



LA CHRONIQUE DE
GILLES DOWEK

ET L'ENTROPIE DEVINT INFORMATION

Le concept d'information préexistait à l'informatique :
il était en germe, dès le XIX^e siècle,
dans la thermodynamique des physiciens.



L'étude
des machines
à vapeur
a conduit au
développement
de concepts
comme l'entropie,
qui est une
façon de décrire
l'information
contenue dans
un système.

L'informatique est souvent vue comme une branche des mathématiques qui se serait émancipée. Et il est vrai que les mathématiciens ont conçu des algorithmes et des langages, tel celui de l'algèbre, bien avant la naissance de l'informatique. Toutefois, ces deux concepts fondamentaux ne définissent pas l'informatique, qui en compte aussi deux autres : ceux de machine et d'information. L'idée de machine est bien entendu issue de l'art des ingénieurs. De manière peut-être plus surprenante, la notion d'information semble issue de la physique.

Cette histoire commence en 1824, avec l'introduction par Sadi Carnot du deuxième principe de la thermodynamique, suivie, en 1865, de celle par Rudolf Clausius d'une grandeur nouvelle : l'entropie, qui mesure le désordre présent dans un système. Que nous dit ce principe ? Toute transformation d'un système thermodynamique s'effectue avec augmentation globale de l'entropie. Par exemple, lors de la détente isotherme d'un gaz parfait, où celui-ci fournit un

travail en poussant un piston et reçoit de la chaleur de son environnement, l'entropie du gaz augmente de $Nk \ln V_2 - Nk \ln V_1$, où N est le nombre de molécules constituant ce gaz, V_1 son volume initial, V_2 son volume final et k une constante.

Pour comprendre pourquoi, il faut se souvenir que la force exercée par le gaz sur le piston est le produit de la pression du gaz $P = NkT/V$ par l'aire du piston a (T étant

**Un système demande
d'autant plus d'information
pour être décrit
qu'il est désordonné**

la température absolue). Le travail de cette force lors d'un déplacement dx du piston est le produit de cette force par ce déplacement. Enfin, la variation de l'entropie est le quotient de cette quantité de chaleur par la température : $Nk a dx/V$, c'est-à-dire $Nk dV/V$. En intégrant cette expression,

l'entropie du gaz est donc, à une constante près, $S = Nk \ln V$.

Mais l'entropie n'est pas la seule grandeur proportionnelle à $N \ln V$. Si nous imaginons que chaque molécule du gaz a un nombre fini de positions possibles et que ce nombre est proportionnel au volume du gaz (d'un facteur c), alors le nombre Ω de configurations possibles pour les N molécules est $(cV)^N$. Et le logarithme de ce nombre est, à une constante près, lui aussi égal à $N \ln V$. Ce résultat illustre une idée plus générale, formulée par Ludwig Boltzmann en 1877 : l'entropie d'un système physique à l'équilibre macroscopique, libre d'évoluer à l'échelle microscopique entre Ω configurations, est $S = k \ln \Omega$.

Au siècle suivant, en 1949, Claude Shannon, père de la théorie de l'information, a remarqué que le nombre de mots de n lettres, prises dans un alphabet qui en compte deux, par exemple A et B, est 2^n . Un mot de n lettres permet donc de décrire l'état d'un système qui peut se trouver dans 2^n états différents. Autrement dit, le nombre de lettres – la quantité d'information – nécessaires pour décrire un système caractérisé par Ω états possibles est $I = \ln \Omega / \ln 2$. Par exemple, trois lettres suffisent pour décrire un jour de la semaine, AAA décrivant le lundi, AAB le mardi, ..., BBA le dimanche.

L'histoire se conclut en 1956, quand Léon Brillouin en déduit que l'entropie d'un système est égale à $k I \ln 2$ et qu'elle se définit donc comme l'information nécessaire pour décrire sa configuration microscopique. Cela a ainsi donné un sens nouveau à l'idée de mesure du désordre, un système demandant d'autant plus d'information pour être décrit qu'il est désordonné. Par la suite, Rolf Landauer et Charles Bennett ont montré que l'effacement d'une unité d'information augmente l'entropie de $k \ln 2$ et dissipe donc une énergie $kT \ln 2$. La notion d'information existait donc en physique depuis le XIX^e siècle ; mais personne ne s'en était aperçu, car elle portait un autre nom ! ■

GILLES DOWEK est chercheur à l'Inria et membre du conseil scientifique de la Société informatique de France.

cité

sciences
et industrie

CONFÉRENCES

journée mondiale des intelligences animales

1^{er} février 2020

accès gratuit

L'animal
& l'humain

LA CHRONIQUE DE
VIRGINIE TOURNAY

QUE SONT NOS PEURS NOCTURNES DEVENUES ?

L'angoisse que la nuit suscite chez les humains s'est transformée au fil de l'évolution des sociétés et des techniques, mais elle n'a pas disparu.



Craignons-nous l'obscurité de la nuit de la même façon qu'au Moyen Âge ? Cette question relève de l'histoire des représentations collectives de la vie nocturne et interroge les mécanismes qui nous conduisent à avoir confiance ou pas dans notre environnement.

Le rythme nyctéméral (ou l'alternance jour/nuit) n'est plus un territoire scientifique inconnu. Constituée en objet d'étude par les neurosciences et la physiologie, la nuit a été, sur ce plan, médiatisée dans les années 1980 avec les « sciences du sommeil ».

Les sciences sociales ne sont pas en reste, avec le développement d'une anthropologie de la nuit, qui montre que les liens sociaux de la vie nocturne sont différents des liens sociaux de la vie diurne.

Par ailleurs, révélatrice des inégalités économiques, la nuit des métropoles constitue un domaine d'intervention des pouvoirs publics : elle oblige ceux-ci à concevoir des dispositifs institutionnels spécifiques de surveillance et de mobilité.

La vie nocturne est aussi liée à l'histoire des techniques d'éclairage. L'éclairage public a fait ses débuts à Londres au ^{xv}^e siècle. Les lanternes garnies de chandelles ont été ensuite remplacées par des réverbères à mèche et huile, puis, au ^{xix}^e siècle, à gaz naturel, lequel a désormais cédé sa place à l'électricité.

Le mauvais sort a laissé place aux responsabilités humaines

La durée de la nuit est naturellement plus ou moins longue selon la saison, mais elle tend aussi à diminuer en raison de la lumière des commerces qui colonise de plus en plus tardivement les espaces nocturnes. Le géographe Luc Gwiazdzinski, de l'université Grenoble-Alpes, a fait remarquer que dans les grandes métropoles, le temps de la nuit rétrécit à mesure que son esthétique se développe. Par ailleurs, afin d'optimiser le bilan énergétique des collectivités, celles-ci expérimentent

des éclairages publics « intelligents », qui tiennent compte de l'affluence et du moment de la journée.

C'est pourquoi Michele Acuto, spécialiste des questions urbaines à l'université de Melbourne, a plaidé dans un récent article de l'hebdomadaire britannique *Nature* (numéro du 18 décembre 2019) pour une approche interdisciplinaire de la nuit. Il s'agit de rapprocher les sciences naturelles et sociales afin d'élaborer des stratégies intégrées sur les enjeux climatiques, migratoires et énergétiques.

La nuit étant devenue un objet de science et de conquête collective, ainsi qu'un enjeu transversal des politiques, notre rapport à elle et l'angoisse qu'elle suscite ont considérablement évolué.

Si la profondeur de la nuit médiévale suscitait des terreurs, la prière des moines veillait sur les populations endormies. Codifié par la religion, le rapport de l'homme à la vie nocturne était lié aux brigands, aux tavernes et aux fêtes. La disparition des croyances démoniaques n'a pourtant pas effacé notre angoisse face à la nuit. Les travaux du sociologue allemand Niklas Luhmann sur la confiance, publiés en 1968, nous en livrent l'explication.

Luhmann a montré que la complexification des sociétés modernes a augmenté d'une part les possibilités de décisions humaines, d'autre part l'imputation des événements à celles-ci plutôt qu'à la fatalité ou à des causes externes. Ainsi, le danger d'être mouillé en temps de pluie s'est transformé en risque depuis l'invention du parapluie : il revient à chacun de ne pas oublier d'emporter cet accessoire !

De même, avec la maîtrise vingt-quatre heures sur vingt-quatre de la luminosité dans l'espace public, le danger d'une agression nocturne est moins associé à une mauvaise rencontre qu'à la décision de se promener dans des lieux non éclairés. Les responsabilités humaines ont ainsi remplacé le mauvais sort. Les peurs irrationnelles n'ont cependant pas complètement disparu, et la nuit noire du solstice d'hiver n'a pas épuisé sa part de mystère... ■

VIRGINIE TOURNAY biologiste de formation, est politologue et directrice de recherche du CNRS au Cevipof, à Sciences Po, à Paris.