

Des sciences de moins en moins révolutionnaires

SCIENTOMÉTRIE - L'étude de 45 millions de travaux publiés depuis 1945 a montré un effondrement du caractère « disruptif » de la recherche

Après les crises climatique, financière, géopolitique, voici que la recherche scientifique semble à son tour montrer des signes de faiblesse. Ce qui pourrait assombrir les perspectives d'innovation... Selon une étude parue dans *Nature*, le 4 janvier, la production scientifique mondiale serait de moins en moins révolutionnaire, ou « *disruptive* » pour reprendre le mot des auteurs.

Les chercheurs des universités du Minnesota et de l'Arizona ont étudié, sur 45 millions d'articles de recherche et 3,9 millions de brevets, depuis 1945, l'évolution d'un indice, variant de - 1 à + 1, dit « de disruption », baptisé « CD » – pour consolider/déstabiliser –, qu'ils avaient proposé en 2017.

Le constat est terrible, c'est l'effondrement. Dans chaque discipline (sciences de la vie, sciences physiques, sciences sociales, technologie), l'indice moyen des articles chute, entre 1945 et 2010, passant, par exemple, pour les sciences sociales de 0,52 à 0,04 : une baisse de plus de 90 %. Pour la physique, c'est même 100 % pour les articles. Concernant les brevets, en fonction des disciplines, cette dégringolade varie de 78 % à 91 %.

« Des travaux précédents avaient montré le ralentissement dans certains domaines, comme les semi-conducteurs ou l'agriculture. Nous voulions prendre plus de hauteur et voir ces évolutions à travers plusieurs thèmes, précise Russell J. Funk, coauteur à l'université du Minnesota. Nous avons été surpris de voir ce déclin dans tant de domaines des sciences et technologies. »

Moindre diversité du vocabulaire

Réalité ou mirage ? Les points de vue divergent déjà. Surpris eux-mêmes par l'effet de l'étude, mise à la « une » de *Nature* sous le titre « Pertes nettes », les auteurs ont multiplié les tests pour prouver la solidité de leurs résultats. Ils ont ainsi effectué les mêmes calculs avec d'autres bases d'articles que celle de référence utilisée, dite « Web of Science », comme PubMed, JSTOR, Microsoft Academic Graph... Même déclin observé.

Ils ont aussi restreint leur analyse aux plus grandes revues, *Nature*, *Science* et *PNAS*, pour voir si la maladie touche aussi l'élite. Même chute. Sonder le lexique des titres et des résumés des articles les a amenés à observer des évolutions, comme la baisse de la diversité du vocabulaire, signes d'un manque de « révolution ».

En même temps, les auteurs tendent le bâton pour se faire battre, ou du moins pour atténuer la force de leur propre conclusion ! Pour le comprendre, il faut revenir à la définition de l'index de disruption, CD. Chaque article ou chaque brevet présente une liste de références bibliographiques qui fait état des recherches précédentes et donc montre sur quoi repose un nouveau résultat : les chercheurs s'appuient sur les épaules des géants pour progresser. Ces « citations » servent déjà à élaborer des indicateurs de « qualité » : plus un article est cité, plus il est considéré comme important. En 2017, Russell J. Funk et son directeur d'alors, Jason Owen-Smith, de l'université du Michigan, se servent de ces citations pour estimer le caractère disruptif d'un article ou d'un brevet.

L'indice est calculé en fonction du nombre de publications citant l'article étudié et selon si celles-ci citent ou non les références de cet article.

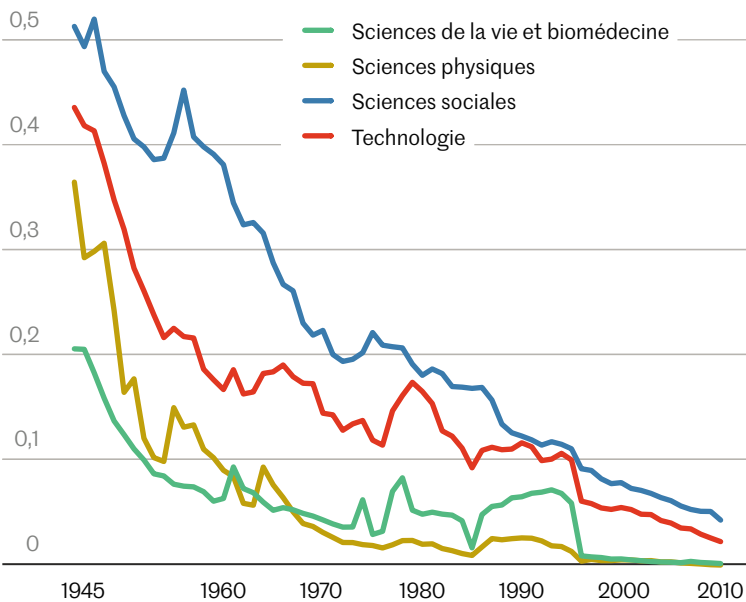
Le déclin du caractère révolutionnaire (« disruptif ») des articles scientifiques et des brevets

L'indice de disruption, qui varie entre - 1 (non disruptif) et + 1 (très disruptif), est calculé à partir des références bibliographiques de chaque article. Il est calculé en fonction du nombre de

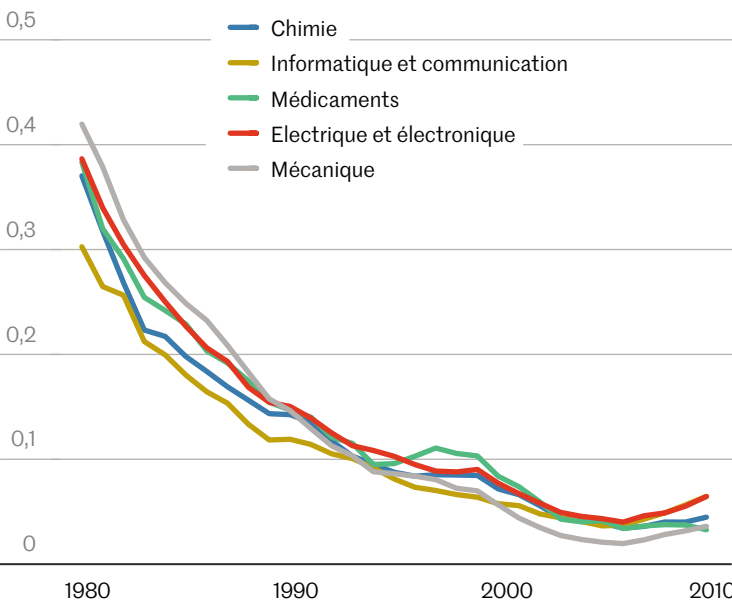
publications citant l'article étudié et si elles citent ou non les références de cet article. Ainsi, une publication citant un article disruptif citera moins les articles antérieurs sur le sujet.

Indice de disruption...

... dans les articles scientifiques



... dans les brevets



Infographie : Le Monde • Source : Park et al., *Nature*, 4 janvier

« NOUS AVONS ÉTÉ SURPRIS DE VOIR UN DÉCLIN DANS TANT DE DOMAINES DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES »

RUSSEL FUNK
COAUTEUR, UNIVERSITÉ
DU MINNESOTA

Ainsi, une publication mentionnant un article disruptif citera moins les articles antérieurs sur le sujet. Inversement, un article dit « consolidant » un domaine citera l'article-clé mais aussi les articles antérieurs. Un calcul, mis en ligne sur Cdindex.info, permet d'estimer un indice variant de - 1, « consolidant », à + 1, « disruptif ».

L'article de théorie quantique de 1928 de Paul Dirac est à 1. La découverte de la double hélice d'ADN en 1953 par James Watson et Francis Crick a un indice de 0,62. Le brevet de Monsanto sur un soja OGM est au contraire à - 0,85, etc.

Les mystères de la recherche

Cet indice a déjà été utilisé par d'autres équipes pour percer des mystères de la recherche. En 2019, dans *Nature*, une équipe américaine montre que les petites équipes sont les plus « révolutionnaires » et qu'à partir de trois personnes l'indice chute. En juin 2022, une équipe française de l'université Paris Cité montre, dans *PLOS One*, que l'évolution dans le temps de dizaines de domaines de recherche suit la même courbe en cloche, débutant lentement, avant d'exploser, puis de s'éteindre doucement. En outre, les travaux les plus disruptifs, selon cet indice, se situent à l'aube de l'émergence des domaines et ce caractère s'atténue ensuite.

Cependant, premier bémol de l'étude, dans un paragraphe rapide, les chercheurs constatent que, si la moyenne de l'indice décline, il y a toujours autant d'articles très disruptifs qu'avant. Mieux, le nombre des articles avec des indices compris entre 0 et 0,25 augmente énormément ! Bref, la moyenne de la classe

baisse fortement, mais le nombre d'élèves brillants reste stable. De quoi donc toujours bâtir de nouvelles idées et innovations.

« Si l'on ne regarde que les moyennes, on ne voit pas ces articles très disruptifs, car il y a beaucoup de "non disruptifs" publiés aujourd'hui », reconnaît Russell J. Funk. « C'est presque le résultat le plus intéressant. Montrer que l'on "disrupte" de façon constante, estime Marc Santolini, chercheur au Learning Planet Institute de l'université Paris Cité, coauteur de l'article de juin 2022. Ça aurait mérité de plus s'intéresser à cette catégorie ou à celle du "milieu" pour en saisir les raisons. » Dans les pages d'actualité de *Nature* sur ce sujet, John Walsh, de l'institut Georgia Tech (Etats-Unis), rappelle aussi que les articles « consolidants » ne sont pas inutiles, notamment car, « dans un monde concerné par la validité des découvertes, c'est une bonne chose d'avoir des travaux de réplication ou de reproduction de résultats ».

Second défaut souligné, notamment par Tiago P. Peixoto, de l'université d'Europe centrale à

Vienne, qui a étudié les annexes de l'article : le déclin massif général n'est pas loin de ce qu'aurait donné une répartition aléatoire des citations. Les chercheurs ont eux-mêmes testé l'hypothèse que la forme du réseau de citations pourrait expliquer leur effet. Manipuler l'indice de disruption sur les temps longs peut être piégeux, car, comme l'explique Tiago P. Peixoto, « pour les années récentes, il y a, par définition, plus de vieux articles que de nouveaux. Cela a tendance à faire baisser mécaniquement l'indice ». Or, le calcul montre que l'observation est en fait au-dessous de ce que le hasard aurait prédit, renforçant la conviction des auteurs. Sauf que l'écart est en réalité faible, selon Tiago P. Peixoto, pour qui « la plupart du déclin observé pourrait n'être qu'un artefact de la définition de l'indice et pas un changement de comportement des chercheurs ».

Sans attendre que les spécialistes tombent d'accord, les auteurs ont tenté d'expliquer le phénomène en détaillant d'autres résultats. Ils estiment notamment qu'une « contraction de la connaissance » est à l'œuvre. C'est-à-dire que, selon leurs données, les chercheurs puisent dans des sources de moins en moins diverses, de plus en plus anciennes et... se citent eux-mêmes de plus en plus.

« Dans cet article, nous nous efforçons de documenter des changements à l'œuvre, précise Russell J. Funk. Nous allons maintenant travailler à voir comment renverser ces tendances, et étudier comment les agences de financement et les décideurs politiques pourraient proposer des systèmes propices à la disruption. » ■

DAVID LAROUSSIERE

Olmèques : le calendrier sacré daterait de plus de trois mille ans

ARCHÉOASTRONOMIE - L'étude par lidar de complexes architecturaux dissimulés sous la végétation offre des précisions sur le calendrier de 260 jours

Il fut une époque, fort lointaine, où, pour se repérer dans l'espace et dans le temps, les humains ne comptaient pas sur cette étrange petite tablette que leurs descendants consultent en permanence, qui leur donne le jour et l'heure, leur indique le nord et leur dicte leurs itinéraires. C'est en observant les astres – en premier lieu le plus voyant d'entre eux, le Soleil – que nos ancêtres avaient perçu la cyclicité du temps et compté l'année. Ces fameux 365 jours (et des poussières) qui la composent et surtout le retour des saisons, événement crucial pour les civilisations agricoles.

Mais, à ce calendrier usuel, les peuples d'Amérique centrale ont surimposé un calendrier sacré, cérémoniel, de 260 jours. Le plus

ancien indice que l'on peut relier sans équivoque à ce calendrier probablement inventé par les Olmèques, dont la culture a essaimé dans toute la région du golfe du Mexique, est un signe découvert sur des peintures murales mayas du Guatemala, qui daterait de 300 à 200 av. J.-C. Dans une étude publiée vendredi 6 janvier par la revue *Science Advances*, une équipe internationale pense avoir trouvé la preuve, subtilement cachée dans l'orientation de complexes architecturaux, d'une origine bien plus ancienne : selon eux, le calendrier de 260 jours pourrait avoir été en usage dès la fin du II^e millénaire avant notre ère.

Ces chercheurs sont partis de l'idée que la disposition des structures bâties – plates-formes sur-

élevées, monticules, pyramides – devait refléter le monde symbolique de ces peuples antiques. Si tel était le cas, le calendrier sacré y aurait forcément sa place. Pour tester l'hypothèse, l'équipe a exploité un relevé lidar fait au sud du golfe du Mexique. Fonctionnant sur le principe du radar mais avec un laser à la place des ondes radio, un lidar permet d'« effacer » la végétation – luxuriante en région tropicale – et fait apparaître les structures artificielles sous-jacentes.

Des dizaines de milliers de structures ont ainsi été révélées sur une surface de 85 000 kilomètres carrés, dont plusieurs centaines de complexes très anciens.

Dans la liste de ces derniers, les scientifiques en ont conservé 415, ceux dont les contours étaient

bien dessinés, car il s'agissait d'établir avec une grande précision la manière dont leurs éléments s'alignaient. Premier enseignement : beaucoup de structures suivaient un axe est-ouest, pointant donc vers les endroits où le Soleil se lève et se couche.

Orientation vers le Soleil

Mais, en y regardant de plus près, les auteurs de l'étude se sont aperçus qu'un nombre important de constructions étaient orientées vers un point bien spécifique, celui où notre étoile se lève à deux moments de l'année, le 11 février et le 29 octobre. Deux dates séparées par... 260 jours. Bingo ! Ainsi que le dit l'étude, la majeure partie des complexes architecturaux présentant cette caractéristique

sont datés « de 1100 à 750 av. J.-C., si ce n'est plus tôt, et ils constituent donc la plus ancienne preuve du calendrier cyclique de 260 jours ».

La démonstration est élégante. Trop ? L'archéologue Steve Bourget, responsable des collections Amériques au Musée du quai Branly-Jacques-Chirac et commissaire de l'exposition sur les Olmèques qui s'y est tenue en 2020-2021, reste « perplexe par rapport à la solidité absolue de cette démonstration » et formule des objections. La première tient au fait que le calendrier cérémoniel est mouvant, qu'il « tourne autour » du calendrier usuel au point qu'« il faut environ cinquante-deux ans pour que les deux se repositionnent à la même journée ». Difficile de lui assigner une date particulière, donc.

Autre objection, le 260 révélé par l'étude pourrait se référer à autre chose qu'au calendrier sacré, car les peuples de cette culture attribuaient une importance particulière aux nombres 13 et 20, dont 260 est le multiple : « La base 20, qui correspond au nombre de doigts et d'orteils, était éminemment utilisée par les Olmèques. » Enfin, l'archéologue québécois reste prudent sur l'extrapolation des données lidar : la plupart de « ces édifices sont des structures qui n'ont pas été fouillées. Comment peut-on avoir une lecture aussi précise sur des sites si mal connus ? » Pour Steve Bourget, il faudra aller sur le terrain pour valider l'article archéo-astronomique de *Science Advances*. ■

PIERRE BARTHÉLÉMY