

Traduction d'un All Questions Answered (AQA)

par

DONALD KNUTH

à

GOOGLE, 24 MARS 2011

BILL : C'est un grand plaisir pour moi que d'accueillir Don Knuth en visite chez Google aujourd'hui. Don et moi étions juste en train de discuter, nous nous sommes rencontrés au milieu des années 70, et Don, vous savez, est un homme très jeune, je suis un très vieil homme, mais il semble que cela fait longtemps. Mais Don a fait un certain nombre de choses.

Il a reçu un nombre faramineux de récompenses. Il est difficile d'en dire assez le concernant. Je pense que beaucoup de personnes le considèrent comme, vous savez, l'informaticien vivant le plus important. Et je... il a voulu venir aujourd'hui et avoir une sorte de séance libre de Questions & Réponses et je pense que du coup, vous êtes venus armés de nombreuses questions.

Je pense qu'il est possible qu'il dédicace un livre ou deux après cette séance. Je comprends qu'un certain nombre d'entre vous aient pu amener de telles choses, mais on fera ça après. Mais avant ça, laissez moi souhaiter la bienvenue à Don Knuth.

KNUTH : Salut à tous. Ok, merci, Bill. Oui. Je ne suis pas sûr de pouvoir rencontrer Lady Gaga. Mais en tous cas, quand j'enseignais à Stanford, notre dernier jour de classe était réservé à toutes les questions auxquelles il fallait répondre. Et je disais à tous qu'ils pouvaient quitter la classe s'ils le souhaitaient, mais que s'il y avait une question qu'ils voulaient me poser, comme ils avaient payé leurs frais d'inscription et tout ça, c'était le moment de le faire. Et ils pouvaient poser des questions sur n'importe quel sujet, excepté la religion, la politique ou leur examen final.

Maintenant, il y a deux ans, il y a environ deux ans chez Google, j'ai donné une conférence qui est lié à... qui a quelque-chose à voir avec la religion. Et la politique est en quelque sorte déprimante, mais si vous voulez poser des questions sur n'importe quoi, je... vous savez, je ferai encore tout mon possible mais il est vraisemblable que je donne de meilleures réponses sur les sujets que je connais bien. Et je comprends que quelques personnes ont soumis leurs questions et alors elles vont choisir les meilleurs d'entre elles pour voter ou n'importe quoi mais admettons, voyons, vous savez, j'espère que les questions ne sont pas des questions fréquemment posées.

Ok. Actuellement en tête, ok, bon, dois-je mentionner le nom de la personne qui a posé la question ? Est-ce que cela se voit sur votre table ? Qu'importe.

Ok, donc, allons-y “Quel est le théorème le plus contre-intuitif et quel est celui que vous trouvez le plus beau?”. Ok. Bon, donc ce genre de classement des choses selon un critère à une seule dimension, je suis content de... Non, avant tout, nous projetons les choses selon l’aspect contre-intuitif, et selon l’aspect beauté. Ok, je veux dire, quelque part, si vous demandez à un parent lequel de ses enfants il préfère ou un truc comme ça. Ok, contre-intuitif... Est-ce que quelque-chose m’est intuitif? Du coup, je devine... allant vers de plus en plus de dimensions, notre intuition semble être de pire en pire. Je comprends George Dantzig qui a dit un jour que notre intuition des dimensions ne vaut rien. Je n’utilise pas ce genre de langage moi-même mais cependant, je pense que les choses que nous faisons dans les espaces en grande dimension et quelques-unes de ces méthodes maintenant qui gèrent plusieurs degrés de liberté, en quelque sorte, nous pouvons les projeter sur quelque-chose que nous pouvons contrôler, ces choses donc, sont vraisemblablement les plus beaux théorèmes en informatique, mon Dieu...

C’est toujours la chose que j’ai apprise le plus récemment, je crois, que je préfère, mais elle a beaucoup de concurrentes. Et alors, il y a ce lien entre l’informatique et les mathématiques qu’il est difficile de décrire. Du coup, voyons, maintenant... je vais essayer de construire ce que je trouve très beau parce que l’année passée, j’ai joué avec une structure de données appelée ZDD qui n’est pas son meilleur nom mais qui est le meilleur nom que j’ai trouvé pour représenter des familles d’ensembles. Et les familles d’ensembles couvrent de très, très nombreuses applications de toute sorte, et c’est... et j’ai joué avec... vous savez, j’ai commencé par penser que j’aurais juste à en parler dans une seule page du Volume 4 et un an après, j’avais presque 100 pages d’introduction à leur sujet et j’étais encore en train d’apprendre davantage de choses à propos de ces ZDD. Je pense qu’elles sont une très belle construction qui mérite d’être étudiée beaucoup plus et explorée, et bientôt, les gens trouveront plus de raisons de les utiliser. Maintenant voyons, dois-je alterner entre ces questions écrites et des questions de l’audience? Ok, du coup, prenons quelqu’un qui a une question en bas.

**BILL** : La rumeur court qu’il y a un extraordinaire orgue à tuyaux pas loin de l’endroit où vous habitez. Y-a-t-il quelqu’un d’autre (que vous), un autre organiste, qui a joué de cet orgue, et quel est votre morceau préféré qui a été joué sur cet orgue?

KNUTH : Ok. Bon, yeah, j'ai... si vous regardez dans *L'Art de la programmation des ordinateurs* Volume 3, index sous... Est-ce que tout le monde a entendu la question ? C'est à propos des orgues à tuyaux. Si vous cherchez dans l'index du Volume 3, sous "Royalties, utilisation", ça vous amènera à une photo qui représente un orgue à tuyaux. Et du coup, après que nous ayons vendu quelques exemplaires du Volume 1, 2 et 3, j'ai pu satisfaire mon rêve et acheter un vraiment bel instrument, chez moi. Et je sais qu'Alan Kay a lui aussi un grand orgue dans sa maison en Californie du sud. Mon père était organiste et j'ai pris quelques leçons quand j'avais 13 ans pour apprendre à jouer de l'orgue.

Et alors, j'ai été appelé quand j'étais à Pasadena en tant qu'étudiant, j'étais... brutalement, l'organiste de l'église à laquelle j'allais a eu un décollement de rétine et ils m'ont appelé un samedi et m'ont dit "Don, avez-vous vraiment pris des leçons d'orgue pendant un an quand vous étiez adolescent ? Pouvez-vous le remplacer ?". Et j'ai alors appris toute la merveilleuse littérature qui avait été écrite pour orgues à tuyaux et j'ai trouvé quelques personnes à Pasadena qui avaient un orgue chez eux. Du coup, c'est devenu mon rêve et j'ai été capable de le réaliser au milieu des années 70. Et j'ai cherché... je pensais que peut-être, je pourrais trouver quelqu'un au Danemark qui en fabriquerait un pour moi parce qu'ils avaient de si beaux instruments. Mais c'est devenu impraticable parce que je ne pouvais pas... ils ne pouvaient pas me donner un prix fixe pour cet orgue.

Et du coup, finalement, j'ai trouvé un très bon constructeur à... près d'UCLA et ils fabriquent 4 orgues par an et celui qui est chez moi est un bijou. Du coup, nous avons parfois des personnes de l'Association de Organistes qui viennent faire des récitals sur cet orgue. Et alors, comme si vous... si vous êtes organiste, venez me voir après et vous pourrez venir et l'essayer. Les étudiants de Stanford l'ont utilisé pour s'entraîner mais il n'y a pas tant d'étudiants organistes de nos jours qu'il y en avait avant.

BILL : Merci. Je viendrai vous voir après.

KNUTH : Oui. Maintenant, la question suivante ici : "De quels problèmes pensez-vous que Google ou l'industrie en général devraient les attaquer mais ne le font pas ?" Ok. Ainsi Google... ok, bien, je vais juste... une autre grande question. Je vais vous en donner une. Dans Google maps, un clic arrière... une

facilité que je peux obtenir des coordonnées GPS, je peux cliquer sur Google maps et alors, j'ai un moyen de trouver les coordonnées GPS. Cela marchait l'année passée jusqu'à novembre mais ça ne marche plus maintenant. Et si vous googlez des coordonnées GPS dans Google maps, vous trouverez beaucoup d'autres utilisateurs furieux qui ont raté cette fonctionnalité, du coup, ok.

Une autre question... J'en prendrai une autre à l'écran. "La plupart des fruits mûrs de l'informatique ont déjà été cueillis et disséqués en détail. En voyez vous un que, de façon surprenante, personne n'essaierait de cueillir?". Ok. Ainsi, voyez-vous, c'est... c'est vrai qu'il y a de nombreuses choses qui ont été disséquées en détail mais il semble toujours... même en informatique, il semble que les gens suivent toujours les mêmes routes. Et cela m'amuse de voir le nombre de fruits mûrs qui apparaissent dans ma conscience, et également en informatique et en mathématiques, qui étaient là tout autour, vous savez, depuis des centaines d'années ou plus. Les problèmes qui sont très... juste par exemple, l'année passée, je... Voyons... Comment ça s'est passé?... J'étais en train de finir le Volume 8 de mes Œuvres complètes, en tout 8, et je devais donner une fiche à ces livres parce que je dois admettre que j'adore ça plus que je ne peux l'expliquer.

Mais il avait été décidé il y a de nombreuses années, plus de 20 ans en arrière, que les papiers qui avaient été écrits seraient publiés sous forme d'archives avec tous les bugs enlevés et en ajoutant de l'information supplémentaire à propos des développements depuis que les papiers avaient été écrits et qu'ils seraient publiés en étant divisés en huit domaines. Le premier sujet, la programmation littéraire, et le second sujet étaient généraux, l'informatique en général pour les non-spécialistes et le troisième livre avait pour sujet la typographie et tout ça. Bon, le huitième livre, le huitième de ces huit-là, c'étaient des papiers sur les jeux et distractions, et je l'avais gardé pour le dessert. C'était celui... vous savez, comme, j'ai connu ça, vous savez, celui que vous gardez pour la fin, cela me permettait de passer à travers tous les autres livres. Et alors, quand j'aurais eu écrit tout ça... finalement, je fermerais la porte sur ces papiers que j'avais écrits. Depuis ce temps, je n'ai plus écrit d'articles. J'ai *L'Art de la programmation des ordinateurs* mais je n'en ai plus écrits... sauf 17 que j'ai ajoutés, il y a 17 chapitres dans ce livre d'articles qui n'avaient jamais été publiés.

Et deux de ces chapitres que j'ai écrits l'année passée pourraient, sur des sujets dont vous pourriez dire que ce sont des sujets qui amènent peu de fruits, des choses qui, vous savez... la recherche en était là... dans l'un des cas, il s'agissait des promenades de cavaliers. J'ai appelé ce chapitre "Les longues et maigres promenades des cavaliers". Et j'ai étudié le nombre de manières dont on pouvait se promener sur un damier de trois colonnes et lignes. Et il s'est avéré que c'était un problème vraiment intéressant, un réel défi. Cela m'a appris beaucoup de mathématiques de m'attaquer à ce problème. J'ai pu obtenir le... je ne peux pas vous dire le nombre exact qu'on obtient finalement. Et je peux vous dire les nombres asymptotiques et les classer de différentes manières qui me surprennent. On aurait dit que c'étaient des fruits inintéressants parce que vous n'avez pas besoin de tant de... je veux dire, les gens ont pensé à ce problème depuis 200 ans.

De plus, il y avait un autre problème ouvert appelé les promenades des cavaliers celtiques qui est un problème similaire à celui des promenades de cavaliers mais il est particulièrement beau parce qu'ils n'ont presque jamais trois lignes qui se touchent les unes les autres et du coup, vous pouvez réaliser de très beaux nœuds celtiques à partir des formes en tous cas. Un autre exemple qui est sorti là... et qui n'avait pas été demandé il y a deux semaines, Ron Goem m'a parlé du problème suivant : prenez un entier, écrivez-le en binaire, du coup vous obtenez une séquence quelconque de 0 et de 1. Vous pouvez toujours le couper, couper la chaîne en deux sous-chaînes de façon à ce que la somme des... considérez chaque sous-chaîne comme un nombre binaire. La somme de ces nombres binaires est une puissance de 2.

Ce n'est pas facile mais en quelque sorte, ça tire vers le bas, je dirais. Vous savez, essayez mais ne pensez pas à ce problème avant d'aller dormir parce que j'étais juste... je lisais l'information... comment ça s'appelle? apprendre aux toilettes? Ca vous apprend comment avoir une bonne nuit de sommeil. Donc en tous cas, de façon surprenante, il y a encore de nombreux fruits mûrs et continuez à poser des questions. Ce n'est pas... ce n'est vraiment pas comme si tout avait été complètement exploré. Oui?

BILL : Plus tôt, vous parliez des coordonnées GPS ou... désolé...

KNUTH : Oui.

BILL : ...à propos des [indistinct] dans Google Maps ? Il y a une fonctionnalité dans le Lab qui vous permet d'avoir ça au curseur de souris non ?

KNUTH : Il y a quoi ?

BILL : Vous pouvez activer une fonctionnalité du Labs.

KNUTH : Une fonctionnalité du Labs ?

BILL : Oui, si vous configurez les paramètres.

KNUTH : Ok. Bon, dites-moi ce qu'il en est de la manière dont... parce que habituellement, à travers mes cartes, j'avais l'habitude d'obtenir un fournisseur de position mais ils ont stoppé cette fonctionnalité [indistinct], ils utilisent un code java pendant ma navigation.

BILL : Bon, oui, je ne suis pas trop familier avec ce que vous utilisez mais si vous voulez seulement les coordonnées GPS, vous pouvez toujours les obtenir.

KNUTH : Vous savez, je peux faire cela facilement avec Google Earth. Mais avec Google Maps, je veux pouvoir le faire facilement. Et j'ai cherché... personne n'a publié cette solution.

BILL : Bon, vous pouvez les obtenir avec le curseur de souris.

KNUTH : On peut les obtenir avec ça ?

BILL : C'est juste le curseur de la souris.

KNUTH : Un curseur de souris ?

BILL : Oui. Il y a un plug-in pour ça.

KNUTH : Oh, plug in.

BILL : Ou un plug-in dans Labs.

KNUTH : Un plug-in dans Labs. Ok. Très bien.

Bon, je vous remercie. Avec l'augmentation de la puissance des processeurs et l'adoption de langages de haut niveau indépendants des machines, il y a une perception commune qui est que d'être près du hardware n'a plus aucune importance. Quel impact cela a-t-il sur le domaine d'étude ? Je n'aime pas... Je ne suis pas d'accord avec cette idée que cela n'a plus d'importance. Cela n'a plus d'importance pour de nombreuses personnes mais c'est juste relatif.

Et les nombres absolus probablement ont de l'importance... Je veux dire, nous pouvons encore utiliser une puissance de plus en plus grande. Il y a tous les problèmes pour lesquels on veut augmenter l'enveloppe et faire mieux et du coup, si vous ne faites que... pour beaucoup de problèmes, il n'y a pas cet enjeu... dans la plus grosse partie du temps que j'emploie à faire quelque-chose, si ça va mettre... vous savez... mettre une microseconde plutôt que 10 secondes. Du coup, ça n'a pas d'importance, vous savez, et alors j'écris des programmes vraiment inefficaces pour résoudre certains problèmes mais [indistinct] quand je... quand j'étudiais ces problèmes de promenades de cavaliers, je devais trouver l'inverse d'une matrice de polynômes de taille 700 sur 700 et du coup, je devais penser à ça et je devais savoir un peu mieux de quoi il retournait. Et si des personnes... imaginez une génération entière grandissant avec cette philosophie que vous n'avez pas besoin de vous préoccuper... que vous n'avez pas besoin de connaître quoi que ce soit aux problèmes matériels, alors les programmes qu'ils vont écrire vont être vraiment mauvais. Et alors, bien sûr, il va y avoir pas mal de fruits à ramasser pour les personnes qui voudront faire des améliorations. Ok, question suivante.

“La programmation littéraire n'a jamais vraiment décollé bien qu'il y ait quelques langages de scripts qui aient un peu amélioré la lisibilité des programmes. Qu'est-ce qui a gêné l'adoption de la programmation littéraire d'après vous ?” Oui. C'est une question à laquelle, bien sûr, j'essaie de répondre mais la programmation littéraire est si chère à mon cœur que mon point de vue à son sujet est complètement biaisé et du coup, je... vous devez le prendre en compte par rapport à ce que je dis.

A nouveau, dans les nombres absolus, vous avez des dizaines de milliers de personnes qui utilisent la programmation littéraire. Mais là encore, c'est probablement moins de 1 % des gens probablement. Et... mais j'ai au moins un

programme que j'ai écrit qui était si compliqué que j'ai totalement cru que je ne serais jamais capable de le terminer si je n'avais pas eu la programmation littéraire pour organiser mes pensées et réussir à le faire. C'est le méta-simulateur pour mon ordinateur MIX. J'ai eu cette machine-à-risque que vous pouvez configurer facilement d'un très grand nombre de façons.

Vous pourriez dire... Vous pouvez dire pour chaque instruction... et vous pouvez imaginer... vous pouvez simuler comment ce serait si vous aviez un processeur avec beaucoup plus de choses que celles que vous savez construire à ce moment-là. Mais en tout cas, j'ai écrit ce simulateur et ça a été le plus grand challenge que j'ai jamais affronté en programmation, je pense. Et avec la programmation littéraire, j'ai été capable de le terminer en une année mais sans la programmation littéraire, je pense que j'aurais totalement échoué. Donc la programmation littéraire... pour moi, n'est pas seulement belle ; elle est en quelque sorte essentielle. Elle est aussi belle parce que j'écris une moyenne d'un programme par jour. Quelques-uns sont plus longs que d'autres, d'autres sont plutôt courts. Mais avec cette méthode de la programmation littéraire, cela marche vraiment pour moi et cela me rend heureux. Maintenant, d'un autre côté, vous savez, moins de 100 % du monde l'aime. C'est parce que la manière dont... vous savez, je lis beaucoup de code et il y a une généralité qui est que un grand nombre des meilleurs codes que je vois adhèrent à un certain ensemble de conventions qui sont plutôt bien.

Il n'y a rien qui soit plus proche du bien que ne l'est la programmation littéraire, une fois encore, ils sont aussi bons qu'ils sont adéquats. Et ainsi... et ils sont compris par une grande communauté et du coup, les gens peuvent... vous savez, les gens connaissent ce style et c'est une langue franche. Pour moi, leur dire "Jetez ça et mettez-vous à la programmation littéraire", c'est pareil que de dire "Bon, vous savez, mettons-nous à l'Esperanto plutôt qu'à l'anglais", ou à une autre langue qui pourrait être même mieux que l'Esperanto, vous savez. Leur dire ça ne serait pas très logique. L'anglais est encore assez bon, et je ne vais pas changer de langue puisque je parle anglais. Du coup, vous savez, pourquoi devrais-je dire à des gens de changer un style de programmation qu'ils utilisent tous et qui est suffisamment bon ? Du coup, Jon Bentley pourrait s'arracher les cheveux parce que les gens qui aiment le plus la programmation littéraire sont des personnes qui aiment aussi... semblent être des personnes qui aiment aussi écrire, vous savez, des blogueurs et des enseignants. Parce que quand vous écrivez un programme littéraire, vous êtes

comme face à une classe, vous écrivez pour une audience humaine plutôt que pour un ordinateur pour qu'ils comprennent ce que vous essayez d'expliquer à un autre programmeur. Du coup, il y a un certain pourcentage mondial qui est bon pour programmer et vous devez être dans cette intersection des deux pour vraiment augmenter votre niveau de programmation.

Du coup, c'est peut-être pour ça que ça n'a pas vraiment décollé. En plus, vous savez, si Google faisait un test "nous allons écrire le programme du test en programmation littéraire", ça rendrait peut-être en fait Google encore meilleur qu'il ne l'est actuellement. Mais en tous cas, je ne vais pas changer et je pense que de nombreuses personnes comprennent... Je peux pointer de très gros programmes et il y a des personnes qui comprennent mieux ces programmes que d'autres, que les autres programmes de leur domaine. C'est mon point de vue sur cela. Une chose de plus, cependant, mon livre sur les jeux et casse-têtes, le dernier chapitre... ok, je ne sais pas combien de personnes le savent, mais ma première publication était dans MAD Magazine et vous savez, quand j'ai... quand j'étais jeune homme au lycée, je... cet article est sorti et tout ça, ce chapitre un... de mes papiers sur les jeux et casse-têtes. Le dernier chapitre est aussi... est aussi fou et c'est un petit discours que j'avais donné l'été dernier quand j'avais promis que... les gens me demandaient le futur de la technique et je disais "Bon, j'ai décidé que tout ce que j'avais fait sur ce projet était une erreur et alors, j'ai démarré ça... j'ai démarré secrètement cette boîte et j'ai ce nouveau produit qui sort qui ne va pas seulement permettre de faire de la conception en trois dimensions mais c'est aussi... vous savez, ça inclut la manufacture à la demande. Et ça inclut aussi des choses comme des moteurs de recherches et du réseau social, et vous savez, il résoud aussi les équations différentielles. Et, vous savez, il est entièrement écrit par des dessins".

Et bien sûr, nous avons abandonné la programmation littéraire parce que, comme tout le monde le sait "la documentation des programmes, c'est la plaie". Ok ? Du coup, ça a été le paragraphe le plus dur à écrire pour moi. Mais je pensais que je devrais utiliser une sorte de fin de livre pour en avoir un. Vous savez, j'ai commencé à MAD magazine et je devais avoir quelque-chose qui serait en quelque sorte ma dernière publication. Ok. Jeff ?

JEFF : Monsieur, utilisez-vous call/cc sur ce programme ?

KNUTH : Est-ce que j'utilise des morceaux de call... ?

JEFF : Call/cc sur vos programmes organigrammes ?

KNUTH : Oh.

JEFF : Très bien. Voici ma question. C'est une question de recherche de masse. Ce matin, j'ai utilisé une recherche sociale pour trouver le nom d'une technique stupide appelée "appariement de score par propension". Et du coup, parfois, je sais qu'il y a des concepts mathématiques qui existent mais je ne sais pas quel est leur nom et je voudrais le trouver. La recherche des séquences d'entiers est un bon exemple d'une technique de recherche qui me permet de trouver, vous savez, de trouver...

KNUTH : Oui. Le manuel *The Online Encyclopedia of Integer Sequences* (OEIS), vous pouvez trouver votre chemin dans la littérature si vous pouvez...

JEFF : Exact.

KNUTH : ... si vous pouvez calculer les six premiers termes d'une séquence, vous trouvez s'il y a quelqu'un qui s'est déjà intéressé à ça.

JEFF : Exact.

KNUTH : Oui.

JEFF : Du coup c'est... c'est une bonne solution. Mais ça ne résoud pas tous les problèmes. Du coup, comment faites-vous... quand vous savez qu'il y a eu un concept mathématique sur lequel vous avez trébuché mais dont vous ne connaissez pas le nom...

KNUTH : Oui.

JEFF : ... comment trouvez-vous le nom de ce concept pour ne pas avoir à tout réinventer ?

KNUTH : Ok. Bon, la réponse à la question, c'est que j'ai 73 ans maintenant et que j'ai développé un réseau d'un tas d'amis et vous savez, du coup,

je...

BILL : Recherche sociale alors.

KNUTH : Oui, exact. [indistinct]. Du coup, je sais à qui demander, vous savez, mais si c'est un champ complètement nouveau, alors je n'ai pas vraiment de bonne méthode personnellement. Mais, je... de temps en temps... vous savez, il y a certaines questions que je pose à Ira Gessel ou autres, Richard Stanley, ou vous savez, Jeff Almonds, etc. Et vous savez, par chance, je peux descendre dans le hall de Stanford et obtenir les réponses à la plupart des questions et nous nous retrouvons pour manger chaque semaine. Du coup, c'est ça ma solution. Mais ça n'est pas une solution algorithmique du tout.

JEFF : Oui. Vous ne mettez pas très bien à l'échelle.

KNUTH : Je ne quoi ?

JEFF : Vous ne mettez pas à l'échelle.

KNUTH : Je ne... bon...

JEFF : Je ne peux pas faire la même chose, vous savez...

KNUTH : Eh bien, en fait, ce serait terrible. Je veux dire, s'il y avait... Mettons-nous face à l'idée. S'il y avait 10 personnes comme moi au monde, nous n'aurions pas le temps de lire les livres des autres. Ok. "Combien de preuves de  $P \neq NP$  avez-vous vues ? Quelle est votre opinion là-dessus,  $P=NP$  ou  $P \neq NP$  ? Quand pensez-vous que la question va être résolue ?" Oh, mec. Ok. Bon, j'en ai eu une la semaine passée... et un gars m'a envoyé un code Java qui semble prouver que  $P=NP$  et je suis presque sûr qu'il trouve un nombre de cliques maximales, et je suis presque sûr qu'il génère les données à partir d'un ensemble de problèmes pour lequel vous pourriez trouver le nombre maximal de cliques en temps polynomial, vous savez,  $n^3$  étapes en moyenne. Du coup, ça donne l'impression que  $P=NP$  en cela puisque le nombre de cliques maximales est un problème NP-complet. D'un autre côté, vous savez, vous devez être capable de résoudre tous les problèmes en un nombre d'étapes maximal polynomial pour obtenir que  $P=NP$ . Néanmoins, son algorithme pourrait être vraiment intéressant sur des problèmes pra-

tiques.

Et du coup, je l'ai enregistré pour lire son code quand je serai parvenu au point où je serai en train d'écrire les techniques pour les cliques maximales. Ok, maintenant, j'ai passé beaucoup de temps dans ma vie à tester des preuves que  $P=NP$  et  $P \neq NP$  et il y a quelques années, j'ai dépassé le seuil du nombre de preuves à lire dans une vie. Et alors, je ne le ferai plus jamais.

Mais néanmoins, il y a une chose assez sérieuse que beaucoup de gens ont vu pendant six mois et il s'est avéré qu'on n'avait pas un panorama du domaine et que les idées ne devaient pas être rejetées d'emblée. Maintenant j'ai aussi lu des preuves sur la quadrature du cercle, dans ma jeunesse. Ok. Maintenant, j'ai cette opinion... A ma surprise, j'ai trouvé que j'avais déjà donné cette opinion il y a 15 ans mais j'ai peur que par rapport à cette question, quelqu'un finisse par prouver que  $P=NP$  peut être dans 50 ans. Et la preuve va être quelque chose comme ça :  $P=NP$  parce qu'il y a seulement un nombre fini de raisons qu'il ne puisse pas l'être. En d'autres mots, une preuve qui ne nous donnerait pas d'algorithme, qui prouve seulement, vous savez, qu'il existe un exposant tel que... mais un algorithme que nous ne connaissons jamais, c'est juste... dehors. Et du coup alors, c'était la mauvaise question à poser... même à moi. Maintenant, nous avons déjà eu des cas comme ça. Il y a des théorèmes profonds en théorie des graphes qui disent que certains types de graphes, que vous souhaitez tester, peuvent être testés en temps polynomial, mais personne ne connaît les algorithmes. Nous savons juste qu'il y a seulement un nombre fini de cas à tester mais nous ne savons pas quels sont les cas en question. Nous savons juste que ce n'est pas infini. Et, vous savez, il y a des gens [indistinct] qui décrivent quelques-uns des paradoxes qui découlent de ça. Du coup, il me semble de plus en plus que le nombre d'algorithmes va devenir de plus en plus grand, immense, et montrer qu'aucun de ces algorithmes est en un temps polynomial, peut être très long.

BILL : Bonjour. Je ne sais pas si cela touche davantage la philosophie mais croyez-vous que la programmation est plus un comportement émergent des maths ou bien est-ce une entité propre qui s'avère juste être bien décrite par les maths ?

KNUTH : Ok. La connexion entre la programmation et les maths... l'émer-

gence des mathématiques. Mon sentiment personnel à ce propos est le suivant : les mathématiques et l'informatique sont deux sciences non-naturelles, elles sont faites par les hommes. Nous devons décrire les règles et la manière dont l'univers fonctionne n'affecte pas ces règles ; nous créons notre propre univers et nous décidons, vous savez, nous pouvons concevoir nos modèles informatiques et nous pouvons écrire les axiomes pour un problème mathématique. Alors que les physiciens et les chimistes et les biologistes et etc. sont... ont un problème différent. Ils veulent savoir ce qu'il y a vraiment dans le monde réel. Maintenant, à propos de nos deux matières, les mathématiques et l'informatique sont-elles vraiment les deux côtés d'une même pièce ou sont-elles deux pièces différentes ? Je pense profondément qu'elles sont différentes mais j'ai essayé de convaincre Bill Thurston et il... n'était pas d'accord avec moi. C'est une opinion que je ressens profondément, quand je revêts mon costume de mathématicien, plutôt que quand je mets ma cape d'informaticien.

Vous savez, je suis dans un mode ou dans l'autre. Et parfois, pour moi, la plus grande différence entre nous est que les mathématiciens travaillent la plupart du temps sur des théories unifiées où l'on a un ou deux axiomes qui en quelque sorte s'appliquent tout le temps alors qu'en informatique... je traite plutôt là de choses hétérogènes dans lesquelles il y a un cas un, un cas deux, un cas trois, et nous avons des choses différentes qui ont lieu dans différents états. Et nous avons une instruction d'affectation où nous pouvons juste dire  $X$  est remplacé par  $2X$ . Du coup, la valeur de  $X$  a disparu. Pour les mathématiciens, c'est un concept bizarre. Donc je pense que ce sont des mentalités différentes, des approches différentes, et je peux même parfois dire "Bon, en tant qu'informaticien, je suis coincé là."

Je vais traduire mon problème en langage mathématique et alors, je, vous savez, je pense mathématiquement quelques instants, et alors, cela m'amène à quelque-chose d'autre. Et là, c'est mathématiquement que je suis coincé et du coup, je reviens, je remets mon chapeau d'informaticien et j'essaie de faire un raisonnement constructif ou bien j'imagine une structure de données qui m'aide à comprendre quel est le côté mathématique. Donc, je pense qu'ils sont différents mais je n'ai pas réussi à convaincre Bill Thurston. Maintenant, c'est... les autres choses que les informaticiens... Du coup, je peux conclure cela en disant nous avons tous des points positifs et des points négatifs. En conséquence, il y a des problèmes au monde que les mathématiciens ne font

pas très bien parce qu'ils sont en quelque sorte hétérogènes de façon inhérente. Rien d'uniforme ne peut les décrire tous. Et alors, les mathématiciens ne vont pas, ne seront pas à l'aise du tout avec cela alors que les informaticiens peuvent couper ça en plein milieu comme on le fait avec un couteau à beurre, vous savez. Mais d'un autre côté, il y a des problèmes qui ont un modèle uniforme et un informaticien pourrait ne pas le voir parce que nous pouvons trouver un cas un, un cas deux, un cas trois, et une manière de l'attaquer est vraiment très inélégante et rate l'unité sous-jacente. Donc, pour moi, c'est ça la différence.

BILL : Merci.

KNUTH : Vous savez. "Comment votre engagement musical a-t-il affecté votre informatique et vice versa?". Je pense qu'il y a quelque-chose en commun aux deux à propos des formes et... mais c'est juste un amour des structures qui semble présenter un haut niveau de corrélation avec la sorte de pensée qui est commune aux mathématiques et à l'informatique. A Stanford, nous avons, une fois, la dame qui était en quelque sorte à la tête de notre département, d'un point de vue exécutif, elle venait d'une haute école de droit et elle disait qu'il y avait une différence incroyable entre les écoles de droit et le département d'informatique. En musique, les étudiants étaient intéressés par la musique, les musiciens. C'était complètement différent de ce qu'elle avait expérimenté dans l'autre école. Pourtant, je pense qu'il y a probablement quelque-chose de ça, bien que... alors, dans les années 70, nous avons l'habitude de demander à nos étudiants diplômés entrant comme première question "quelle est votre instrument?". Et nous avons des cas comme le [indistinct]. Je ne sais pas si vous vous rappelez de ces sons [indistinct] lors de l'examen oral, il donnait un récital de violoncelle. Et vous savez, nous avons des soirées étudiantes et nous faisons de la musique de chambre. Et du coup, c'était... c'était beaucoup plus le cas dans les années 70 que dans les années 80, parce qu'une année, je suis arrivé auprès des étudiants entrants et je leur ai demandé "Quel est votre instrument?". Et il s'est avéré qu'un gars jouait de l'harmonica et qu'un autre a fait une imitation d'Abba. Et personne d'autre ne jouait de la musique du tout cette année-là. Et j'ai demandé "Bon, vous savez, quel est votre hobby principal?". Et il s'est avéré que plus de la moitié d'entre eux cette année-là faisaient des courses à vélo. Donc il y a eu un changement dans la population et je ne comprends pas pourquoi et je ne sais pas ce qu'il en est maintenant. Cependant, je crois que ces choses vont

ensemble mais c'est peut-être, vous savez, si je vis assez longtemps, j'aimerais composer de la musique avec quelques-unes des idées algorithmiques que j'ai. Et ainsi, peut-être que je pourrais influencer la musique de cette façon. Comment la musique influence-t-elle un programme que je peux écrire.

La prochaine question ici était : "Vous êtes très connu pour votre intérêt dans les contributions à la typographie digitale. 30 ans après la sortie de TeX, quelles sont vos pensées sur l'état actuel de la typographie comme elle apparaît sur le web et sur d'autres media digitaux?". Et de façon basique, je suis optimiste à propos de tout ça, vous savez, j'ai un Nexus S et il utilise de merveilleuses polices. J'aime la typographie que je vois. Et je pense que les personnes commencent à comprendre les fontes. Je devine, je veux dire, les seules prédictions que je... je suis célèbre pour ça les prédictions. En fait, c'est probablement un des... le fait que je puisse prédire la difficulté de réalisation d'une chose, c'est que j'ai commencé à travailler sur la typographie en premier lieu et depuis, il y a eu *L'Art de la programmation des ordinateurs* et un bouquet d'autres trucs. Mais j'ai prédit que les concepteurs de fontes deviendraient les héros et ça s'est avéré être assez proche de la réalité...

BILL : Du coup, j'ai une question très similaire à l'une des questions précédentes. Maintenant, les enfants grandissent en utilisant des ordinateurs comme ceux des téléphones cellulaires, partout, même les petits, tout petits enfants. Et puisque les ordinateurs deviennent de plus en plus compliqués, vraiment, quel impact à long terme pensez-vous que cette utilisation intensive aura ? Aurons-nous plus de personnes qui comprendront comment tout ça marche ou bien cela deviendra-t-il quelque-chose de magique, que seulement peu de personnes comprennent vraiment ?

KNUTH : C'est un paradoxe et je souhaiterais le savoir. Je vous donne seulement quelques idées, mes petits-enfants sont complètement fascinés par quelques applications dont vous diriez qu'elles sont chouettes comme la programmation, et ils mettent des objets ensemble, et les objets peuvent bouger. Et je n'arrive pas à me rappeler du nom des systèmes qu'ils fabriquent. Du coup, ils font plus que jouer passivement à des jeux, bien que les jeux soient, vous savez, j'aurais dû dire que j'ai pu passer des heures à faire rouler des dés, et je faisais bouger des chevaux le long d'un parcours, quand j'étais à l'université. Je veux dire que la chose équivalente est maintenant de faire des choses sur les ordinateurs.

Et d'un autre côté, Nick Trefethen m'a raconté il y a trois ans que son fils va dans la meilleure université d'Oxford et Nick est allé là-bas pour parler un peu aux enfants de l'école de son fils et il a trouvé qu'aucun d'entre eux n'avait jamais écrit un programme ou même n'en avait eu l'idée. Du coup, c'est pourtant... c'est une situation très étrange à laquelle nous sommes confrontés. Et vous pensez que jadis... je veux dire, les gens apprenaient avec des Legos et Karel le robot et tout ça. Et maintenant, il y a beaucoup plus de systèmes comme celui-ci qui sont très fascinants. Vous connaissez probablement celui qui s'appelle Chuck de Stanford et le MIT a celui-ci qui a été conçu à l'ACM l'année passée, et il y en a d'autres, bien plus. Mais je ne sais pas si cela changera... à travers toute ma carrière, le nombre de personnes, environ des centaines de personnes, ça a été à peu près stable d'être né pour être informaticien. Vous savez, il y a des geeks comme moi. Ils ont... nous avons une manière particulière d'organiser l'information dans notre tête et cela arrive à un certain point quand on est jeunes. Et je vois l'informatique comme quelque-chose que je fais parce qu'il se trouve que je suis bon pour faire ça, non pas parce que j'aurais une sorte d'exhortation à le faire, vous savez. "La programmation d'aujourd'hui n'est pas fondamentalement différente de la programmation il y a quelques décennies en arrière. Comment l'industrie a-t-elle pu rater cette idée et comment cela pourrait-il changer dans le futur ?" Ok.

J'aimerais répondre à propos de l'industrie que je... ma propre expérience consiste à écrire des livres et je ne sais pas. "Combien de personnes ont vraiment encaissé les 2.56 \$ pour une correction d'erreur ?". Maintenant je pense que vous savez que je récompense les personnes qui trouvent des erreurs dans mes livres. Quand j'ai commencé, c'était 1.00 \$ dans les années 60 et alors, vous savez, dans la seconde édition, c'est monté à 2.00 \$. A un autre moment, c'est passé à 2.56 \$ qui a semblé une somme d'argent appropriée. Je devais, et au fil des années, je l'ai fait... les gens habitués à faire ces vérifications souvent et cela a touché notre compte en banque. Du coup, j'ai eu le mien propre, vous savez, j'ai eu mon propre compte parce que les autres comptes ne permettaient pas des retraits d'espèces. Maintenant, il se trouve que le transfert de fonds électroniquement est incroyablement peu sûr. Je veux dire que les banques n'ont presque pas de sécurité. Les banques croient n'importe quel message électronique qu'elles reçoivent. Et les escrocs ont appris comment faire, du coup si quelqu'un regarde un chèque que vous écrivez, vous écrivez

un chèque personnel qui a des chiffres tout en haut, si un avocat connaît ces nombres, il peut utiliser une carte ATM et ponctionner de l'argent depuis votre compte. Et en tous cas, je devais fermer trois comptes parce que ces numéros de chèques étaient... je veux dire, j'ai des exemples où le chèque était marqué Banque américaine, Atlanta, Georgie et en haut, il y avait mon numéro de compte à Palo Alto. Et vous savez les gens voulaient encaisser les chèques et alors, vous savez, 400 dollars, cash au supermarché. Et... mais d'autres étaient vraiment, comme je disais, retirables dans les guichets de billets automatiques et permettaient de faire des achats sur ordinateurs et tout ça, je pense, probablement quelque part en Europe de l'est. Tout ce système bancaire a été fichu en l'air.

Du coup, il y a environ quatre ans, j'ai lancé ma propre banque et vous pouvez la trouver sur internet "La banque de Sans Seriffe" et au lieu de... vous ne pouvez pas obtenir du cash avec les chèques factices parce que ce ne sont pas des chèques au porteur avec la mention "déposez sur le compte de". Mais c'est une banque virtuelle et vous pouvez chercher les noms de tous ceux qui y ont un compte et combien d'argent ils ont gagné. Et j'ai écrit 21 de ces chèques le mois passé et j'en écrirai probablement 10 ce mois, jusqu'à aujourd'hui à ce que j'en sais, des choses qui sont entrées. La semaine passée, j'ai reçu une lettre de Chine. Un type a trouvé une erreur dans le volume un de 1960... Il n'avait pas été cité depuis 1968. Finalement, quelqu'un a lu cette page attentivement. C'est vrai. Du coup, ça a une grande importance pour moi, vous savez, d'essayer de rendre ces livres de plus en plus corrects.

"Quel est, d'après moi, la manière la plus efficace de rendre les enfants enthousiasmés par l'informatique ?". Je sais que nous avons de bons outils pour qu'ils puissent jouer avec mais j'étais meilleur pour comprendre les enfants quand j'en avais qui étaient petits. Je veux dire, quand j'étais... quand mes enfants étaient en école élémentaire, j'aurais pu concevoir des parcours pour des élèves de CP, et l'année suivante, j'aurais pu créer des parcours pour des élèves de CE1. Maintenant, c'est effacé de ma mémoire... mais je pense qu'une idée pour ce faire est de donner aux enfants des moyens d'être créatifs et de partager leurs créations avec leurs amis. Ainsi, cela serait probablement la meilleure façon ; avoir des sortes de jeux dans lesquels les enfants pourraient faire des constructions dont ils seraient fiers.

"Steve Jobs vous a-t-il dit qu'il avait lu tous vos livres et que lui avez-vous

répondu ? Au revoir.” Ok. Maintenant, il y a une histoire marrante à propos de... que vous pouvez regarder. Et l’histoire vraie, je crois, se trouve dans la version russe de wikipedia parce que le type en Russie voulait consulter la source. Et le fait est que j’ai... j’ai rencontré Steve à plusieurs reprises et que le plus vraisemblable est qu’il a dit ce que j’ai dit “Oh, c’est merveilleux. Vous êtes la première personne que je rencontre qui les a tous lu” mais en tout cas, je diffère la narration du reste de l’histoire. Vous aviez une question ?

BILL : Du coup, êtes-vous familier avec le domaine de la programmation en langage naturel ? Ou désolé, avec le traitement du langage naturel.

KNUTH : Pardon ?

BILL : Le traitement du langage naturel.

KNUTH : Le traitement du langage naturel. Bien, j’utilise Google traduction énormément. Et, vous savez, je connais un peu la façon dont il fonctionne. Mais...

BILL : Du coup, du peu que vous en connaissez, voyez-vous cela avoir un effet sur le domaine de la programmation littéraire ou sur celui de la programmation en général ?

KNUTH : Non. Bon, cela me semble différent... Cela a sûrement un énorme impact sur l’intelligence artificielle et de nombreux algorithmes qui sont utilisés pour gérer des trucs qui sont... Pour moi, le... j’ai toujours cherché une manière d’obtenir une traduction automatique pour cela. Je n’aurais pas besoin d’utiliser un dictionnaire mais j’aurais seulement à apprendre un dialecte de l’anglais quand je dois gérer des choses en d’autres langues. Et cela semble advenir en ce moment. Mais je n’avais rien de profond à dire à ce propos.

BILL : Merci.

KNUTH : Un ami à moi m’a donné un livre merveilleux. Il a pris Alice au pays des merveilles et l’a fait traduire en français par une machine. Et alors, il l’a fait retraduire en anglais et à nouveau en français jusqu’à parvenir à quelque-chose de stable, vous savez. Après deux cycles, vous obtenez à nouveau la même chose. Et alors ils ont transcrit le tout en une forme stable.

Et alors, que se passe-t-il ? Le lapin dit “Oh, précieux” au lieu de “Oh, très cher.”. En tout cas...

BILL : Pourrais-je...

KNUTH : Oui.

BILL : Je vais me permettre de vous interrompre ici. Je vais prendre la liberté de vous poser la dernière question.

KNUTH : Oh, très bien.

BILL : Donc, vous savez, il y a de cela des années, quand j'étudiais l'informatique, il y avait beaucoup d'attente pour les entraînements mathématiques. Et j'ai noté que dans les 30 ou 40 années suivantes, il y a eu de moins en moins de dépendance aux mathématiques, et mon impression est que les étudiants sont de moins en moins entraînés pour ça. Je me rappelle que c'était [indistinct] Stanford pendant quelques années pour savoir s'il y aurait une licence d'informatique et tout ça. Et je pense qu'il y avait un présupposé qui était que les gens devraient avoir des cours de mathématiques avant d'intégrer le cursus d'informatique. Pensez-vous que... comment l'informatique a-t-elle pu changer au point que les mathématiques aient perdu à ce point-là de l'importance en son sein ? Et, vous savez, je serais vraiment intéressé par le fait d'avoir votre opinion là-dessus.

KNUTH : Oui. Ok. Encore une autre grande question. En fait, toutes ces questions ont vraiment été terribles. Donc, il y a un manque en terme d'informatique... une informatique de qualité qui pourrait être faite sans beaucoup de mathématiques maintenant. Mais il y a juste autant d'exemples où des mathématiques de pointe interviennent en informatique également. Je veux dire, il suffit que je me promène dans notre immeuble vous savez, tout ce qui concerne l'informatique graphique, toutes les méthodes de rendu qui sont profondément basées sur les mathématiques, et vous savez, les nouvelles techniques dans les caméras sont incroyables.

Les gens utilisent des mathématiques de haut niveau en intelligence artificielle, tous les [indistinct] pour les réseaux, les calculs en robotique nécessitent des mathématiques de pointe, vous savez. Du coup, je ne pense pas

cependant que j'aie besoin d'une grande quantité de mathématiques pour venir avec Facebook. Mais encore, je comprends la manière dont Facebook est capable de faire sa magie en mettant vraiment chaque page facebook de chaque personne dans un ordinateur géant. Cependant cela... et une certaine connaissance mathématique dans le but de comprendre la mise en cache et tout ça, oui, mais pas des mathématiques traditionnelles. Du coup, les paradigmes mathématiques sont toujours là. Nous devons connaître les concepts des preuves rigoureuses pour au moins la moitié de l'informatique maintenant, je dirais. Mais il y a aussi beaucoup d'autres choses qui sont... quand nous parlons du design des GUI ou de choses comme ça, vous n'avez pas besoin de tant de mathématiques que ça.

BILL : C'est vrai. Mais j'ai entendu quelques personnes dire que lire vos livres... Vos livres vous savez "*L'Art de la programmation des ordinateurs*" est vraiment un défi si vous n'avez pas le bagage mathématique nécessaire.

KNUTH : Oui.

BILL : Ce qui est vrai, je pense. Mais...

BILL : C'est vrai. Mais j'ai entendu quelques personnes dire que lire vos livres... Vos livres vous savez "*L'Art de la programmation des ordinateurs*" est vraiment un défi si vous n'avez pas le bagage mathématique nécessaire.

KNUTH : Oui.

BILL : Ce qui est vrai, je pense. Mais...

KNUTH : Oui... Non, ce n'est pas facile de lire mes livres mais ça pourrait être beaucoup plus difficile. J'ai essayé de les rendre aussi simples que possible mais je n'ai pas réussi à les rendre, vous savez, une brise.

BILL : Du coup, avec ça, je voudrais vous remercier Don d'avoir accepté de nous rendre visite, ainsi que de répondre à toutes ces questions. A nouveau, merci.