

projets futurs dans le passé expliquerait pourquoi, chez les sujets, passé et futur activent le même réseau cérébral. En effet, nous avons déjà pensé précédemment à certains de nos projets pour le futur (des projets de vacances par exemple), nous pouvons donc nous en souvenir, c'est-à-dire qu'ils sont stockés dans notre mémoire du passé alors qu'ils concernent nos projets dans le futur. À ce stade, on mesure donc que nos pensées épisodiques, passées et futures, sont foncièrement entremêlées.

De façon intéressante, il a été montré que les régions cérébrales communes au voyage mental vers le passé, le futur et vers l'autre (la théorie de l'esprit) sont également celles qui sous-tendent le «réseau du mode par défaut». Ce réseau est activé lorsque nous ne sommes pas en prise directe avec notre environnement extérieur et que nous nous tournons vers nos pensées internes. Il permet de consulter notre mémoire autobiographique, d'élaborer des scénarios plus ou moins plausibles. En outre, une relation empathique avec autrui y est omniprésente.

Ces connaissances théoriques pourraient-elles être appliquées pour soigner des pathologies qui influent sur notre vision du futur? Par exemple, partant du constat que les personnes dépressives produisent moins d'anticipations d'événements positifs que les autres, Jennice Vilhauer, de l'université Emory, à Atlanta, aux États-Unis, et ses collègues ont exploré une nouvelle forme d'intervention psychologique pour le traitement de la dépression: la «thérapie orientée vers le futur» (voir l'encadré page 83).

Ainsi, retenons que les mécanismes cognitifs et neuraux en jeu pour se remémorer le passé ou envisager l'avenir sont en partie communs. Les études d'imagerie cérébrale vont dans le sens de celles portant sur le développement de l'enfant, montrant que vers l'âge de trois ou quatre ans apparaît un niveau de conscience de soi, qui permet à la fois de se rappeler certains souvenirs de sa vie et de se projeter dans le futur.

UNE MERVEILLE DE LA NATURE

De même, les changements liés au vieillissement semblent affecter de la même façon les évocations mentales du passé et du futur, les sujets âgés fournissant moins de détails concernant les événements passés et futurs que les sujets jeunes. Ces résultats expliquent les difficultés rencontrées par les patients amnésiques à se projeter dans l'avenir. Nous avons besoin de notre passé pour anticiper et simuler l'avenir.

Ainsi que l'écrivait Endel Tulving, la fonction adaptative de la mémoire épisodique consisterait en son utilisation pour infléchir nos comportements futurs. Comme le souligne Daniel Schacter, la mémoire du futur a des implications comportementales à la fois sur le plan individuel, en matière de planification et d'atteinte

d'objectifs, mais également sur le plan social, en soutenant la coopération et l'altruisme.

En effet, cette pensée future épisodique ne doit pas être conçue dans un cadre strictement individuel. Elle inclut les nécessaires interactions avec les autres et plus largement avec les cadres sociaux. Tout comme la mémoire autobiographique, la projection vers le futur est indissociable d'une mémoire collective qui permet des échanges harmonieux avec autrui.

Les amnésiques, et plus largement les patients souffrant de troubles de la mémoire, révèlent, en soulignant sa disparition singulière du fait de leur amnésie, notre capacité à voyager mentalement dans le temps, à nous «téléporter», à nous extraire du temps présent. Endel Tulving, l'inventeur de la mémoire épisodique, a qualifié celle-ci de merveille de la nature, puisqu'elle permet d'inverser la flèche du temps, de «remonter le temps» comme si elle parvenait à déroger aux lois de la nature.

UNE MÉMOIRE À PROTÉGER

Cette merveille est néanmoins menacée par l'essor des technologies numériques et l'externalisation croissante de nos mémoires. Les conséquences des technologies numériques et de leurs mésusages sont patentées sur le devenir de la mémoire du futur, une composante essentielle de la mémoire indispensable pour orienter notre devenir sur le plan individuel comme sur le plan collectif. Elle est l'essence même de notre élan vital, de notre libre arbitre, de notre capacité à déjouer le déterminisme, pour l'individu comme pour l'humanité.

Progressivement, nos mémoires se sont massivement externalisées, tout particulièrement *via* les outils et des «dispositifs». Leur utilisation fut d'abord purement technique, mais, succès oblige, ces outils ont envahi des fonctions qui ne leur étaient pas dédiées initialement, qui semblaient être le terrain irréductible de l'humain: l'éducation, le soin, la création artistique...

Nous avons de plus en plus conscience que le monde connecté et numérisé nous manipule, nous affaiblit, nous uniformise, nous amoindrit. Certains dispositifs sont construits à cet escient dans une logique ultralibérale de profits, qui n'ont jamais été aussi élevés, et on ne voit pas bien comment cette machine infernale s'arrêterait.

Une réflexion et une action éthiques devront présider aux choix stratégiques, en veillant à ce que ceux-ci ne soient pas confisqués par les grandes sociétés qui en tirent du profit ou leurs ayants droit. Cette réflexion ne devrait pas non plus être restreinte aux techniciens et experts du domaine, aux spécialistes généralement parties prenantes, mais faire l'objet d'un vrai débat visant l'intérêt général, où le citoyen devrait toujours avoir la première place. C'est à ce prix que nous retrouverons nos mémoires du futur. ■



Cet article est adapté d'un chapitre du livre *La Mémoire au futur*, Le Pommier, 2018.

BIBLIOGRAPHIE

F. EUSTACHE ET AL., The Mnesis model: Memory systems and processes, identity and future thinking, *Neuropsychologia*, vol. 87, pp. 96-109 2016.

A. VIARD ET AL., Episodic future thinking in semantic dementia: A cognitive and FMRI study, *PLoS One*, vol. 9(10), e111046, 2014.

M. IRISH ET O. PIGUET, The pivotal role of semantic memory in remembering the past and imaging the future, *Front. Behav. Neurosci.*, vol. 7, p. 27, 2013.

D. SCHACTER ET D. ADDIS, The cognitive neuroscience of constructive memory: remembering the past and imaging the future, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, vol. 362(1481), pp. 773-786, 2007.

L'ESSENTIEL

- Le développement du numérique est tel que nous avons dans nos poches tout le savoir du monde.
- Il est difficile d'établir scientifiquement les conséquences de ce phénomène sur notre propre mémoire.
- Les dispositifs électroniques aident à palier quelques troubles

de la mémoire, mais la fusion entre neurones et silicium n'est pas réaliste.

- L'externalisation de nos mémoires pose la question de la pérennité des supports.
- Certains annoncent l'avènement supposé d'une religion fondée sur le data. Rien n'est moins sûr.

L'AUTEUR



JEAN-GABRIEL GANASCIA est professeur à la faculté des sciences de Sorbonne Université, Laboratoire d'informatique de Paris VI (LIP6) et président du comité d'éthique du CNRS.

Les fausses promesses du numérique

Les changements majeurs opérés par le numérique modifient en profondeur notre projection vers le futur. Les conséquences sur notre vie quotidienne sont majeures.

L

a densité des supports externes de mémoire donne le vertige. Le nombre d'ouvrages inscrits au catalogue des livres et imprimés de la Bibliothèque nationale de France, que l'on estime à 14 millions, a pendant longtemps constitué l'horizon ultime du savoir. À supposer qu'un livre standard comporte moins d'un million de caractères typographiques, cette somme

des connaissances tiendrait sur 14 téraoctets, ou To, un To correspondant à 10^{12} octets (voir *L'explosion mémorielle change la donne*, par G. Dowek, page 92), c'est-à-dire sur quelques disques durs dont le coût actuel, de l'ordre de quelques dizaines d'euros, sera amené à décroître encore dans les années qui viennent.

En outre, en miniaturisant plus encore les dispositifs de stockage, ce volume pourra bientôt être stocké sur une montre connectée ou un téléphone portable. Nous aurons donc bientôt tout le savoir du monde au plus proche de nous. Ce constat soulève nombre de questions dont certaines demeurent sans réponse: immédiatement disponible, ce savoir est-il pour autant plus proche de nos têtes? Dans quelle mesure y a-t-on un véritable accès? Comment l'interroge-t-on? Et, si nous sommes en mesure d'y retrouver instantanément tout ce que nous



Le cloud et les fermes de serveurs qui l'hébergent sont les dépositaires de notre mémoire. Est-ce vraiment une bonne idée ?

souhaitons, cela ne se fera-t-il pas au détriment de notre propre mémoire qui ne s'entraînera plus à apprendre et qui, du fait de cette déshabilitation, en perdra sa capacité ?

REMÈDE ET POISON

Cette crainte que notre mémoire interne s'atrophie du fait de la disponibilité de supports externes est ancienne. Dans *Phèdre*, le dialogue de Platon mettant en scène Phèdre et Socrate, l'écriture est vue comme une menace pour la pratique philosophique, en cela que le texte figé trahirait la personne qui l'a écrit, alors que seule sa présence physique, sans médiation, autoriserait le déploiement de la pensée dans son entièreté. Cependant, ce dialogue n'a pu nous être transmis que grâce au texte de Platon, ce qui montre bien l'ambivalence de l'écriture et, corrélativement, des supports externes en

général qui conservent une trace de la présence alors que, sans eux, elle aurait disparu à jamais. À cet égard, Jacques Derrida insiste dans *La Pharmacie de Platon* sur ce caractère double de l'écriture qui serait un *pharmakon*, au sens grec, une substance à la fois remède et poison – en l'occurrence ici, remède et poison de la mémoire – selon l'usage qui en est fait.

Aujourd'hui, où des discours comme ceux de Platon dans *Phèdre* ont toujours cours, on s'inquiète parfois des conséquences de la prolifération des mémoires externes sur nos capacités mnésiques. Quelques-uns même sentent confusément, et parfois avec nostalgie, que les véhicules de la culture évoluent. Ainsi, la poésie versifiée n'a-t-elle plus vraiment de lecteurs, elle qui était encore si importante jusqu'au début du ^{xx}e siècle. Pourtant, si l'on en croit beaucoup de poètes, elle est à la fois mémoire ➤

- > par la langue, grâce au mètre et à la rime, et mémoire de la langue.

Parmi ces commentateurs, qui doit-on suivre? les pessimistes qui craignent que la capacité mnésique s'amenuise, ou les optimistes qui pensent que les modes d'expression se transforment? Possède-t-on, en tant que scientifiques, des mesures qui permettent d'apprécier l'évolution des capacités mnésiques consécutives à l'emprise du numérique sur nos activités quotidiennes?

LE QI EN BERNE?

Certains chercheurs prétendent que le quotient intellectuel (QI) moyen aurait enregistré un recul depuis les quinze dernières années dans les pays occidentaux. Cela correspond à l'inversion de l'effet Flynn, du nom du psychologue James Robert Flynn. Il a montré que durant le ^{xx}^e siècle, les résultats des tests du QI augmentaient au sein d'une même population, sur des cohortes d'âge identique, par exemple au moment du service militaire. Or, depuis le milieu des années 1990, on assisterait à une stagnation, voire à une régression de ces résultats. On invoque de nombreuses raisons, par exemple les perturbateurs endocriniens.

Indépendamment des pseudo-explanations à cette baisse du QI, précisons que l'intelligence n'est pas unidimensionnelle: elle est la résultante d'un ensemble de fonctions cognitives disparates (perception, mémoire, apprentissage, raisonnement, communication...). En conséquence, la notion de QI apparaît très discutable au plan scientifique, ce qui relativise ces conclusions. D'ailleurs, des chercheurs, comme Franck Ramus, de l'École normale supérieure, à Paris, les réfutent.

En nous restreignant à la mémoire, nous sommes confrontés aux mêmes difficultés: la mémoire est multiple et ne peut se résumer à un seul indicateur. Ainsi, entre la mémoire consciente et inconsciente, la mémoire déclarative et la mémoire procédurale, la mémoire immédiate et la mémoire à long terme..., nous avons de nombreuses dimensions. Chacune a fait l'objet de bien des travaux scientifiques, mais nous ne disposons pas de suffisamment d'études pour faire des analyses diachroniques. Ajoutons que l'interprétation de telles évolutions paraît d'autant plus difficile que de multiples facteurs interviennent: éducation, habitat, polluants...

Outre les supports externes (cailloux peints, cathédrales, livres...) qui étendent les capacités de notre mémoire, et leur prolifération, à laquelle les technologies de l'information contribuent dans les proportions considérables, il est apparu éventuellement possible, en profitant de l'apport combiné des neurosciences, de

l'informatique et des nanotechnologies, de modifier notre mémoire interne, en y greffant des dispositifs technologiques.

RÉPARER OU AUGMENTER?

Dans un premier temps, il s'agit de soigner des troubles mnésiques à l'aide d'implants cérébraux, c'est-à-dire d'appareils électroniques placés dans notre cerveau. Cela s'inscrit dans la continuité des travaux sur les implants cérébraux à visée thérapeutique. L'équipe du neurochirurgien Alim-Louis Benabid, à Grenoble, a été pionnière en proposant avec succès de la stimulation cérébrale profonde à des patients atteints de maladie de Parkinson pour soigner les symptômes les plus gênants, en particulier les tremblements.

Des études sont également menées avec les mêmes techniques chez des patients atteints de maladie d'Alzheimer au CHU de Nice, par Denys Fontaine et son équipe. Un ralentissement ou une stabilisation du déclin cognitif, en particulier des facultés de mémorisation, ont été observés.

De même, à l'université de Californie du Sud, Theodore Berger tente de redonner à des rats et à des singes des fonctions cognitives qu'ils avaient perdues. Pour ce faire, il a associé un enregistrement des signaux cérébraux avec des implants cérébraux, un traitement informatique de ces signaux et une émission de nouveaux signaux toujours avec des implants cérébraux pour permettre avec des «neuroprothèses» de rétablir des connexions neuronales qui auraient été rompues.

Toujours aux États-Unis, d'autres recherches utilisant ce même type de dispositifs et financées par la Darpa (*Defense Advanced Research Projects Agency*) visent à soigner des troubles de stress post-traumatiques ou des addictions, dont on considère qu'ils sont les uns et les autres liés à la mémoire.

Ces quelques succès stimulent des anticipations hyperboliques. Par exemple Theodore Berger et Laurie Pycroft, de l'université d'Oxford, affirment que l'on adjoindra des dispositifs électroniques à nos cerveaux pour étendre nos mémoires. De même, Elon Musk (voir la figure page 91), l'entrepreneur médiatique qui promet de transformer les villes avec les voitures électriques de la société *Tesla* et d'envoyer des hommes sur Mars avec la société *SpaceX*, aborde aussi le secteur des neuroprothèses.

La société *Neuralink*, qu'il a fondée en mars 2017, propose, dans un premier temps, de développer des implants à visée thérapeutique analogues à ceux mentionnés. Elle ambitionne ensuite d'augmenter la mémoire et l'intelligence en greffant des dispositifs électroniques de stockage d'information à notre



Le disque de quartz fondu mis au point par Peter Kazansky, peut contenir jusqu'à 360 To de données, soit plus de 25 BNF.

cerveau, créant ainsi une sorte d'homme symbiotique dont la mémoire interne serait directement connectée à des mémoires électroniques qui accroîtraient ses capacités. Selon Elon Musk, cette hybridation de l'électronique sur le cérébral se résumerait « simplement [à] une question de bande passante et de rapidité de connexion ». Si c'était vrai, cela signifierait que nous n'aurons bientôt plus besoin de passer des années à apprendre des choses ennuyeuses comme les tables de multiplication, les déclinaisons latines ou l'anatomie pour les médecins; il suffira de charger le bon module...

Cette proposition d'extension de la mémoire individuelle est assez étonnante, car elle relève bien plus de la fiction que de la science. Elle vient d'ailleurs d'un auteur de science-fiction écossais, Iain Banks, qui avait imaginé le concept de « lacet neuronal » (*neural lace*), pour établir la connexion entre notre cerveau et celui des autres.

EXTENSION DU DOMAINE DE LA MÉMOIRE

Elon Musk transpose cette idée à ce qu'il appelle, « l'esprit de ruche » (*hivemind*), la collaboration des esprits qui partageraient entre eux leurs connaissances et leurs opinions. Dans cette perspective, nous nous connecterions chacun à un disque dur et ces disques durs se connecteraient ensuite entre eux, dans un monde fusionnel. Sans doute de telles déclarations d'hommes d'affaires de la Silicon Valley relèvent-elles de stratégies industrielles bien connues où l'on se donne des objectifs à long terme irréalistes qui font rêver, tandis que les objectifs à court terme sont chiffrés et précis. Dans cette éventualité, il importe que des scientifiques démentent de telles annonces qui ne peuvent qu'induire en erreur.

En effet, ce projet d'extension technologique de notre mémoire interne fait fi de la complexité du cerveau qui diffère fondamentalement dans son principe des dispositifs de stockage d'information. Nul ne sait pour l'instant comment les concepts y sont encodés, par exemple comment le concept très concret de *lit* et la notion imaginaire de *sirène* s'y trouvent représentés. Quant au stockage, il est également complexe, puisque la mémoire fait intervenir plusieurs aires cérébrales spécialisées. Enfin, concernant le « rappel » d'une information, différents types de mémoires entrent en jeu, qui sollicitent des aires différentes du cerveau: des mémoires dites inconscientes comme celles qui sont à l'œuvre lorsqu'on reconnaît une personne, des mémoires procédurales qui s'activent quand on marche ou quand on parle, par exemple, des mémoires déclaratives... Bref, il est mensonger de prétendre aujourd'hui être en mesure d'étendre nos capacités cognitives en leur adjoignant des dispositifs électroniques.

Qu'en est-il aujourd'hui de nos mémoires externes collectivement partagées, à savoir des bibliothèques et des médiathèques qui abritent maintenant le patrimoine culturel commun que nous léguerons à nos descendants? D'un côté, ces mémoires se sont considérablement accrues. Ainsi, on estime que la somme d'information contenue sur la toile en 2020 sera de l'ordre de 40 zettaoctets, un zettaoctet correspondant à



**Il est mensonger
de prétendre aujourd'hui
étendre nos capacités
cognitives avec des
dispositifs électroniques**

10²¹ caractères. Pour donner une idée de ce à quoi cela correspond, reprenons l'exemple du catalogue de la Bibliothèque nationale de France: la somme d'informations qu'elle contient équivaut à 14 To. En prenant ce volume comme unité de mesure, la « BnF », le web, en 2020 comprendra environ 2,8 milliards de BnF! Et, ce volume s'accroît considérablement avec le temps, puisque rien que *Twitter* génère quotidiennement 7 To de données, soit 0,5 BnF...

LA PÉRENNITÉ DES DONNÉES

Face à cette pléthore de données, se pose la question de la persistance dans le temps des supports externes sur lesquels elles sont stockées. Les tablettes d'argile datant de 2400 ans avant notre ère peuvent encore être déchiffrées. Écrits entre trois siècles avant notre ère et un siècle après, les manuscrits de la mer Morte sont en moins bon état de conservation, mais il est encore possible d'y lire les caractères inscrits. Au xx^e siècle, les CD-Rom n'avaient qu'une durée de trois ans seulement en utilisation intensive!

Aujourd'hui, pour la sauvegarde de nos données, le *cloud* serait la solution. En réalité, cela ne résout aucunement le problème de la pérennité des données. Le *cloud* stocke un plus grand volume de données que nos mémoires locales, mais il n'en repose pas moins sur des ➤

- supports matériels, dont la durabilité reste très limitée... La persistance garantie des données sur le *cloud* serait de 100 ans. Cette durée reste à vérifier, mais cela signifie *a fortiori* que nous n'avons aucun support permettant un stockage au-delà du siècle. Cela contraint les responsables des archives à faire migrer régulièrement les données sur de nouveaux supports afin de prolonger leur durée de vie. Ainsi, l'hypermnésie qui caractérise notre époque tend simultanément, et corrélativement, à l'amnésie...

LUTTER CONTRE L'AMNÉSIE

La question de la pérennité des documents n'est pas souvent évoquée par les médias. Elle est pourtant cruciale dans de nombreux domaines. La recherche de supports inaltérables fait l'objet du Groupement d'intérêt scientifique (GIS) SPADON. Associant l'Institut national de l'audiovisuel (INA) à différents laboratoires français, il a pour mission de préserver et de numériser les archives audiovisuelles menacées de dégradation par le temps avec des solutions d'archivage plus satisfaisantes que celles qui existent. Les travaux de ces laboratoires portent sur de nouveaux types de disques optiques, sur l'analyse du vieillissement des archives sonores, sur l'évaluation des matériels et logiciels utilisés pour sauvegarder les données et sur l'étude des conditions de conservation des supports.

Peter Kazansky et son équipe de l'université de Southampton, en Angleterre, ont mis au point un disque de verre, qui pourrait contenir 3000 fois plus de données qu'un Blu-ray de même dimension (un Blu-ray contient de 50 à 200 Go) et résister pendant 14 milliards d'années. Cette prouesse technologique repose sur une technologie de stockage en cinq dimensions. Les données sont inscrites dans du quartz fondu, un matériau extrêmement stable (il résiste aux rayons cosmiques et à des températures jusqu'à 1000 °C), à l'aide d'un laser femtoseconde. Les cinq dimensions renvoient à la taille, l'orientation et les trois dimensions spatiales des informations stockées. Elles sont lues avec un microscope optique et un polariseur.

Cette technologie n'est pas encore sortie des laboratoires, mais elle montre qu'il existe des solutions en perspective. Elle est déjà utilisée depuis 2018 par l'Arch Mission Foundation, un organisme qui s'est donné pour mission de créer de nombreuses bibliothèques conservant l'ensemble des connaissances humaines pour les générations futures, sur Terre et... ailleurs. Un disque a d'ores et déjà été envoyé dans l'espace par... Elon Musk!

Une question reste en suspens. Que faire de ces masses de données accumulées dans les supports numériques de stockage d'information? Peut-on les utiliser, comme certains le prétendent pour prédire l'avenir?

Dès l'Antiquité, Cicéron distinguait deux types de divination pour prédire le futur: la parole inspirée – celle de la Pythie – et la corrélation entre les signes, dont il disait qu'elle était «scientifique». Cette dernière se fondait en effet sur l'observation d'un grand nombre d'événements reliés entre eux pour effectuer des prédictions. Longtemps, les gouvernants examinaient les présages avant de partir en guerre, à savoir la corrélation entre des signes apparemment anodins, et le sort. À l'aube de la période moderne, Machiavel propose aux dirigeants un type d'anticipation rationnel différent, en les enjoignant de

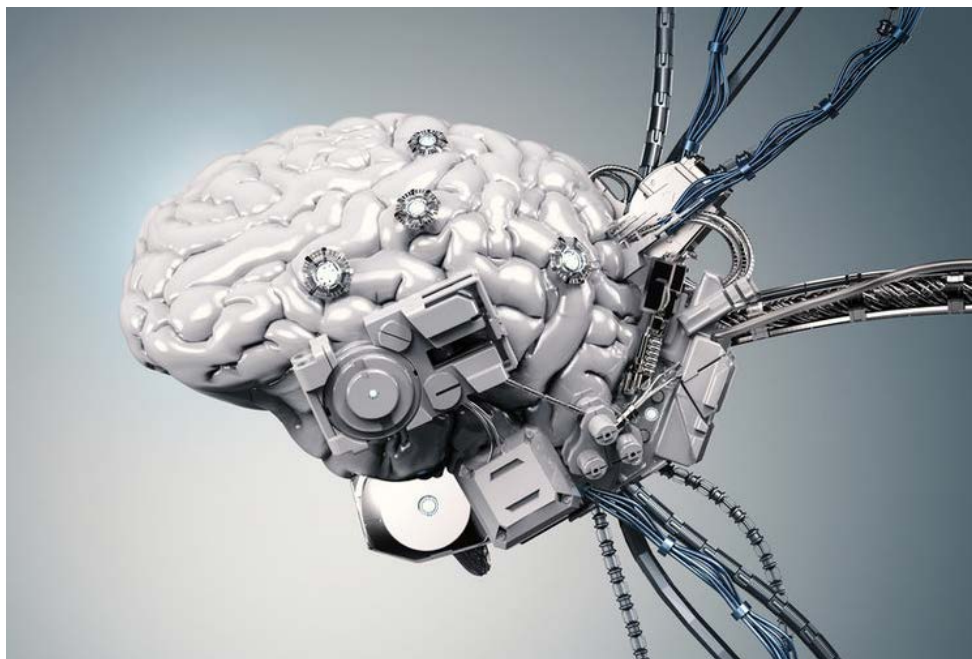


**Un disque
de verre pourrait
contenir 3 000 fois
plus de données
qu'un Blu-ray
de même
dimension**

considérer toutes les hypothèses, c'est-à-dire toutes les possibilités théoriques, puis de les évaluer une à une, à partir des leçons du passé, en calculant la probabilité de chacune d'entre elles.

L'ANTICIPATION DU FUTUR

De nos jours, l'apprentissage machine tel qu'il est mis en œuvre en intelligence artificielle, est aussi une espèce d'anticipation du futur à partir du passé, à savoir une forme de divination. Ce que l'on présente comme étant le *nec plus ultra* de la technologie reste fondé sur les détectations de corrélations. Dans l'apprentissage supervisé, un «enseignant» fournit à la machine des exemples type (que l'on appelle des exemples étiquetés parce qu'ils sont annotés manuellement avec un jeu d'étiquettes fourni à l'avance), à partir desquels cette dernière établit des corrélations, comme associer les caractéristiques propres à une image, en l'occurrence l'image d'un visage, avec son étiquette, par exemple le nom de la personne. Des techniques actuelles permettent – lorsque le nombre d'exemples croît et que l'on utilise de grandes masses de données, ce qui correspond au *big data* – de réduire considérablement le taux statistique d'erreur de la machine lors de la reconnaissance et du



Elon Musk, entrepreneur médiatique et PDG de *Neuralink*, entre autres, prévoit de connecter un cerveau humain à un dispositif électronique afin d'augmenter la mémoire humaine et son intelligence. Ce projet ne résiste pas à une analyse scientifique.

classement d'images. Cela permet de rationaliser les choix en tirant parti des leçons du passé pour se comporter mieux dans le futur. Ces avancées jouent aujourd'hui un rôle central pour la prise de décision dans beaucoup de secteurs. Toutefois, il est essentiel de souligner que «corrélation» ne signifie pas «causalité». Quoi qu'il en soit, notre vision du futur va évoluer avec le temps, comme elle l'a toujours fait.

LA RELIGION DU FUTUR

L'étude rétrospective des anticipations est d'ailleurs riche d'enseignement. Elle constitue une mémoire du futur, au sens d'une mémoire des conceptions du futur. Les œuvres de science-fiction y ont indubitablement une place. Celles de «pop-science» aussi. C'est le cas du très récent *Homo deus, Une brève histoire de l'avenir*. Ce phénomène de librairie révèle ce que les femmes et les hommes de notre temps sont prêts à croire. L'auteur, l'historien Yuval Noah Harari, distingue dans le passé de l'humanité trois grandes phases.

Dans la première, les hommes étaient soumis aux aléas de la nature, sans rien comprendre. Pour donner un sens à ce qui advenait, ils auraient créé des dieux, ce qui aurait conduit à l'invention des religions traditionnelles. Dans la deuxième phase, l'homme aurait commencé à maîtriser les phénomènes naturels grâce au développement de la science. Ce faisant, il se serait pris à penser qu'il n'existait plus de limite à son savoir et qu'il était lui-même la valeur suprême: cela conduisit à une nouvelle religion sans dieux, la religion de l'humain, l'humanisme.

Aujourd'hui, toujours aux dires d'Harari, nous aurions atteint une troisième phase de

l'évolution de l'humanité dans laquelle, avec le développement de la génétique, de l'informatique, de la science et de la médecine, les machines que nous avons créées en sauraient plus sur nous que nous-mêmes. Grâce aux masses de données emmagasinées et traitées par l'intelligence artificielle, elles nous dépasseraient d'ores et déjà et pourraient même nous supplanter.

Et, puisque ce sont les données qui sont à l'origine de cette puissance des machines, Harari émet l'hypothèse selon laquelle une nouvelle religion émergera, celle des données (data) qu'il appelle donc le «dataïsme». L'autorité divine y serait remplacée par celle des données, qui s'imposera aux individus comme aux sociétés. Il prétend que l'analyse des données permettra bientôt de remplacer les anciens usages démocratiques, comme les élections.

D'après Harari, les tenants de cette nouvelle religion (les dataïstes) considéreront que bientôt les hommes ne pourront plus gérer le flux de données, c'est-à-dire leur mémoire, et qu'il leur sera préférable de s'en remettre aux algorithmes pour les analyser. Bref, cette mémoire du futur (la mémoire des activités humaines stockée sur des supports externes) sera mortifère puisqu'elle conduira à priver l'humanité de sa liberté pour la déléguer à des machines.

Cependant, un examen rétrospectif montre qu'au début de l'âge moderne des penseurs comme Spinoza n'iaient de la même façon le libre arbitre, au nom du déterminisme de la nature, ce qui vient contredire l'hypothèse selon laquelle l'humanité entrerait dans une nouvelle ère, le dataïsme qui différerait radicalement de l'humanisme. Nous voilà rassurés... ou pas. ■



Cet article est adapté d'un chapitre du livre *La Mémoire au futur*, Le Pommier, 2018.

BIBLIOGRAPHIE

J.-G. GANASCIA, *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle?*, Le Seuil, 2017.

U. KLOTZBACH ET AL., *Eternal 5D data storage by ultrafast laser writing in glass*, *SPIE Proceedings*, vol. 9736, p. 9736O, 2016.

J. SUNDET, *The end of the Flynn Effect? A study of secular trends in mean intelligence test scores of Norwegian conscripts during half a century*, *Intelligence*, vol. 32, p. 349, 2004.

L'ESSENTIEL

● Un disque de quelques centimètres, qui coûte moins de 100 euros, peut contenir aujourd'hui l'équivalent d'une bibliothèque nationale.

● De telles mémoires de stockage, par les possibilités qu'elles offrent, bouleversent

l'activité scientifique et nécessitent des développements informatiques.

● Elles modifient aussi notre rapport au passé et ouvrent des perspectives dans de nombreux domaines : la politique, l'économie, l'éducation...

L'AUTEUR



GILLES DOWECK est chercheur en informatique à l'Inria, au sein de l'équipe *Deducteam*.

L'explosion mémorielle change la donne

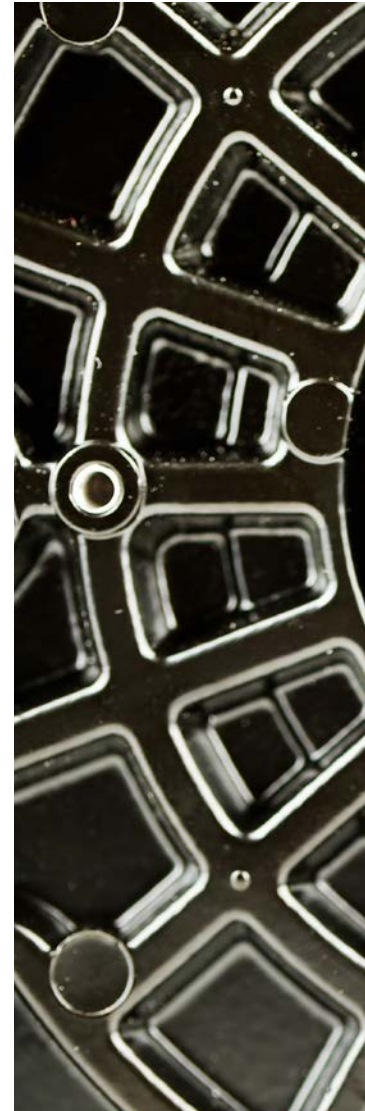
On peut aujourd'hui facilement stocker d'énormes quantités d'information. Cette formidable mémoire n'est pas qu'un changement quantitatif: elle annonce des transformations profondes dans la société.

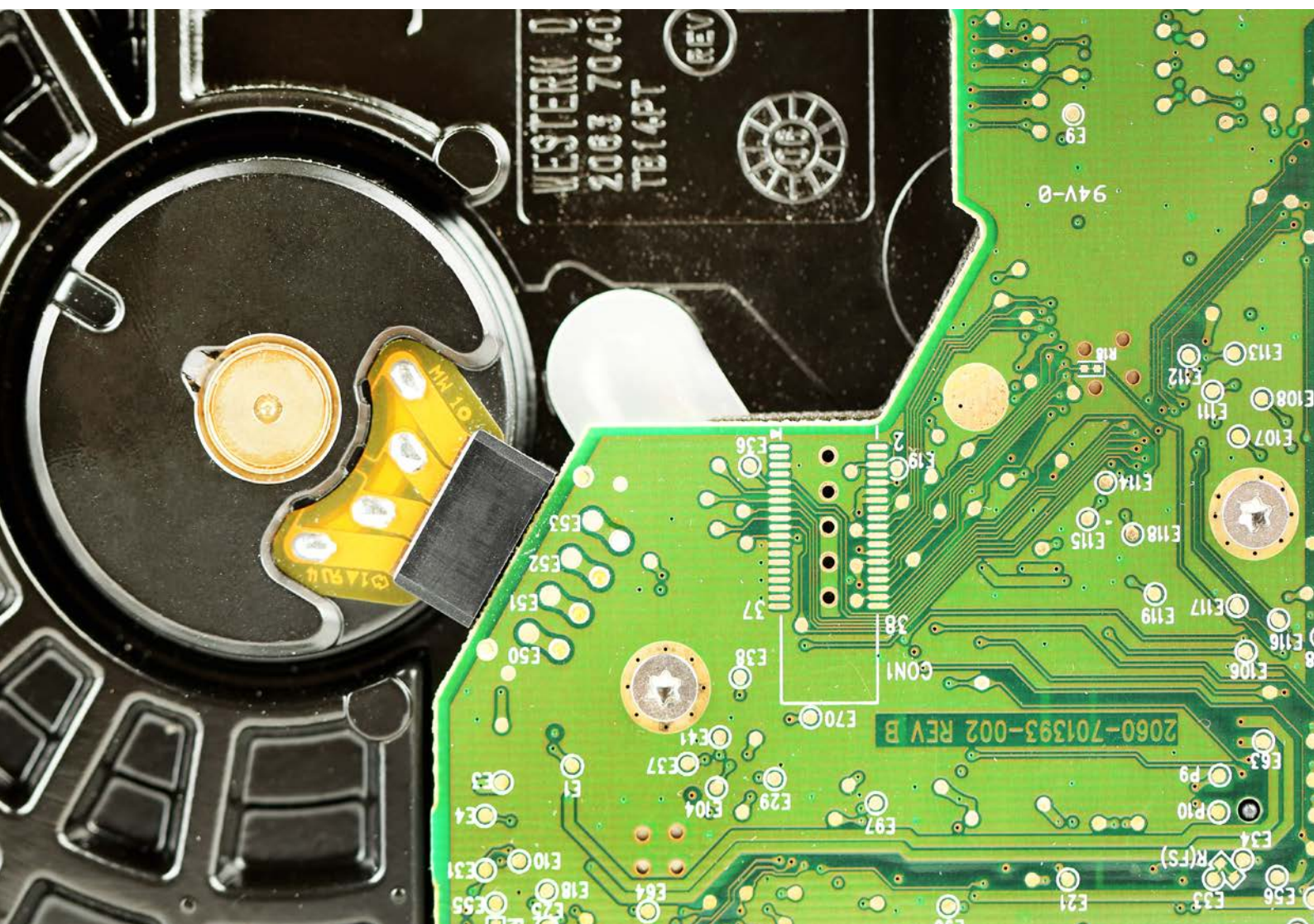
R

évolution dans le monde de l'informatique: les nouveaux ordinateurs Macintosh pourront lire... des disquettes trois pouces et demi stockant jusqu'à 1,44 mégaoctet! C'était en 1984. Depuis, ces disquettes ont été

remplacées par les CD-Rom, les clés USB et désormais les data centers de l'informatique «dématérialisée». En quelques décennies, les capacités de production et de stockage de l'information ont énormément augmenté, menant à un «déluge de données». Cette croissance s'accompagne de nombreux défis scientifiques et techniques: il faut notamment améliorer les performances des matériels et des logiciels, garantir la sécurité et la pérennité des données, concevoir des méthodes pour les exploiter... Ce n'est pas tout. On ne peut s'intéresser à ces questions scientifiques et techniques sans se pencher sur leur impact sur les individus et les sociétés.

Le déluge de données est d'abord un changement de nature quantitative. Nous pouvions naguère collecter, stocker, transmettre et transformer de petits volumes d'information;





De petits disques de sauvegarde ayant une capacité de un téraoctet sont désormais disponibles pour quelques dizaines d'euros. Or un téraoctet correspond à peu près à l'information contenue dans une bibliothèque d'un million de livres de 1000 pages chacun ! Quelle société prépare cette orgie de mémoire ?

nous pouvons désormais faire de même avec des volumes d'information plus grands. Toutefois, comme souvent, un changement quantitatif annonce un changement qualitatif. La lunette de Galilée n'était qu'un œil qui permettait de voir des objets plus petits et plus lointains ; mais la découverte de ces objets a révolutionné l'astronomie et, au-delà, la physique. De même, l'augmentation des capacités des mémoires numériques transforme le champ des problèmes scientifiques, les méthodes de la recherche et la forme même de nos connaissances.

UNE SOCIÉTÉ BOULEVERSÉE

La portée de ces changements ne concerne pas uniquement la science. Notre rapport au temps, nos institutions politiques, nos économies, nos systèmes éducatifs... sont bouleversés.

Pour mieux comprendre ces transformations, commençons par donner quelques ordres de grandeur. Les quantités d'information s'expriment, comme toute autre grandeur, dans une certaine unité. L'unité fondamentale est le bit, qui correspond à un choix binaire (0 ou 1), mais on utilise souvent une unité dérivée, l'octet, égal à huit bits et qui correspond donc à un choix parmi $2^8 = 256$ possibilités.

Un octet est, *grosso modo*, la quantité d'information contenue dans une lettre de notre alphabet qui, en comptant les majuscules, les minuscules, les lettres accentuées, les chiffres, les ligatures, les signes de ponctuation, etc., en contient un peu plus d'une centaine.

Un kilo-octet, soit 1000 octets, est à peu près la quantité d'information contenue dans une page de livre. Un méga-octet, soit

>

- > 1 000 kilooctets, correspond à l'information contenue dans un livre d'environ 1 000 pages. Un gigaoctet, égal à 1 000 mégaoctets, est approximativement la quantité d'information contenue dans une bibliothèque personnelle de 1 000 volumes. Un téraoctet, soit 1 000 gigaoctets, est environ la quantité d'information contenue dans la collection de livres et imprimés de la Bibliothèque nationale de France, qui contient quelques millions de volumes. Le multiple suivant est le pétaoctet, qui vaut 1 000 téraoctets. Certains suggèrent qu'un pétaoctet correspond à la quantité d'information contenue dans l'ensemble des cultures humaines, même si cette quantité est difficile à évaluer.

Bien entendu, dans cette échelle – lettre (octet), page (kilooctet), livre (mégaoctet), bibliothèque personnelle (gigaoctet), bibliothèque nationale (téraoctet), ensemble des cultures (pétaoctet) –, ce sont les ordres de grandeur et non les détails qui comptent. Par exemple, les images et les vidéos sont plus denses en information que les textes – une heure de vidéo contient ainsi une dizaine de gigaoctets, alors qu'une heure de lecture (quelques dizaines de pages) contient quelques dizaines de kilooctets. Et la collection de livres et imprimés de la Bibliothèque nationale de France comporte en réalité 14 millions de volumes, et non un million.

Cependant, cette échelle aide à comprendre les transformations que nous sommes en train de vivre, depuis qu'un disque permettant de stocker un téraoctet ne coûte que quelques dizaines d'euros. Ces changements concernent toutes nos activités qui consistent à collecter, stocker, transmettre et transformer de l'information... c'est-à-dire une grande partie de nos activités!

VERS L'ORDINATEUR THÉORICIEN

Commençons par les sciences, qui ont toujours comporté une part de collecte d'information. Par exemple, l'observation des satellites de Jupiter par Galilée ou les observations recueillies par Darwin lors de son voyage à bord du *Beagle* ont joué un rôle essentiel dans la construction de leurs théories. Mais la quantité d'information collectée par les scientifiques d'aujourd'hui est d'un tout autre ordre de grandeur.

Le résultat du séquençage d'un génome humain, qui comporte 3,4 milliards de paires de bases, équivaut ainsi à un texte dont la taille est de l'ordre d'un gigaoctet, soit la taille d'une bibliothèque de 1 000 volumes. Quant au LHC, le grand collisionneur de particules du CERN, il produit *via* ses détecteurs plusieurs pétaoctets de données chaque année, soit plusieurs milliers de fois la taille de la collection de livres et imprimés de la Bibliothèque nationale de France. Et les

astronomes collectent des volumes de données encore plus... astronomiques.

Parce qu'ils demandent de brasser de telles quantités d'information, des projets tels que le séquençage du génome ou la recherche du boson de Higgs n'étaient pas à la portée des scientifiques avant la fin du xx^e siècle. Ce sont donc des domaines de recherche entiers qui s'ouvrent, depuis peu, à nous.

Si cette transformation touche la nature des problèmes que les scientifiques peuvent se poser et tenter de résoudre, elle a également un impact sur la démarche scientifique et la forme même de nos connaissances.

La démarche d'abord: naguère, les scientifiques notaient leurs observations dans des «cahiers de manip» (voir la figure page ci-contre) et s'inspiraient de ces données pour imaginer des théories – c'est ce que l'on appelle l'induction – ou pour confronter les théories imaginées aux observations, afin de réfuter celles qui n'étaient pas en adéquation avec ces dernières. L'importance relative de l'induction et de la réfutation est, aujourd'hui encore, une question débattue. Quoi qu'il en soit, avec des «cahiers de manip» dont la taille se mesure en gigaoctets ou en téraoctets, il est devenu impossible tant de confronter «à la main» les théories aux observations que de s'inspirer de ces observations pour imaginer des théories.

La confrontation des théories aux observations demande un traitement informatique aussi bien des données observées que de la théorie elle-même, qui doit être exprimée sous une forme prédictive, c'est-à-dire algorithmique, pour qu'elle puisse être automatiquement confrontée aux données observées. Et l'utilisation des observations pour imaginer des théories demande un traitement informatique plus difficile encore, appelé «apprentissage automatique».

Une question typique en apprentissage automatique est de savoir si les lois de Kepler (qui décrivent les trajectoires des planètes autour du Soleil) peuvent être découvertes par un algorithme à partir des observations de Tycho Brahe, que Kepler a utilisées pour concevoir ses lois. Une autre est de savoir s'il est possible, à partir de grands corpus de textes, d'inférer automatiquement des règles de grammaire ou des règles de traduction d'une expression d'une langue en une autre.

En extrapolant – peut-être dangereusement – les évolutions actuelles de la méthode scientifique, nous allons peut-être vers un temps où les observations seront tellement volumineuses que la construction de théories à partir des observations sera une tâche laissée exclusivement aux ordinateurs, le rôle des scientifiques devenant alors de concevoir des algorithmes qui permettraient de construire des théories à partir des observations.

L'échelle des octets

OCTET: unité égale à huit bits, codant $2^8 = 256$ caractères.

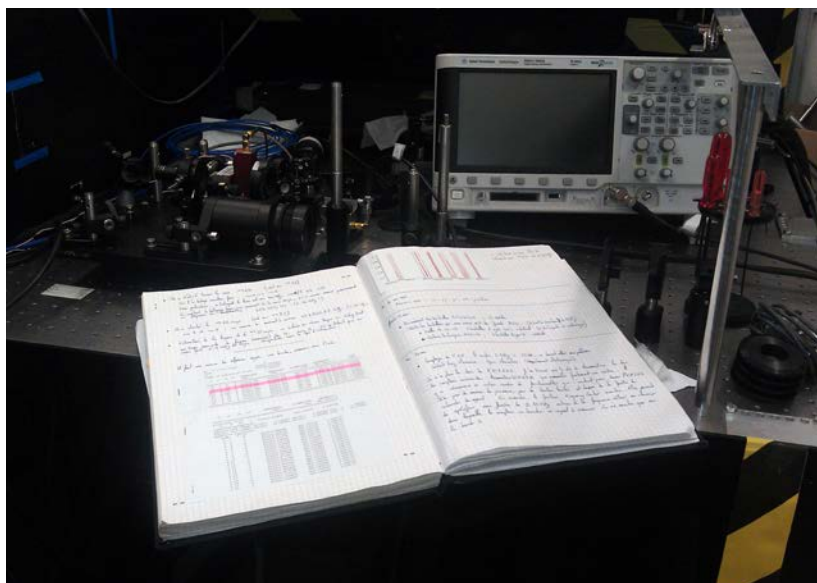
KILOOCTET (Ko): 10^3 octets (environ une page d'un livre).

MÉGAOCTET (Mo): 10^6 octets (un livre de 1 000 pages environ).

GIGAOCTET (Go): 10^9 octets (une bibliothèque de un millier de livres).

TÉRAOCTET (To): 10^{12} octets (une grande bibliothèque nationale).

PÉTAOCTET (Po): 10^{15} octets (l'ensemble des cultures humaines?).



Un cahier de laboratoire, la mémoire d'une expérience, où l'on consigne les résultats. De plus en plus, ces cahiers prennent une forme électronique. Certains d'entre eux contiennent des téraoctets de données, voire plus; leur exploitation ne peut se faire qu'avec des moyens informatiques.

**IL EST DEVENU
IMPOSSIBLE TANT
DE CONFRONTER
« À LA MAIN »
LES THÉORIES
AUX OBSERVATIONS
QUE DE S'INSPIRER
DE CES OBSERVATIONS
POUR IMAGINER
DES THÉORIES**

Cette transformation progressive de la démarche scientifique en induit une autre sur la connaissance scientifique elle-même. Jusqu'à la fin du xx^e siècle, les théories scientifiques étaient exprimées par des propositions de petite taille. Par exemple, la deuxième loi de Newton (selon laquelle la force s'exerçant sur un objet est égale au produit de sa masse par son accélération) s'exprime par une proposition

d'une dizaine de caractères : $\vec{F} = m d^2\vec{x} / dt^2$. Mais rien ne garantit que les théories automatiquement inférées à partir de gigantesques volumes d'observations soient petites. De fait, nous commençons à prendre conscience qu'il n'y a aucune raison *a priori* pour que les lois de la nature ou les règles de la grammaire d'une langue s'expriment par de courts énoncés.

La grammaire d'une langue, par exemple, contient sans doute des milliers de règles dont certaines ne portent que sur des expressions très particulières. En français, on peut dire « je viendrai lundi 2 septembre » ou « je viendrai le lundi 2 septembre »; on peut aussi dire « je viendrai demain », mais pas « je viendrai le demain ». Il semble ainsi y avoir des

règles de grammaire locales propres aux dates, qui diffèrent des règles de grammaire relatives aux adverbes de temps. Et si nous mettons bout à bout toutes ces règles de grammaire locales propres aux dates, aux noms de pays et autres toponymes (on va « en Russie », mais « au Brésil » et « à Madagascar »), on obtiendra probablement des connaissances qui ne peuvent pas s'exprimer, comme la deuxième loi de Newton ou les équations de Maxwell régissant les champs électromagnétiques, en quelques dizaines de caractères (voir l'encadré page suivante).

QUE DEVIENT LE SCIENTIFIQUE ?

En fait, cette idée est légèrement antérieure au déluge de données. Elle est sans doute apparue quand nous avons pris conscience que les lois qui régissent l'évolution de l'atmosphère ou le fonctionnement d'une cellule, par exemple, ne pouvaient pas s'exprimer en quelques lignes.

Lorsqu'une théorie s'exprime par des énoncés ou des algorithmes qui font des centaines de pages, le lien entre prévision et explication se distend. Ainsi, nous avons pris l'habitude d'accepter que les prévisions météorologiques indiquent le temps du lendemain avec une probabilité de succès assez élevée, mais qu'elles ne nous expliquent pas pour quelles raisons ce lendemain sera ensoleillé ou pluvieux. Les lois de Newton, au contraire, nous permettent non seulement de prédire que les trajectoires des planètes sont des ellipses, mais aussi de comprendre pourquoi.

Si nous ne pouvons pas expliquer le temps du lendemain, c'est précisément parce que la situation météorologique n'est pas le résultat d'une cause unique, comme le mouvement d'une planète est le résultat de l'attraction d'une étoile, mais de milliers de causes particulières desquelles il est difficile de faire émerger une explication globale.

Comme les données, ces théories sont trop complexes pour être utilisées « à la main » : seul un ordinateur peut les exploiter pour faire des prédictions. En extrapolant – à nouveau, peut-être dangereusement – les évolutions de la forme des théories scientifiques, nous pouvons imaginer que l'élaboration des prédictions sera un jour entièrement déléguée aux ordinateurs, et que les scientifiques auront alors pour rôle de concevoir des algorithmes permettant aux ordinateurs de calculer des prédictions à partir d'une théorie.

Il est cependant essentiel de garder en tête que, comme les autres théories scientifiques, ces théories restent des hypothèses, toujours à la merci d'une réfutation par les observations, et que leur pertinence ne tient qu'à leur capacité à résister à ces réfutations potentielles. Le risque est grand de prendre pour des oracles

- des prédictions produites par des ordinateurs à partir de théories trop complexes pour être comprises. Par exemple, contrairement à ce que l'on entend parfois, ce n'est pas le fait que tous les modèles climatiques s'accordent dans leurs prédictions qui importe, mais le fait que les prédictions passées aient été en accord, ou non, avec les observations.

Comme souvent, ces transformations de la technique et de la science en annoncent d'autres, dans divers autres domaines de notre culture. Un premier changement, conséquence de cette capacité nouvelle de collecter, stocker, transformer et transmettre de grandes quantités d'information, est celui de notre rapport à la mémoire et au passé.

La plupart des quelque 100 milliards de femmes et d'hommes qui ont vécu avant nous n'ont laissé aucune trace de leur passage sur Terre. Par exemple, malgré l'écriture et l'imprimerie, peu d'entre nous peuvent citer le nom et le prénom de leurs 16 arrière-arrière-grands-parents. Et les plus anciennes personnes dont nous connaissons le nom, sans doute quelques souverains de Mésopotamie ou d'Égypte, remontent à un passé relativement récent. De l'histoire de l'humanité durant les centaines de milliers d'années qui les ont précédés, depuis l'apparition des premiers *Homo sapiens*, nous n'avons presque aucune trace.

UN BIG BROTHER HYPERMNÉSIQUE

Les femmes et les hommes des siècles prochains auront une vision bien différente de leur passé, car les capacités actuelles de stockage de l'information rendent l'humanité hypermnésique. Ainsi, nos descendants connaîtront mieux que nous leur arbre généalogique ; et au lieu d'un nom laissé, pour toute trace, dans un registre d'état civil, ils pourront conserver sur chacun de leurs lointains ancêtres une grande quantité d'informations. Et les futurs historiens rendent jaloux ceux d'aujourd'hui, car ils disposeront de documents bien plus nombreux et complets...

Cette médaille a son revers : il n'est pas si facile de vivre en sachant que chacun de ses gestes laisse potentiellement une trace à la postérité – c'est vivre avec un *Big Brother* hypermnésique. Aussi est-il probable, et souhaitable, que se développera un véritable droit à l'oubli, afin de permettre à chacun de décider des traces qu'il souhaite effacer ou transmettre. Ces préoccupations sont à l'origine des recherches des informaticiens qui développent des techniques pour protéger la vie privée, par exemple celle des personnes enregistrées dans des bases de données.

D'autres éléments de la culture humaine transformés par cette capacité nouvelle à

collecter, stocker, transmettre et transformer de grandes quantités d'information sont les institutions politiques. Notre démocratie représentative a été inventée aux XVII^e et XVIII^e siècles, à une époque où le débit de l'information que chaque citoyen pouvait communiquer à la collectivité – et, de façon symétrique, la collectivité à chaque citoyen – était très faible.

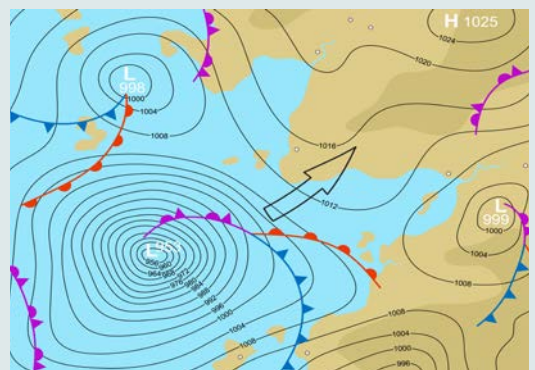
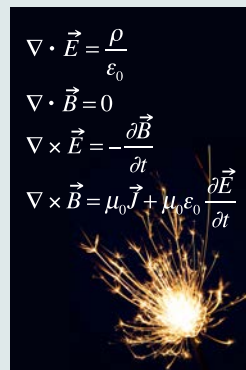
De fait, en participant tous les cinq ans à l'élection d'un chef d'État parmi 16 candidats, chaque citoyen communique à la collectivité une information de quatre bits. Le débit d'information est donc de 0,8 bit par an – soit 2×10^{-8} bit par seconde. On peut ajouter l'information communiquée lors des élections législatives, locales..., l'ordre de grandeur reste le même : quelques bits par an.

Aussi, jusqu'au XX^e siècle, de nombreuses stratégies – tracts, pétitions, manifestations, etc. – ont été inventées pour accroître cette quantité. Ces formes de militantisme ont vieilli et sont aujourd'hui remplacées par d'autres : sites Web, pétitions en ligne... La faible quantité d'information échangée a également pour conséquence que, lors d'une unique élection, nous décidons à la fois du devenir de l'armée, de la police, de la justice, de la diplomatie, de l'éducation, de la recherche, de la santé, des arts, du logement, de

DES THÉORIES SCIENTIFIQUES QUI S'ALLONGENT ?

Les phénomènes électriques et magnétiques, telles des étincelles (à gauche), sont bien décrits à partir de la théorie électromagnétique élaborée par James Clerk Maxwell vers 1870. Cette théorie s'exprime sous forme compacte par quatre équations vectorielles (les « équations de Maxwell ») mettant en jeu le champ

électrique $\vec{E}$ et le champ magnétique $\vec{B}$. En revanche, les prévisions météorologiques (à droite) résultent de modélisations théoriques et de calculs qu'il est impossible d'exprimer sous forme courte. Avec les données massives, les situations de ce type seront probablement de plus en plus fréquentes.



l'économie, de l'agriculture, du travail... Un chef d'État, comme un roi de jadis, est en effet en charge de toutes ces questions.

L'augmentation du débit de l'information que chaque citoyen peut communiquer à la collectivité et que la collectivité peut communiquer à chaque citoyen permet d'imaginer d'autres formes de démocraties, par exemple des systèmes électifs où plusieurs représentants, élus indépendamment les uns des autres, gèrent chacune de ces questions. La séparation des pouvoirs, jusqu'ici limitée aux trois pouvoirs législatif, exécutif et judiciaire, sera peut-être bientôt rendue possible à une toute autre échelle. Cette augmentation de la quantité d'information que chaque citoyen peut échanger avec la collectivité est sans doute l'une des causes du vieillissement rapide de nos institutions, qui ne sont plus en phase avec les techniques.

NOURRIR L'ÉCONOMIE

Une autre transformation est celle de nos économies, dont l'information est, selon une métaphore déjà un peu usée, le nouveau pétrole. Par exemple, chacun de nos achats en ligne, ainsi que dans un magasin dont nous détenons une carte de fidélité, permet aux commerçants de construire notre profil de consommateur et de nous proposer des produits adaptés à nos besoins et nos désirs. Mais ces constructions de profils individuels ne sont qu'une partie de l'énorme iceberg que représentent les données en économie.

Il est ainsi devenu possible de suivre en temps réel la progression d'une épidémie de grippe simplement en comptant le nombre de requêtes dans un moteur de recherche qui portent sur un mot lié à la grippe – alors que les signalements par les médecins aux autorités de santé ne permettent de suivre la progression d'une épidémie qu'avec plusieurs jours de retard. Ce type d'information est beaucoup plus utile à l'industrie pharmaceutique, qui essaie d'anticiper nos besoins en médicaments, que de construire le profil de tel ou tel consommateur.

De même, les achats de pétrole ou de gaz sont conditionnés à la fois par les prévisions météorologiques à moyen terme et par l'analyse du comportement collectif des consommateurs en réaction à une vague de froid ou à un hiver clément. Sans de telles analyses, il deviendra rapidement impossible pour une entreprise de se maintenir sur le marché du gaz ou des médicaments. Et cela explique, parmi d'autres raisons, que certains pays, dont la Chine, aient décidé de développer leurs propres moteurs de recherche et de limiter l'accès aux moteurs de recherche étrangers, pour ne pas laisser fuir cette information, comme nous le faisons en Europe.



Lorsqu'un citoyen vote, il communique à la collectivité, via son bulletin, quelques bits d'information à peine. La technologie actuelle permet pourtant de transmettre beaucoup plus d'information par des sites Web, des blogs... À quand des institutions politiques adaptées, qui profiteraient de ces capacités techniques ?

Un autre domaine qui subit l'influence du déluge de données est celui de l'éducation. Depuis quelque temps déjà, les enseignants savent que toutes les connaissances qu'ils transmettent à leurs élèves sont déjà disponibles sur le Web. Le rôle des enseignants n'est plus d'être une source d'information, la bouche d'où s'écoule la connaissance, mais de donner un sens à cette information, d'aider leurs élèves à se l'approprier et de leur en montrer la cohérence et l'utilité.

Le déluge de données bouleverse le secteur de l'éducation plus radicalement encore, en transformant l'enseignement à distance. Nous prenons conscience rétrospectivement du caractère élitiste des universités du xx^e siècle, qui s'adressaient uniquement à ceux qui pouvaient être présents quand la connaissance sortait de la bouche de l'enseignant. Pour les autres, qui travaillent en plus d'étudier, ou qui vivent dans un village ou un bidonville loin des centres universitaires, rien n'était possible. L'augmentation des capacités de stockage de l'information, en permettant l'enregistrement des cours en vidéo et leur accès de manière souple et depuis le monde entier, contribuera sans doute à réaliser ce vieux rêve d'une éducation pour tous.

Nous comprenons plus ou moins l'impact de ces possibilités nouvelles de collecter, stocker, transformer et transmettre de l'information à grande échelle sur tel ou tel élément de notre culture – la science, la politique, l'économie, l'enseignement, etc. Mais nous avons encore du mal à penser globalement ces transformations. C'est le défi qui s'offre aujourd'hui à nous. ■

BIBLIOGRAPHIE

Dossier « Universités en ligne », *Pour la Science* n° 431, pp. 33-49, septembre 2013.

M. SERRES, *Petite Poucette*, Le Pommier, 2012.

E. HOOG, *Mémoire année zéro*, Seuil, 2009.

L'ESSENTIEL

- La plupart des souvenirs sont modifiables à condition d'être traités à un moment crucial.
- La règle fondamentale est que le souvenir doit être réactivé. Cela peut être réalisé pendant le sommeil ou par des indices appropriés.

- Lorsqu'un souvenir est réactivé, il peut être consolidé par des sons, des stimulations électriques ou des molécules neuroactives.
- L'effacement de souvenirs par des médicaments est également possible.

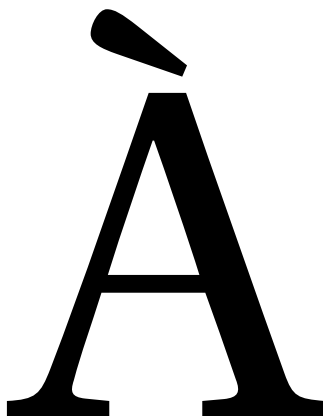
L'AUTEUR



ROBERT JAFFARD
est professeur émérite
de neurosciences
à l'université de Bordeaux.

Des souvenirs à la carte

Mieux apprendre, consolider certains souvenirs certes, mais pourquoi ne pas éliminer ceux qui sont inutiles ? Telle est la voie ouverte par les récentes découvertes sur notre cerveau. Des molécules de l'oubli seront-elles bientôt disponibles ?



À première vue, il paraît bien ambitieux de vouloir contrôler la mémoire. Se concentrer pour bien apprendre ses leçons, faire quelques exercices de mots croisés, voilà ce qui vient à l'esprit lorsqu'on parle de «mieux mémoriser». Quant à espérer qu'un moment particulièrement précieux s'ancre plus efficacement dans nos souvenirs ou qu'une leçon de piano

soit mieux assimilée, cela semble hors de portée. Notre inconscient ne déploie-t-il pas son alchimie en marge de notre volonté? Quant à imaginer ressusciter un jour des souvenirs ensevelis par la maladie d'Alzheimer...

LA PÂTE MOLLE DES SOUVENIRS

Prenons les problèmes les uns après les autres. Les souvenirs ne sont pas forcément ce que l'on pense. Si un mot devait les caractériser, ce serait «malléabilité». Les souvenirs, loin d'être gravés dans le marbre, sont faits d'une pâte molle... si molle qu'on peut même y inscrire des faits qui n'ont jamais existé. C'est ce qu'a prouvé la psychologue américaine Elizabeth Loftus en amenant des gens comme vous et moi à croire qu'ils avaient rencontré le lapin Bugs Bunny lors d'une visite à Disneyland, uniquement en insérant une photo de ce personnage dans un dépliant du parc d'attractions qu'ils devaient feuilleter. Non seulement les lecteurs étaient persuadés d'avoir rencontré le lapin, mais ils en