



← Aujourd'hui partenaire de l'homme (ici, la programmation d'un bras robot), la machine intelligente pourrait, demain, capter une partie importante de l'emploi. Une catastrophe... ou bien une chance ?

par exemple arrêter de changer de téléphone tous les deux ans ou de passer du temps à visionner des films en haute résolution sur un téléphone cellulaire. Il y a beaucoup de gaspillage, comme avec les « chaînes de blocs » (*blockchains*), ces procédés de stockage sécurisés et décentralisés, qui pourraient fonctionner en consommant plusieurs ordres de grandeur d'énergie en moins pour le même résultat. Dans le numérique comme pour le reste, il va nous falloir apprendre à être frugaux.

Et concernant le monde du travail ?

L'ensemble de la technologie numérique a une incidence sur l'emploi, pas seulement l'intelligence artificielle. Aujourd'hui, on peut faire fonctionner une usine avec très peu d'individus grâce à l'informatique en général. Il est vrai qu'avec l'intelligence artificielle on va aller encore plus loin dans le remplacement de l'humain. Après sa force physique, son travail intellectuel devient de plus en plus remplaçable. Le hiatus est qu'on veut une société plus

sobre énergétiquement, qui produise et pollue moins, et qu'on veut aussi moins travailler, donc utiliser plus de machines. Or il faut de l'énergie pour fabriquer les machines et elles ont des rendements souvent moins bons que les nôtres. Pour y arriver, de sérieuses avancées scientifiques et d'importantes mesures d'économie seront nécessaires. Et puis, si les machines remplacent les humains, qui va être rétribué ? Uniquement ceux qui les possèdent ? Dans ce cas, la grande masse de la population sera non seulement privée d'activité, mais aussi de quoi se nourrir. Ce ne sera pas socialement tenable. Dans les vingt à cinquante ans à venir, une transformation complète de la société s'imposera, exigeant que l'économie soit beaucoup plus redistributive. Voilà pour le volet sociétal, qui se double d'un volet humain. Dans notre culture, on nous apprend dès l'enfance que le travail est la grande valeur. Comment fera-t-on dans un monde où une grande partie d'entre nous sera sans emploi, ou avec de l'emploi partiel, ou des travaux associatifs ou d'aide à la personne, non « productifs » dans le sens économique actuel ? Il nous faut inventer une nouvelle philosophie du travail, de son utilité sociale, une nouvelle philosophie des loisirs. Le côté génial, c'est que, si on ne se plante pas écologiquement ou socialement, l'informatique nous permet d'avoir l'ambition la plus dingue, celle d'une société égalitaire où tout le monde vivrait bien, en s'éduquant, avec autant de loisir que souhaité. Ce n'est pas de la science-fiction... Enfin, je l'espère.

Propos recueillis par Olivier Voizeux

Prouesses et promesses

On a longtemps pensé qu'une machine serait intelligente le jour où elle battrait le champion du monde d'échecs.

C'est arrivé en 1997, et depuis, « l'intelligence artificielle », qui se distingue mal de l'informatique plus « ordinaire », irrigue nos ordinateurs, nos téléphones et nos réseaux.

Mieux: depuis les années 2010, une approche ancienne, mais un peu délaissée, celle du réseau de neurones numériques, est venue à bout de problèmes jusque-là sans solution.

Ainsi les records se sont-ils enchaînés: traduction automatique, prédiction des formes tridimensionnelles des protéines, analyse d'images médicales...



01

Aider au diagnostic, au pronostic et au traitement: les objectifs de l'intelligence artificielle appliquée à l'imagerie médicale ne sont pas minces. Après des premiers succès spectaculaires mais coûteux, la recherche sur les algorithmes vise désormais à établir un «jumeau numérique» du patient.

La fée IA au chevet des malades

Nicholas Ayache



Pour l'imagerie médicale, l'informatique n'est pas exactement une nouveauté. On peut même affirmer qu'il y a des algorithmes depuis qu'il y a de l'imagerie numérique car, sans eux, il serait impossible d'exploiter les signaux originaux fournis par les dispositifs, IRM et autres, qui échappent totalement à nos sens et avec lesquels sont construites les images du corps humain. Toutefois, depuis quatre à cinq ans, un nouveau pas a été franchi dans le traitement informatique des images médicales numériques avec l'avènement des algorithmes d'apprentissage profond, qui utilisent, avec succès, des masses de données considérables qu'aucun cerveau humain n'est capable d'appréhender en totalité.

Des exemples récents ont frappé les esprits. En dermatologie, un logiciel d'apprentissage profond, préalablement entraîné sur plus de 1 million d'images générales annotées, a été ajusté sur les images de 130 000 anomalies dermatologiques pour apprendre à distinguer automatiquement les mélanomes des lésions bénignes avec l'expertise d'un dermatologue. En radiologie, l'entreprise française Therapixel a soumis son logiciel aux 640 000 mammographies proposées lors d'une compétition mondiale et a remporté celle-ci en repérant mieux que tous ses concurrents les images suspectes. Ce programme se mesure aujourd'hui aux radiologues experts. En pneumologie, un logiciel développé par Google, entraîné sur des milliers de scanners et testé sur plus de 1 000 nouvelles images, est capable de détecter la présence de nodules suspects dans les scanners volumiques des poumons, et de les caractériser aussi bien qu'un professionnel.

— En bref —

- > Algorithmes d'apprentissage profond et vastes bases de données d'images médicales offrent à l'IA une expertise comparable à celle de l'humain pour détecter certaines pathologies.
- > Ce savoir-faire est néanmoins très spécialisé et coûteux à acquérir.
- > La recherche en IA travaille aussi à établir des « jumeaux numériques » du patient, permettant un pronostic et une thérapie personnalisés.
- > Un large partage des données et une formation de tous les professionnels de santé à l'IA sont nécessaires pour faire progresser la discipline.

Enfin, en ophtalmologie, d'autres logiciels d'apprentissage, entraînés sur plus de 130 000 images de la rétine, identifient les rétinopathies diabétiques avec la fiabilité d'un ophtalmologue. C'est le cas d'IDx-DR, approuvé en 2018 par la FDA, l'agence américaine du médicament, pour faire ce diagnostic automatiquement sans que l'image ne soit vue par un spécialiste. Depuis, plus d'une douzaine de systèmes d'imagerie assistés par l'IA ont reçu ce label.

UN DOUBLE NUMÉRIQUE POUR CHAQUE PATIENT

Bien que ces résultats soient spectaculaires, ils restent pour l'instant confinés à des tâches précises, relativement étroites, pour lesquelles d'immenses bases de données renseignées par des spécialistes sont disponibles. Or ces bases ne sont pas légion, leur acquisition et surtout leur analyse par des experts coûtent très cher (voir l'encadré page ci-contre). De plus, en cas de doute, les algorithmes d'apprentissage profond sont caractérisés par des millions de paramètres opaques à l'interprétation. Ils sont aussi sensibles aux attaques contradictoires. En 2019, une étude a révélé qu'ajoutées dans les images, de petites perturbations totalement invisibles à l'œil nu mais calculées très précisément bouleversaient les résultats (voir *Un seul pixel vous manque, et tout est désappris*, par J.-P. Delahaye, page 60). Dans ces conditions, une lésion de la peau initialement classée bénigne avec 100 % de confiance devient maligne avec le même taux de confiance, alors qu'à l'œil nu la différence est imperceptible. L'inverse est aussi envisageable,