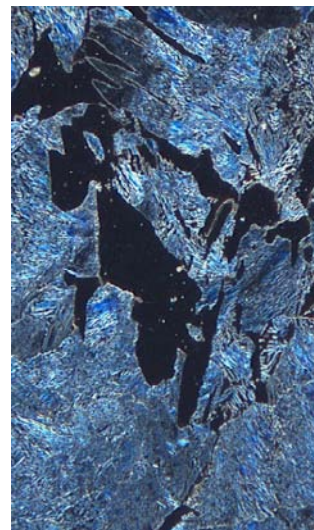


Archéologie

L'acier des cathédrales : squelette ou béquille ?

La datation des renforts métalliques de cathédrales gothiques révèle qu'ils ont parfois été prévus dès la conception.



Dans la cathédrale de Beauvais, des tirants métalliques empêchent les arcs-boutants qui soutiennent les murs du chœur de s'écarter. À droite, un fragment d'acier de la cathédrale vu au microscope (les parties bleues renferment un mélange de fer et de carbone).

Dans les années 1960, l'architecte Jean-Pierre Paquet a fait retirer les barres métalliques fixées entre les arcs-boutants (les piliers courbes soutenant les murs à l'extérieur) de la cathédrale de Beauvais. Il les trouvait inutiles et disgracieuses, et ne les pensait pas d'origine.

À l'instar de celle de Beauvais, la plupart des cathédrales gothiques intègrent des éléments en acier, tels des tirants (des barres fixées entre les piliers ou les murs pour éviter qu'ils ne s'écarterent). Ont-ils été prévus dès la conception ou bien intégrés plus tard pour renforcer la structure ? La question faisait débat. Une équipe interdisciplinaire menée par Stéphanie Leroy, du Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération (LAPA, CNRS), a daté au carbone 14 les renforts métalliques des cathédrales de Beauvais et de Bourges, et montré que, pour la première, ces renforts ont été utilisés dès le début de la construction.

L'histoire des cathédrales est mouvementée. La construction de celle de Beauvais débuta en 1225 et s'est étalée sur plus d'un siècle. Du fait de la durée des travaux, des réparations successives et des

divers ajouts, il est parfois difficile de savoir quand certains éléments architecturaux ont été mis en place.

Après une analyse de la structure et de la disposition des renforts métalliques, S. Leroy et ses collègues ont effectué des microprelevements, qu'ils ont datés au carbone 14. Cet élément radioactif, dont la désintégration progressive révèle le temps écoulé depuis la mort d'un organisme, provenait du charbon de bois brûlé dans les fourneaux où le minerai avait été transformé ; une petite quantité s'était alors incorporée aux métaux.

La difficulté, selon S. Leroy et Emmanuelle Delqué-Kolic, du Laboratoire de mesure du carbone 14 (CEA / CNRS / IRD / IRSN / MCC), est que « le carbone contenu dans les métaux anciens peut provenir d'autres sources et n'est présent qu'à l'état de trace ». Grâce à une étude fine de la structure des métaux ferreux et à une préparation spécifique des échantillons, les chercheurs ont réussi à extraire des quantités infimes de carbone et à les dater de façon fiable.

L'équipe de S. Leroy a d'abord validé sa méthode avec des

éléments datés par ailleurs grâce à des sources historiques et archéologiques. Puis elle l'a appliquée aux cathédrales. Les chercheurs ont trouvé qu'à Beauvais, certains renforts métalliques dataient du début de la construction, vers 1225-1240, et auraient donc été pensés dès la conception. À Bourges, cathédrale un peu plus ancienne (le chœur remonte à 1195-1214), les renforts semblent plutôt avoir été imaginés en cours de construction pour stabiliser l'édifice inachevé.

Ainsi, pour réaliser des performances architecturales inédites, les bâtisseurs de cathédrales devaient innover et tester de nouvelles techniques de construction. Les renforts métalliques sont sans doute l'un des éléments qui ont permis à ceux de la cathédrale de Beauvais d'édifier le plus haut chœur gothique du monde (46,3 mètres). J.-P. Paquet n'a pas eu une bonne idée en les retirant : lors d'une tempête en 1989, les piliers supportant les arcs-boutants se sont mis à osciller dangereusement. Des tirants de remplacement ont alors été mis en place dans les années 1990.

Guillaume Jacquemont

S. Leroy et al., *Journal of Archaeological Science*, vol. 53, pp. 190-201, 2015

46
mètres environ

C'est la hauteur du chœur de la cathédrale de Beauvais, le plus haut chœur gothique du monde.

Médecine

Cancers : la part du hasard

Pourquoi les cancers sont-ils des millions de fois plus fréquents dans certains tissus que dans d'autres ? Deux tiers de ces disparités seraient dus au hasard et seulement un tiers à l'environnement et aux prédispositions génétiques héréditaires. Telles sont les conclusions de Cristian Tomasetti, de l'Université Johns Hopkins, et Bert Vogelstein, du Centre du cancer Johns Hopkins Kimmel, aux États-Unis.

Les agents mutagènes environnementaux et l'hérédité ne suffisent pas à expliquer les disparités observées, les chercheurs ont supposé qu'elles étaient dues au hasard associé au nombre de divisions des cellules souches des tissus : chaque tissu contient un réservoir de ces cellules qui participe à son maintien. Plus elles se divisent au cours d'une vie, plus le risque qu'une mutation aléatoire survienne sur un gène impliqué dans un cancer est grand. Pour tester cette hypothèse, ils ont confronté les données sur le nombre de divisions des cellules



souches dans 31 types de tissus et les risques de survenue d'un cancer dans chacun, aux États-Unis. Ils ont ainsi montré une corrélation entre le nombre de divisions des cellules souches dans un tissu et le risque de cancer dans ce tissu. Sur les 31 cancers, 22 seraient ainsi principalement dus au hasard.

Pour Jean-Pascal Capp, de l'Institut national des sciences appliquées de Toulouse, l'interprétation est incomplète et dangereuse : « Certes, les mutations augmentent la probabilité de développer un cancer, mais rien ne prouve

qu'elles en sont le déclencheur. Des cellules de tissus sains peuvent contenir de telles mutations et avoir un comportement normal. Le cancer n'apparaît que si leur environnement cellulaire est lui aussi perturbé durant une période assez longue. Et de telles perturbations peuvent être causées par des agents non mutagènes tels que les perturbateurs endocriniens. Donc malchance oui, concernant l'apparition des mutations, mais fatalisme sûrement pas. »

M.-N. C.

Science, vol. 347, pp. 78-80, 2015

Les latéralisés plus fûtés

Chez la plupart des gens, le langage est latéralisé, c'est-à-dire traité préférentiellement dans l'un des deux hémisphères cérébraux. Emmanuel Mellet, du CNRS, et ses collègues ont montré que ceux pour qui ce n'est pas le cas (un peu plus de 10 % des sujets étudiés) ont de moins bonnes performances cognitives. La latéralisation pour le langage représenterait alors un avantage évolutif, d'où sa prédominance, et ses variations refléteraient des différences cérébrales plus globales.

Comment fuir les maladies

Chez les rongeurs, les individus malades émettent des signaux olfactifs qui entraînent chez leurs congénères un comportement d'évitement. L'équipe d'Ivan Rodriguez, à l'Université de Genève, a montré que l'organe voméronasal, situé à l'extrémité intérieure du nez et spécialisé dans la détection des phéromones, joue un rôle clef dans ce phénomène. Reste à identifier les signaux olfactifs en jeu et les récepteurs correspondants.

Génétique des populations

La diversité génétique africaine enfin étudiée

La plus grande diversité génétique humaine se trouve en Afrique. Une équipe réunie autour de Deepti Gurdasani, de l'Institut Sanger de recherche en génomique, commence à en révéler les structures.

Les chercheurs ont analysé d'une part des données génotypiques (les versions de certains gènes) de 1 481 individus provenant de 18 groupes ethnolinguistiques différents à travers l'Afrique subsaharienne, et d'autre part les séquences complètes des génomes de 320 individus représentant sept groupes ethnolinguistiques de trois régions distinctes géographiquement, à

savoir l'Éthiopie (Nord-Est de l'Afrique), l'Ouganda (Est) et l'Afrique du Sud.

Les chercheurs retrouvent dans leurs données l'expansion bantoue. Cette expansion d'une population paysanne originelle vers l'Afrique forestière puis orientale et australe, il y a plus de 3 000 ans, est à l'origine des 450 langues nigéro-congolaises apparentées en Afrique.

Plus surprenant, les chercheurs ont mis en évidence un considérable flux de gènes entre l'Eurasie et l'Afrique de l'Est, qui se serait produit il y a entre 10 500 et 7 500 ans. Même chez les Bantous, ce flux génique est à

l'origine d'une part de la diversité génétique africaine bien plus importante qu'on ne le pensait.

Tout aussi intéressants sont les indices de gènes bushmen (khoisans) partout en Afrique. Le fait que l'on en trouve aussi dans le génome ouest-africain est fascinant, car il suggère que les Bushmen correspondent à la population ancienne constituant le substrat génétique de l'Afrique subsaharienne d'avant les Bantous. Au cours de leur expansion, les Bantous ont repoussé les Bushmen dans les forêts et les déserts, mais se sont aussi mélangés à eux.

François Savatier

Nature, en ligne le 2 décembre 2014



Cette foule d'Afrique du Sud est à l'image de l'Afrique : diverse. Sans doute les Bantous y dominent-ils, mais les gènes eurasiens ou ceux des Bushmen sont présents, comme l'indique l'étude récente.

Un nouvel antibiotique

Une équipe de chercheurs de *Novobiotics* (États-Unis), de l'Université de Bonn et d'autres instituts a découvert un nouvel antibiotique nommé teixobactine. Losee Ling et ses collègues l'ont obtenu après avoir développé des méthodes pour cultiver en milieu naturel des bactéries que l'on n'a jamais pu cultiver en laboratoire (c'est le cas de 99 % des espèces de bactéries). La teixobactine, repérée parmi 10 000 composés, agit en inhibant la synthèse des parois cellulaires. Elle s'est montrée efficace, sans engendrer de phénomènes de résistance.

Piège moléculaire pour gaz

Le monoxyde d'azote (NO) est connu pour ses fonctions de vasodilatateur et de microbicide (les macrophages en produisent pour éliminer des bactéries pathogènes). Ce composé serait donc idéal pour entrer dans la composition de divers médicaments. Problème : le monoxyde d'azote est gazeux. Or Christian Serre, de l'Institut Lavoisier à Versailles, et ses collègues ont conçu des pièges moléculaires de carboxylate de fer qui retiennent de grandes quantités de NO. Biodégradables et peu toxiques, ces pièges libèrent ensuite progressivement le gaz.

La Tourette chez les souris

Le syndrome de Gilles de la Tourette se manifeste par des tics moteurs et vocaux (l'utilisation involontaire de mots grossiers étant l'aspect le plus connu, mais pas le plus fréquent). On ignore les causes de cette maladie, mais une piste pourrait être la perte d'un certain type de neurones dans le striatum, une structure nerveuse sous le cortex. L'équipe de Christopher Pittenger, de l'Université Yale, a induit des lésions similaires chez des souris. Soumis à un stress, les animaux ont présenté des tics moteurs comme dans la maladie humaine. Un modèle pour mieux étudier celle-ci ?

Transports

Mieux modéliser la foule avec l'anticipation



© Thomas La Meia / Shutterstock.com

Les mouvements de foule peuvent provoquer des accidents graves. Pour les éviter, il est nécessaire de comprendre la dynamique d'un rassemblement important de personnes, mais les modèles numériques de foules ne reproduisent pas toujours correctement les situations réelles. Stephen Guy, de l'Université du Minnesota, et deux collègues ont mis en évidence un nouvel ingrédient qui améliore les simulations : l'anticipation des collisions.

Les individus ne se comportent pas comme des particules répulsives qui se repoussent quand elles se rapprochent. En 2012, Anne-Hélène Olivier, de l'Université de Rennes, et ses collègues ont montré que deux personnes anticipent les collisions à venir et décident alors ou non

de modifier leur trajectoire en changeant de direction ou en adaptant leur vitesse de marche.

S. Guy et ses collègues ont remarqué que plus les gens marchent vite, plus ils anticipent tôt la collision. Ils ont alors montré que le facteur clé n'est pas la distance qui sépare les marcheurs, mais le temps restant avant une collision potentielle. Celui-ci est quasi constant et indépendant de la vitesse de marche.

Avec cette nouvelle règle, S. Guy et ses collègues reproduisent de nombreuses situations qui résistaient à la modélisation, par exemple celle où deux marcheurs proches l'un de l'autre vont dans la même direction.

S. B.

I. Karamouzas et al., Phys. Rev. Lett., vol. 113, 238701, 2014

Insolite

Une grenouille qui accouche de têtards

Sur l'île indonésienne de Sulawesi, Jim McGuire, de l'Université de Californie à Berkeley, et ses collègues ont montré que chez les grenouilles de l'espèce *Limnonectes larvaepartus* récemment décrite, la fécondation est interne. Seules une dizaine d'espèces de grenouilles pratiquent ce mode de reproduction ; elles pondent des œufs fécondés ou accouchent de grenouilles formées. Les *L. larvaepartus*, elles, donnent naissance à des têtards, ce qui est une première !



© Jim McGuire Photos

Planétologie

Rosetta : l'eau de la Terre ne viendrait pas des comètes

L'eau est omniprésente sur Terre, mais d'où vient-elle ? Lors de la formation de la planète, l'eau, substance volatile, s'est d'abord vaporisée. Elle y aurait donc été rapportée ultérieurement par des astéroïdes ou des comètes. Pour préciser quels corps ont enrichi la Terre en eau, les astrophysiciens comparent les caractéristiques des molécules d'eau de la Terre et des différentes comètes et astéroïdes. L'instrument *Rosina*, à bord de la sonde *Rosetta*, a effectué une telle mesure sur la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko, surnommée Tchouri.

Les astéroïdes de la ceinture de débris située entre Mars et Jupiter contiennent, pour certains, jusqu'à 15 % d'eau sous forme de minéraux hydratés. Les

comètes, quant à elles, se sont formées dans les régions les plus lointaines du Système solaire et occupent deux réservoirs, la ceinture de Kuiper et le nuage d'Oort. Elles comportent jusqu'à 50 % de glace d'eau. Des perturbations gravitationnelles en dévient certaines de leur trajectoire et les envoient dans la partie interne du Système solaire.

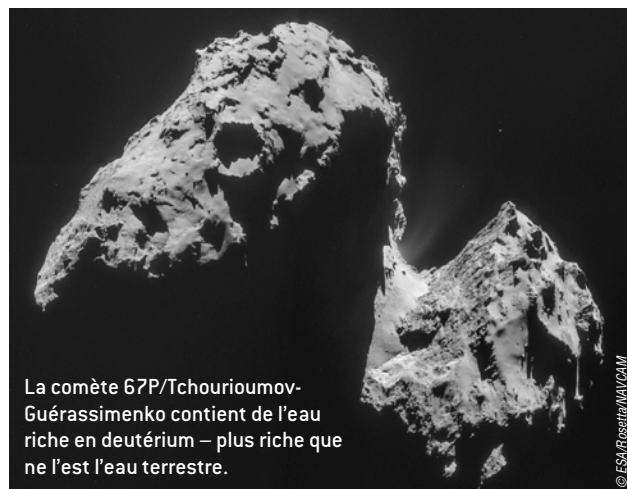
Pour tester les différentes origines possibles de l'eau terrestre, les astrophysiciens s'intéressent au deutérium, isotope de l'hydrogène qui peut constituer de l'eau lourde – une molécule d'eau dans laquelle un atome d'hydrogène (H) est remplacé par un atome de deutérium (D). Or *Rosina* a mesuré sur Tchouri un rapport isotopique D/H environ triple de celui de la Terre,

et supérieur à celui des autres comètes de la ceinture de Kuiper – une hétérogénéité qu'il reste à expliquer. Le résultat de *Rosina* renforce les scénarios selon

lesquels l'eau de la Terre proviendrait surtout des astéroïdes.

S. B.

K. Altwegg et al., *Science Express*, en ligne le 10 décembre 2014



La comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko contient de l'eau riche en deutérium – plus riche que ne l'est l'eau terrestre.

© ESA/Rosetta/MSCAM

france

inter

Dans l'

inter

êt de

la science



mathieu vidard

la tête au carré
14:05-15:00

france

inter

venez

franceinter.fr

Informatique

Le poker résolu par l'ordinateur

Aux échecs, la supériorité de l'ordinateur sur l'homme est consacrée depuis 1997, et certains jeux comme les dames ont même été résolus, c'est-à-dire que l'on a pu déterminer une stratégie assurant à coup sûr la victoire.

Mais ce n'est pas le cas de tous les jeux, et notamment ceux à information incomplète, où chaque joueur dispose d'informations que les autres n'ont pas. Le poker est ainsi l'un des plus complexes à modéliser.

Michael Bowling et ses collègues de l'Université d'Alberta, au Canada, ont réussi à résoudre « au sens faible » le poker *Texas Hold'em limit* (avec des mises fixées et un nombre fini de relances) à deux joueurs, c'est-à-dire à calculer un couple de stratégies si proche de

l'optimum que les chances de faire mieux en jouant toute une vie sont statistiquement minimales. Seuls des jeux à information incomplète d'une complexité inférieure de trois ordres de grandeur avaient été résolus jusqu'ici.

Résoudre un jeu consiste à déterminer un équilibre de Nash, c'est-à-dire un couple de stratégies telles qu'aucun des deux joueurs ne peut modifier seul sa stratégie sans y perdre.

La technique dominante pour déterminer un tel équilibre, la « minimisation du regret contrefactuel » (CFR), consiste à itérer des parties entre deux algorithmes qui cherchent à minimiser la perte subie au tour précédent (les regrets).

En utilisant des techniques de compression et de calcul réparti

ainsi qu'une amélioration de la gestion des regrets, les chercheurs ont réussi à diviser par 26 la mémoire nécessaire et économiser des calculs. En 85 jours de calcul sur une grappe de 200 ordinateurs, ils ont effectué 1 600 itérations de l'algorithme CFR amélioré.

Le couple de stratégies ainsi obtenu est statistiquement

indiscernable de l'équilibre de Nash à l'échelle de 60 millions de parties.

Ces résultats dépassent les seules compétitions de poker : ils pourraient être appliqués aux négociations ou pour déterminer des stratégies médicales.

Philippe Ribeau-Gésippe

M. Bowling et al., *Science*, vol. 347, pp 146-148, 2015



© petrosdu/shutterstock.com

LES RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

Partagez les savoirs

Entrée gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur mnhn.fr, dans "l'agenda du jardin"

POUR LA SCIENCE

COURS PUBLICS

Judi 12 février - 18h
Les Néanderthaliens ont-ils disparu ?
M. Patou-Mathis, préhistorienne, directrice de recherches au CNRS, Muséum
Grand Amphithéâtre du Muséum — 57 rue Cuvier, Paris 5^e

FILMS

Séances spéciales FIFE hors les murs
(Festival international du film d'environnement)

Samedi 7 février - 15h30
The Great Flood (La grande inondation)
Réal. : B. Morrison (2012, 71') - Un film d'archives étonnant qui revient sur la grande crue du Mississippi en 1927 et ses conséquences.
Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution — 36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

Dimanche 8 février - 15h30
Comme des bêtes
(séance interactive en présence de l'équipe du film)
Webdocumentaire (2014) - Une expérience unique de collaboration artistique entre humains et animaux - cygnes, grues, chevaux.
Amphithéâtre de la Galerie de Paléontologie et d'Anatomie comparée — 2 rue Buffon, Paris 5^e

MÉTIER DU MUSÉUM

Dimanche 22 février - 15h **Géographe parmi les grands singes**
F. Pennec
Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution — 36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

Biophysique

Les essaims d'insectes, des systèmes critiques ?

Les mouvements erratiques des insectes dans un essaim ont des propriétés statistiques analogues à celles des transitions de phase chères aux physiciens.

Divers travaux suggéraient que certains systèmes biologiques, par exemple un réseau neuronal ou une nuée d'oiseaux, présentent des comportements analogues à celui d'un système physique en cours de « transition de phase », c'est-à-dire qui change d'état macroscopique. Une équipe de chercheurs romains et milanais apporte de nouvelles observations en faveur de cette idée.

En physique, un exemple simple d'une transition de phase est le passage d'un matériau ferromagnétique de l'état non aimanté à l'état aimanté. Au-dessus d'une température critique T_c , les spins (aimants élémentaires) du matériau ont des orientations aléatoires, d'où une aimantation macroscopique nulle. Au-dessous de T_c , les spins commencent à s'aligner mutuellement, et une aimantation non nulle apparaît.

L'une des caractéristiques du point critique est que les corrélations statistiques y deviennent de portée infinie : à la température T_c , les orientations de deux spins deviennent statistiquement corrélées quelle que soit la distance qui les sépare. Alessandro Attanasi, de l'Université La Sapienza de Rome, et ses collègues ont voulu savoir ce qu'il en est des corrélations pour des essaims de petits insectes voletant dans les parcs romains.

Ils ont enregistré en 3D, à l'aide de trois caméras vidéo, les trajectoires individuelles des insectes au sein de différents essaims et ont calculé, pour chaque essaim, la longueur de corrélation des fluctuations de la vitesse – la distance caractéristique au bout de laquelle les corrélations entre les fluctuations de vitesse de deux insectes deviennent inférieures à un seuil fixé. Et ils ont notamment défini le « paramètre de contrôle », l'analogue de la température du matériau ferromagnétique, comme étant la distance moyenne (pour un essaim donné) entre deux insectes plus proches voisins.

L'équipe italienne a notamment montré que la longueur de corrélation est du même ordre que la taille de l'essaim, et que la distance moyenne entre deux insectes voisins décroît avec le nombre d'individus de l'amas. Ces propriétés s'accordent bien avec le modèle dit de Vicsek, où l'on suppose que chaque individu suit la trajectoire de ses voisins à un « bruit » aléatoire près. Dans ce modèle, le mouvement collectif passe d'un mouvement cohérent à un mouvement désordonné lorsque le bruit aléatoire dépasse un certain niveau.

En d'autres termes, selon les résultats de l'équipe italienne, les insectes d'un essaim ajustent la

Un essaim d'insectes, dont les trajectoires individuelles sont visualisées.



Andrea Cavagna/Université La Sapienza, Rome

distance qui les sépare, ou l'essaim ajuste le nombre de ses individus, de façon qu'il soit le plus possible « critique », c'est-à-dire que la longueur de corrélation soit maximale. Cela conforte l'idée de la criticalité du système. Mais, commentent Hugues Chaté, du CEA à Saclay, et Miguel Muñoz, de l'Université de Grenade, il faudra étudier des échantillons plus vastes pour parvenir à une conclusion plus certaine.

Quel est l'intérêt d'atteindre le point critique ? Ce point sépare deux types de comportement collectif, l'un ordonné, l'autre

désordonné. Si le comportement est trop ordonné, le groupe peut avoir des difficultés à s'adapter à des changements extérieurs, par exemple un prédateur s'approchant d'un côté de l'essaim ; s'il est trop désordonné, sa réaction risque de ne pas être assez forte. Au point critique, la longueur de corrélation étant grande, la réaction de certains individus peut se communiquer aux autres membres du groupe. La criticalité offrirait ainsi au groupe un bon compromis.

Maurice Mashaal

A. Attanasi et al., *Physical Review Letters*, vol. 113, 238102, 2014

Le méthane martien, un pic inattendu

Christopher Webster, de l'Institut de technologie de Californie, et ses collègues ont mesuré la concentration atmosphérique de méthane sur Mars avec un spectromètre du rover *Curiosity*. La concentration moyenne est plus basse que ne le prévoyaient les modèles de dégradation de poussières par la lumière ultraviolette du Soleil. Plus surprenant, les chercheurs ont observé des pics de concentration de méthane provenant probablement d'une source locale, mais qui reste à ce jour non identifiée.

Prion pathogène : du mouton à l'homme ?

L'équipe d'Olivier Andréoletti, de l'Inra à Toulouse, a montré que l'agent responsable de la tremblante du mouton, une protéine prion, est capable de franchir la barrière d'espèce et d'engendrer chez des souris modèles des troubles pathologiques similaires à

ceux observés dans les formes sporadiques de la maladie de Creutzfeldt-Jakob chez l'homme. Pour autant, la tremblante étant une maladie déjà ancienne chez les petits ruminants consommés par l'homme, il n'y a pas de risque nouveau pour la santé publique.

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



Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

POINT DE VUE

L'amélioration morale selon les transhumanistes : attention danger !

Certains penseurs transhumanistes prônent le développement artificiel de l'altruisme et du sens de la justice, afin de construire une société plus durable. Une posture inquiétante.

Marina MAESTRUTTI

Nous sommes inadaptés au futur. C'est ce constat que dressent Ingmar Persson et Julian Savulescu, respectivement chercheur et directeur du centre Uehiro de bioéthique à l'Université d'Oxford, dans leur ouvrage *Unfit for the Future*, publié en 2012. Les deux auteurs pointent les dangers de l'écart entre la puissance de nos technologies et notre psychologie morale. L'existence de l'humanité est menacée par le changement climatique, l'épuisement des ressources et de possibles conflits généralisés avec l'utilisation d'armes de destruction massive, mais nous ne parvenons pas à mettre en place des actions collectives et concertées pour y remédier.

Leur réflexion s'inscrit dans le cadre de débats qui agitent le transhumanisme, un courant né à la fin des années 1980 et organisé en associations et groupes informels. Les projets sont très hétérogènes, mais s'accordent en général sur une vision positive des technologies et sur le désir d'augmenter nos performances physiques et cognitives, ainsi que notre durée de vie.

Selon I. Persson et J. Savulescu, l'espèce humaine a développé une psychologie morale « myope », restreinte à la préoccupation pour les personnes et l'avenir proches, car elle a longtemps vécu dans des sociétés relativement petites et unies, avec une technologie peu développée qui ne permettait d'intervenir

que dans l'environnement immédiat. Cependant, grâce à la science et la technologie, nous avons bouleversé nos conditions de vie. I. Persson et J. Savulescu défendent l'idée que pour faire face aux menaces et aux défis qui attendent nos sociétés, nous devons étendre nos préoccupations morales au-delà du petit cercle de nos connaissances personnelles et leur faire englober jusqu'aux générations futures. En particulier, il faudrait augmenter deux caractéristiques « naturelles » du comportement humain, qu'on retrouve aussi chez d'autres animaux : l'altruisme et le sens de la justice.

LE CYBORG HEUREUX – ET LIBRE – des premiers pas du transhumanisme laisse la place au cyborg vertueux, soumis à divers impératifs éthiques.

Comment faire ? Les deux transhumanistes accordent une large place aux recherches pharmacologiques, par exemple sur des antidépresseurs ou des médicaments contre l'hypertension qui ont des effets secondaires sur les comportements moraux. Des médicaments qualifiés d'inhibiteurs sélectifs de la recapture de la sérotonine, couramment prescrits contre la dépression, l'anxiété et les troubles obsessionnels compulsifs, semblent ainsi augmenter, chez les sujets traités, l'impartialité et la coopération. D'autres travaux potentiellement exploitables

commencent à identifier les fondements cérébraux de l'empathie ou divers effets intéressants de l'ocytocine, surnommée l'« hormone de l'amour ».

I. Persson et J. Savulescu citent tout un éventail d'autres pistes pour modifier les comportements et les réponses émotionnelles : stimulation profonde du cerveau par le biais d'électrodes implantées, manipulations génétiques, etc. Une branche de la génétique cherche d'ailleurs à identifier les gènes clefs pour certains comportements – plusieurs gènes ont par exemple été liés à l'agressivité chez la souris, ou à la dépendance, source possible de comportements « immoraux », chez l'homme.

La faisabilité d'outils de modification « d'amélioration morale » fondés sur ces travaux n'est pas acquise. Est-elle seulement souhaitable ?

Cette approche constitue en tout cas une rupture avec le transhumanisme des origines. Au-delà de la diversité des projets, les premiers moments du courant étaient libertaires. Cette mouvance considérait la protection paternaliste de l'État comme inacceptable, et l'évaluation du rapport risques sur bénéfices de l'auto-transformation comme du ressort des individus. L'objectif était d'éliminer toute souffrance et d'atteindre le bonheur, un objectif qualifié d'impératif hédoniste par l'économiste américain David Pearce. Le transhumanisme des origines visait ainsi à réaliser un cyborg heureux.