

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 (ainsi, on va «en Russie», mais «au Brésil» et «à Madagascar», et on prend le bateau pour aller «à Noirmoutier», mais «à l'Île de Ré» et non «à Ré»), 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 ci-contre*).

Le rôle des scientifiques est appelé à changer

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.

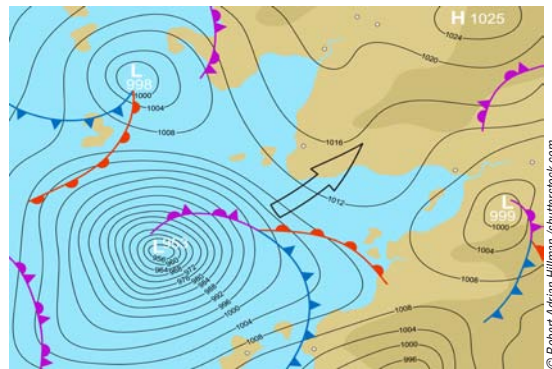
Si nous ne pouvons pas expliquer le temps du lendemain, c'est précisément parce que la situation météorologique n'est pas le résultat d'une cause unique, comme le mouvement d'une planète est le résultat de l'attraction d'une étoile, mais de milliers de causes particulières desquelles il est difficile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

DES THÉORIES SCIENTIFIQUES QUI S'ALLONGENT ?

Les phénomènes électriques et magnétiques, telles des étincelles (*ci-dessous 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 (*ci-dessous 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.



$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned}$$



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.

L'humanité devient 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 un grand nombre 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 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 (voir l'article de T. Allard, B. Nguyen et Ph. Pucheral dans ce numéro).

Vers de nouvelles institutions politiques ?

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, etc., 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, etc. 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 l'économie, de l'agriculture, du travail, etc. Un chef d'État, comme



© JN-Design - Dimedro88/shutterstock.com

3. 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, etc. À quand des institutions politiques adaptées, qui profiteraient de ces capacités techniques ?

■ 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.

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.

De l'information pour 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 rapi-