



© université de Delft

où rien de particulier ne se passe. Mais l'idée ER = EPR, qui stipule que l'intérieur du trou noir fait partie d'un trou de ver reliant l'astre à un autre système, atténue certains aspects de ce paradoxe.

Bien que nous ayons identifié une connexion entre les trous de ver et les états intriqués en considérant des trous noirs, il est tentant de spéculer que le lien est plus général : qu'à chaque fois que nous avons une intrication, nous avons une sorte de connexion géométrique. Il en serait ainsi même dans le cas le plus simple, quand nous n'avons que deux particules intriquées.

Un principe universel ?

Pour en revenir au paradoxe du *firewall*, du fait de l'intrication des paires de particules, l'une s'échappant et l'autre tombant dans le trou noir, un trou de ver devrait les relier et, de fait, les espaces à l'intérieur et à l'extérieur seraient connectés. Pour se faire une image de la situation, le trou noir ressemblerait à une pieuvre géante dont les tentacules (les trous de ver) seraient reliés aux particules du rayonnement de Hawking.

Si l'équivalence entre les trous de ver et l'intrication quantique se généralise, la

connexion spatiale pourrait impliquer de minuscules structures quantiques qui ne suivraient pas notre vision habituelle de la géométrie. Nous ne savons toujours pas décrire ces géométries microscopiques, mais l'intrication de ces structures pourrait, d'une manière ou d'une autre, donner naissance à l'espace-temps lui-même. C'est comme si l'intrication pouvait être considérée comme un fil reliant deux systèmes. Quand la quantité d'intrication augmente, nous avons beaucoup de fils, et ensemble ces fils pourraient tisser la trame de l'espace-temps. Dans cette représentation, les équations de la relativité d'Einstein régissent les connexions et les reconnections de ces fils, tandis que la physique quantique serait l'essence de la construction de l'espace-temps.

Pour le moment, ce tableau relève encore d'une spéculation débridée, mais plusieurs indices pointent vers lui, et de nombreux physiciens se penchent sur ses implications. L'hypothèse de l'équivalence entre intrication et trous de ver fournit une piste pour développer une description quantique de l'espace-temps – ainsi qu'une unification très attendue, et jusqu'à présent insaisissable, de la relativité générale et de la physique quantique. ■

L'INTRICATION QUANTIQUE

et sa nature non locale sont testées avec des dispositifs de plus en plus complexes afin d'éliminer toute faille possible dans l'interprétation. En 2015, l'équipe de Ronald Hanson de l'université de Delft, aux Pays-Bas, a réalisé l'une des expériences les plus abouties, à l'aide de deux dispositifs distants de 1,3 kilomètre.

■ BIBLIOGRAPHIE

L. Susskind, ER = EPR, GHZ, and the consistency of quantum measurements, *Fortschritte der Physik*, vol. 64(1), pp. 72-83, 2016.

J. Polchinski, L'horizon des trous noirs brûle-t-il ? , *Pour la Science*, n° 456, octobre 2015.

R. Cowen, The quantum source of space-time, *Nature*, vol. 527, pp. 290-293, 2015.

J. Maldacena et L. Susskind, Cool horizons for entangled black holes, *Fortschritte der Physik*, vol. 61(9), pp. 781-811, 2013.

Au-delà de la grammaire universelle

Paul Ibbotson et Michael Tomasello

L'enfant est-il muni de règles de grammaire innées qui lui permettent d'apprendre n'importe quelle langue ? Cette théorie de Noam Chomsky, longtemps dominante, a du plomb dans l'aile. L'enfant apprendrait plutôt de ce qu'il entend, en exploitant des facultés cognitives générales.

L'idée que notre cerveau comporte un modèle mental permettant d'apprendre la grammaire, théorie mise en avant par Noam Chomsky, professeur émérite au MIT, l'institut de technologie du Massachusetts, a dominé la science linguistique pendant près d'un demi-siècle. Mais des recherches récentes portant sur de nombreuses langues du monde, ainsi que sur la façon dont les jeunes enfants apprennent à comprendre et parler la langue de leur milieu, ont conduit des chercheurs en cognition et en linguistique à abandonner en masse la théorie de la « grammaire universelle » : ces travaux ne permettent pas de soutenir la conception de Noam Chomsky.

Les travaux de recherche suggèrent une vision radicalement différente, selon laquelle l'apprentissage de la langue maternelle par l'enfant ne repose pas sur un module grammatical inné. Ils montrent plutôt que les jeunes enfants utilisent divers types de capacités cognitives qui ne seraient pas du tout spécifiques au langage, telle la capacité à classer le monde dans des catégories (personnes ou objets, par exemple)

L'ESSENTIEL

- Les études linguistiques de terrain ont remis en question la théorie de la grammaire universelle, selon laquelle le cerveau comporte un modèle mental spécifique à la grammaire.
- Cette théorie de Noam Chomsky a longtemps dominé la linguistique et a été amendée plusieurs fois.
- Celle de la « linguistique fondée sur l'usage » postule que pour apprendre à parler, l'enfant mobilise des capacités cognitives générales et le décodage des intentions des personnes autour de lui.

ou la capacité à comprendre les relations entre les choses. Ces capacités, associées à l'aptitude proprement humaine à saisir ce que les autres cherchent à communiquer, permettent au langage de se développer.

Chercher dans une autre direction

Les nouvelles découvertes indiquent que si les chercheurs veulent véritablement comprendre comment un enfant, ou un adulte, apprend une langue, ils doivent chercher dans une autre direction que celle de la théorie de Chomsky.

Cette conclusion est importante parce que l'étude du langage joue un rôle central dans divers domaines : poésie, intelligence artificielle, linguistique, etc. De plus, les humains utilisent le langage d'une façon que les animaux ne peuvent pas égaler. Si l'on comprend ce qu'est le langage, on comprendra donc un peu mieux la nature humaine.

La première version de la théorie de Chomsky, proposée au milieu du XX^e siècle, faisait écho à deux tendances émergentes



■ LES AUTEURS



Paul IBBOTSON est maître de conférences en développement du langage à l'Open University, basée en Angleterre.



Michael TOMASELLO est codirecteur de l'institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste, à Leipzig, en Allemagne.

dans la vie intellectuelle occidentale. D'une part, Noam Chomsky a postulé que les langues dont on se sert pour communiquer au quotidien fonctionnent comme les langages d'inspiration mathématique utilisés en informatique, un domaine tout récent à l'époque. Ses recherches visaient à déterminer la structure formelle sous-jacente de la langue et à proposer un ensemble de procédures qui créaient des phrases « bien formées ».

L'idée était révolutionnaire : un programme de nature informatique pourrait produire des phrases que des personnes réelles considèrent comme grammaticales. Ce programme était aussi censé expliquer comment les gens créent leurs phrases. Cette façon d'envisager le langage a séduit de nombreux chercheurs prompts à adopter une approche formelle concernant... eh bien en fait... tout.

Noam Chomsky avançait par ailleurs que les théories qu'il développait étaient ancrées dans la biologie humaine. Dans la seconde moitié du XX^e siècle, il devenait de plus en plus évident que l'histoire de l'évolution de notre espèce était à l'origine de nombreux aspects de la psychologie humaine. Sa théorie a par conséquent fait également écho sur ce plan. La grammaire universelle a été présentée comme une composante innée de l'esprit humain, et elle promettait de révéler les profonds soubassements biologiques des plus de 6000 langues existantes. Les plus puissantes théories, voire les plus belles, révèlent une unité cachée sous une diversité superficielle ; c'est pourquoi l'idée de Chomsky a immédiatement séduit.

Cependant, cette théorie a été mise à mal et s'éteint lentement depuis des années. Si elle s'éteint si lentement, c'est parce que, comme l'a un jour remarqué le physicien allemand Max Planck, les chercheurs plus âgés ont tendance à s'accrocher à leurs vieilles antiennes : « La science progresse enterrement après enterrement. »

Des langues européennes comme modèles

Les premières incarnations de la grammaire universelle, dans les années 1960, prenaient comme point de départ la structure sous-jacente des langues « européennes moyennes standard », c'est-à-dire celles parlées par la plupart des linguistes qui les étudiaient. Ainsi, le programme de la grammaire universelle opérait sur des segments de langue,

tels que les groupes nominaux (par exemple : « Les gentils chiens ») et les groupes verbaux (par exemple : « aiment les chats »).

Cependant, assez rapidement, des comparaisons entre de nombreuses langues ont montré que cet élégant schéma n'était pas toujours valide. Certaines langues aborigènes d'Australie, telles que le warlpiri, présentaient des éléments grammaticaux dispersés dans toute la phrase – les groupes nominaux et verbaux n'étaient pas agencés comme il le faudrait pour être en accord avec la grammaire universelle de Chomsky – et certaines phrases n'avaient pas de groupe verbal du tout.

Il était difficile de concilier ces prétendues exceptions avec la grammaire universelle, construite à partir d'exemples tirés des langues européennes. D'autres exceptions à la théorie de Chomsky sont également apparues avec l'étude des langues « ergatives », telles que le basque ou l'urdu, où l'emploi du sujet de la phrase est très différent de celui de nombreuses langues européennes, ce qui à nouveau contredisait l'idée d'une grammaire universelle.

Ces découvertes, ainsi que d'autres travaux en linguistique théorique, ont conduit Noam Chomsky et ses disciples à réviser drastiquement la notion de grammaire universelle dans les années 1980. La nouvelle version de sa théorie, le modèle dit des principes et des paramètres, a remplacé l'idée d'une grammaire unique pour toutes les langues du monde par un ensemble de principes « universels » qui régissent la structure du langage, ces principes étant censés se manifester différemment dans chaque langue.

On pourrait faire une analogie avec le fait que nous sommes tous nés avec un ensemble de saveurs fondamentales (le sucré, le salé, l'amer, l'acide et l'umami) qui interagissent avec la culture, l'histoire et la géographie, ce qui a conduit aux diverses cuisines du monde. Les « principes et paramètres » étaient une analogie linguistique des saveurs. Ils interagissaient avec la culture (qu'un enfant apprenne le japonais ou l'anglais) – les variations actuelles dans les langues en sont le résultat – et définissaient l'ensemble des langues humaines susceptibles d'exister.

Par exemple, des langues telles que l'espagnol forment des phrases tout à fait grammaticales sans qu'il soit nécessaire d'avoir un sujet séparé. Il en est ainsi de *Tengo zapatos* (« J'ai des chaussures »), phrase où la personne qui a les chaussures, « Je »,