

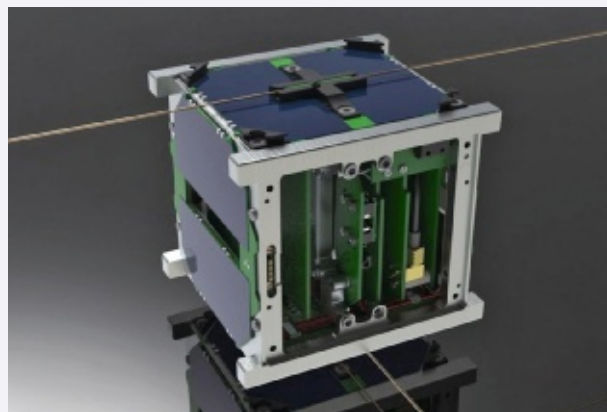
XaTcobeo, Robusta & co : les CubeSats européens

Avant la fin de l'année, le nouveau lanceur européen VEGA mettra sur orbite 9 CubeSats retenus parmi 22 candidats, tous conçus et fabriqués par des universités européennes. Le succès de cet appel à projets de l'Agence spatiale européenne montre que l'Europe n'est pas en reste : le phénomène CubeSat a initié un bouillon de culture technologique et scientifique d'où pourrait bien émerger la technologie spatiale de demain.

Limités en masse et en puissance, les CubeSats sont condamnés à l'innovation. Loin de brider la créativité, le standard CubeSat se trouve décliné en d'innombrables solutions technologiques au service d'une grande variété de missions, de la démonstration technologique aux véritables missions scientifiques. Ainsi, le CubeSat *XaTcobeo*, de l'Université de Vigo, en Espagne, va tester un système de déploiement de panneaux solaires et d'une antenne, ainsi qu'un dispositif de mesure des rayonnements ionisants et un nouveau système radio. Le CubeSat *E-ST@R*, de l'École polytechnique de Turin, en Italie, testera quant à lui un système de contrôle et de détermination de l'attitude du CubeSat. De même, *OUFTI-1*, de l'Université de Liège, en Belgi-

que, et *UWE-3*, de l'Université de Würzburg, en Allemagne, testeront diverses innovations techniques. Les CubeSats italiens *UNICubeSAT*, de l'Université de Rome, et *AtmoCube*, de l'Université de Trieste, vont étudier l'atmosphère terrestre au-dessus de 350 kilomètres d'altitude, tandis que *Goliat*, de l'Université de Bucarest, en Roumanie, prendra des photos de la Terre et détectera les micrométéorites et les rayons cosmiques.

Aujourd'hui, la communauté des CubeSats doit faire face à de nouveaux défis liés à l'accumulation des débris et à la saturation des orbites : la charte des débris spatiaux, dont la France est signataire, impose que tout satellite lancé soit désorbité en moins de 25 ans. Or, si un satellite placé sur une orbite basse redescend en quelques mois, ceux placés sur des orbites supérieures nécessitent une manœuvre de désorbitation que peu de CubeSats sont aujourd'hui capables d'effectuer. Plusieurs projets européens étudient cet aspect : l'Association française des radioamateurs AMSAT-F encadre *Libellule*, un projet étudiant de voile solaire qui se déploiera sur un triple CubeSat pour le freiner et le désorbiter. *PW-Sat*, de l'Université de technologie de Var-



Le CubeSat *Robusta*, de l'Université Montpellier 2.

sovie, en Pologne, testera un système similaire.

En outre, les CubeSats sont souvent construits à partir de composants commerciaux dont la fiabilité n'est pas garantie, vis-à-vis des rayonnements ionisants en particulier. De ce fait, l'espérance de vie d'un CubeSat est de quelques mois pour une occupation d'orbite de plusieurs années. En France, à l'Université Montpellier 2, le groupe RADIAC de l'Institut d'électronique du Sud (IES, UMR 5214, CNRS) étudie les effets des rayonnements ionisants sur les composants électroniques. De ces travaux est né *Robusta*, le premier CubeSat français. Pour répondre à l'appel à idée *Expresso* du

CNES, plusieurs composantes de l'université (la Faculté des sciences, l'IUT de Nîmes, l'école Polytech Montpellier) et trois unités mixtes de recherche Université Montpellier 2-CNRS (IES, LIRMM, LMGC) ont mis leur savoir-faire en commun. Le CubeSat *Robusta*, qui embarquera sur VEGA, validera dans l'environnement radiatif spatial réel une méthode de test des composants mise au point à l'IES. Parrainé par le CNES, *Robusta* est un projet d'enseignement et de recherche auquel plus de 250 étudiants de tous niveaux ont déjà participé.

Laurent Dusseau

Professeur à l'Univ. Montpellier 2
Coordinateur du projet *Robusta*

satellites traverseront l'atmosphère polaire, les scientifiques regarderont comment leurs orbites se dégradent ; ils espèrent ainsi mieux prédire la relation entre la thermosphère et l'activité solaire.

Place aux amateurs !

De façon générale, il est rare qu'un CubeSat soit envoyé seul, car sa petite taille et la faiblesse de son système de communication limitent fortement la quantité de données qu'il pourra recueillir. C'est notamment pour cette raison que la plupart des missions ont été effectuées avec des cubes doubles ou triples, et que les scientifiques expérimentent maintenant le déploiement de réseaux de CubeSats où les satellites se coordonnent et coopèrent, comme des oiseaux qui s'assemblent en vol pour migrer. Les développeurs travaillent sur les communications intersatellites, des systèmes permettant le vol en formation, et même

des câbles de plusieurs kilomètres pour maintenir les satellites groupés.

La DARPA (l'Agence américaine des projets de recherche avancée sur la défense), quant à elle, parraine un projet de recherche de 75 millions de dollars sur les réseaux de CubeSats pour comprendre dans quelles circonstances les CubeSats seraient à même de remplacer les satellites classiques. Des constellations stables de CubeSats pourraient même fournir une alternative aux grands instruments : Gil Moore, professeur émérite à l'Université d'État de l'Utah, nous voit bientôt capables de déployer de grands réseaux éparpillés qui remplaceront les télescopes spatiaux *Hubble* et *Webb*.

Pour étendre encore les capacités des CubeSats, Paulo Lozano, de l'Institut de technologie du Massachusetts, a développé un minuscule système de propulsion électronique qui permettrait aux CubeSats de changer d'orbite. D'autres

travaillent sur l'impression de composants de CubeSats pour réduire les coûts.

À terme, prédit Andrew Kalman, président et architecte technique en chef de la Société *Pumpkin*, les CubeSats seront pour les scientifiques comme des ordinateurs personnels, des fondations sur lesquelles les individus construiront leurs propres applications. Cette idée en suggère une autre encore plus révolutionnaire : si les CubeSats deviennent les ordinateurs personnels de la science spatiale (bon marché, flexibles, banalisés et standardisés), l'espace sera accessible aux amateurs. Cela pourrait arriver très vite : la jeune entreprise spatiale *Interorbital Systems* de Mojave, en Californie, projette d'offrir des kits de CubeSats et des lancements en orbite basse pour moins de 7000 euros. « Les amateurs auront une chance de participer », commente J. Puig-Suari. « Les gens vont commencer à construire leurs propres mini-*Hubble*. »

À découvrir en kiosque

et sur www.pourlascience.fr



La matière connue n'est qu'une goutte d'eau dans l'Univers. De quoi celui-ci est-il majoritairement constitué ? Que sont ces étranges matière noire et énergie sombre ? Comment imaginer le début et la fin de l'Univers ? Un titre indispensable pour faire le point sur les grandes questions de cosmologie.

→ Feuilletez les premières pages sur pourlascience.fr

HISTOIRE DES SCIENCES

L'élan de Jefferson sauve la réputation de l'Amérique

Alors que les États-Unis se construisaient en tant que nation, Thomas Jefferson combattit l'image d'une Amérique dégénérée, créée par le naturaliste Buffon et ses disciples européens.

Lee DUGATKIN

Thomas Jefferson est surtout connu pour être l'auteur principal de la Déclaration d'indépendance des États-Unis (1776). Mais cet homme politique et homme d'État (président des États-Unis entre 1801 et 1809) était aussi un scientifique. Jefferson a ainsi consacré une grande partie de son énergie à discréditer une idée répandue en Europe, selon laquelle l'Amérique était une terre dégénérée. Cette dégénérescence était, disait-on de l'autre côté de l'Atlantique, évidente de par la flore, la faune et la population américaines, toutes faibles et rabougries.

Jefferson était mû par bien plus que de la fierté : avec d'autres fondateurs de la nation, il pensait que la croissance et la prospérité de leur pays dépendaient de l'issue de cette bataille. Celle-ci fut suffisamment importante pour être mentionnée lors des funérailles de Jefferson en 1826 : dans son panégyrique, le sénateur de l'État de New York compara cette campagne à une seconde proclamation d'indépendance. Comment est apparue en Europe cette idée de dégénérescence de l'Amérique ? Comment Jefferson la démonta-t-il ? Nous verrons que la bataille s'est achevée grâce à... un spécimen d'original, l'élan d'Amérique du Nord.

La croyance européenne en une infériorité de l'Amérique est issue, dans une large mesure, du naturaliste le plus influent du XVIII^e siècle, le Français Georges Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788). Auteur d'une *Histoire naturelle* en 36 volumes (de 1749 à 1789), Buffon souhaitait fournir « la description complète & l'histoire exacte de chaque chose en particulier » sur Terre. Son *Histoire naturelle* a connu un immense succès et est devenue le sujet de conversation des

salons parisiens ; elle a été traduite en anglais, en allemand et en néerlandais. L'attitude française vis-à-vis de l'Amérique est née et a été entretenue dans les cercles philosophiques qui entouraient Buffon, explique l'historien Philippe Roger en 2002 dans un essai sur l'anti-américanisme français.

La théorie de la dégénérescence

Dans les volumes IX et XIV de son *Histoire naturelle*, parus en 1761 et en 1766, Buffon soutient que la plupart des animaux – et des hommes – sont plus petits dans les Amériques que dans l'Ancien Monde à cause de conditions plus froides et plus humides. Certes, concède Buffon, les grenouilles et les insectes sont plus grands en Amérique : certaines grenouilles pèsent jusqu'à 16 kilogrammes. Mais pour lui, ces exceptions ne font que confirmer la règle de la dégénérescence : qu'y a-t-il de plus répugnant qu'une grenouille ou un moustique énormes ?

Buffon s'appuie sur quatre assertions : les animaux présents dans les deux hémisphères sont plus petits et plus faibles dans le Nouveau Monde ; les animaux qui vivent uniquement dans le Nouveau Monde sont plus petits que les espèces similaires de l'Ancien Monde ; le Nouveau Monde compte moins d'espèces ; enfin, le Nouveau Monde provoque une dégénérescence du bétail.

Les lecteurs de l'*Histoire naturelle* apprennent ainsi que les brebis élevées dans le Nouveau Monde sont « plus maigres, et les moutons ont en général la chair moins succulente et moins tendre qu'en Europe », que le Nouveau Monde n'héberge que la moitié des espèces de l'Ancien Monde et que

celles-ci constituent un ensemble hétéroclite. Buffon soutient même que la plupart des oiseaux américains ne peuvent chanter – un mensonge fondé sur un vers d'un poème de Oliver Goldsmith (1769) sur la nature sauvage de la Géorgie : « Ces bois enchevêtrés, où les oiseaux oublient de chanter. »

Après les animaux, Buffon décrit les populations indigènes. Selon lui, les Amérindiens n'ont « nulle vivacité, nulle activité dans l'ame ». Ils sont « une espèce d'automate impuissant, incapable de réformer [la nature] ou de la seconder ». Ainsi, pour Buffon, les Américains autochtones sont responsables du triste spectacle offert par le reste des occupants du Nouveau Monde. N'ayant pas réussi à apprivoiser la nature, ils n'ont pas su produire un environnement favorable à la formation de spécimens animaux plus robustes.

Buffon n'a jamais quitté l'Europe. Il s'appuie sur les publications d'histoire naturelle et sur les comptes rendus des voyageurs. Une pratique courante à l'époque : les commerçants et les missionnaires prennent des notes sur les animaux qu'ils rencontrent, en particulier les espèces inconnues. Buffon compare et synthétise ces notes. Ce système comportait des failles évidentes – des histoires invraisemblables –, ce que Buffon admettait. Par exemple, un certain Peter Kalm, envoyé par l'Académie suédoise pour étudier l'histoire naturelle de l'Amérique, a prétendu avoir vu un ours tuer une vache en la mordant, puis en soufflant dans la blessure jusqu'à ce que la vache explose et meure. Comparés à ces fictions, des rapports moins extrêmes devaient être faciles à accepter, et Buffon a utilisé nombre de telles informations comme preuve de dégénérescence dans son *Histoire naturelle*.

Pour les descendants spirituels de Buffon – tels l'abbé prussien Cornelius de Pauw et l'abbé français Guillaume-Thomas Raynal –, la dégradation touche tout ce qui vit dans le Nouveau Monde. Le seul point faible de la théorie de Buffon, selon eux, est qu'elle ne va pas assez loin. Ils l'étendent à tous les Américains, y compris les Européens émigrés et leurs descendants. De Pauw soutient que les chiens américains sont muets. Confident de Frédéric le Grand, qui voulait décourager les entreprises européennes dans le Nouveau Monde pour laisser le champ libre aux Prussiens, de Pauw avait très probablement des motifs personnels pour se livrer à une telle propagande.

Raynal est un personnage plus respecté et complexe que de Pauw. Dans son *Histoire philosophique et politique des établissements et du commerce des Européens dans les deux Indes* (volume 7), publiée au début des années 1770, il écrit : « On doit être étonné que l'Amérique n'ait pas encore produit un bon poète, un habile mathématicien, un homme de génie dans un seul art, ou une seule science. » Raynal a cependant révisé son opinion dès la fin des années 1760, après un dîner avec Benjamin Franklin et d'autres Français et Américains.

L'astuce de Franklin

Benjamin Franklin est alors un scientifique renommé. Ses travaux sur la foudre, publiés en 1752 à la *Royal Society* londonienne, sont un classique. Lors du repas, raconte Jefferson en 1818 dans une lettre, Raynal « en vint à sa théorie favorite sur la dégénérescence des animaux, et même de l'homme, en Amérique ». Franklin eut alors l'idée d'un test impromptu sur les effets du Nouveau Monde. Ayant remarqué que les Américains se trouvaient d'un côté de la table et les Français de l'autre, il proposa : « Levons-nous tous, et nous verrons de quel côté la nature a dégénéré. » Les Américains étaient plus grands, et l'abbé lui-même « n'était qu'un nabot ».

L'AUTEUR



Lee DUGATKIN est professeur au Département de biologie de l'Université de Louisville, dans le Kentucky, aux États-Unis.

1. JEFFERSON VOYAIT DANS L'ORIGINAL (ou élan, ci-dessous) une preuve décisive contre l'idée répandue en Europe selon laquelle la faune américaine était petite et faible. Buffon, un des auteurs de cette théorie, avait écrit dans son *Histoire naturelle* que « l'original [...] est le même animal que l'élan, mais [...] n'est pas si grand ».



Photo: Richard Ross

Raynal publie quand même son *Histoire philosophique et politique*. Dans la troisième édition, cependant, il renonce à sa vision dégénérée de l'Amérique. L'idée est toutefois déjà bien établie dans l'esprit des Européens.

Jefferson contrecarre le comte

C'était une chose de voir les Américains comme des parvenus, des mécontents et des menaces contre la monarchie — après tout, ils l'étaient. C'en était une autre de dire que toutes les formes de vie en Amérique, y compris ses populations indigènes et ses immigrants européens, étaient dégénérées. Jefferson, le plus francophile des pères fondateurs (il sera ambassadeur en France entre 1785 et 1789), se fait donc violence pour réfuter Buffon et ses partisans. Il attaque Buffon avec un ensemble imparable de faits. Dans ses *Notes sur l'État de Virginie*, écrites en 1781 quand

il était gouverneur de cet État, et publiées en France en 1785, puis aux États-Unis en 1787, il démantèle point par point la théorie de la dégénérescence. Il y inclut des tableaux comparant des mesures de la taille des animaux qui réfutent la thèse de Buffon. Il soutient que les idées du comte sont mal fondées et les données qu'il a recueillies auprès des voyageurs inexacts.

Existe-t-il la moindre preuve, demande Jefferson, que les environnements de l'Ancien et du Nouveau Monde sont si différents ? « Comme si les deux côtés n'étaient pas réchauffés par le même bienveillant soleil ; comme si un sol de la même composition chimique était moins susceptible de produire des nutriments pour les animaux ; comme si les fruits et les graines issus de ce sol et du soleil [...] conféraient moins de croissance aux solides et aux fluides du corps, ou produisaient plus tôt dans les cartilages, les membranes et les fibres cette rigidité qui freine tout développement ultérieur et met fin à la

croissance d'un animal. » La vérité, écrit Jefferson, « est qu'un Pygmée et un Patagonien, une souris et un mammoth doivent leur taille aux mêmes substances nutritives ».

Jefferson n'est pas le seul père fondateur à s'insurger. Pour son ami John Adams, les idées de de Pauw sont « des rêves méprisables ». Franklin, quant à lui, conteste l'argument de l'humidité. Il parcourt le monde en collectant une masse de données et, en 1780, conclut que l'humidité, la cause supposée de la dégénérescence, est plus élevée en Europe que dans les colonies américaines.

Alexander Hamilton, l'un des futurs rédacteurs de la Constitution américaine, qui craint que la théorie de la dégénérescence n'étouffe les relations commerciales, défend l'Amérique dans *Le Fédéraliste*, un recueil d'articles visant à promouvoir l'idée d'une constitution américaine ; l'unique note de bas de page du 11^e numéro est une réfutation de l'assertion absurde de de Pauw selon laquelle les chiens américains n'aboieraient pas.

Et James Madison, qui deviendra le successeur de Jefferson à la présidence des États-Unis, s'est même improvisé assistant de recherche. En juin 1786, il conclut une lettre envoyée à Jefferson par une discussion sur les belettes, complétée de mesures : les espèces américaines sont aussi grandes que leurs équivalents européens. Madison écrit à son mentor que cette découverte « contredit avec certitude l'assertion [de Buffon] selon laquelle, parmi les animaux vivant sur les deux continents, ceux du nouveau sont toujours plus petits que ceux de l'ancien ». Pour les deux hommes, combattre Buffon était manifestement aussi important que l'élaboration d'une convention constitutionnelle ou que les besoins du trésor public de leur nouvelle nation.

Jefferson pensait que le démantèlement méthodique de la théorie de la dégénérescence dans ses *Notes sur l'État de Virginie* permettrait aux gens de rejeter ces inepties. Il souhaitait convaincre Buffon lui-même de revenir sur sa théorie. Ainsi, avant de partir pour la France en tant qu'ambassadeur, il est déterminé à présenter à Buffon un animal américain si impressionnant qu'il force cette sommité française à changer d'opinion. C'est là qu'entre en scène *Alces*

Le Nouveau Monde selon Buffon

« Dans le nouveau continent les animaux des provinces méridionales sont tous très-petits en comparaison des animaux des pays chauds de l'ancien continent. Il n'y a en effet nulle comparaison pour la grandeur de l'éléphant, du rhinocéros, de l'hippopotame, de la giraffe, du chameau, du lion, du tigre, etc. tous animaux naturels et propres à l'ancien continent, et du tapir, du cabiai, du fourmillier, du lama, du puma, du jaguar, etc. qui sont les plus grands animaux du nouveau monde ; les premiers sont quatre, six, huit et dix fois plus gros que les derniers.

Une autre observation qui vient encore à l'appui de ce fait général, c'est que tous les animaux qui ont été transportés d'Europe en Amérique, comme les chevaux, les ânes, les bœufs, les brebis, les chèvres, les co-

chons, les chiens, etc. tous ces animaux, dis-je, y sont devenus plus petits ; et que ceux [...] qui sont communs aux deux mondes, tels que les loups, les renards, les cerfs, les chevreuils, les élans sont aussi considérablement plus petits en Amérique qu'en Europe, et cela sans aucune exception.

Il y a donc dans la combinaison des éléments et des autres causes physiques, quelque chose de contraire à l'agrandissement de la Nature vivante dans ce nouveau monde ; il y a des obstacles au développement et peut-être à la formation des grands germes ; ceux mêmes qui, par les douces influences d'un autre climat, ont reçu leur forme plénière et leur extension toute entière, se resserrent, se rapetissent sous ce ciel avaro et dans cette terre vuide, où l'homme en petit nombre étoit épars, errant ;

où loin d'être en maître de ce territoire comme de son domaine, il n'avoit nul empire ; où ne s'étant jamais soumis ni les animaux ni les éléments, n'ayant ni dompté les mers, ni dirigé les fleuves, ni travaillé la terre, il n'étoit en lui-même qu'un animal du premier rang, et n'existoit pour la Nature que comme un être sans conséquence, une espèce d'automate impuissant, incapable de la réformer ou de la seconder [...]. Car quoique le Sauvage du nouveau monde soit à peu près de même stature que l'homme de notre monde, cela ne suffit pas pour qu'il puisse faire une exception au fait général du rapetissement de la Nature vivante dans tout ce continent : le Sauvage est foible et petit par les organes de la génération. »

Buffon, *Histoire naturelle*, vol. IX, p. 102

alces, l'orignal (nommé élan en Europe), le plus grand des cervidés.

Jefferson commence sa recherche d'un grand orignal en envoyant à ses amis une étude en 16 points sur les habitudes, la taille et l'histoire naturelle de l'animal. Il fait savoir que si des chasseurs pouvaient lui procurer le squelette d'un orignal géant, il leur serait profondément redevable. Le gouverneur du New Hampshire, John Sullivan, général pendant la guerre de l'Indépendance, lui répond avec enthousiasme et s'attèle à la tâche.

Après son arrivée en France, Jefferson obtient une invitation à rencontrer Buffon. Leur conversation porte sur de nombreux sujets, y compris la théorie de la dégénérescence. Jefferson dit au comte que « le renne européen pourrait passer sous le ventre de notre orignal ». Jefferson sort de la réunion avec l'impression que Buffon céderait si seulement il voyait un énorme orignal.

Enfin, au cours de l'hiver 1786-1787, Jefferson reçoit de bonnes nouvelles : Sullivan s'est procuré les restes d'un orignal auprès d'un certain capitaine Colburn, qui a tué un spécimen de plus de 2,10 mètres dans le Vermont. Il faut 14 jours à une équipe de plusieurs hommes pour amener l'orignal au domicile de Sullivan. Sullivan engage alors un capitaine de navire pour que celui-ci embarque l'orignal lors de son prochain voyage transatlantique.

Tout se déroule selon le plan prévu, mais, pour une raison inconnue, l'orignal reste à quai lorsque le bateau prend la mer. Sullivan envoie la mauvaise nouvelle. Désespéré, Jefferson écrit à un ami que « la caisse, les os, tout a disparu ; ainsi, ce chapitre de l'histoire naturelle restera encore une page blanche ». Il ignore encore que Sullivan a récupéré l'orignal et a engagé un autre navire. Le spécimen arrive à Paris vers le 1^{er} octobre 1787.

Triomphal, Jefferson souhaite apporter l'orignal à Buffon en personne, mais ce dernier, malade, ne reçoit pas de visiteurs. Il envoie donc l'orignal à l'assistant de Buffon. Le comte vit apparemment l'orignal, car Jefferson écrit que cet animal géant avait « convaincu Monsieur Buffon. Il a promis dans son prochain volume de rétablir l'exactitude de ces choses ». Six mois plus tard, cependant, Buffon décédait sans avoir publié aucune révi-

sion de sa théorie. L'*Histoire naturelle*, si influente, était ainsi vouée à promouvoir la théorie d'un Nouveau Monde dégénéré.

L'idée d'une Amérique dégénérée a persisté et évolué pendant une soixantaine d'années avant de laisser place à un anti-américanisme général. Deux factions se sont constituées. En Europe, le philosophe allemand Emmanuel Kant et le poète anglais John Keats acceptaient la dégénérescence dans son ensemble. Keats décrivait l'Amérique comme le seul endroit où « la Grande Nature infaillible semble pour une fois s'être trompée ». Kant, manquant ici de raison pure, écrivait de de Pauw que « même si neuf dixièmes de son matériel ne sont pas étayés ou sont incorrects, cet effort d'intelligence même mérite des éloges et une émulation ».

Le nouveau mythe américain

Sur le continent américain, Jefferson compte parmi ses partisans les écrivains lord Byron, Washington Irving et Henry David Thoreau, et le géographe Jedidiah Morse (le père de l'inventeur du télégraphe électrique, Samuel Morse). Byron appelait l'Amérique « un grand climat ». Irving mettait en pièces la théorie de Buffon dans *The Sketchbook of Geoffrey Crayon*, écrivant qu'il « allait visiter ce pays merveilleux [l'Europe] et voir cette race gigantesque à partir de laquelle j'ai dégénéré ». Thoreau a utilisé son ouvrage *Walking* comme une tribune « pour s'opposer au compte rendu de Buffon sur cette partie du monde et ses productions ». Et Morse discrédita la théorie de la dégénérescence dans les dix premières pages de son manuel de géographie, qui fut lu par la première génération d'écoliers de la nouvelle nation américaine.

Réagissant à cette idée de l'infériorité du Nouveau Monde, ces écrivains américains ont forgé un récit contradictoire, décrivant l'Amérique comme une région magnifique, vaste, riche en ressources et peuplée d'individus robustes. L'identité américaine à ce jour – et les réactions du reste du monde à cette image de soi moderne – pourrait remonter en partie à la destruction par Jefferson, ses pairs et ses successeurs, du mythe d'une dégénérescence biologique en Amérique. ■



2. GEORGES LOUIS LECLERC, comte de Buffon.



3. THOMAS JEFFERSON.

✓ À ÉCOUTER

Jeudi 16 juin 2011, Stéphane Schmitt (REHSEIS), spécialiste de Buffon, évoquera la controverse dans l'émission **La marche des sciences**, sur *France Culture* de 14h à 15h. www.franceculture.com

✓ BIBLIOGRAPHIE

L. A. Dugatkin, *Mr. Jefferson and the Giant Moose : Natural History in Early America*, University of Chicago Press, 2009.

Buffon, *Œuvres*, La Pléiade, Gallimard, 2007.

Buffon, *Histoire naturelle*, 1749-1804, édition en ligne : <http://www.buffon.cnrs.fr/>

LOGIQUE & CALCUL

Le calculateur amnésique

*Un calculateur sans mémoire est-il sérieusement limité ?
Les résultats de l'algorithmique in situ montrent que non :
avec un peu d'astuce, il s'en sortira toujours.*

Jean-Paul DELAHAYE

*J'ai la mémoire qui flanche
Je me souviens plus très bien
De quelle couleur étaient ses yeux
Je crois pas qu'ils étaient bleus
Étaient-ils verts ? Étaient-ils gris ?
Étaient-ils vert-de-gris ?
Ou changeaient-ils tout le temps de couleur
Pour un non, pour un oui ...
Jeanne Moreau, Cyrus Bassiak
et François Rauber*

Si vous avez déjà écrit des programmes informatiques, vous avez nécessairement été confronté au problème suivant : deux nombres sont stockés dans les variables A et B , par exemple $A = 44$ et $B = 13$, et vous voulez échanger le contenu de A et B pour obtenir $A = 13$ et $B = 44$. La méthode classique, que tout le monde réinvente, consiste à utiliser une variable C et à écrire la séquence de trois instructions : $C := A$; $A := B$; $B := C$.

Le signe $:=$ est celui de l'affectation. L'instruction $X := Y$ signifie que nous lisons le contenu de Y et que nous le mettons dans X , ce qui efface le contenu de X sans changer celui de Y . Cette séquence de trois affectations pour l'échange de deux valeurs exige l'utilisation d'une variable C supplémentaire. Or nous pouvons échapper à l'introduction de ce complément de mémoire par la séquence suivante : $A := A + B$; $B := A - B$; $A := A - B$. Le déroulement du calcul donne :

	A	B
Au départ :	44	13
Après $A := A + B$:	57	13
Après $B := A - B$:	57	44
Après $A := A - B$:	13	44

La suite d'instructions est valable avec n'importe quelles valeurs à la place de 44 et 13. Elle fonctionne aussi avec des valeurs booléennes où les signes $+$ et $-$ sont remplacés par xor qui désigne l'opération « ou exclusif » ($0 \text{ xor } 0 = 0$; $0 \text{ xor } 1 = 1$; $1 \text{ xor } 0 = 1$; $1 \text{ xor } 1 = 0$). La suite d'instructions est :

$A := A \text{ xor } B$; $B := A \text{ xor } B$; $A := A \text{ xor } B$, où A et B valent 0 ou 1.

Vérifions que la séquence permute bien les valeurs de A et B en examinant l'effet de chaque opération. La première affectation met $[A \text{ xor } B]$ dans A . La deuxième met donc $[(A \text{ xor } B) \text{ xor } B]$ dans B ; mais, d'après l'associativité du xor , cela vaut $[A \text{ xor } (B \text{ xor } B)]$ c'est-à-dire A , puisque $(B \text{ xor } B) = 0$ et que $A \text{ xor } 0 = A$. La troisième affectation met donc $[A \text{ xor } B]$ dans A ; comme $(A \text{ xor } B) \text{ xor } A = [A \text{ xor } (B \text{ xor } A)]$, cela donne, par commutativité, $[A \text{ xor } (A \text{ xor } B)] = [(A \text{ xor } A) \text{ xor } B] = [0 \text{ xor } B] = B$. Il y a bien échange.

Ce type de calcul est dénommé calcul *in situ* ou *calcul sans mémoire*. L'idée est d'opérer les calculs sans faire appel à des variables de stockage autres que celles qui communiquent les données au programme, que l'on utilise pour calculer et pour placer les résultats une fois les opérations terminées. L'étude de ce calcul *in situ* a pour fonction d'identifier ce que peut calculer un amnésique qui, ne disposant de rien d'autre que l'espace mémoire des données du calcul, le réutilise car il n'a en propre aucune mémoire à sa disposition.

Avant de donner des détails sur les résultats obtenus par les chercheurs qui étudient

cette algorithmique *in situ*, et pour bien en mesurer la difficulté, posons-nous une petite énigme.

Considérons une permutation circulaire de trois données A, B, C , où l'on cherche à passer de $A = 3, B = 50, C = 700$ à $A = 50, B = 700, C = 3$. Nous voulons pour ce faire utiliser un programme *in situ*, c'est-à-dire n'utilisant aucune autre variable que A, B et C , et bien sûr nous voulons qu'il fonctionne pour tout jeu de données.

Permutation circulaire de trois valeurs

En voici un, avec le détail de l'état de chacune des variables lors du calcul :

	A	B	C
	3	50	700
$A := A + B$	53	50	700
$B := B + C$	53	750	700
$C := A - B + C$	53	750	3
$B := B - A + C$	53	700	3
$A := A - C$	50	700	3

En remplaçant les $+$ et les $-$ par des xor , on obtient, comme précédemment, un programme pour variables booléennes. Une autre méthode aurait consisté à échanger les valeurs de A et B , puis à échanger les valeurs de B et C en utilisant deux fois la méthode vue précédemment. Cela aurait nécessité six affectations alors que notre proposition n'en utilise que cinq. Peut-on faire mieux que cinq affectations ? La solution est donnée dans l'encadré ci-contre.

Expliquons maintenant avec plus de détails ce que les chercheurs dénomment calcul *in situ*. Un ensemble fini S est donné