations génomiques avec celles déjà répertoriées par ailleurs chez d'autres patients, ce qui permet d'identifier les mutations susceptibles de jouer un rôle dans la progression tumorale. Ces mutations touchent des gènes, dont on recherche ensuite la fonction soit dans les travaux déjà publiés, soit en réalisant d'autres études.

PLS

Une fois que l'on a caractérisé la tumeur, comment « personnalise-t-on » le traitement ?

F. A. : Plusieurs approches sont possibles. La thérapie ciblée consiste à cibler des molécules

spécifiques des cellules cancéreuses, choisies en fonction des caractéristiques de la tumeur, afin de bloquer leur croissance tout en limitant les dommages sur les cellules normales. Les molécules actuellement utilisées sont par exemple des anticorps dits monoclonaux, qui se lient de façon spécifique à une protéine de la surface des cellules tumorales impliquée dans leur croissance.

Ainsi, l'anticorps trastuzumab (Herceptin®) a été conçu pour se lier à une protéine de la membrane cellulaire, HER2, surproduite dans certains cancers du sein. Cette protéine est le récepteur d'un facteur de croissance cellulaire. Sa surproduction à la surface des cellules cancéreuses augmente le recrutement du facteur de croissance, et donc la croissance de la tumeur. L'anticorps limite ce recrutement, ce qui ralentit la croissance tumorale.

PLS

Quels sont les autres types de traitements utilisés en médecine personnalisée ?