

Les entretiens de binaire

**Le numérique
et la passion des sciences**

INTERVENTIONS



Les entretiens de binaire

Dans la collection **interventions**

Cécile Dolbeau-Bandin

Un robot contre Alzheimer. Approche sociologique de l'usage du robot PARO dans un service de gériatrie

ISBN 978-2-37662-033-4 – novembre 2021

Pablo Jensen

Deep earnings. Le néolibéralisme au cœur des réseaux de neurones

ISBN 978-2-37662-023-5 – avril 2021

Olivier Ertzscheid

Le monde selon Zuckerberg. Portraits et préjugés

ISBN 978-2-37662-013-6 – septembre 2020

Elinor Ostrom

Discours de Stockholm en réception du Nobel d'économie 2009

Avec une préface de Benjamin Coriat

ISBN 978-2-915825-98-5 – janvier 2010

Dans la collection **Société numérique**

Adrian Daub

La pensée selon la tech. Le paysage intellectuel de la Silicon Valley

ISBN 978-2-37662-034-1 – mars 2022

Fred Turner

Aux sources de l'utopie numérique. De la contre-culture à la cyberculture, Stewart Brand, un homme d'influence

ISBN 978-2-37662-024-2 – avril 2021

Catalogue complet: <https://cfeditions.com>

Ouvrage publié sous licence édition équitable

<https://edition-equitable.org>

ISBN 978-2-37662-052-5

Collection **interventions** – ISSN 2677-9501

C&F éditions, juin 2022

35 C rue des Rosiers – 14000 Caen.

Les entretiens de binaire

Le numérique et la passion des sciences

interventions

C&F éditions

Juin 2022

Table des matières

Préface	p. 7
Entretiens réalisés par...	p. 10
I. Données et robots	p. 12
Dompteuse de données – Anastasia Ailamaki	p. 14
Des réseaux sociaux – Jon Michael Kleinberg	p. 20
L'empathie des robots – Laurence Devillers	p. 31
Les robots à l'hôpital – Jocelyne Troccaz	p. 40
II. Création et transformation	p. 50
Codeur créatif – Jon McCormack	p. 52
J'ai deux passions, la musique et l'informatique – Arshia Cont	p. 58
Comment le numérique a transformé l'informatique – Yves Caseau	p. 65
Les défis scientifiques de la cybersécurité – Guillaume Poupard	p. 72
III. Société et mutation	p. 82
Les mutations du cognitif – Michel Serres	p. 84
Comment l'informatique a révolutionné l'astronomie – Françoise Combes	p. 91
Les yeux dans les nuages – Valérie Masson- Delmotte	p. 103
Les communs numériques – Judith Rochfeld	p. 115

Préface

Le blog *binair* a été créé en 2014 sous l'égide de la Société informatique de France. Il est hébergé sur le site web du *Monde*. L'équipe éditoriale, composée principalement d'enseignants-chercheurs et de chercheurs en informatique, propose au grand public un magazine scientifique sur l'informatique. Un des premiers articles a été « L'informatique, què-sako ? » pour essayer de définir le domaine. Le résultat fut un texte dont certains trouvèrent qu'il faisait la part trop belle à la science, d'autres à la technique, d'autres encore pensaient qu'il était faux de mêler autant les deux. D'autres enfin considéraient que les frontières de l'informatique proposées étaient trop larges et empiétaient sur des domaines comme l'automatique, les communications, la robotique, le traitement du signal, etc. Un peu comme si, lorsque l'on parle de métallurgie, on ne devait pas parler de boîtes de conserve, de conducteurs électriques ou encore de nanoparticules.

Quelle que soit la qualité de la définition, elle est par nature autocentrée sur l'informatique. Il a donc semblé indispensable de parler des liens entre l'informatique et les autres sciences. C'est ce qui a conduit aux «Entretiens autour de l'informatique». Ces entretiens cherchent à peindre, par petites touches, dans une approche volontairement impressionniste, les transformations des autres sciences par l'informatique. De quelles sciences? Des «suspects» évidents comme la physique, la chimie, la biologie, l'astronomie: les sciences «dures». Mais, l'informatique, est-il encore besoin de le répéter, est fondée sur des algorithmes – pour résoudre des problèmes de toute nature – et des ordinateurs – des machines à tout faire. Les sciences humaines et sociales étaient incontournables, elles s'imposaient. Certaines avaient embrassé l'informatique avec enthousiasme, comme la géographie et les systèmes d'information géographique (SIG). D'autres, plus circonspectes, ne demandaient qu'à être convaincues.

Près de cinq ans après la création des entretiens, nous disposons d'une quarantaine d'images de ces transformations. Ensemble, ces articles dépeignent une mutation radicale du paysage scientifique: si chaque science est restée essentiellement la même, chacune s'est profondément enrichie par l'utilisation d'outils numériques et par le dialogue avec l'informatique et la pensée algorithmique.

Les scientifiques que nous avons interrogés insistent sur la nécessité de s'approprier les outils, d'acquérir une pensée informatique. Ils nous racontent comment l'informatique a modifié leur façon de travailler. Dans ces entretiens, la pluridisciplinarité est plébiscitée au point de finir par brouiller la frontière entre l'informatique et le domaine scientifique qui les concerne. Presque tous mêlent dans leur enthousiasme l'informatique à leur domaine de prédilection. À l'extrême, Arshia Cont, chercheur à l'Ircam, constate: «*J'ai deux passions, la musique et l'informatique.*»

Hervé Le Crosnier a pensé que ces entretiens apportaient une vision particulière d'une période charnière pour les sciences qui méritait d'être publiée, au moins en partie, sous forme de livre. Coralie Mondissa a réalisé cet objet physique ou numérique, dans lequel divers entretiens se répondent. Nous espérons que ces textes vous passionneront, que peut-être ils vous encourageront à aller à la rencontre d'autres entretiens autour de l'informatique.

Serge Abiteboul, Inria et ENS Paris.

Entretiens réalisés par...



Serge Abiteboul est depuis 2018 membre du collège de l'Arcep (Autorité de régulation des communications électroniques, des postes, et de la distribution de la presse). Il est chercheur en informatique à l'Inria et l'ENS, Paris. Il est devenu membre de l'Académie des sciences de France en 2008, et membre de l'Academia Europaea en 2011. Il écrit également des romans, des essais. Il est éditeur et fondateur du blog *binaire* ■



François Brancilhon est diplômé de l'École des mines de Paris, titulaire d'un PhD de l'université du Michigan et d'une thèse d'État de l'université de Paris XI. Il a eu une double carrière : une première dans la recherche académique ; et une deuxième dans l'industrie. Il a co-créé et/ou dirigé plusieurs entreprises. Il est maintenant consultant, travaillant pour des start-up technologiques. Il est membre de la commission d'évaluation de l'Inria ■



Gilles Dowek est chercheur à l'Inria et professeur attaché à l'ENS Paris-Saclay. Ses travaux portent sur la formalisation des mathématiques, les systèmes de traitement des démonstrations, la physique du calcul, la sûreté des systèmes aéronautiques et spatiaux, l'épistémologie, et l'éthique de l'informatique. Il est l'auteur de *Les Métamorphoses du calcul* (Le Pommier, 2007), *Le temps des algorithmes* (avec Serge Abiteboul, Le Pommier, 2017) et *Ce dont on ne peut parler, il faut l'écrire* (Le Pommier, 2019) ■



Marie Jung est spécialiste en imagerie numérique. Elle commence sa carrière à la R&D de Kodak à la fin des années 1990, et passe une petite dizaine d'années à coder en C++. En 2008, elle devient journaliste spécialisée dans l'informatique professionnelle dans ce qui s'appelait à l'époque *01 Informatique*. Depuis 2017, elle enseigne les mathématiques dans un collège parisien ■



Claire Mathieu fait de la recherche sur la conception et l'analyse d'algorithmes. Son domaine de spécialité: les algorithmes approchés pour des problèmes d'optimisation combinatoire. Elle est directrice de recherche au CNRS en informatique. Elle a occupé la chaire Informatique et sciences numériques du Collège de France en 2017-2018. Elle a reçu la médaille d'argent 2019 du CNRS, et est membre de l'Académie des sciences ■



Pierre Paradinas occupe la chaire de systèmes embarqués au Cnam depuis 2003, où il a initié le projet MESURE. Il a créé et dirigé, jusqu'à cette date, le Gemplus Research Lab. De 2007 à 2010, il a été directeur du développement technologique de l'Inria. Ancien président de la Société informatique de France, il est actuellement membre du CA et du CS de cette association, et l'un des fondateurs du projet #MINF de musée de l'informatique et du numérique en France ■



Charlotte Truchet est maître de conférences en informatique à l'université de Nantes. Ses travaux de recherche portent sur l'informatique musicale, la programmation par contraintes et l'optimisation combinatoire. Elle a présidé le jury du prix de thèse de la Société informatique de France et participe au jury de la première agrégation d'informatique en 2022 ■

J'ai deux passions, la musique et l'informatique

Entretien avec Arshia Cont

13 avril 2015



Arshia Cont est chercheur en informatique musicale. Il a dirigé, à l'Ircam, le programme Antescofo. En 2016, il participe à la création d'une entreprise éponyme pour «révolutionner la pratique musicale grâce à l'intelligence artificielle». Il a placé sa recherche à la frontière entre ses deux passions, l'informatique et la musique ■

Binaire: Arshia, en quoi consiste votre recherche ?

Arshia Cont: Nous travaillons dans le domaine de l'informatique musicale. Les gens ont commencé à faire de la musique avec des ordinateurs depuis les débuts de l'informatique. Déjà Ada Lovelace parlait explicitement de la musique dans ses textes. Nous nous intéressons à ce qu'on ne sait pas encore bien faire. Quand plusieurs musiciens jouent ensemble, chaque musicien a des tâches précises à réaliser en temps réel, mais doit coordonner ses actions avec les autres musiciens. Ils arrivent à s'écouter et à se synchroniser, pour jouer un quatuor de Mozart par exemple. L'œuvre est écrite sur une partition, et c'est toujours la même œuvre qu'on écoute, mais à chaque exécution, c'est toujours différent et pourtant c'est sans faute. Et même s'il y a des fautes, le concert ne va pas s'arrêter pour autant. Cette capacité à s'écouter les uns les autres, se coordonner et se synchroniser, avec une tolérance incroyable aux variantes, aux erreurs mêmes, c'est une capacité humaine extraordinaire qu'on aimerait donner à la machine. Prenons trois musiciens qui ont l'habitude de jouer ensemble. On leur ajoute un quatrième musicien, à savoir, un ordinateur qui va jouer avec eux, et qui, pour cela, doit écouter les autres et s'adapter à eux. L'ordinateur doit être capable d'interagir, de communiquer avec les humains. Cette association de musiciens humains et de musiciens ordinateurs est une pratique musicale qu'on appelle la musique mixte, et qui est répandue aujourd'hui dans le monde entier.

Le dialogue se passe pendant l'exécution, mais il faut aussi un langage pour décrire la richesse de tels scénarios qui sont à la fois attendus (puisqu'on connaît la partition) et en même temps à chaque fois différents.

Binaire: Vous travaillez sur des langages pour la musique mixte ?

Arshia Cont: Oui. Prenez des œuvres écrites pour de grands orchestres, avec vingt ou trente voix différentes en parallèle. Le compositeur qui a écrit cela n'avait pas accès à un orchestre dans sa salle à manger pendant qu'il l'écrivait. Pendant des siècles, les musiciens ont été obligés d'inventer un langage, un mode de communication, qui soit compréhensible par les musiciens, qui puisse être partagé, et qui soit suffisamment riche pour ne pas rendre le résultat rigide. Mozart, Beethoven ou Mahler ont été obligés d'écrire sur de grandes feuilles de papier des partitions d'orchestre, en un langage compris par les musiciens qui allaient jouer ces morceaux. Ce langage, avec des éléments fixes et des éléments libres, permet un passage direct de l'écriture à la production de l'œuvre. On rejoint ici un but essentiel en informatique de créer des langages de programmation qui permettent de réaliser des opérations complexes, avec des actions à exécuter, parfois plusieurs en même temps, avec des contraintes temporelles imposées par l'environnement. Prenez l'exemple d'un avion. On voudrait que l'avion suive son itinéraire à peu près sans faute mais là encore ça ne se passe pas toujours pareil. Il faut un langage qui permette d'exprimer ce qu'on voudrait qu'il se passe quelle que soit la situation. Pour la musique, le langage doit permettre un passage immédiat à l'imaginaire. Pour cela, nous travaillons avec des musiciens, et ce qui est particulièrement intéressant, c'est quand ils ont en tête des idées très claires mais qu'ils ont du mal à les exprimer. Nous développons pour eux des langages qui leur permettent d'exprimer la musique dont ils rêvent et des environnements pour la composer.

Binaire: Cela semble avoir beaucoup de liens avec les langages de programmation en informatique. Pouvez-vous l'expliquer ?

Arshia Cont: La musique, c'est une organisation de sons dans le temps. Une partition avec trente voix, c'est un

agencement d'actions humaines qui ont des natures temporelles très variées mais qui coexistent. Ce souci de faire « dialoguer » différentes natures temporelles, on le retrouve beaucoup dans des systèmes informatiques, notamment dans des systèmes temps réel. Il y a donc beaucoup de liens entre ce que nous faisons et les langages utilisés pour les systèmes temps réel critiques, les langages utilisés par exemple dans les avions d'Airbus ou dans des centrales nucléaires. C'est d'ailleurs un domaine où la France est plutôt leader.

Binaire: Vous parlez de temps réel. Dans une partition il y a un temps quasi absolu, celui de la partition, mais quand l'orchestre joue, il y a le temps de chaque musicien, plus complexe et variable ?

Arshia Cont : Plutôt que d'un temps absolu, je préfère parler d'une horloge. Par exemple, le métronome utilisé en musique occidentale peut battre au rythme d'un battement par seconde, et c'est le tempo « noir = 60 » qui est écrit sur la partition, mais il s'agit juste d'une indication. En fait, dans l'exécution, aucune musique ne respecte cette horloge, même pas à 90%. Le temps est toujours une notion relative (contrairement à la hauteur des notes, qui dans certaines traditions musicales est absolue). Dans un quatuor à cordes, il n'y a pas un temps unique idéal, pas une manière unique idéale de se synchroniser. En musique, il y a la notion de phrase musicale, et quand vous avez des actions qui ont une étendue temporelle, on peut avoir des relations temporelles variées. Par exemple, on veut généralement finir les phrases ensemble. Dans certaines pratiques de musique indienne, il y a des grilles rythmiques que les musiciens utilisent quand ils jouent ensemble : ils les ont en tête, et un musicien sait quand démarrer pour que dix minutes plus tard il finisse avec les autres ! Ce type de condition doit être dans le langage. C'est cela qui est très difficile. Les musiciens qui arrivent à finir

ensemble ont une capacité d'anticipation presque magique. Ils savent comment jouer au temps t pour pouvoir finir ensemble au temps $t + n$. C'est l'«Ante» de Antescofo, notre logiciel. Comme les musiciens qui savent anticiper d'une façon incroyable, Antescofo essaie d'anticiper.

Binaire: Vous utilisez beaucoup de techniques d'apprentissage automatique.

Arshia Cont: Nous utilisons des méthodes d'apprentissage statistique. Nous apprenons à la machine à écouter la musique. La musique est définie par des hauteurs, des rythmes, plusieurs dimensions que nous pouvons capter et fournir à nos programmes informatiques. Mais même la définition de ces dimensions n'est pas simple. Par exemple, la définition d'une «hauteur» de son qui fonctionne quel que soit l'instrument. Surtout, nous sommes en temps réel, dans une situation d'incertitude totale. Les sons sont complexes et «bruités». Nous humains, quand nous écoutons, nous n'avons pas une seule machine d'écoute mais plusieurs que nous utilisons. Nous sommes comme une machine multiagents, une par exemple focalisée sur la hauteur des sons, une autre sur les intervalles, une autre sur les rythmes pulsés. Toutes ces machines ont des pondérations différentes selon les gens et selon la musique. Si nous humains pouvons avoir une écoute quasi parfaite, ce n'est pas le résultat d'une machine parfaite mais parce que notre cerveau sait analyser les résultats de plusieurs machines faillibles. C'est techniquement passionnant. Vous avez plusieurs machines probabilistes en compétition permanente, en train d'essayer d'anticiper l'avenir, participant à un système hautement dynamique d'apprentissage en ligne adaptatif. C'est grâce à cela qu'Antescofo fonctionne si bien. Antescofo sait écouter et grâce à cela, réagir correctement. Réagir, c'est presque le côté facile.

Binaire: Il y a des musiques tristes ou sentimentales. Un musicien sait exprimer des sentiments. Peut-on espérer introduire/inclure des sentiments dans la façon de jouer de l'ordinateur ?

Arshia Cont: C'est un vieux rêve. Mais comment quantifier, qualifier, et contrôler cet effet magique qu'on appelle sentiment ? Il y a un concours international, une sorte de test de Turing des sentiments musicaux, pour qu'à terme les machines gagnent le concours Chopin. Beaucoup de gens travaillent sur l'émotion en musique. Là encore, on peut essayer de s'appuyer sur l'apprentissage automatique. Un peu comme un humain apprend pendant des répétitions, on essaie de faire que l'ordinateur puisse apprendre en écoutant jouer. En termes techniques, c'est de l'apprentissage supervisé et *offline*. Antescofo apprend sur scène, et à chaque instant il est en train de s'ajuster et de réapprendre.

Binaire: Y a-t-il d'autres questions que vous auriez aimé que nous vous posions ?

Arshia Cont: Il y a une dimension collective chez l'homme qui me passionne. Cent cinquante musiciens qui jouent ensemble et produisent un résultat harmonieux, c'est magique ! C'est une jouissance incroyable. Peut-on arriver à de telles orchestrations, de tels niveaux de collaboration, avec l'informatique ? C'est un vrai challenge. Autre question, la musique est porteuse de beaucoup d'éléments humains et touche aussi à notre vie privée. Aujourd'hui tout le monde consomme de la musique – comment peut-on rendre cela plus disponible à tous *via* l'informatique ? Récemment on a commencé à travailler sur des miniordinateurs à cinquante euros. Comment rendre le karaoké disponible pour tout le monde ? Comment faire pour que tous puissent faire de la musique même sans formation musicale ? Peut-être que cela donnerait aux gens un désir de

développement personnel – quand un gamin peut jouer avec l'orchestre de Paris, c'est une perspective grisante, et l'informatique peut rendre ces trésors accessibles.

Binaire: Pour conclure, pouvez-vous nous dire pourquoi vous avez choisi ce métier ?

Arshia Cont: Je suis passionné de création musicale depuis l'adolescence, mais j'étais aussi bon en science, alors je me posais la question: musique ou science? Avec ce métier, je n'ai pas eu à choisir: je fais les deux. Je ne pourrais pas être plus heureux. C'est un premier message aux jeunes: si vous avez une passion, ne la laissez pas tomber. Pour ce qui est de l'informatique, je l'ai découverte par hasard. Pendant mes études j'ai fait des mathématiques, du traitement de signal. Après ma thèse, en explorant la notion de langage, je me suis rendu compte qu'il me manquait des connaissances fondamentales en informatique. L'informatique, c'est tout un monde, c'est une science fantastique. C'est aujourd'hui au cœur de ma recherche. Mon second message serait, quelle que soit votre passion, à tout hasard, étudiez aussi l'informatique...

Propos recueillis par Claire Mathieu et Serge Abiteboul.

Les entretiens de binaire

Le numérique et la passion des sciences

« L'informatique, c'est tout un monde, c'est une science fantastique. C'est aujourd'hui au cœur de ma recherche. Quelle que soit votre passion, à tout hasard, étudiez aussi l'informatique... »

Arshia Cont, musicien

Dans cet ouvrage, des scientifiques – hommes et femmes – racontent comment le numérique a transformé leur métier. Spécialistes d'informatique, de musique, de robotique, du climat, de droit ou encore d'astrophysique, ils et elles expriment leurs passions. Au fil de ces entretiens, on découvre comment les difficultés rencontrées sont les moteurs des découvertes ultérieures. Et comment le numérique s'inscrit dans leurs pratiques pour rendre possibles de nouvelles aventures scientifiques.

Des paroles sincères et éclairantes qui donnent envie de se lancer dans une carrière scientifique. Un ouvrage qui devrait inspirer tous les lycéen·ne·s et les étudiant·e·s.

Binaire est un blog dont le but est de communiquer sur les définitions, les progrès, les dangers, les questionnements, les succès et impacts, les enjeux, les métiers et l'enseignement de l'informatique.

<https://www.lemonde.fr/blog/binaire/>

15 € – imprimé en France
ISBN 978-2-37662-052-5
<https://cfeditions.com>



9 782376 620525