

Qu'a fait découvrir la mission américano-européenne *Cassini-Huygens*, qui a exploré Saturne et ses satellites de 2004 à 2017 ? En quoi consiste la mission européenne *Juice*, qui sera lancée en 2022 pour atteindre Jupiter et ses satellites en 2030 ? Suivez l'actualité de la recherche spatiale présentée par ceux qui la font, à travers cette séance de l'Académie de l'air et de l'espace.

Avec

Avec Jean-Pierre Lebreton, responsable mission *Huygens* à l'Esa, et Olivier Witasse, chef du projet *Juice* à l'Esa.

EN PARTENARIAT AVEC



AVEC LE SOUTIEN DE

POUR LA
SCIENCE

Palais

DÉCOUVERTE

explorer les géantes gazeuses

conférences accès gratuit

jeudi 7 février
— 14h

cité

sciences
et industrie

piloter un objet par l'activité cérébrale

conférences accès gratuit

mercredi 13 février
— 18h

Imaginer le mouvement pour le faire réaliser par un avatar technique, c'est l'un des défis des interfaces cerveau-machine. Les applications cliniques seront importantes, notamment pour la mobilité des personnes tétraplégiques. Des questions éthiques se posent aussi.

Avec

Alain Berthoz, Collège de France,
Guillaume Charvet, CEA, Anatole Lécuyer, INRIA,
Fabien Lotte, INRIA, Jérémie Mattout, INSERM.

EN PARTENARIAT AVEC



AVEC LE SOUTIEN DE

POUR LA
SCIENCE

L'ESSENTIEL

> Certaines espèces, telles que des pissenlits, des escargots et des poissons, s'adaptent de façon surprenante aux contraintes des milieux urbains.

> Leur évolution est souvent plus rapide qu'elle ne le serait dans d'autres types d'écosystèmes.

> Comme les pressions de sélection sont similaires d'une ville à l'autre, certaines espèces pourraient devenir de plus en plus semblables d'un bout à l'autre de la planète.

> En revanche, beaucoup d'espèces ne pourront jamais s'adapter aux milieux urbains et nécessitent une protection.

L'AUTEUR



MENNO SCHILTHUIS
spécialiste de biologie
de l'évolution, professeur
à l'université de Leyde et chercheur
au centre de biodiversité Naturalis,
aux Pays-Bas

Pissenlit des villes, pissenlit des champs

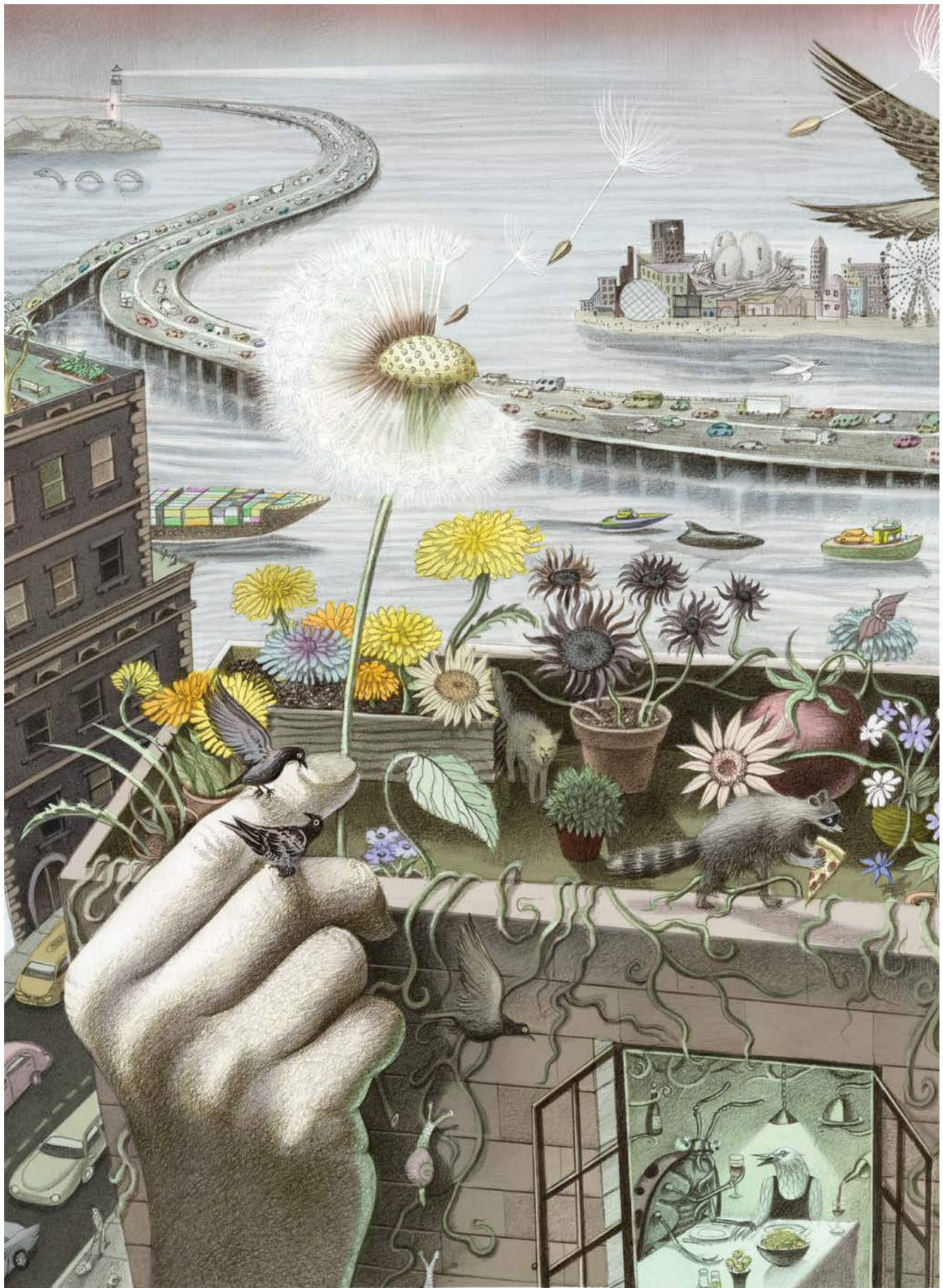
Bonne nouvelle : certaines espèces d'animaux et de plantes s'adaptent à l'environnement urbain, souvent avec une étonnante rapidité.
Mauvaise nouvelle : l'urbanisation galopante risque aussi de conduire à l'extinction un grand nombre d'espèces.

«**F**iou!» s'exclame mon ami Franck en lançant ses mains droit vers le ciel, manquant de renverser son verre. Nous sommes assis dans mon jardin à Leyde, aux Pays-Bas. Franck me mime avec entrain le faucon pèlerin qui, chaque jour, file à vive allure devant la fenêtre de son bureau à l'hôpital pour rejoindre son perchoir en haut du bâtiment, un pigeon fraîchement tué entre les serres.

Les faucons pèlerins font partie de ces nombreux oiseaux qui ont récemment adopté un mode de vie urbain. Chassant d'habitude les oiseaux de taille moyenne aux abords des falaises, ils ont troqué peu à peu leurs escarpements rocheux pour des clochers d'église, cheminées et gratte-ciel, et les geais pour des pigeons. Dans certaines régions d'Europe et d'Amérique du Nord, la plupart des faucons pèlerins nichent dans les villes.

Ces ressemblances fortuites entre environnements naturels et milieux urbains attirent certaines espèces animales et végétales dans les métropoles. Les blattes se sont aisément accommodées à nos demeures sombres et humides. Les abords des routes salées en hiver conviennent parfaitement aux plantes de bords de mer. Les rats laveurs, avec leurs petites pattes avant aussi agiles que des mains, manipulent avec adresse les poubelles qui parsèment les trottoirs.

Homo sapiens a établi d'immenses lieux de vie sur presque tous les continents. En 2030, plus de 600 villes accueilleront plus de un million d'habitants. Les humains constituent la première espèce à avoir produit des conditions de vie pour un nombre aussi élevé d'autres espèces, et ce à une échelle aussi vaste. Mais quelque chose de plus surprenant encore est en train de se dérouler sous nos yeux. La ville, avec ses immeubles de briques, de verre et d'acier, ses artères où circulent des milliers de ➤





Des araignées nocturnes vivent sous les ponts. Bien qu'elles évitent la lumière du jour, elles tissent désormais leurs toiles sous les lampes qui attirent les insectes. Les graines des pissenlits urbains sont plus lourdes que celles des pissenlits de la campagne. Elles ont ainsi plus de chances de tomber droit au sol, là où il y a de la terre.



> véhicules, les produits chimiques qui émanent de ses pores et sa lumière artificielle, est un environnement à la fois riche et extrême. Si les conditions de vie y sont ardues, l'espace urbain offre aussi beaucoup de nourriture et de ressources. Comme dans les milieux naturels tels que les déserts, les sources hydrothermales et les grottes profondes, la combinaison de dangers et d'occasions favorables influe sur l'histoire évolutive des animaux et des plantes qui s'y aventurent. C'est ce que nombre de mes collègues et moi sommes en train de découvrir : les villes sont devenues des chaudrons d'évolution, des lieux qui forcent les espèces à s'adapter rapidement et partout.

DES ESCARGOTS DONT LA COQUILLE DEVIENT PLUS CLAIRE

Quelques minutes de marche depuis le pas de ma porte suffisent à faire prendre conscience de l'évolution des espèces en ville. Ma petite cour arrière est un bon exemple. En tant que biologiste, je dois admettre que mon jardin est une source d'embarras (comme Frank ne cesse de me le rappeler). Toutes sortes de mauvaises herbes poussent entre les vieux pavés du sol. Dans un coin, trône un pot d'hortensias. Dans un autre, un vieux rosier se laisse oublier, à quelques pas des plants de houblon qui grimpent obstinément et dans tous les sens le long du mur.

Derrière le houblon se cache l'un de mes exemples favoris d'évolution en ville. J'écarte délicatement quelques feuilles afin de montrer à Frank les escargots qui grignotent les branches mortes des années précédentes. Ces mollusques, de l'espèce européenne *Cepea nemoralis*, ont des coquilles aux couleurs et motifs

variés. Ces variations sont codées au sein de leur ADN. Les coquilles des escargots de mon jardin sont jaune pâle et ornées de bandes noires spiralées, alors que ceux que l'on trouve à la campagne sont plus souvent rouges ou marron.

Ce sont les îlots de chaleur urbains qui sont responsables de cette teinte plus claire. Les villes ont en effet tendance à être plus chaudes que les campagnes alentour, car les bâtiments et les rues absorbent la chaleur du soleil. Cette absorption, qui s'ajoute à la chaleur produite par les activités de millions de personnes et leurs machines, crée une bulle d'air chaud. Dans une cité modeste telle que Leyde, l'air dans le centre est en moyenne deux ou trois degrés plus chaud que dans les environs. Mais dans des villes comme New York, Paris ou Tokyo, la différence peut dépasser dix degrés. Pour les escargots, qui sont parfois forcés de passer des semaines accrochés au mur en pleine sécheresse estivale, l'excès de chaleur



Les villes sont devenues des lieux qui forcent les espèces à s'adapter rapidement



peut être fatal. D'autant plus s'ils ont une coquille sombre, qui absorbe l'énergie. En ville, la sélection naturelle favorise donc les escargots aux coquilles plus claires.

Alors que Franck et moi sortons de mon jardin et pénétrons dans l'allée, nous posons le pied sur un deuxième exemple d'adaptation urbaine, qui pousse à travers les fractures du bitume: les pissenlits. Certains ont des fleurs d'un jaune éclatant, tandis que d'autres arborent une ombrelle de graines duveteuses. En conditions naturelles, les graines, suspendues à leur parachute plumeux, s'envolent au gré des vents et finissent par atterrir et germer loin de leurs parents et de leurs frères et sœurs. Cela diminue la compétition pour les ressources. Mais en ville, les chances que cette stratégie soit un succès sont aussi réduites que les surfaces de terre disponibles: les quelques centimètres carrés où la plante mère parvient à pousser sont souvent les seuls sites de sol fertile à la ronde. Les graines qui se laissent porter par le vent ont alors toutes les chances d'atterrir sur du béton.

DES GRAINES QUI TOMBENT À PROXIMITÉ DE LA PLANTE MÈRE

Dans ces conditions, être doté de graines plus lourdes, qui tombent directement au sol, au pied de la plante mère, est la stratégie gagnante. C'est ce qu'a découvert en 2012 Arathi Seshadri, de l'université d'État du Colorado. Ces résultats montrent que les graines des pissenlits urbains sont plus allongées et tombent deux fois plus vite que celles des pissenlits des champs.

C'est aussi ce qu'avait découvert en 2008 l'équipe de Pierre-Olivier Cheptou, du Centre

Les pigeons, peu inquiétés par la présence de l'auteur, doivent apprendre à se cacher des faucons pèlerins qui sont de plus en plus nombreux en milieu urbain. Les escargots qui vivent sur les murs des villes ont des coquilles qui s'éclaircissent au fil des générations. Il s'agit d'une adaptation à la chaleur urbaine, car ces coquilles absorbent moins de chaleur.

d'écologie fonctionnelle et évolutive, à Montpellier, sur une fleur proche du pissenlit, le crépis de Nîmes (*Crepis sancta*), qui produit à la fois des graines qui se dispersent et des graines qui ne se dispersent pas. Leurs résultats montrent que le pourcentage de graines qui ne s'envolent pas au loin et tombent directement au sol est beaucoup plus important dans les milieux urbains que dans les autres milieux. En outre, cette évolution apparaît en seulement cinq à douze générations.

Paradoxalement, cette adaptation ressemble à celle que l'on retrouve chez les porcelles enracinées (*Hypochaeris radicata*), une cousine du pissenlit, également de la famille des astéracées. La différence, c'est que la porcelle a développé cette caractéristique loin de la ville. Sur de minuscules îlots à l'ouest des côtes canadiennes, les graines de ces fleurs tombent deux fois plus vite que celles du continent. Chez cette espèce, c'est le risque de se retrouver en mer qui a été le moteur des modifications.

DES ARAIGNÉES NOCTURNES QUI PROFITENT DE LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE

Alors que nous poursuivons notre promenade, Frank et moi émergeons de l'allée et traversons la rue principale qui mène à la rivière Galgewater. Une grappe de maisons péniches ceinture le quai où Rembrandt a vu le jour il y a plus de quatre siècles. Contre les fenêtres des péniches et entre les barreaux de la rambarde du pont qui enjambe la rivière, des toiles d'araignée scintillent au soleil. En nous approchant de quelques pas, se dévoile à nos yeux l'étendue du massacre: des dizaines de cadavres de ➤



- > moucheron et de papillons sont pris au piège des fils de soie.

Les araignées *Larinioides sclopetarius* qui ont tissé ces toiles ne sont quant à elles visibles nulle part. Nocturnes, elles se dissimulent dans les crevasses à l'abri de la lumière du jour, et attendent la tombée de la nuit pour venir guetter leurs proies. Pourtant, ces toiles sont construites juste sous les lumières du pont. Cette araignée citadine a abandonné ses vieilles habitudes afin de profiter de l'attrait de la lumière sur les insectes. Dans les années 1990, l'arachnologue autrichienne Astrid Heiling a montré qu'en ville, les araignées qui vivent sur les ponts tolèrent très bien la lumière artificielle, alors même qu'elles continuent d'éviter la lumière du soleil.

DES PAPILLONS DE NUIT QUI NE SONT PLUS ATTIRÉS PAR LES LUMIÈRES

Curieusement, au moins l'une des espèces faisant partie des proies de l'araignée emprunte un chemin évolutif inverse. Pour les insectes, l'attrait irrésistible des ampoules lumineuses est souvent fatal. Quand ils ne finissent pas grillés sous l'effet de la chaleur, ils s'épuisent à voleter sans arrêt autour de la source de lumière alors qu'ils devraient se nourrir ou s'accoupler, ou trépassent entre les mâchoires d'une araignée. Beaucoup d'entomologistes pensent que, malgré le lourd tribut, l'attraction de la lumière est tellement

ancrée dans le cerveau de ces insectes qu'ils ne peuvent y résister.

Peu convaincu, l'entomologiste suisse Florian Altermatt s'est penché sur le cas d'un papillon de nuit de la famille des yponomeutidés (*Yponomeuta cagnagella*). Il a ainsi collecté des centaines de chenilles dans le centre-ville éclairé de Bâle et dans les forêts sombres à l'extérieur de la ville. De retour dans son laboratoire, il a marqué chaque individu d'une couleur indiquant son origine, citadine ou forestière. Plus de 1 000 individus ont ensuite été relâchés dans une grande cage sombre, pourvue d'un seul tube fluorescent à une extrémité. Sans surprise, les papillons ruraux avaient tendance à voltiger autour de la lampe. Mais ceux de la ville étaient plus nombreux à ignorer la lumière et à s'installer ailleurs dans la cage. Selon les conclusions du chercheur, une résistance à l'attrait de la lumière artificielle est apparue avec le temps chez ces papillons urbains.

La poignée d'exemples d'évolution en contexte urbain que Frank et moi avons rencontrés pendant notre bref tour dans les rues de la ville est représentative du processus qui se déroule dans tous les écosystèmes urbains de la planète. En plus des îlots de chaleur, de l'imperméabilité des sols et de la pollution lumineuse, la faune et la flore des villes doivent surmonter une panoplie d'autres défis tels que le bruit, la pollution chimique et le trafic. Les biologistes de l'évolution en milieu urbain ont

DES CHANTS PLUS SÉDUISANTS

Une étude menée dans la région du canal de Panamá par Wouter Halfwerk, de l'université libre d'Amsterdam, et ses collègues a tout récemment montré que les grenouilles mâles de l'espèce *Engystomops pustulosus* (ci-contre) vivant en milieu urbain ont des chants nuptiaux plus fréquents et plus complexes que les mâles vivant en forêt – et que, de ce fait, ils attirent davantage les femelles. Ces différences semblent dues au fait que les grenouilles urbaines sont confrontées à une plus forte

compétition dans la quête d'un partenaire sexuel, mais à une moindre pression exercée par les prédateurs et parasites.

Qui plus est, le transfert d'individus d'un milieu à l'autre a montré que les mâles urbains peuvent adapter rapidement leurs chants à la présence accrue de prédateurs et de parasites. En revanche, placés en milieu urbain, les mâles forestiers n'ajustent pas leurs chants. Les grenouilles des villes, plus débrouillardes que les grenouilles des forêts ?



découvert de nombreux exemples d'espèces qui se sont adaptées à de tels facteurs de stress.

Certains organismes ont même supporté ce que l'on pensait insupportable. L'équipe d'Andrew Whitehead, de l'université de Californie à Davis, a en effet montré que les choquemorts, des petits poissons d'estuaire de la côte est des États-Unis, ont développé une tolérance à des concentrations de PCB jusqu'à 8000 fois plus élevées que la concentration normalement létale.

Outre les facteurs physiques et chimiques, les facteurs biologiques jouent aussi un rôle majeur. En ville, une multitude d'espèces de toutes sortes se côtoient. Parmi elles se trouvent des espèces étrangères, introduites accidentellement ou intentionnellement : les plantes ornementales, les cultures agricoles et insectes nuisibles, les animaux domestiques ainsi que tous les insectes et mauvaises herbes que les individus transportent sur leurs vêtements ou dans leurs véhicules. Ces organismes forment un ensemble d'espèces qui cohabitent bon gré mal gré, sans avoir eu vraiment l'occasion de s'adapter les unes aux autres.

Ce mélange peu orthodoxe ouvre la porte à l'apparition de nouvelles stratégies d'attaque et de défense et à des phénomènes de coévolution. De nouvelles aptitudes pour se nourrir à partir de graines natives des villes pourraient apparaître avec le temps chez les perruches exotiques, tandis que les oiseaux urbains développeraient des défenses immunitaires contre des parasites venus d'ailleurs.

Tout cela crée un mélange explosif au sein duquel les espèces urbaines évoluent rapidement. Des adaptations majeures apparaissent parfois en quelques décennies, voire en quelques années seulement. La tolérance au PCB chez les choquemorts est survenue en seulement quelques dizaines de générations.

DES ESPÈCES QUI SE MODIFIENT JUSQU'À DEUX FOIS PLUS VITE QUE DANS D'AUTRES MILIEUX

Nombreux sont ceux qui doutent que l'évolution puisse se dérouler si rapidement. Darwin lui-même écrivait : « Nous ne voyons rien de ces lents changements tandis qu'ils se produisent, jusqu'à ce que la main du temps les ait frappés au sceau des âges anciens. » Pourtant, sous la pression implacable de la sélection naturelle, l'évolution procède parfois bien plus rapidement que Darwin ne l'envisageait. C'est particulièrement vrai pour les organismes qui se reproduisent plusieurs fois par année.

Dans une métaanalyse de plus de 1600 études de cas, publiée en 2017, une équipe dirigée par Marina Alberti, de l'université de Washington, a montré qu'en effet, l'urbanisation accélère l'évolution. Les taux de changements des espèces sont plus élevés, parfois jusqu'à deux fois plus, dans les écosystèmes urbains.

Si une évolution-adaptation se produit rapidement tout autour de nous en milieu urbain, cela signifie-t-il que tout va bien ? Toutes les espèces parviendront-elles à s'adapter aux milieux modifiés par les humains ? Hélas non. Seules quelques-unes seront en mesure de survivre, de se développer, voire de coloniser les villes. Et à chaque histoire de succès, on comptera peut-être une dizaine de cas d'extinctions d'espèces, lesquelles n'auront pas pu s'adapter aux conditions de la vie citadine. La plupart des plantes et des animaux continueront à avoir besoin de réserves, d'aires protégées, de lois et d'autres mesures de protection permettant de sauvegarder des habitats non touchés par l'homme, au milieu des paysages de plus en plus urbains du futur.

Aucun autre habitat extrême n'a eu une présence aussi étendue

Néanmoins, le fait que les écosystèmes urbains gagnent de plus en plus de terrain représente un nouveau chapitre captivant de l'histoire de la vie sur Terre. Jusqu'à aujourd'hui, aucun autre habitat extrême n'a eu une présence aussi étendue sur la planète. En tout point du globe, les villes partagent une série de caractéristiques communes auxquelles la flore et la faune s'adapteront de façon similaire. La plupart des espèces urbaines, tels les pigeons des villes, les trèfles blancs et les pissenlits, se retrouvent partout sur la planète : des naturalistes amateurs pourraient ainsi aider les chercheurs à suivre l'étendue et le rythme des changements qui touchent ces espèces. D'ailleurs, l'évolution des escargots à la coquille jaune a été révélée par des volontaires grâce à l'application SnailSnap sur leur téléphone. Des données sur plus de 12000 escargots ont ainsi été récoltées dans les villes néerlandaises.

En évoluant de façon parallèle sous l'effet de conditions urbaines comparables, toutes ces espèces intrépides pourraient devenir au fil du temps de plus en plus semblables. À l'ère de l'urbanisation galopante, l'évolution en ville se distinguerait alors de l'évolution en milieu naturel ou en milieu humain non urbain. Puisqu'un tel scénario écologique n'a pas de précédent, nous pouvons seulement tenter de deviner de quoi le futur sera fait. ■

BIBLIOGRAPHIE

M. Schilthuizen, **Darwin Comes to Town : How the Urban Jungle Drives Evolution**, Picador, 2018.

W. Halfwerk et al., **Adaptive changes in sexual signaling in response to urbanization**, *Nature Ecology & Evolution*, publié en ligne le 10 décembre 2018.

K. M. Gaynor et al., **The influence of human disturbance on wildlife nocturnality**, *Science*, vol. 360, pp. 1232-1235, 2018.

M. Alberti et al., **Global urban signatures of phenotypic change in animal and plant populations**, *PNAS*, vol. 114(34), pp. 8951-8956, 2017.

