

disposer de son vivant. De surcroît, pour pouvoir affirmer que la puissance qui anime les planètes vers le Soleil varie toujours de la même manière que la gravité des corps qui tombent vers la Terre, il fallait connaître la valeur correcte du rayon terrestre. Or, ce n'est qu'en 1682, 20 ans après la mort de Pascal, que la détermination précise du rayon par l'abbé Picard permit à Newton d'achever ses calculs de façon satisfaisante. Tout cela laissait penser que les lettres n'étaient pas de la main de Pascal.

PLAGIAT OU INGRATITUDE?

Chasles s'indignant de cette supposition déclara qu'il avait, dans sa collection, quantité d'autres lettres de Pascal et de contemporains illustres qui prouvaient le contraire. À la séance suivante, il produisit des lettres de Pascal au jeune Newton, alors âgé de 11 ans, par lesquelles le savant français prenait le jeune écolier doué sous sa tutelle scientifique et lui communiquait ses idées. Du coup, le débat prit une dimension nouvelle : non seulement Newton n'aurait plus la priorité, mais en outre, il se verrait accusé, au pire de plagiat, au mieux d'ingratitude.

Toutefois, les lettres ne contenaient aucun élément scientifique nouveau susceptible de faire changer d'avis les opposants. De plus, les autographes de Pascal se voyaient attaqués par des littéraires, en particulier par un spécialiste des manuscrits pascaliens, qui déclarait que le style ampoulé était indigne du grand écrivain et que les signatures n'étaient pas de sa main. Les lettres, disait-il, étaient des faux malhabiles.

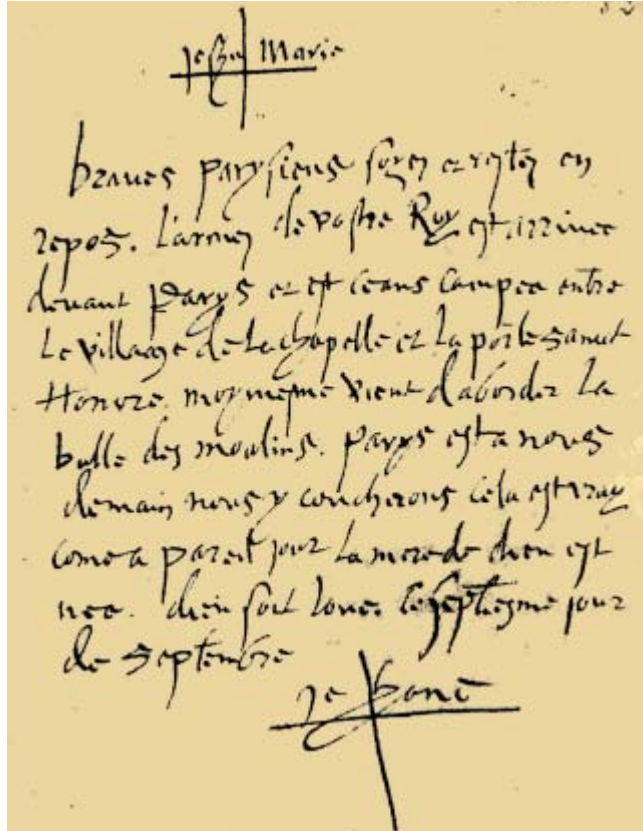
Les Anglais n'avaient pas tardé à réagir. Le physicien Brewster, biographe de Newton, assura qu'il n'y avait pas trace dans les papiers de Newton, d'une quelconque correspondance avec Pascal. Un astronome britannique fit remarquer que les valeurs des masses des planètes, données dans les lettres comme résultat d'un calcul, étaient identiques à celles des *Principia* de Newton et avaient évidemment été copiées par un faussaire.

Devant toutes ces accusations, Chasles se défendait pied à pied et rendait coup pour coup. Chaque fois qu'une objection scientifique, historique ou littéraire semblait faire écrouler sa thèse, Chasles répliquait à la séance suivante en exhibant des lettres de contemporains qui répondaient exactement à l'objection. Tous les savants, littérateurs et politiques de l'époque... et même Louis XIV témoignaient en faveur de Pascal. Cette abondance de documents qui arrivaient toujours si fort à propos n'impressionnait pas les physiciens et astronomes de l'Académie qui n'y trouvaient pas de réponse à leurs arguments.

En revanche, la presse nationale s'en faisait l'écho complaisant, à l'exception toutefois du chroniqueur de *La Liberté*, qui avait très tôt flairé l'imposture et accablait de sarcasmes l'Académie enlisée dans une discussion ridicule. En fait, pratiquement tous les académiciens étaient persuadés que Chasles était la victime naïve d'un faussaire, mais le mathématicien était si estimé et si aimé qu'il leur semblait peu convenable de l'empêcher de se défendre. Ils laissèrent donc le débat se poursuivre pendant deux ans.

Et la discussion dérivait sans cesse. Chaque fois qu'une invraisemblance historique ou scientifique était relevée dans une lettre, Chasles, en réponse, tirait de nouveaux documents de son inépuisable portefeuille. Des lettres autographes de Galilée assuraient que Pascal lui avait communiqué sa découverte, et la controverse s'étendit alors à l'authenticité de ces lettres, impliquant les savants italiens.

Nous arrivons à l'été 1869. L'astronome Le Verrier, découvreur de Neptune et directeur de l'Observatoire, résume fidèlement toute l'affaire, au cours de plusieurs séances de l'Académie. Son réquisitoire est impitoyable : toutes les pièces produites sont fausses et la réputation de Newton reste sans tache.



Lettre de Jeanne d'Arc aux parisiens... «Braves parisiens, foyez tous en repos. L'armée de votre Roy arrive devant Parys... Aux parisiens de la part de Johann dicte la Pucelle».

Et puis, en septembre, coup de tonnerre : Chasles annonce qu'il a fait arrêter le fournisseur de ses documents, et présente une justification embarrassée. Le faussaire avait persuadé Chasles que les pièces qu'il lui vendait provenaient de la collection d'un vieil aristocrate désargenté, à laquelle il avait seul accès. Lorsque Chasles faisait part des critiques qui lui étaient faites à son fournisseur d'autographes, ce dernier se mettait à l'œuvre et fabriquait des lettres répondant aux objections, assurant qu'il avait réussi à persuader le vieil homme de s'en défaire.

Le procès du faussaire, un autodidacte sans profession définie, du nom de Vrain Lucas, attira le Tout-Paris. On apprit que Lucas avait vendu à Chasles, pour une petite fortune, 27 000 pièces, écrites en une sorte de vieux français sur du papier vieilli artificiellement. Le naïf savant avait ainsi acheté, outre les lettres de Pascal et de ses contemporains, des lettres de Jeanne d'Arc aux Parisiens, de Ponce Pilate à Tibère, de Sapho à Cicéron, de Socrate à Euclide, de Judas Iscariote à Marie-Madeleine, de Christophe Colomb à Rabelais, etc. Ce fut un grand éclat de rire dans le public.

Vrain Lucas, faussaire génial, fut condamné à deux ans de prison. On ne sut jamais comment il avait réussi à fabriquer autant de documents qui demandaient un travail considérable... ni ce qu'il avait fait de l'argent.

Il reste de cette affaire, certes, qu'un grand savant, fût-il mathématicien, peut être dupé s'il est emporté par une passion, mais aussi que, dans l'ensemble, le public et la presse furent (sont?) tout prêts à croire l'invraisemblable pour peu qu'il flatte le chauvinisme ambiant. Toutefois, à aucun moment, il ne fut question, à l'Académie, de fierté nationale, et si la discussion dura trop longtemps, le sentiment qui domina fut surtout l'indignation devant les soupçons injustifiés que les faux documents avaient fait peser sur Newton.

Jean-Paul POIRIER, physicien à l'Institut de Physique du Globe est l'auteur du livre *Mystification à l'Académie des Sciences*, Éditions Le Pommier, sortie le 27 septembre 2001.

La naissance de la Lune

Des simulations précisent la naissance de notre satellite.

Des missions Apollo, les astronautes ont rapporté des roches de Lune dont, après analyse, la composition chimique s'est révélée identique à celles du manteau terrestre. Toutefois, à la différence de la Terre dont le noyau ferreux est important, la Lune ne contient que très peu de fer et son noyau est très petit. Toute théorie de la formation de la Lune doit expliquer ces deux faits.

Depuis les années 1970, les planétologues pensent que la Lune est apparue à la suite d'une collision entre la Terre et un planétoïde. La chaleur dégagée par l'impact aurait volatilisé le planétoïde et le manteau supérieur de la Terre, propulsant un nuage de matière chaude autour de notre planète. Une partie de cette matière serait retombée sur Terre, tandis que l'autre se serait condensée pour former son satellite.

On suppose que l'impact a eu lieu à la fin de la formation de la Terre, lorsque le fer qu'elle contenait – plus dense que les

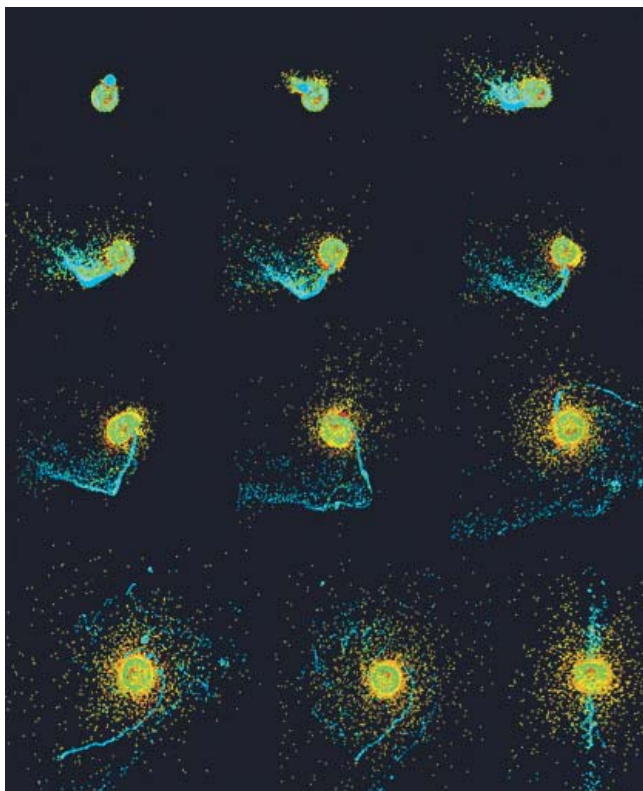
autres éléments – avait déjà migré vers le centre pour y former le noyau. Ainsi, la matière propulsée dans l'espace par l'impact ne contenait que peu de fer et l'hypothèse est compatible avec les compositions respectives de la planète et de son satellite. Toutefois, les simulations numériques réalisées pour étudier cet événement n'aboutissaient jamais, jusqu'ici, à un couple semblable au système Terre-Lune. L'hypothèse de l'impact perdait de sa crédibilité. Or, Robin Canup, du Département d'études spatiales de l'Université de Boulder et Erik Asphaug, du Département des sciences de la Terre de l'Université de Santa Cruz, viennent de réaliser un modèle numérique plus précis qui valide l'hypothèse de l'impact.

Lorsque l'on calcule les conséquences d'un impact entre deux planétoïdes afin de produire un système semblable au couple formé par la Terre et par la Lune, plusieurs difficultés apparaissent : l'énergie et le moment cinétique – la «quantité de rotation» – apportés par la collision doivent être suffisants pour placer en orbite une quantité de matière équivalente à la masse de la Lune. On choisit un «impacteur» massif par rapport à la planète, qu'il percute de biais. Les simulations antérieures n'autorisaient que deux types de configurations. Dans le premier, la masse et la trajectoire de l'impacteur étaient telles que le moment cinétique du couple final était environ deux fois supérieur à celui du système Terre-Lune actuel (la Terre tournerait sur elle-même en à peine plus de deux heures). Il fallait alors imaginer que des impacts ultérieurs avaient fortement réduit la vitesse de rotation. L'autre possibilité conduisait à un moment cinétique proche de celui que l'on connaît aujourd'hui, mais imposait une masse du système (planète et impacteur) inférieure à 65 pour cent de celle de la Terre actuelle. Dans ce cas, la collision devait avoir pris place à une époque plus reculée, lorsque la Terre n'était pas encore entièrement formée et la collision n'expliquait pas l'absence de fer dans la Lune.

Toutefois, après avoir décelé, dans les modèles numériques précédents, plusieurs insuffisances qui pouvaient expliquer ces paradoxes (notamment sur la prise en compte des interactions gravitationnelles), R. Canup et E. Asphaug ont créé un modèle plus complet. La matière en orbite est modélisée par 30 000 particules non ponctuelles, des petits volumes de densité variable ; de cette façon, la matière simulée, plutôt que d'avoir une répartition granulaire, est plus uniforme, même dans les régions de très faible densité. Par ailleurs, leur modèle prend en compte les interactions gravitationnelles entre ces différentes «particules».

Les calculs effectués correspondent à la collision d'une planète semblable à la Terre avec un impacteur environ dix fois plus léger (semblable à Mars). Leur masse totale représente 98 pour cent de celle du système Terre-Lune actuel : on suppose ainsi que la Terre était presque complètement formée. Les angles d'attaque du bolide sont choisis de sorte que le moment cinétique total, étant donné les masses en présence, soit égal à celui du système Terre-Lune. La moyenne des simulations indiquent que la masse de la planète formée est 0,99 fois la masse de la Terre. La masse qui reste en orbite est de l'ordre de 1,7 masse lunaire ; le fer ne représente que deux pour cent de ce nuage et 80 pour cent retombe sur la Terre.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle la Lune s'est formée, il y a 4,5 milliards d'années, par impact d'un planétoïde de la taille de Mars sur une Terre presque entièrement formée reste, aujourd'hui, la plus plausible.



Robin Canup et Erik Asphaug

Évolution de la planète et de son «impacteur» au cours de la première journée du cataclysme qui a donné naissance à la Lune, de 18 minutes après la collision (en haut à gauche) jusqu'à 23 heures après (en bas à droite, où le système est observé par la tranche). Les couleurs des particules de matière représentent leur énergie interne ce qui permet de distinguer la matière condensée (bleu et vert) de la matière à haute énergie interne (rouge) c'est-à-dire fluide, ou condensée sous très haute pression (comme dans les couches interne de la Terre). À la vingt-troisième heure, un disque de poussière est déjà formé et, au cours des années qui suivront, ces poussières s'aggloméreront pour former la Lune.

La force au bout des doigts

Dans la perception des formes par le toucher, les forces de résistance comptent plus que les déplacements de la main.

En explorant des objets avec la main, les yeux fermés, nous reconnaissons sans difficulté une balle, un bol ou une paille. Le toucher est si fin que les non-voyants déchiffrent les lettres en les effleurant seulement du bout des doigts, lisant ainsi le braille.

La perception des formes par le toucher repose sur les informations captées par les doigts et qui parviennent ensemble au cerveau. Par exemple, l'exploration d'une surface plane correspond à une force de résistance uniforme rencontrée par le doigt. La présence d'une bosse se traduit par un mouvement du doigt vers le haut, puis vers le bas. En première approximation, nous pourrions penser que ces mouvements sont responsables de la perception de cette bosse. Toutefois, ils coïncident avec une force de résistance au mouvement, qui varie de façon concomitante avec le mouvement : quand la pente augmente, la force de résistance croît, par exemple. Dans le monde des objets réels, la force de résistance et le mouvement obéissent aux lois de la méca-

nique, mais leurs rôles respectifs dans la perception des formes par le toucher sont mal connus.

Pour éclaircir ce point, nous avons mis au point un dispositif de réalité virtuelle, fondé sur un mécanisme à retour de force, lequel procure des sensations tactiles contrôlables. Ce dispositif, dit haptique, combine des objets virtuels et réels : le sujet suit avec le doigt la forme d'un objet réel, mais des objets virtuels sont représentés indépendamment de la géométrie de l'objet réel par l'intermédiaire d'un poussoir produisant des forces de résistance programmables.

Le sujet est assis derrière un rideau opaque qui l'empêche de voir sa main et il pose le doigt sur le dispositif, qu'il déplace au-dessus d'un objet réel, un creux, une bosse ou une surface plane. Son doigt monte et descend avec la géométrie de la surface.

Simultanément, le dispositif de simulation impose au doigt des forces de résistance sans rapport avec l'objet réel, mais qui simulent un autre objet. Ainsi, la force virtuelle peut imposer une sensation de résistance (comme dans une montée) alors que le doigt est, en fait, en train de descendre. Pour simuler les forces de résistance de tels objets, nous avons mesuré la composante verticale de la force appliquée par un sujet sur des objets réels, et nous avons programmé le dispositif haptique pour que la résultante totale des forces corresponde à celle de l'objet virtuel. Ce dispositif réalisé, nous demandons aux sujets quelle forme ils perçoivent pour chaque combinaison d'objets réels et virtuels proposée.

Dans la majorité des cas, les sujets perçoivent la forme de l'objet virtuel ! Ils sont donc plus sensibles aux forces de résistance qu'ils rencontrent, qu'à la géométrie des objets décrite par les mouvements de leur doigt. Nous ne connaissons pas encore bien les mécanismes perceptifs qui produisent cet effet, ni ses limites.

Toutefois, on peut d'ores et déjà envisager des applications, dans les simulateurs d'opérations chirurgicales, par exemple. Les chirurgiens se servent de tels dispositifs pour s'entraîner à des opérations délicates. Ces simulateurs cherchent à reproduire l'ensemble des sensations perçues lors d'une intervention. Désormais, les concepteurs de ces simulateurs seront plus attentifs aux forces de résistance rencontrées lorsqu'on explore un objet qu'à sa géométrie réelle.

G. ROBLES-DE-LA-TORRE et V. HAYMARD,
Centre des machines intelligentes,
Université McGill, Montréal

BRÈVES

Mandibule humaine de 450 000 ans

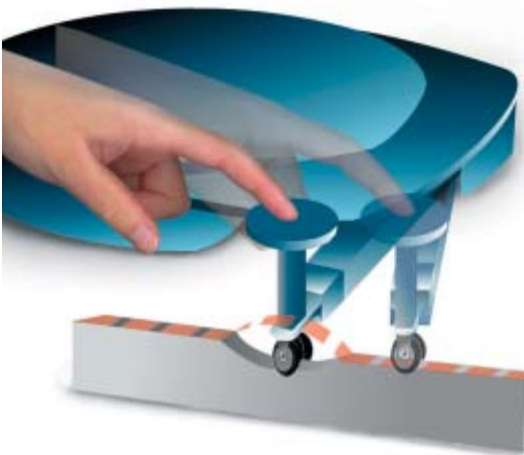
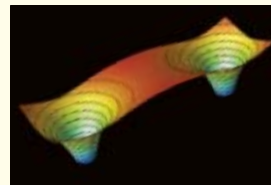
Dans la grotte de l'Argo, à Tautavel, les paléontologues ont découvert une mandibule d'*Homo erectus* complète, vieille de 450 000 ans. Les neuf dents peu usées indiquent que la mandibule était probablement celle d'une jeune fille âgée de 17 ans environ. À l'époque où elle a vécu, l'endroit était occupé par des chasseurs de grands herbivores (chevaux, rhinocéros, cerfs et rennes), comme en témoignent les ossements d'animaux et les restes d'outils préhistoriques découverts à proximité. Auparavant, le continent européen n'avait livré que trois mandibules d'hommes antérieurs aux néandertaliens : deux à Tautavel et une en Allemagne.

Du sang à la souche

Les cellules souches sont des cellules «originelles» dont la destinée n'est pas encore déterminée : elles peuvent se «différencier» en chacun des 220 types de cellules de l'organisme humain. Toutefois, la spécialisation «sur commande» de ces cellules en un type cellulaire particulier est difficile. L'équipe de Dan Kaufman, de l'Université du Wisconsin, a réussi à fabriquer des cellules sanguines (des globules rouges, des globules blancs et des plaquettes) à partir de cellules souches embryonnaires dites hématopoïétiques. Ces résultats ouvrent des voies nouvelles pour la production de substituts sanguins.

Trou noir

Lorsque deux trous noirs gravitent l'un autour de l'autre, ils impriment à l'espace-temps une déformation comparable à celle que subit une pâte sous l'action des pâles d'un robot mixeur. Cette déformation s'éloigne du couple sous la forme d'ondes gravitationnelles. Trois interféromètres géants, deux américains et un franco-italien, vont entrer en fonction au cours des années 2002-2004 pour tenter de détecter de telles ondes. Toutefois, les effets attendus sont faibles, et les astrophysiciens auront besoin de connaître à l'avance l'allure du signal attendu pour pouvoir l'extraire du bruit de fond. Éricourgoulhon et Philippe Grandclément, à l'Observatoire de Paris, viennent de réaliser la première simulation complète du mouvement de deux trous noirs gravitant l'un autour de l'autre sur des trajectoires initialement circulaires. Ce premier modèle va servir de condition initiale pour calculer la suite de l'évolution du système.



Dans l'expérience, le sujet explore une surface par l'intermédiaire d'un poussoir. Son doigt suit ainsi la géométrie d'un objet réel, ici un trou (en gris) à l'aide du poussoir, mais ressent en même temps des forces de résistance «contradictoires» qui correspondent à une bosse virtuelle (en pointillés orange). Au final, il perçoit la bosse et non le trou. Dans la perception des formes par le toucher, les forces de résistance comptent plus que les mouvements des doigts.