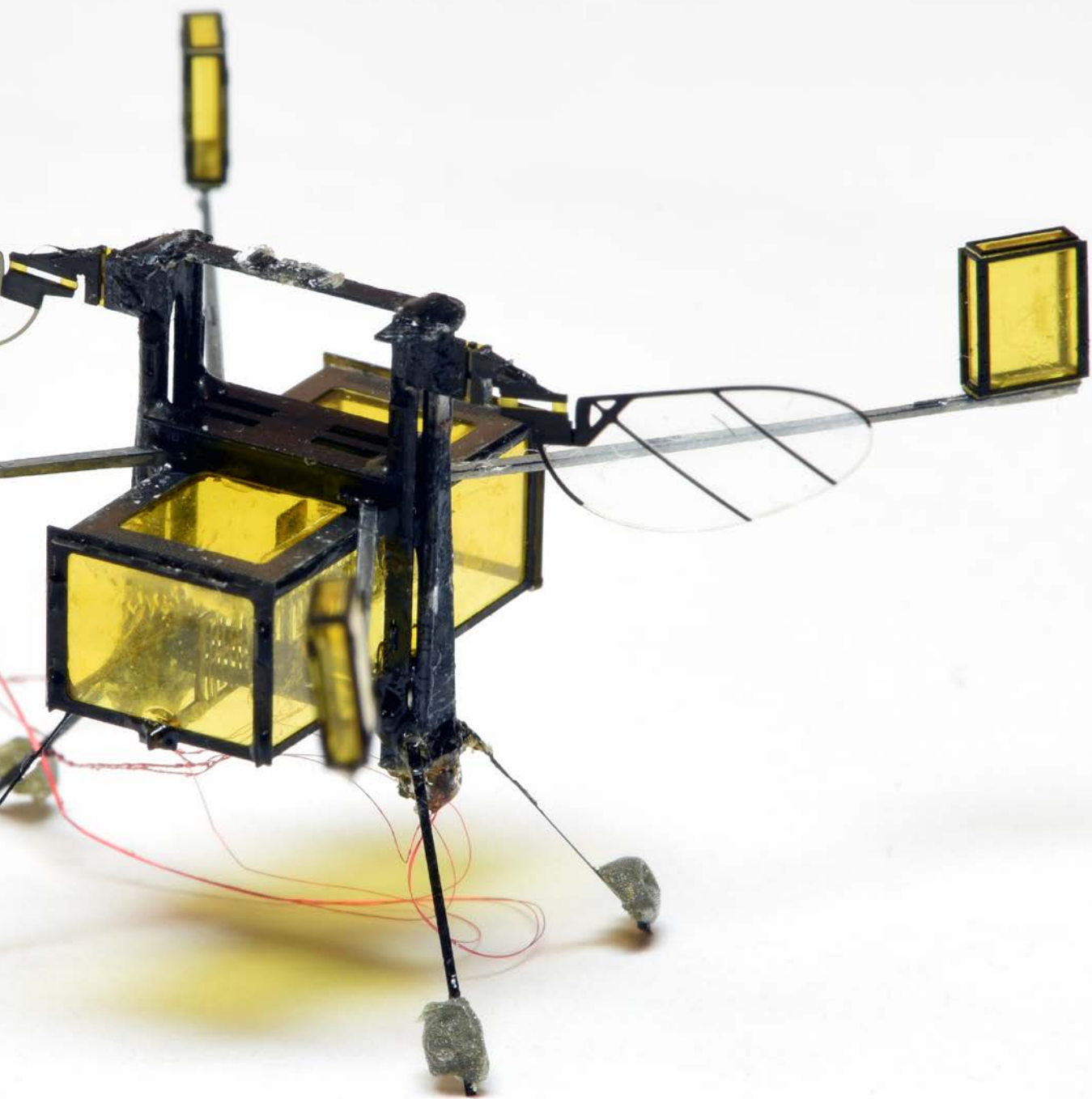




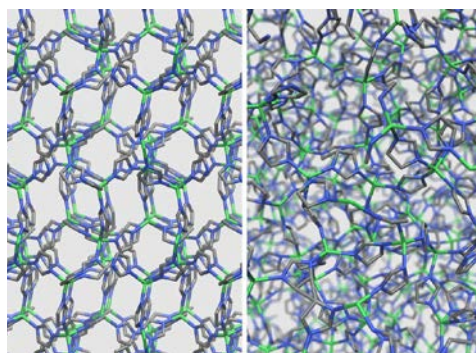
PHYSICOCHIMIE

UN LIQUIDE POREUX

Les réseaux métallo-organiques ou MOF (*metal-organic framework*) sont des matériaux poreux : leur structure contient de nombreux trous ou pores de taille nanométrique. Leurs applications sont diverses : adsorption ou séparation de gaz, catalyse, transport ionique, etc. Cependant, leur caractère cristallin restreint les possibilités d'utilisation. En 2015, des chercheurs ont découvert que certains MOF pouvaient être transformés en phase liquide ou amorphe comme du verre. Pour préciser les propriétés des MOF dans ces phases, François-Xavier Coudert, chercheur du CNRS à Chimie ParisTech, et ses collègues ont étudié l'un d'eux, le ZIF-4.

Cette molécule est constituée d'un ion de zinc associé à quatre ligands d'imidazolate. Elle a une forme tétraédrique avec une cavité au milieu, où des molécules de gaz peuvent s'insérer. Les chercheurs ont étudié le point de fusion – le ZIF-4 fond à une température de 865 kelvins (592°C) –, la phase liquide et la phase amorphe (obtenue en laissant refroidir à température ambiante un échantillon liquide).

Grâce à la diffraction de neutrons et de rayons X, ainsi qu'à des simulations numériques, l'équipe a montré que jusqu'à 1200 kelvins, l'ion zinc reste préférentiellement lié à



Dans sa phase solide et cristalline, le ZIF-4 a une structure poreuse (à gauche). En phase liquide, la porosité est conservée, malgré la structure désordonnée (à droite).

quatre ligands, mais des échanges de ligands entre ions métalliques voisins s'effectuent rapidement, ce qui confère un caractère liquide au matériau. Et même à plus haute température, la présence de pores est préservée en phase liquide : le volume poreux moyen à 300 ou à 2000 kelvins est quasi équivalent. On peut donc parler de liquide poreux.

François-Xavier Coudert résume ainsi les perspectives de ces MOF : « L'avantage du liquide réside dans un aspect pratique pour les applications, puisque de nombreux procédés de séparation en phase liquide existent et peuvent être facilement adaptés. » ■

S. B.

R. Gaillac et al., *Nature Materials*, en ligne, 9 octobre 2017

INFORMATIQUE

GO : L'IA QUI APPREND SEULE

En 2016, l'intelligence artificielle AlphaGo battait le Sud-Coréen Lee Sedol, un champion mondial au jeu de go. Ce résultat a mis en lumière la puissance de l'apprentissage dit profond sur des réseaux de neurones artificiels. Pour atteindre ce niveau, l'entraînement d'AlphaGo s'est déroulé en deux temps. Le programme a d'abord analysé de nombreuses parties jouées par des humains, puis a joué contre lui-même – une phase dite d'apprentissage par renforcement. AlphaGo Zero, le nouveau logiciel développé par l'entreprise DeepMind, apprend à jouer à ce jeu sans utiliser de données humaines.

La stratégie adoptée repose uniquement sur l'apprentissage par renforcement. Connaissant *a priori* seulement les règles, le programme joue contre lui-même et utilise la configuration du plateau de jeu comme donnée pour calculer les



Le programme AlphaGo Zero apprend tout seul à jouer au jeu de go et domine son prédécesseur AlphaGo.

probabilités de gagner. En accumulant des essais et des erreurs, le programme met à jour son réseau de neurones et améliore ses chances de victoire. AlphaGo Zero apprend à jouer en trois jours, contre plusieurs mois pour AlphaGo. Et l'efficacité est sans appel. En opposant les deux programmes, AlphaGo Zero a dominé son prédécesseur par 100 victoires contre 0 ! ■

S. B.

D. Silver et al., *Nature*, vol. 550, pp. 354-359, 2017

EN BREF

LE MIEL CONTAMINÉ PAR LES PESTICIDES

Environ 75 % des miels du monde sont contaminés par les néonicotinoïdes. Edward Mitchell, de l'université de Neuchâtel, et ses collègues ont analysé des échantillons de miel provenant de 198 sites couvrant tous les continents du globe. L'équipe a recherché cinq molécules de cette famille de pesticides. Résultat : 30 % des miels en contenaient une et 45 % en contenaient au moins deux. Les chercheurs mettent ainsi en évidence l'exposition globale des abeilles à ces produits.

UN ASTÉROÏDE BINAIRE EXOTIQUE

En 2011, l'astéroïde numéroté 300163 a montré des signes d'activité cométaire avec la formation d'un halo gazeux et d'une queue, ce qui lui a valu un nom de comète, 288P. Grâce à des observations récentes avec le télescope spatial *Hubble*, Jessica Agarwal, de l'institut Max-Planck à Göttingen, et ses collègues ont montré qu'il s'agissait d'un astéroïde binaire : deux corps de masses comparables en orbite l'un autour de l'autre à une distance d'environ 100 kilomètres. Un cas unique.

TRACES DE PAS MILLÉNAIRES EN NORMANDIE

Dans une carrière située à la confluence de la Seine et de l'Eure, l'arrivée de sédiments apportés par une crue a figé des empreintes de pas animales et humaines. La présence de ces fugaces traces de vie est liée à la proximité d'un habitat de l'âge du Bronze implanté autour de 2100-1900 avant notre ère. Les traces, mises au jour par Cyril Marcigny et son équipe de l'Inrap, témoignent du passage rapide de cochons ou de sangliers, de bovidés, et de celui de personnes accompagnées de chiens. Des éleveurs sans doute.

DE LA NEIGE SUBLIMÉE

L'équipe d'Alexis Berne, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, vient de mettre en évidence un phénomène qui pourrait avoir de grandes conséquences sur le bilan de masse de la calotte glaciaire en Antarctique. Puisque les forts vents qui dévalent des hauts plateaux du continent transportent un air très sec, ils entraînent la sublimation (évaporation sans passage par l'état liquide) des flocons de neige aux basses altitudes, ce qui diminue sensiblement la quantité de précipitations neigeuses au sol. Comparé à son maximum en altitude, le cumul de précipitations au sol sur l'ensemble du continent est ainsi diminué de 17%. Le phénomène est accru au niveau des côtes, où la baisse atteint 35%. Pour obtenir ce résultat, l'équipe a utilisé différents instruments météorologiques de la base Dumont-d'Urville et des modèles numériques. ■

D. T.

J. Grazioli et al., *PNAS*, vol. 114(41), pp. 10858-10863, 2017

ASTROPHYSIQUE

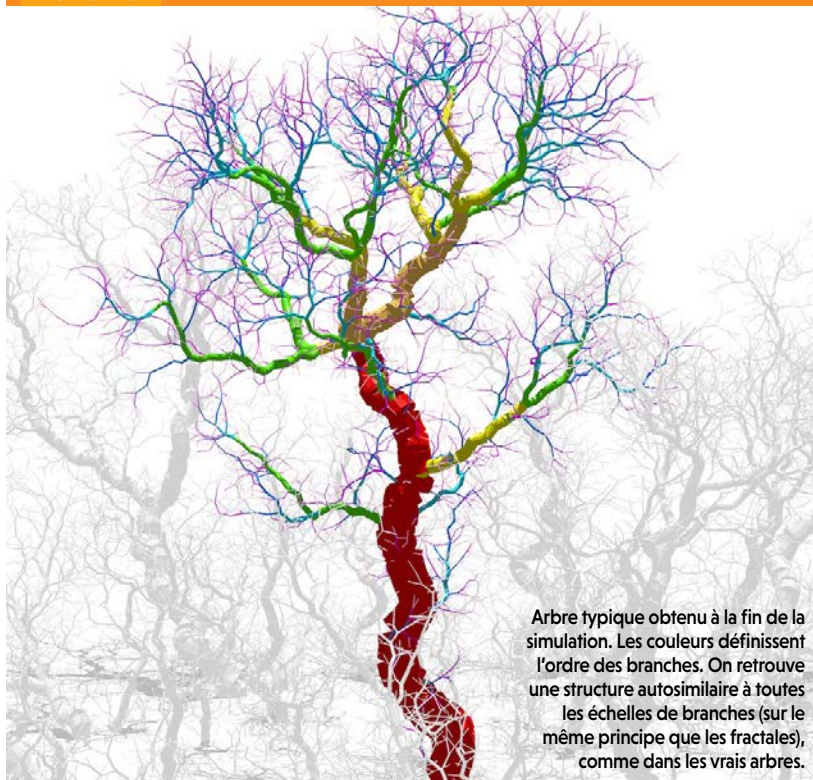
POUSSIÈRES DE NANODIAMANTS

L'Univers est la source de nombreux rayonnements dont certains sont encore mal compris. C'est le cas de l'ERE (*Extended Red Emission*) observé il y a environ quarante ans. Si on sait que ce phénomène est lié aux poussières interstellaires, la nature précise de sa source n'était toujours pas clairement identifiée. Pour Hsiao-Chi Lu, du Centre taiwanais de recherche sur le rayonnement synchrotron, et ses collègues, il pourrait être dû à des nanodiamants. Les chercheurs ont en effet montré que des nanodiamants présentant un type de défauts cristallins (un atome d'azote remplaçant un atome de carbone) soumis à du rayonnement ultraviolet produit par un synchrotron réémettent dans le rouge avec des caractéristiques semblables à celles d'ERE. Mais pour confirmer cette hypothèse, il faudra détecter la trace de ces diamants dans les poussières interstellaires qui émettent l'ERE, car d'autres molécules pourraient aussi expliquer ce rayonnement (hydrocarbures aliphatiques, fullerènes...). ■

MARTIN TIANO

Hsiao-Chi Lu et al., *Angewandte Chemie Int. Ed.*, en ligne, 12 octobre 2017

ÉVOLUTION



Arbre typique obtenu à la fin de la simulation. Les couleurs définissent l'ordre des branches. On retrouve une structure autosimilaire à toutes les échelles de branches (sur le même principe que les fractales), comme dans les vrais arbres.

200 000 ANS DANS LA VIE D'UNE FORÊT VIRTUELLE

La géométrie des arbres suit certaines relations mathématiques simples, nommées lois d'échelle allométriques; par exemple, une formule relie la hauteur de l'arbre à son diamètre. Les explications avancées sont d'origine mécanique et hydraulique: les arbres se conforment à cette loi géométrique afin de ne pas s'effondrer sous leur propre poids et afin d'apporter la sève jusqu'aux feuilles des extrémités des branches.

Pour savoir quels facteurs ont influé sur l'évolution de la structure des arbres, Christophe Eloy, de Centrale Marseille, et ses collègues ont développé un modèle numérique, MechaTree, qui simule la croissance d'une forêt sur plusieurs générations. Chaque arbre transmet ses caractéristiques à sa descendance, mais avec des valeurs pouvant varier de façon aléatoire. Les chercheurs rendent compte ainsi de l'apparition de mutations. Le programme calcule l'influence de divers facteurs extérieurs, l'exposition au soleil et la résistance des branches au vent. Des effets sur la croissance récemment mis en évidence par les biologistes sont intégrés, telle la capacité des arbres de percevoir les déformations liées au vent et la lumière qui arrive sur leurs bourgeons, et d'y réagir en modulant leur croissance.

Quels ont été les résultats après 200 000 ans? Les arbres les mieux adaptés finissent par dominer la forêt, et certains ressemblent à un vrai pin. Les chercheurs ont retrouvé toutes les lois d'échelle connues. Ils ont pu identifier le rôle de chaque facteur dans ce résultat. Ainsi, la compétition pour l'accès à la lumière et la transparence du feuillage déterminent la dimension fractale de l'arbre, tandis que la réaction au vent contrôle le diamètre des branches. ■

S. B.

C. Eloy et al., *Nature Communications*, vol. 8, article 1014, 2017