

Espèces	Effectifs	Depuis 1989	Depuis 2001	Ces dix dernières années
	Pigeon ramier (espèce généraliste)	+169%	+52%	+34%
	Bouvreuil pivoine (espèce des milieux forestiers)	-64%	-38%	-35%
	Hirondelle rustique (espèce des milieux bâtis)	-39%	-18%	-24%
	Tarier des prés (espèce des milieux agricoles)	-57%	-43%	-37%

© Shutterstock.com

Aux latitudes élevées, en revanche, le basculement – et le déplacement global vers les pôles – d'écosystèmes terrestres relativement froids et pauvres en biodiversité exposés à des températures croissantes doit théoriquement s'accompagner d'un enrichissement des communautés terrestres locales et régionales, tant en nombre d'espèces qu'en abondance d'individus. Ainsi, dans les décennies à venir, les terres gelées du Groenland devraient se transformer localement en toundras, les toundras du nord du Canada et de la Russie laisser place à la forêt boréale, les franges méridionales de cette dernière se changer en forêts tempérées ou en prairies (selon l'hygrométrie locale), peuplées d'espèces généralistes et spécialistes venues d'habitats voisins.

À l'échelle planétaire, ces dynamiques de dérive des communautés locales et régionales conduisent à une perte nette d'espèces spécialistes ou davantage exposées aux pressions humaines (les espèces chassées, par exemple). En d'autres termes, l'augmentation ou le maintien du nombre d'espèces des communautés locales cachent leur appauvrissement généralisé en espèces spécialistes ou vulnérables, symptôme du déclin mondial de la biodiversité.

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Dornelas *et al.*, **Assemblage time series reveal biodiversity change but not systematic loss**, *Science*, vol. 344, pp. 296-299, 2014.

A. Teyssèdre et A. Robert, **Contrasted effects of habitat reduction, conversion and alteration on neutral and non neutral biological communities**, *Oikos*, vol. 123, pp. 857-865, 2014.

I. Le Viol *et al.*, **More and more generalists : Two decades of changes in the European avifauna**, *Biol. Lett.*, vol. 8, pp. 780-782, 2012.

J. Clavel *et al.*, **Worldwide decline of specialist species : Toward a global functional homogenization ?**, *Front. Ecol. Environ.*, vol. 9, pp. 222-228, 2011.

R. Barbault et A. Teyssèdre, **Invasions d'espèces : Cause ou conséquence de la perturbation des écosystèmes ?**, *Pour la Science*, n° 376, février 2009.

Ainsi, la divergence des dynamiques de biodiversité locale et globale que Maria Dornelas et ses collègues ont mise en évidence est cohérente avec la théorie. En déclarant leur surprise devant l'absence de déclin moyen du nombre d'espèces locales, les chercheurs ont jeté un voile sur la cohérence des résultats et favorisé la diffusion, auprès des citoyens et décideurs, d'un message optimiste sur la « résilience de la biodiversité », suggérant que les changements actuels de biodiversité à l'échelle locale seraient neutres et anodins. Cette interprétation est fautive. Ces changements impliquent de multiples disparitions d'espèces ainsi que des pertes génétiques et fonctionnelles aux échelles locale, régionale et globale, indétectables par de simples suivis du nombre d'espèces.

Une loi nécessaire

Les enjeux des changements environnementaux associés à l'expansion humaine sont considérables tant sur le plan éthique qu'écologique. Notamment, les espèces généralistes en expansion ne sont pas omnipotentes. Rien n'assure que le remplacement d'espèces spécialistes par des généralistes dans des écosystèmes soumis à des « forçages » physiques, chimiques et biologiques croissants produira des écosystèmes stables et fonctionnels, ni même que toutes leurs fonctions seront maintenues. Rien, non plus, n'interdit leur basculement vers un régime défavorable aux sociétés humaines.

Face à ce constat, les recherches sur la résilience des communautés et réseaux écologiques sont plus que jamais nécessaires. Et devant l'ampleur des enjeux liés à leur dynamique actuelle, l'urgence pour les sciences de la conservation est d'aider les sociétés à réduire leurs pressions sur les écosystèmes dont elles dépendent. En d'autres termes, de favoriser l'adoption de mesures et modes de vie ménageant la biodiversité et le fonctionnement des (socio)écosystèmes.

Bien que d'ambition limitée, le projet de loi sur la biodiversité ballotté entre l'Assemblée nationale et le Sénat depuis janvier 2016 va dans ce sens, notamment les points en discussion tels que la taxe sur l'huile de palme et l'interdiction des produits phytosanitaires contenant des néonicotinoïdes, néfastes aux insectes. Il serait regrettable que cette loi soit dénaturée et retardée. Et tout message ambigu ou rassurant sur la dynamique actuelle de la biodiversité ne fait que nous ralentir encore. ■

La révolution de l'apprentissage profond

Yoshua Bengio

Reconnaître un visage, compléter une phrase, gagner au jeu de go... Après plusieurs décennies de déconvenues, les machines intelligentes deviennent enfin réalité – grâce à des réseaux de plusieurs couches de neurones artificiels.

Les ordinateurs ont suscité beaucoup d'enthousiasme et d'attentes dans les années 1950, quand ils ont commencé à battre au jeu de dames certains amateurs de bon niveau. Dans les années 1960, les chercheurs espéraient reproduire les fonctions du cerveau humain avec un ordinateur et des programmes informatiques. L'« intelligence artificielle » égalerait alors les performances humaines pour tous les types de tâches. En 1967, le spécialiste Marvin Minsky, du MIT (l'Institut de technologie du Massachusetts), affirmait que les défis de l'intelligence artificielle seraient résolus en une génération.

Cet optimisme était prématuré. Les logiciels de l'époque visant à aider les médecins à établir de meilleurs diagnostics et les réseaux modélisés d'après le cerveau humain pour reconnaître le contenu de photographies n'ont pas tenu les promesses de l'engouement initial. Les algorithmes étaient trop simples et manquaient de données, nécessaires pour parfaire leur apprentissage. La puissance de traitement informatique était également insuffisante pour faire tourner des machines capables de mener à bien les calculs complexes nécessaires à l'imitation, même approximative, des subtilités de la pensée humaine.

Au milieu des années 2000, le rêve de construire des machines aussi intelligentes que des humains avait presque été abandonné

L'ESSENTIEL

■ L'intelligence artificielle telle qu'on l'imaginait dans les années 1950 a été plus difficile à développer que prévu.

■ Depuis quelques années, le domaine a connu un grand renouveau avec les techniques de l'apprentissage profond, inspirées des réseaux de neurones du cerveau.

■ Un réseau de neurones artificiels à apprentissage profond acquiert sans cesse de l'expertise à partir de nouvelles données.

■ Un tel réseau a déjà battu un joueur de go professionnel, d'autres reconnaissent des images ou la parole...

© Shutterstock.com/Pour la Science



par la communauté scientifique. À cette époque, même le terme d'« intelligence artificielle » semblait avoir déserté le domaine de la science sérieuse. Les chercheurs décrivent la période allant des années 1970 au milieu des années 2000 par l'expression « AI winters », une sorte de long hiver glaciaire de l'intelligence artificielle où tous les espoirs avaient été brisés.

Les choses ont commencé à basculer en 2005. Les perspectives dans le domaine de l'intelligence artificielle ont radicalement changé avec l'apprentissage automatique et l'émergence de l'« apprentissage profond », qui revisite le connexionnisme des années 1960 et s'inspire des neurosciences. Les réalisations actuelles de l'apprentissage profond sont à la hauteur des promesses d'antan, et les grandes entreprises des technologies de l'information consacrent désormais des milliards de dollars ou d'euros à son développement.

Par apprentissage profond, on entend un traitement effectué par un grand nombre de neurones artificiels (imitant de façon très simplifiée les neurones biologiques) qui, par leurs interactions, permettent au système d'apprendre progressivement à partir d'images, de textes ou d'autres données. L'apprentissage repose sur des principes mathématiques généraux. Le résultat de l'apprentissage est une représentation (par exemple, « Cette image contient des éléments différents »), une décision (par exemple « Cette image représente Jeanne Dupont ») ou une transformation (par exemple la traduction d'un texte dans une autre langue).

La technique de l'apprentissage profond a transformé la recherche en intelligence artificielle, ranimant des ambitions oubliées pour la vision par ordinateur, la reconnaissance automatique de la parole et la robotique. Les premières applications ont vu le jour en 2012 pour la compréhension de la parole (vous avez certainement entendu parler de Siri, qui équipe les iPhone). Et peu après sont arrivés des logiciels qui identifient le contenu d'une image, une fonctionnalité qu'intègre maintenant le moteur de recherche Google Photos.

Tous ceux qui sont frustrés par les menus malcommodes de leur téléphone peuvent apprécier les avantages d'utiliser Siri ou

■ L'AUTEUR



Yoshua BENGIO est professeur d'informatique à l'université de Montréal. Il est l'un

des pionniers du développement des méthodes d'apprentissage profond.

un autre « assistant personnel » sur leur appareil. Et pour ceux qui se rappellent combien la reconnaissance d'objets était mauvaise il y a quelques années seulement (les logiciels confondaient un aspirateur et un tatou, par exemple), les avancées dans le domaine de la vision artificielle ont été phénoménales : aujourd'hui, moyennant certaines conditions, les ordinateurs savent reconnaître sur des images un chat, une pierre ou des visages presque aussi bien que les humains. Les logiciels d'intelligence artificielle font désormais partie du quotidien de millions d'utilisateurs de téléphones. Personnellement, je n'écris plus de messages : je parle simplement à mon téléphone, et parfois il lui arrive même de me répondre.

Ces progrès ont ouvert la voie à de nouvelles réalisations de ces techniques, à des applications commercialisées, et l'intérêt ne cesse de croître. La concurrence fait rage entre les entreprises pour attirer les jeunes talents ; les titulaires d'un doctorat en apprentissage profond sont une denrée rare très convoitée. De nombreux professeurs d'université spécialistes du domaine (la majorité, d'après certaines estimations) sont passés du milieu académique à l'industrie, séduits par des équipements de pointe et par de généreux salaires.

Les efforts déployés pour répondre aux défis de l'apprentissage profond ont débouché sur des réussites époustouflantes. La très récente victoire au go d'un réseau neuronal sur le joueur professionnel Lee Sedol a fait la une de nombreux journaux (*voir la figure page 47*). Les applications vont s'étendre à d'autres domaines de l'expertise humaine, et pas seulement aux jeux. Par exemple, un algorithme d'apprentissage profond nouvellement développé serait capable de diagnostiquer des insuffisances cardiaques sur des images d'IRM aussi bien qu'un cardiologue.

Ce succès récent de l'apprentissage profond a de quoi surprendre quand on se penche sur l'histoire de l'intelligence artificielle. Pourquoi celle-ci a-t-elle buté sur tant d'obstacles dans les décennies précédentes ? Parce qu'apprendre des choses nouvelles est, pour une machine, difficile. L'essentiel de la connaissance que nous

Dans les années
1960

les chercheurs pensaient
résoudre les problèmes
de l'intelligence artificielle
en moins d'une génération