CARTE BLANCHE

Les algorithmes devraient-ils livrer leurs secrets ?

Par ÉTIENNE GHYS

Ces derniers temps, on voit fleurir le mot algorithme un peu partout dans la presse, souvent avec des orthographes fantaisistes. Son étymologie est un mélange intéressant. « Algo » vient d'Al-Khwarizmi, le nom arabe d'un mathématicien qui travaillait à Bagdad au IXe siècle. « Rithme » vient quant à lui du grec *arithmos* – « nombre » –, qu'on retrouve bien sûr dans « arithmétique ». Il n'a pas fallu attendre l'intelligence artificielle pour qu'on invente des algorithmes, souvent sans le savoir.

Un algorithme n'est rien d'autre qu'une liste d'instructions destinées à réaliser une opération. Cela peut être par exemple une recette de cuisine qui permet de transformer des ingrédients en un plat savoureux, ou la notice de montage d'une étagère suédoise. L'addition qu'on apprend à l'école primaire est un autre exemple. Quand je calcule 38 + 14, je chantonne « 8 et 4 font 12, je pose 2 et je retiens 1 », etc. : j'applique un algorithme qui me donne à coup sûr la réponse 52.

On parle beaucoup en ce moment de l'algorithme « Parcoursup », qui remplace « APB » (Admission post bac). Les bacheliers se portent candidats dans un certain nombre de formations universitaires qui affichent leurs fameux « attendus ». Comment faire pour décider des affectations des étudiants ? La question n'est pas facile et il y a certainement beaucoup de méthodes possibles. Prenez l'exemple de deux employeurs, A et B, qui veulent recruter deux personnes, 1 et 2. Supposez que A préfère 1 et B préfère 2 mais que 1 préférerait travailler pour B et 2 pour A. Faut-il satisfaire les employeurs ou les employés ? S'il y a déjà un problème pour deux personnes, on peut concevoir la complexité pour 900 000 étudiants. L'algorithme Parcoursup va-t-il, par exemple, privilégier les étudiants ou les universités ?

Noms inappropriés

Le problème des « mariages stables » est proche de celui des affectations d'étudiants. Imaginez un certain nombre de filles et un nombre égal de garçons qui veulent se marier. Chaque fille a ses préférences parmi les garçons et chaque garçon a ses préférences parmi les filles. Comment les marier de façon « stable » ? Les informaticiens entendent par là qu'il faut éviter qu'un homme et une femme non mariés ensemble se préfèrent mutuellement à leurs conjoints car cela entraînerait un divorce. Gale et Shapeley ont trouvé une solution simple et efficace à ce problème en 1962 (bien expliquée sur Wikipédia par exemple). Il est regrettable que cet « algorithme des mariages » porte un nom aussi stupide, car personne ne souhaite évidemment l'utiliser pour de véritables mariages. Ce n'est pas un cas isolé et d'autres algorithmes très sérieux portent des noms inappropriés qui ne permettent pas de comprendre leurs véritables usages.

Quelle est la différence entre Parcoursup et APB ? On peut penser que les principes généraux sont très proches de l'algorithme des mariages, car il s'agit au fond de marier des étudiants avec des universités, mais qu'en est-il des détails ? Dans Parcoursup, les étudiants ne classent pas leurs vœux et les établissements classent en revanche leurs candidats en fonction de leurs attendus, en utilisant des « algorithmes locaux » dont on ne sait pas grand-chose mais qu'on aimerait connaître.

Nous nous résignons souvent à utiliser des algorithmes dont le fonctionnement contient des secrets de fabrication, comme Google. En revanche, les détails des algorithmes de l'administration devraient être librement accessibles à tous. Les étudiants n'ont pas le choix du logiciel qui détermine leur avenir : ils ont droit à la transparence. Le gouvernement précédent avait promis de rendre APB public mais il ne l'a pas fait. Emmanuel Macron vient de promettre de rendre Parcoursup public. Tiendra-t-il sa promesse ? ■

Etienne Ghys
Mathématicien, directeur de recherche (CNRS) à l'Ecole normale supérieure de Lyon
etienneghys@ens-lyon.fr

R&D : des entreprises françaises sans vision

TRIBUNE - Le bio-informaticien Frédéric Cazals s'inquiète de l'absence des acteurs français dans les grands congrès scientifiques et ses conséquences, notamment sur les performances économiques

En examinant la participation d'entreprises françaises à certains événements académiques de premier plan, dans deux registres très différents, on constate que le niveau de culture R&D au sein des entreprises françaises peut être anormalement bas et obère la compétitivité du pays. J'en prendrai deux exemples.

Dans le domaine de l'Intelligence artificielle et de la société digitale, tout d'abord. Chacun sait à quel point les sciences et techniques du numérique ont bouleversé notre quotidien. La recherche d'aujourd'hui augurant des innovations de demain, un examen des tendances perceptibles lors de la conférence de référence de l'intelligence artificielle (IA) est instructif. Avec 8 000 participants en 2017, « Neural Information Processing Systems » (« NIPS ») est à la fois une conférence académique sur les fondements mathématiques et algorithmiques de l'IA, et une exhibition technologique de premier plan. Alors que la diversité des domaines abordés n'a d'égal que celle des pays représentés, voici la statistique qui alerte : 85 sponsors d'origine variée avec un fort biais anglo-saxon et asiatique ; du côté européen, présence allemande et anglaise marquée ; cependant, une seule entreprise française.

Pour comprendre à quel point cette absence française est lourde de conséquences sur les performances économiques, on peut évoquer les entrepôts d'Amazon, le leader des ventes en ligne. On y découvre des infrastructures hors norme couplées à des systèmes logiciels. L'efficience d'un tel dispositif dépend d'algorithmes sophistiqués, issus de recherches internes. In fine, la panoplie contemporaine de l'informatique, des mathématiques appliquées et de la robotique conditionne l'innovation et les performances économiques. L'aptitude à innover à ce niveau requiert une culture de la recherche de premier plan, qui s'acquiert entre autres grâce à une participation active à des conférences telles que NIPS.

Venons-en au second exemple, la microscopie électronique et l'innovation thérapeutique. La biologie structurale étudie la relation entre la structure, la dynamique, et la fonction des biomolécules et de leurs assemblages. De façon tout à fait spectaculaire, la cryo-microscopie électronique (CryoME), qui a fait l'objet du prix Nobel de chimie 2017, permet désormais de voir à l'échelle atomique un nombre sidérant de tels systèmes et d'appréhender leurs mécanismes, ouvrant la porte à l'intervention thérapeutique.

C'est dans ce contexte effervescent qu'a eu lieu début février 2018 le Keystone meeting sur la CryoME, près du lac Tahoe, toujours en Californie. Audience restreinte (200 personnes) mais représentation et orateurs top niveau, dont Joachim Frank (Nobel de chimie 2017). Un fait nouveau par rapport aux éditions précédentes était la participation active de plusieurs entreprises pharmaceutiques telles UCB Celltech (multinationale d'origine belge), Pfizer (Etat-Unis), Novartis (multinationale d'origine suisse), Astex (Royaume-Uni), Astra-Zeneca (multinationale anglo-suédoise), GSK (Royaume-Uni)). Leur dynamique est apparue manifeste dans tous les registres : établissement de consortia avec des universités (notamment aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne), acquisition propre de microscopes électroniques dernier cri (plusieurs millions d'euros), et surtout, communication autour de problèmes scientifiques visant à intégrer leurs chercheurs dans la communauté. Et là aussi, le constat qui alerte : point d'intervention française.

CHANGER LA DONNE REQUERRA LUCIDITÉ ET COURAGE DE LA PART DE NOS ÉDILES

Ces deux exemples illustrent à quel point le niveau de culture R&D de nos entreprises peut être bas. Ceci est délétère pour notre tissu industriel au sens large, qui ne peut rivaliser avec la concurrence en matière d'innovation, et l'on ne s'étonnera point que les statistiques concernant les brevets produits par la France soient alarmantes. Mais cet état de fait est également néfaste pour l'enseignement supérieur et la recherche (ESR), qui devrait à la fois être le terreau où se construit la connaissance et un laboratoire où s'amorce le transfert. L'attentisme des entreprises est funeste pour les demandes de financement académiques. En effet, nombre de guichets évaluent les projets soumis selon trois critères : qualité scientifique, organisation, et impact sociétal. Pour les appels très compétitifs (comme les « Future and Emerging Technologies Open » européens, où le taux de succès est inférieur à 2 %), un projet sans caution industrielle forte ou plan de transfert précis, donc à l'impact incertain, est condamné.

Nos entreprises doivent impérativement adhérer aux standards internationaux en matière de R&D, au-delà des effets d'aubaine. Pour ce faire, leurs dirigeants doivent troquer leurs costumes de rentiers pour ceux de visionnaires. En cas de statu quo, une métaphore footballistique permettra d'appréhender le futur. En Ligue 1, le rapport entre les budgets extrêmes pour la saison 2017-2018 est de 21,6 (540 versus 25 millions d'euros pour le PSG et Amiens, respectivement). Un facteur de cet ordre de grandeur se retrouve également entre des équipes de recherche comparables (niveau, thèmes) entre l'étranger et la France. Avec un tel écart, nos équipes de recherche contribueront au maintien de l'écosystème (on ne peut pas faire un championnat à cinq équipes), sans aucune chance de jouer les premiers rôles. Et les entreprises en panne d'innovation finiront par être phagocytées, avec les conséquences que l'on imagine.

Cette situation a des origines multiples et profondes, de telle sorte que changer la donne requerra lucidité et courage de la part de nos édiles. Du côté des entreprises, une réforme CIRCICE *[crédit impôt recherche-crédit d'impôt pour la compétitivité et l'emploi]*, dont le montant global est quasiment identique au budget de l'ESR (25 milliards d'euros) s'impose. Du côté académique, il est urgent de réviser le format du doctorat et de revoir le rôle de la formation par la recherche, de simplifier la trinité universités-grandes écoles-EPST (CNRS, Inserm, INRA, Inria,...) et de doter les laboratoires à hauteur de la concurrence. ■

¶

Frédéric Cazals, directeur de recherche, Inria Sophia Antipolis Méditerranée, professeur associé à Centrale-Supélec

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr

COLLECTION GÉNIES DES MATHÉMATIQUES

Henri Poincaré, le dernier universaliste

Pour évoquer Henri Poincaré, il y a deux erreurs à ne pas commettre. Tout d'abord, il ne faut pas le confondre avec son cousin Raymond, président de la République pendant la première guerre mondiale. Ensuite, il ne faut pas écrire Poincarré, avec deux r : le *Figaro* le présentait d'ailleurs en 1898 comme le *« plus malheureux des mathématiciens parce que son nom choque la définition géométrique du point »*.

Henri était tout à la fois mathématicien, physicien théoricien et philosophe. On le présente souvent comme le dernier universaliste tant ses contributions couvrent un large spectre : on lui doit par exemple la création de la topologie algébrique et de la théorie du chaos, mais il a aussi des contributions importantes sur la théorie des marées ou sur les ondes hertziennes. Il pouvait écrire le même mois un article sur les fonctions analytiques et un autre sur le récepteur téléphonique. Il a révolutionné les mathématiques de son temps.

Né en 1854 et mort en 1912, il connaît l'époque de la science triomphante qui allait résoudre tous les problèmes du monde. C'est aussi la période de la IIIe République laïque où la science prend souvent la place de la religion. La vulgarisation devient alors un phénomène important et on ne compte plus les savants qui s'y investissent : il faut instruire le peuple et lui révéler les merveilles de la science.

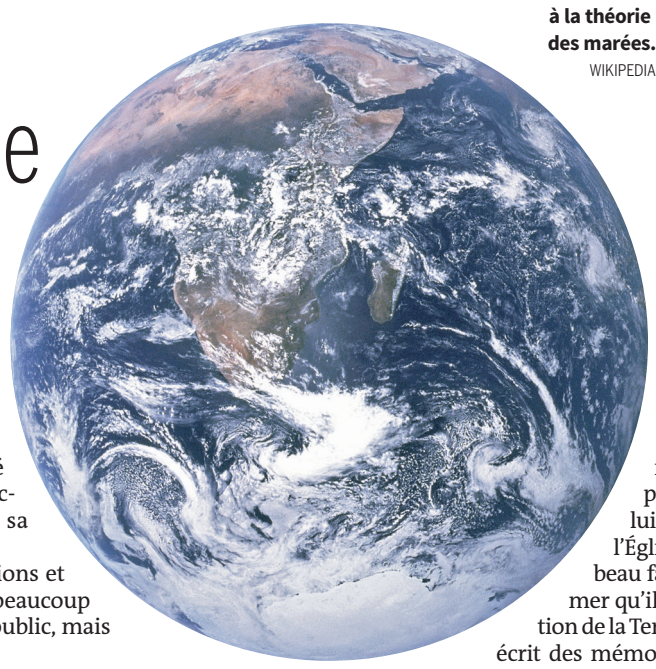
Henri Poincaré fut l'un des plus grands vulgarisateurs des mathématiques, mais tout cela n'a été finalement qu'un malentendu. Ses ouvrages philosophiques, au premier rang desquels *La Science et l'Hypothèse,* publié en 1902, ont remporté un succès populaire incroyable… à sa grande surprise.

On ne compte plus les éditions et les traductions de ces livres, beaucoup trop difficiles pour le grand public, mais si fascinants et si bien écrits.

Théorie du conventionnalisme

A vrai dire, il ne s'agit que d'une compilation à peine remaniée de conférences prononcées devant des publics spécialisés. Il y développait en particulier sa théorie philosophique du conventionnalisme, entre idéalisme et empirisme. Selon lui, plusieurs théories scientifiques peuvent décrire les mêmes faits expérimentaux. Aucune n'est plus vraie que les autres, mais l'une d'entre elles peut être plus simple, et nous l'adoptons « par convention ».

Pour illustrer son propos, il choisit un exemple probablement malheureux : la rotation de la Terre. Il expliqua qu'on pourrait très bien considérer que la Terre ne tourne pas, quitte à ajouter quelques forces (centrifuge et de Coriolis), et que cette théorie serait cohérente mais compliquée. Il écrivit : *« Ces deux propositions : la Terre tourne, et il est plus commode de supposer que la Terre tourne, ont un seul et même sens ; il n'y a rien de plus dans l'une que dans l'autre. »* Que n'avait-il pas écrit ! La presse se déchaîna contre lui, l'accusant de défendre l'Église contre Galilée. Il eut beau faire, on continua à affirmer qu'il ne croyait pas à la rotation de la Terre, lui qui avait pourtant écrit des mémoires magnifiques sur la forme des fluides en rotation.

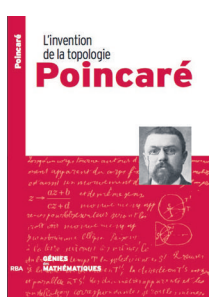


Le savant français s'est aussi intéressé à la théorie des marées.
WIKIPEDIA

Dans *le Matin* du 20 février 1908, Mgr Bolo affirma que *« Poincaré, le plus grand mathématicien du siècle, donne tort à l'obstination de Galilée »*. Il s'agit bien d'un malentendu et Poincaré n'avait pas suffisamment cherché à adapter son texte au public général. Pourtant, ces livres se sont vendus en un nombre incalculable d'exemplaires. Tout cela illustre la complexité du rapport entre la science et le public.

Henri Poincaré eut droit à des funérailles nationales. Un siècle plus tard, un candidat à « Questions pour un champion » ignorait l'existence de son nom. Je ne peux pas affirmer que j'aurais pu être champion car c'était la seule question dont je connaissais la réponse. ■

ÉTIENNE GHYS (MATHÉMATICIEN, DIRECTEUR DE RECHERCHE AU CNRS À L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON)



9,99€, en kiosque le 19 avril.