

Interview de Don Knuth

Toufik Mansour

Donald E. Knuth a effectué ses études secondaires à l'Institut de Technologie Case en 1960. Il a obtenu un Ph.D. à l'Institut de Technologie de Californie en 1963, sous la direction de Marshall Hall. Jr. Il est entré à l'Université de Stanford comme professeur d'informatique en 1968. En 1993, il est devenu Professeur émérite d'Art de la programmation des ordinateurs, à l'Université de Stanford. Le Professor Knuth a occupé des positions de professeur visiteur à l'Université d'Oslo (1972-1973) et à l'Université d'Oxford (2002-2017). Il a donné de multiples conférences, notamment il a été invité à donner un exposé au Congrès International des Mathématiciens à Nice en 1970 ; il a donné l'exposé Gibbs de la Société Américaine des Mathématiques en 1978 ; l'exposé von Neumann du SIAM en 2016. Le Professor Knuth a reçu plusieurs récompenses, notamment la récompense A.M. Turing de l'ACM en 1974, la Médaille de la Science du Président Carter en 1979, le Prix Steele de l'Association Américaine de mathématiques pour ses exposés pédagogiques en 1986, la médaille Benjamin Franklin en 1988, la médaille Adelsköld de l'Académie Suédoise des Sciences en 1994, le Prix Harvey de l'Université Technion en 1995, la Médaille John von Neumann de l'IEEE en 1995, le Prix Kyoto pour la Technologie avancée en 1996, la Médaille des Frontières de la Connaissance en 2010 dans le domaine des technologies de l'Information et de la Communication, et la Médaille Michael Faraday de l'IET en 2011. Knuth a été élu à l'Académie Nationale des Sciences en 1975, à l'Académie Nationale de l'Ingénierie en 1981, et à la Société philosophique américaine en 2012. Il est membre associé étranger de l'Académie des Sciences française, de l'Académie de la Science et des Lettres norvégienne, de l'Académie bavaroise des Sciences, de l'Académie des Sciences russe, et membre associé étranger de la Société Royale de Londres. Il est membre de l'Académie américaine des Arts et des Sciences, de la Société informatique britannique, de la Société pour les mathématiques industrielles et appliquées, de la Société mathématique américaine, de l'Association pour les mécanismes de calcul, et du Musée

Référence de l'interview en anglais : Enumerative Combinatorics and Applications, ECA 1 :1 (2021) Interview #S319, ecajournal.haifa.ac.il

Article sous licence CC BY-ND (International 4.0),

Publié le 5 février 2021.

Toufik Mansour est professeur de mathématiques à l'Université d'Haifa, Israël.

Son adresse email est tmansour@univ.haifa.ac.il.

Traduction Denise Vella-Chemla, septembre 2021.

d'Histoire de l'ordinateur ; il est également membre honoraire de l'Institut pour les ingénieurs électriciens et électroniciens et de la Société mathématique londonienne. Le Professeur Knuth a obtenu des doctorats honoraires de plus de 30 universités de par le monde, incluant l'Université d'Harvard, l'Université d'Oxford, l'Université de Paris, l'Institut Royal de Technologie de Stockholm, l'Université de St. Petersburg, l'Université de Montréal, l'Université de Tübingen, l'Université d'Oslo, l'Institut fédéral suisse de Technologie de Zürich, l'Université de Bordeaux, l'Université St. Andrews, l'Université nationale d'Irlande, l'Université d'Antwerp en Belgique, l'Université Masaryk en République Tchèque, et l'Université de Macédoine en Grèce. Avec Herbert Wilf, le Professeur Knuth a cofondé le Journal des Algorithmes en 1979, et il a été membre des bureaux éditoriaux de nombreux journals, incluant *Advances in Mathematics* (1971-1979), *Combinatorica* (1985-1998), *Discrete and Computational Geometry* (1986-2012), *Discrete Mathematics* (1970-1978), *Electronic Journal of Combinatorics* (1994-2013), *Historia Mathematica* (1972-1979), *Journal of Graph Theory* (1975-1979).

MANSOUR : Professeur Knuth, avant tout, nous souhaiterions vous remercier d'accepter cette interview. Pourriez-vous nous dire rapidement ce qu'est la combinatoire ?

KNUTH : Ah! Ah! Il est d'ores et déjà clair que vous allez poser quelques grandes questions! Je pense que ma meilleure réponse consistera à simplifier grandement, puisqu'on ne peut complètement répondre à de telles questions.

Il y a de nombreuses années, j'ai essayé de répondre à la question "Qu'est-ce que les mathématiques?" en disant que les mathématiques, c'est ce que font les mathématiciens. J'ai aussi dit que la réponse à la question "Qu'est-ce que l'informatique?" est analogue¹.

Plus précisément, je crois que des personnes différentes ont des manières différentes d'organiser la connaissance dans leur tête et que les champs d'étude sont définis principalement par les sortes de raisonnement qui sont le plus en adéquation avec la manière dont les praticiens pensent. (Par exemple, je suis un scientifique informaticien parce que mon cerveau résonne avec de nom-

1. D.E. Knuth, *Computer science and its relation to mathematics*, Amer. Math. Monthly 81 (1974) 323-343.

breux aspects du calcul). J'ai étudié des exemples au hasard de la littérature des mathématiques et de l'informatique, en essayant d'imaginer quelles sortes de connaissance et paradigmes je devrais enseigner à un ordinateur, dans le but de développer les idées exprimées ici.

Certaines personnes pensent que l'informatique est un sous-ensemble des mathématiques ; d'autres pensent que les mathématiques sont un sous-ensemble de l'informatique. Je crois que ni l'une ni l'autre de ces assertions n'est vraie, mais qu'il y a une grande intersection. L'union des deux est la sorte de connaissance qui est créée par des êtres humains, plutôt que celle qui est présente dans l'univers naturel. Contrairement aux physiciens, chimistes, biologistes, nous devons établir nos propres règles de base. L'informatique et les mathématiques ont, chacune, de nombreux sous-domaines, et je les associe à différentes manières de penser. Vive la différence - une telle diversité est merveilleuse.

J'ai appris ma définition préférée des mathématiques d'Andy Gleason, "les mathématiques sont la science des motifs." Et j'ai appris ma définition préférée de la combinatoire de mon tuteur Marshall Hall. Voici comment je la formule en page 1 de mon livre "*Combinatorial Algorithms*²" : "La combinatoire est l'étude des manières d'arranger des objets discrets selon différentes sortes de motifs. Cinq types de questions de base surgissent quand on étudie des problèmes combinatoires, selon un ordre croissant de difficulté : (i) l'existence : Y-a-t-il un arrangement X qui est conforme au motif ? (ii) la construction : Si un tel X existe, peut-il être trouvé rapidement ? (iii) l'énumération : combien d'arrangements X différents existe-t-il ? (iv) la génération : tous les arrangements X_1, X_2, \dots peuvent-ils être énumérés systématiquement ? (v) l'optimisation : quels arrangements maximisent ou minimisent $f(X)$, f étant une fonction objectif donnée ?"

MANSOUR : Que pensez-vous du développement des relations entre la combinatoire et le reste des mathématiques ?

KNUTH : Il y a clairement des interactions extrêmement utiles dans les deux directions. Par exemple, les motifs algébriques peuvent souvent être traduits

2. D.E. Knuth, *The art of computer programming*, Vol. 4A, *Combinatorial algorithms*, Part . Addison-Wesley, Upper Saddle River, NJ, 2011.

dans des motifs géométriques équivalents, et vice versa, permettant différentes sortes d'intuition grâce auxquelles nous pouvons gagner en connaissance. Les fonctions analytiques des variables complexes nous permettent d'énumérer des motifs combinatoires compliqués ; inversement, de tels motifs pointent vers des aspects non encore développés de l'analyse complexe. Les variables aléatoires démontrent l'existence de motifs que nous ne savons pas construire. Et etc.

MANSOUR : Quels ont été quelques-uns des principaux objectifs de vos recherches ?

KNUTH : Je suis avant tout un professeur et un écrivain qui essaie d'organiser la connaissance existante et de la faire passer à de nouvelles générations d'enthousiastes. Pendant que je juxtapose de telles idées, je cours naturellement parmi une multitude de questions qui n'ont pas été complètement explorées, et donc j'essaie de voir comment elles s'intègrent à l'histoire que je suis en train d'essayer de raconter. J'essaie également de faire mon maximum pour comprendre et préserver l'histoire de ces idées.

MANSOUR : Nous voudrions vous interroger à propos de vos années de formation. Quelles ont été vos expériences dans vos jeunes années par rapport aux mathématiques ? Est-ce que vous les avez découvertes sous l'influence de votre famille ou d'autres personnes ?

KNUTH : Mes professeurs avant le lycée n'étaient pas très bons en mathématiques. Mais j'aimais jouer avec les idées élémentaires auxquelles j'étais exposé ; par exemple, j'ai passé des centaines d'heures à tracer les graphiques de fonctions polynomiales, avec seulement un des coefficients variant. Je jouais aussi à de petits jeux, comme le jeu des petits chevaux, qui tournent autour d'une piste, en lançant des dés pour déterminer combien de pas chaque cheval peut faire. Je jouais à ça assis dans ma chambre. Mon père était professeur et il travaillait à temps partiel comme comptable ; il avait une machine qui pouvait multiplier des nombres et fournissait la réponse sur une petite bande de papier.

MANSOUR : Y-a-t-il eu des problèmes spécifiques qui vous ont fait vous intéresser à la combinatoire ?

KNUTH : Lors de la dernière année, j'ai été très intéressé par les carrés latins orthogonaux, à cause d'exposés donnés par le professeur visiteur R.C. Bose. C'était en 1959, l'année où Bose et d'autres infirmèrent la conjecture célèbre d'Euler sur la non-existence^{3, 4, 5}

MANSOUR : Pour quelle raison avez-vous alors choisi l'Institut de Technologie de Californie pour effectuer votre Ph.D. et votre tuteur Marshall Hall, Jr. ?

KNUTH : Bose me l'a grandement recommandé. Parmi mes autres professeurs à Caltech, il y avait Robert Dilworth, Herbert Ryser, et Adriano Garsia (bien que Garsia travaillât alors dans le domaine de l'analyse de Fourier). Dick de Bruijn était également un visiteur fréquent.

MANSOUR : Sur quel problème avez-vous travaillé durant votre thèse ?

KNUTH : J'ai trouvé une famille infinie de plans projectifs non Desarguiens d'ordres 32, 64, 128, etc., et trouvé des propriétés structurelles plus avancées des plans finis^{6, 7}.

MANSOUR : Qu'est-ce qui vous dirige dans vos recherches ? Une question théorique générale ou un problème spécifique ?

KNUTH : Ma recherche a toujours été une conséquence de ma curiosité. Je crois que j'ai appris assez tôt comment poser des questions dont les réponses pourraient être instructives. Parfois les questions sont destinées à développer une théorie, par exemple, pour trouver les conséquences de certains axiomes, ou à inventer des axiomes appropriés. Parfois les questions sont destinées à expliquer un motif de nombres. Souvent les questions sont destinées à montrer combien un algorithme particulier est rapide lorsqu'on lui fournit une

3. R.C. Bose, S.S. Shrikhande, *On the falsity of Euler's conjecture about the non-existence of two orthogonal latin squares of order $4t + 2$* , Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 45 (1959) 734-737.

4. R.C. Bose, S.S. Shrikhande, *On the construction of sets of mutually orthogonal latin squares and the falsity of a conjecture of Euler*, Trans. Amer. Math. Soc. 95 (1960) 191-209.

5. R.C. Bose, S.S. Shrikhande, E.T. Parker, *Further results on the construction of mutually orthogonal latin squares and the falsity of Euler's conjecture*, Canad. J. Math. 12 (1960) 189-203.

6. D.E. Knuth *Finite semifields and projective planes*, J. Algebra 2 (1965) 182-217.

7. D.E. Knuth *A class of projective planes*, Trans. Amer. Math. Soc. 115 (1965) 541-549.

certaines sortes d'entrées. Parfois les questions sont destinées à comprendre un développement historique.

J'évite les questions à propos de choses pour lesquelles je n'ai pas une intuition suffisante. Par exemple, je ne suis pas bon pour visualiser des objets en plus de deux dimensions.

MANSOUR : Quand vous travaillez sur un problème, ressentez-vous que quelque chose est vrai même avant d'en avoir la preuve ?

KNUTH : Typiquement, j'examine de nombreux petits cas des problèmes reliés, de façon à apprendre non seulement ce qui est vrai mais également ce qui est faux.

Quand j'essaie de prouver que quelque chose est vrai, je trouve que j'y arrive mieux si je peux trouver un contre-exemple parce que je suis assez tâtillon. Alors, quand je réalise pourquoi je suis coincé et ne peux pas trouver de contre-exemple, je peux, en fait, voir une preuve.

MANSOUR : Quels résultats, merci de m'en citer 3, considérez-vous comme les plus influents en combinatoire durant les trente dernières années ?

KNUTH : En général, je n'aime pas les questions à propos des résultats les "plus influents" ou "plus importants", parce que je pense que la combinatoire (comme tout sujet significatif) avance la plupart du temps par des millieurs de petites étapes plutôt que par peu de grandes étapes. La combinatoire est analogue à la Grande muraille de Chine, consistant en de nombreuses, très nombreuses briques merveilleusement mises ensemble.

Pourtant, puisque vous l'avez demandé, je pense que les résultats les plus influents depuis 1990 qui viennent à l'esprit sont (i) la découverte de méthodes de solutions pour les problèmes de satisfiabilité, basées sur l'"apprentissage dirigé par les conflits de clauses"^{8, 9}; (ii) les preuves automatisées d'identités,

8. J.P. Marques-Silva, K.A. Sakallah, *GRASP : A Search Algorithm for Propositional Satisfiability*, IEEE Transactions on Computers 48 :5 (1999) 506-521.

9. M.W. Moskewicz, C.F. Madigan, Y. Zhao, L. Zhang, S. Malik, *Chaff : Engineering an efficient SAT solver*, ACM/IEEE Design Automation Conf. 38 (2001) 530-535.

comme dans le livre “ $A = B$ ” de Petkovšek, Wilf, et Zeilberger¹⁰; (iii) la séquence de 23 articles de Robertson et Seymour (1983-2012) à propos de la théorie des mineurs de graphes^{11, 12}.

MANSOUR : Quelles sont les trois questions ouvertes les plus importantes dans votre liste ?

KNUTH : À nouveau, je ne suis pas content de la question “top trois”, mais je ne veux pas l’éviter. Bien sûr, il y a de nombreux, très nombreux problèmes dont j’aimerais beaucoup connaître la réponse, mais les meilleurs d’entre eux sont des problèmes pour lesquels des résultats partiels sont aussi fructueux. Je pense que je vote pour (i) la preuve de l’hypothèse du temps exponentiel¹³ (ETH), notamment que $\inf\{\log_2 \tau^n | \text{ nous pouvons trouver un algorithme pour résoudre en } \tau^n \text{ étapes le problème de la satisfiabilité avec des clauses de taille 3 en } n \text{ variables}\} > 0$; (ii) une preuve non constructive que $P = NP$, en montrant que principalement seulement un nombre fini de cas différents peuvent advenir, bien que nous puissions ne jamais savoir quand nous les aurons tous trouvés (quelque chose comme ce que Robertson et Seymour ont fait pour les mineurs de graphes); (iii) une étude du curieux motif de signes qui surgit asymptotiquement pour les nombres de Gould dans le nombre de partitions d’ensembles dont la queue est un singleton comme illustré dans la réponse à l’exercice 7.2.2.1-190 de *The Art of Computer Programming 4* (TAOCP), fascicule 5 (2019), pages 146 et 277. Le dernier problème est bien sûr supposément plus facile que les problèmes (i) ou (ii); je crois encore que c’est un bon représentant de nombreux problèmes actuellement non résolus et dont les solutions auront probablement de belles retombées.

MANSOUR : Quelle sorte de mathématiques souhaiteriez-vous voir dans les dix à vingt prochaines années comme continuation de votre travail ?

10. M. Petkovšek, H.S. Wilf, and D. Zeilberger, *A = B*, avec un avant-propos de D.E. Knuth, avec un disque d’ordinateur séparé, A K Peters, Ltd., Wellesley, MA, 1996.

11. N. Robertson, P.D. Seymour, *Graph minors. I. Excluding a forest*, J. Combin. Theory Ser. B 35 :1 (1983) 39-61.

12. N. Robertson, P.D. Seymour, *Graph minors. XX. Wagner’s conjecture*, J. Combin. Theory Ser. B 92 :2 (2004) 325-357.

13. R. Impagliazzo and R. Paturi, *On the complexity of k -SAT*, J. Comput. Syst. Sci. 62 :2 (2001) 367-375.

KNUTH : Laissez-moi poser une prise vers les problèmes 1, 2, 3, et 5 qui avaient été soulignés dans mon “exposé Flajolet” de 2014¹⁴.

Je suis particulièrement intéressé par le problème 5, qui concerne le “principe de perturbation négligeable”. J’ai toujours eu de gros espoirs pour les analyses des algorithmes combinatoires importants qui utiliseraient ce principe simple bien que subtil, que j’avais illustré dans un article que j’avais écrit avec Rajeev Motwani et Boris Pittel en page 1 du volume 1 de *Random Structures & Algorithms*¹⁵, et à nouveau dans un article ultérieur avec Svante Janson¹⁶. Mais jusque-là, je suis surpris et un peu découragé par le fait que personne d’autre n’ait poursuivi cette idée.

MANSOUR : Pensez-vous qu’il y a des domaines principaux, au cœur des mathématiques ? Y-a-t-il des sujets plus importants que d’autres ?

KNUTH : Je n’aime pas dire qu’un sujet est plus important qu’un autre (bien que je m’attende à ne jamais être enthousiasmé par les problèmes qui ont été posés autour des nombres de Smarandache). Selon la philosophie que j’ai présentée antérieurement, l’importance d’un problème est relative à l’expérience de chaque chercheur, à son intuition, et à sa manière particulière de structurer la connaissance. On ne devrait pas travailler sur un problème juste parce que quelqu’un d’autre nous a dit qu’il est important ou nous rendra riche et célèbre. Travaillez sur un problème si vous pensez qu’il a votre nom sur lui à cause de vos compétences particulières, et si vous pensez que sa solution sera pertinente pour les autres.

MANSOUR : Que pensez-vous de la distinction entre mathématiques pures et mathématiques appliquées sur laquelle des personnes se focalisent ? Est-elle significative dans votre cas ? Comment voyez-vous la relation entre les mathématiques dites “pures” et celles dites “appliquées” ?

KNUTH : Reportez-vous à mes exposés intitulés “Théorie et pratique” dans

14. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/flaj2014.pdf>

15. D.E. Knuth, R. Motwani, B.G. Pittel, *Stable husbands*, *Random Struct. Algorithms* 1 :1 (1990) 1-14.

16. S. Janson, D.E. Knuth, *Shellsort with three increments*, *Random Struct. Algorithms* 10 :1-2 (1997) 125-142.

le livre *Selected Papers on Computer Science*¹⁷ (1996), pages 123-127, 129-139, 141-147, 149-167 ; voir aussi “Theory and practice and fun” dans le *Companion to the Papers of Donald Knuth*¹⁸ (2012), pages 39-40.

MANSOUR : Quel conseil donneriez-vous à de jeunes personnes pensant poursuivre une carrière de chercheur en mathématiques ?

KNUTH : Demandez-leur s’ils sont sûrs de ne pas préférer plutôt une carrière de chercheur en informatique (en se basant bien sûr sur leur profil personnel de compétences). Et je recommanderais qu’ils ne soient pas attirés par des trucs à la mode ; ils devraient avoir confiance en leur propre idée de la beauté.

Omer Reingold m’a posé une question similaire il y a trois ans, et il a posté mes réponses sur le blog de recherches théoriques en informatique de Stanford^{19, 20, 21}.

MANSOUR : Vous êtes un chercheur prolifique, un écrivain et un programmeur. Avez-vous des rituels quotidiens qui optimisent votre productivité ? Quel conseil donneriez-vous à ce sujet ?

KNUTH : Quelques astuces qui marchent pour moi, en plus de ne pas avoir la télévision ou un téléphone portable : (i) Quand je lis un article, j’essaie toujours de deviner ce qui va venir ensuite, avant de tourner la page. J’essaie de prouver un théorème avant de regarder la démonstration. (Habituellement, j’échoue, bien sûr ; mais je suis plus prêt à apprécier la solution, et pendant ce temps, j’ai appris une autre technique). J’essaie d’échanger la notation, comme une aide à ma propre compréhension, et de traduire les choses dans des formes équivalentes. (ii) J’écris mes premiers brouillons au crayon, parce que je peux taper plus vite que ce que je ne pense. J’ai un fauteuil très confortable dans lequel je peux m’asseoir quand je fais cela. Mais quand je donne ça à manger à un ordinateur, je me mets debout au terminal et je polis le matériau pendant que je le tape. (Martin Gardner m’a appris les avantages d’un bureau devant lequel être debout en 1972.) (iii) Quand c’est faisable,

17. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/cl.html>

18. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/cp.html>

19. <https://theorydish.blog/2018/02/01/donald-knuth-on-doing-research>

20. <https://theorydish.blog/2018/02/26/donald-knuth-on-writing-up-research>

21. <https://theorydish.blog/2018/06/04/don-knuth-on-general-principles>

j'écris un programme pour me familiariser avec les idées. La "programmation littéraire"²² est d'un grand gain ici. (iv) Je fais une sieste chaque jour. Je vais me coucher quand je suis fatigué, et je n'utilise pas de stimulants pour me maintenir réveillé et alerte. (v) Inspiré par le détective Nero Wolfe de Rex Stout, je programme mes interactions avec les autres, plutôt que d'être interruptible au hasard. (vi) Quand c'est possible, j'essaie de ne travailler que sur une seule chose à la fois. (Les informaticiens appellent cela "travailler en batch". L'opposé de cela est le "swap-in-swap out.") (vii) Quand je dois décider de ce que je dois faire ensuite, je choisis de travailler sur ce que j'apprécie le moins, à moins que je n'aie une vraiment bonne raison de procrastiner. Car si une tâche pas marrante doit finalement finir par être effectuée, et s'il n'y a pas mieux que l'instant présent pour la réaliser, il vaut mieux sourire et effectuer la tâche avec courage.

MANSOUR : Pourriez-vous nous parler de vos centres d'intérêt en plus des mathématiques ?

KNUTH : Je vois que vous êtes près de m'interroger à propos de musique et de livres. Donc je devine qu'on peut aussi parler d'exercices, de films, de religion et de nourriture ? (i) J'essaie de nager quelques longueurs, quatre fois par semaine. (ii) J'aime les films classiques (e.g., pensez à Harold Lloyd, Buster Keaton, Humphrey Bogart, Audrey Hepburn, Frank Capra, Alfred Hitchcock, Akira Kurosawa, David Lean, Satyajit Ray ; les comédies musicales (Oklahoma, The Band Wagon, West Side Story, Camelot,...) ; le Gandhi d'Attenborough ; les Monty Python ; les films d'animation (Fantasia, Yellow Submarine, Ratatouille, Up, WALL-E, Coco,...). (iii) J'ai donné six exposés au Massachusetts Institute of Technology (MIT) sur les connexions entre la science et la religion à propos des mystères qui nous amènent à l'humilité, pour compléter les liens certains qui nous donnent de la structure (voir mon livre *Things a Computer Scientist Rarely Talks About*²³). (iv) Quand je cuisine pour moi seul, j'utilise souvent la "méthode du diagramme de Venn" : pas d'agitation, de façon à ce que je puisse tester tout sous-ensemble des ingrédients (c'est en quelque sorte l'opposé de la méthode de Persi Diaconis dite "méthode du temps de mélange.")

22. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/lp.html>

23. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/things.html>

MANSOUR : Nous avons lu dans votre page web personnelle que vous êtes également intéressé par la composition musicale. Comment compareriez-vous ces deux processus créatifs que sont la preuve de théorèmes et la composition de pièces musicales ? Laquelle des deux pensez-vous être la plus compliquée : écrire un article de math qui peut être publié dans les *Annals of Mathematics* ou composer une symphonie qui peut être comparée à celles de Mozart ou Beethoven ?

KNUTH : Je crois que la partie créative est étonnamment similaire, également si vous m'aviez interrogé à propos de l'écriture de poème ou bien l'écriture de programme, ou la sculpture, etc. Le but n'est pas d'obtenir de la reconnaissance ou du prestige. Il est plutôt de communiquer une vision personnelle à d'autres personnes, en espérant que les autres vous comprendront, penseront que votre musique ou vos maths ou votre poème, etc. s'ajoute aux fruits de la civilisation.

MANSOUR : Vous jouez du piano et de l'orgue. Ne pratiquez-vous qu'à la maison avec votre famille et vos amis ? Si on vous demandait de créer une playlist spécifique pour les combinatorialistes, quelles pièces cette playlist contiendrait-elle ? Bien sûr, nous ajouterions votre *Fantasia Apocalyptica*²⁴ à la playlist !

KNUTH : Je ne suis pas assez talentueux pour me produire en public ; la seule exception a été un concert à l'orgue en duo donné une fois à Waterloo en Ontario. J'accompagne parfois un chœur ou un quartet de cordes. Merci d'avoir mentionné ma composition pour orgue, sur laquelle j'ai passé plusieurs années ! Votre playlist devrait absolument inclure des pièces de Noam Elkies²⁵ et Peter Winkler²⁶. Je crois que Bach, Tchaikovsky, Brahms, Gershwin, Stravinsky, Hindemith, Bernstein étaient des combinatorialistes au fond ; c'est évident quand on regarde les partitions de leurs compositions (Gershwin, en particulier, avait reçu des leçons de combinatoire du professeur excentrique Joseph Schillinger, et je pense qu'il a fait bon usage de ces leçons).

24. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/fant.html>

25. <https://people.math.harvard.edu/~elkies/music.html>

26. <https://math.dartmouth.edu/~pw/music/rags.html>

Mon test pour connaître la qualité d'une composition est qu'après l'avoir écouté six fois, il vous faut la reconnaître et l'apprécier la septième fois. Bien sûr, toutes les compositions d'un grand compositeur ne passeront pas ce test ; et une même composition ne passera pas non plus forcément le test avec des auditeurs différents.

MANSOUR : Il semble que vous soyez aussi un lecteur avide. Quels livres lisez-vous en ce moment ? N'avez-vous jamais songé à écrire un roman ? Et si oui, de quoi parlerait-il ?

KNUTH : Je lis de la "littérature" la plupart du temps pour m'aider à m'endormir, et non pour édifier quoi que ce soit. Et donc je connais des douzaines et des douzaines de travaux de Erle Stanley Gardner, Rex Stout, Agatha Christie, Dorothy Sayers, P. D. James, Robert Bernard, Robert B. Parker, Raymond Chandler, Frederick Forsyth, Maj Sjöwall and Per Wahlöö, Ken Follett, Ian Fleming, Sara Paretsky, Herman Wouk. J'aime Tolstoï, mais n'apprécie pas Dostoïevski, j'ai détesté le quartet Alexandrie de Durrell (trop négligent). Je mentionne mes œuvres favorites sur la page web <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/retd.html>.

Mais OK, puisque vous l'avez demandé, laissez-moi également vous dire ce que j'ai lu le plus récemment : *Oliver Twist* de Dickens ; *la Case de l'oncle Tom* de Stowe ; *Death Times Three* de Stout ; *Regatta Mystery* de Christie ; sans oublier *Feathers* d'Allen. En ce moment, je suis en train de relire *Days of a Man*, les volumes 1 et 2, de David Starr Jordan (le premier président de Stanford), ainsi que le récent *Fish Don't Exist* de Lulu Miller (qui expose son côté sombre). Je suis également en train de lire une biographie merveilleusement documentée de Stravinsky, de Vera Stravinsky et Robert Craft ; mais celle-ci est intéressante, elle ne m'aide pas à m'endormir car je dois l'étudier avec soin.

Vous m'avez aussi interrogé sur le fait d'écrire un roman ? Je ne pense pas avoir le talent pour ça (j'avais écrit un petit roman mathématique, *Surreal Numbers*²⁷, et l'expérience a été immensément appréciable. Mais ce petit article ne mérite sûrement pas d'être classé parmi les romans. Pensez à un opéra, qui est constitué de bonne musique, avec un peu d'intrigue ; *Surreal*

27. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/sn.html>

Numbers, ce sont de bonnes math, avec un peu d'intrigue.)

J'ai joué avec l'idée d'écrire de petites histoires jumelles, intitulées "The Window" : dans l'une d'elle, une fenêtre reste fermée ; dans l'autre, le protagoniste commence par l'ouvrir. Tout le reste dans les deux histoires commence à partir du même état initial de l'univers. Mais leur fin est complètement différente (cette idée a été inspirée par une remarque proche de la fin du livre de Mark Twain *The Mysterious Stranger*. Je n'aurais certainement jamais le temps de l'étoffer, parce que j'ai trop d'autres choses à faire. Et de toute façon, le film de Tom Tykwer *Run, Lola, Run* était basé sur une idée similaire et il l'a exploité d'une bien meilleure façon que je ne l'aurais jamais fait).

Je me suis aussi demandé s'il serait possible d'écrire une histoire courte et engageante ou même un roman dont le protagoniste serait une colonie de fourmis. Les fourmis individuelles sont comme les cellules d'un corps humain, mais la colonie comme un tout a une conscience.

Laissons quelqu'un d'autre poursuivre sur de telles choses ! Je suis plus adapté à l'écriture de programmes.

MANSOUR : Vous proposez fréquemment des problèmes à des magazines de math, en particulier au Monthly. D'où viennent ces problèmes ? Dédiez-vous un temps spécial à la création de ces intéressantes questions ?

KNUTH : Les problèmes surgissent naturellement lorsque je suis en train d'écrire de nouveaux matériaux pour *The Art of Computer Programming*, parce que je suis toujours en train de me poser mes propres questions. Quand la réponse paraît particulièrement instructive, et pas suffisamment reliée à la programmation pour être un exercice convenable pour mon livre, je la sou mets en tant que problème.

MANSOUR : Vous avez créé de nombreux programmes d'ordinateur. Comment décidez-vous habituellement d'écrire un programme ? TEX a-t-il été inventé ou découvert ? Qu'est-ce qui vous a motivé pour TEX ?

KNUTH : J'écris grosso modo cinq programmes chaque semaine, pour essayer et tester les idées avant de les mettre dans *TAOCP*. Certains des programmes sont très courts ; d'autres sont plutôt longs ; mais je trouve in-

variablement que je comprends mieux quelque chose après que j'aie essayé d'expliquer cette chose à un ordinateur.

L'histoire de la naissance de TEX a été racontée de nombreuses fois. Pour une version courte, voir les pages 1-12 de mon livre *Digital Typography*²⁸. Mais ma version favorite est apparue dans un article appelé "The errors of TEX," qui a été réimprimé dans les pages 243-291 de *Literate Programming*, particulièrement les pages 249-266.

MANSOUR : Le projet de toute votre vie *The Art of Computer Programming* est un grand héritage pour la communauté scientifique. Comment avez-vous décidé d'un tel énorme projet ? Comment trouvez-vous que les récents développements en apprentissage-machine et calcul quantique affectent votre projet ?

KNUTH : Merci. TAOCP a commencé en 1962, quand j'étais étudiant en seconde année. Un représentant de la maison d'édition Addison-Wesley m'a invité à déjeuner et m'a encouragé à écrire un livre à propos du logiciel, parce que l'un de ses éditeurs avait suggéré que je pourrais être capable de faire un travail décent. Cette idée m'a fait frémir, parce qu'Addison-Wesley avait publié les textes pour étudiants que je préférais.

Je ne savais pas que c'était difficile d'écrire un livre. Et je ne prévoyais pas non plus combien de choses nécessitaient d'être clarifiées, ou comment et combien l'informatique grandirait. Donc je leur ai dit que je serais heureux de commencer, dès que j'aurais terminé ma thèse de Ph.D.

J'ai gelé la table des matières en 1962. Par conséquent, l'"apprentissage-machine" et le "calcul quantique" sont complètement orthogonaux au contenu de mes livres, maintenant ou dans le futur. Et c'est bien, parce que ces sujets impliquent des paradigmes entièrement différents, dans lesquels je ne suis pas bon.

MANSOUR : Dans votre travail, vous avez utilisé intensivement le raisonnement combinatoire pour adresser des problèmes importants. Comment les techniques énumératives s'engagent-elles dans votre recherche ?

28. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/dt.html>

KNUTH : Il y a longtemps, l'énumération m'aidait à savoir que je n'oubliais rien. De nos jours, l'énumération est merveilleuse parce je dois seulement calculer quelques premières valeurs qui sont liées à n'importe quel problème sur lequel je suis en train de travailler ; puis l'OEIS²⁹ me dira quels articles je dois regarder.

MANSOUR : “*Journal of Algorithms* est un grand titre. Il devra sûrement y avoir un journal qui porte ce nom un jour”. Ceci est le fragment d'une lettre que vous avez écrite aux éditeurs du journal mentionné plus haut. Avez-vous un commentaire sur le nouveau journal que nous lançons *Enumerative Combinatorics and Applications* ?

KNUTH : Je suis particulièrement content de voir que vous mettez l'accent sur une qualité de premier ordre et sur un accès totalement ouvert.

MANSOUR : Pourriez-vous nous en dire davantage sur le processus de pensée qui vous a permis de trouver la preuve d'un de vos résultats favoris ? Comment vous êtes-vous intéressé à ce problème ? Combien de temps avez-vous mis à en trouver une preuve ? Avez-vous eu un “moment eureka” ?

KNUTH : Je pense être davantage fier de mon travail sur “The birth of the giant component,” avec Svante Janson, Tomasz Łuczak, et Boris Pittel, parce que c'était le sujet d'un numéro complet de *Random Structures & Algorithms*³⁰ (réimprimé avec des corrections et un addendum en pages 643-792 de mon *Selected Papers on Discrete Mathematics*³¹ (2003).)

Le problème a commencé avec une rumeur. Nous avons entendu parler à Stanford du fait que des étudiants de Dick Karp à Berkeley avait simulé l'évolution de graphes aléatoires avec le modèle de Erdős-Rényi et qu'ils avaient découvert que, avec une grande probabilité, au moins un des composants était “complexe” (n'était pas un arbre) à n'importe quel moment de l'évolution entière. Alors Boris et moi, on a commencé à étudier les étapes au cours desquelles les cycles apparaissaient en premier ; car si la rumeur était vraie,

29. <https://oeis.org>

30. S. Janson, D.E. Knuth, T. Łuczak, B. Pittel, *The birth of the giant component*, avec une introduction par les éditeurs, *Random Struct. Algorithms* 4 :3 (1993) 231-358.

31. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/dm.html>

il semblait vraisemblable qu'encore plus de surprises nous attendraient juste au prochain tournant.

Mais la rumeur était trompeuse : la probabilité réelle qu'au plus un composant complexe soit présent, à travers l'évolution, s'avéra être égale asymptotiquement à $5\pi/18 \approx 87\%$ (!). Les composants complexes additionnels tendaient à être présents dans les 13% restant des cas ; mais seulement pour un temps très court. C'est la raison pour laquelle les étudiants de Berkeley ne les avaient pas vu dans leurs exemples.

Si nous avions su combien l'analyse s'avèrerait intriquée, je doute que nous aurions jamais eu le courage de commencer (de la même façon que je n'aurais jamais commencé *The Art of Computer Programming* dans les années 60 si j'avais su combien l'informatique était destinée à se développer). De nombreux arrêts que j'ai eus dans ma vie ont été dus au fait d'être extrêmement mauvais pour estimer la difficulté d'un projet.

Il y a vraiment eu un moment "Aha" pour moi pendant que nous écrivions cet article. Ce moment est survenu vers 3 heures du matin une nuit, quand je dessinais un diagramme pour résumer quelques-uns des récents calculs que nous avons faits. Nous avons projeté d'utiliser l'analyse complexe à un point-selle double pour calculer les probabilités asymptotiques des transitions de l'état le plus fondamental qui ont lieu quand le "big bang au pôle double" est ralenti vers les étapes les plus courtes. Ce diagramme est maintenant la Figure 1, page 301 de l'article (page 722 du livre). Il montre les probabilités des trois états possibles après que trois "collisions" aient eu lieu ; et ces probabilités sont des nombres rationnels de dénominateur 17017.

Aha! 17017, c'est 17 fois 13 fois 11 fois 7! Cela ne peut être une coïncidence, il doit y avoir une raison! Et le dénominateur après quatre "collisions" 7436429. Ces nombres factorisables m'ont dit où chercher, dans le but de simplifier une fonction génératrice exponentielle et de déchiffrer la structure dans son ensemble.

Je ne peux résister à l'idée de vous raconter davantage cette histoire. Le matin suivant, il se trouve que Bill Gates visitait Stanford, parce qu'il était courtoisé par nos fondateurs, dans l'espoir d'obtenir de l'argent pour un nouveau bâtiment d'informatique. Bien que j'aie peu dormi, on m'a demandé

de lui raconter sur quoi j'avais travaillé ; donc je dessinai le diagramme sur un tableau, et lui expliquai comment 17017 avait été la clef vers le succès. Plus tard ce jour-là, il a accepté de donner des millions de dollars, et il dit à l'équipe des fondateurs qu'il avait été "particulièrement impressionné par l'enthousiasme de Don Knuth pour la recherche".

Les fondateurs m'ont demandé de recréer l'affichage du tableau, pour qu'ils puissent prendre une photo d'archive. Par conséquent, personne ne peut dire que l'informatique théorique n'est pas pratique.

MANSOUR : Y-a-t-il un problème particulier sur lequel vous avez travaillé de nombreuses années ? Quel progrès avez-vous fait ?

KNUTH : *The Art of Computer Programming*. J'ai publié 3772 pages jusque-là, et j'ai écrit 116 autres pages au brouillon. J'espère écrire une autre page de brouillon demain. Les brouillons en cours sont en ligne³², de telle façon que les lecteurs peuvent m'aider avant la publication.

MANSOUR : Ma dernière question est philosophique. Vous êtes-vous demandé pourquoi nous sommes ici ? Si oui, pourriez-vous nous fournir votre réponse de façon cryptée de manière à ce que seuls ceux, parmi nos lecteurs, qui feront des efforts pourront la connaître ?

KNUTH : Bien, j'ai mentionné le mystère et l'humilité plus tôt. Ma meilleure proposition de réponse à votre "dernière question" (whew!) apparaît dans les pages 17 et 149 de ce livre lié au MIT.

En conclusion, laissez-moi vous remercier d'avoir posé un tel éventail de questions intéressantes. Oh, comme j'aurais aimé que quelqu'un ait demandé à mes mathématiciens favoris du passé de répondre à un tel questionnaire ! Qu'aurait dit Euler ? Et Bourbaki ? !

MANSOUR : Professeur Donald Knuth, je voudrais vous remercier pour cette interview très intéressante pour le journal *Enumerative Combinatorics and Applications*.

32. <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/news.html>