

DE FACTO

# AURÉLIE JEAN

## De l'autre côté de la Machine

Voyage d'une scientifique  
au pays des algorithmes



De l'autre côté  
de la Machine



Aurélie Jean

# De l'autre côté de la Machine

Voyage  
d'une scientifique  
au pays des algorithmes

*Collection « De Facto »*

L'Éditions de  
Observatoire

ISBN : 979-10-329-0541-8  
ISSN « De Facto » : 2648-7888  
Dépôt légal : 2019, novembre  
© Éditions de l'Observatoire/Humensis 2019  
170 *bis*, boulevard du Montparnasse, 75014 Paris

## Collection « De Facto »

« Alexis de Tocqueville déplorait “l’effrayant spectacle” des philosophes français, enfermés dans des spéculations abstraites : “même attrait pour les théories générales, les systèmes complets de législation et l’exacte symétrie dans les lois ; même mépris des faits existants ; même confiance dans la théorie.”

C’est pour remédier à ce travers national que “DeFacto” accueille, autour du thème de la liberté, des textes à la première personne mêlant théorie et pratique, idées et expériences, réflexion et récit. Nos auteurs peuvent aussi bien être des théoriciens (de toutes disciplines) exposés à la pratique, que des praticiens forgeant leur théorie. Ils alternent rigueur argumentative et sincérité personnelle.

Plutôt que d’être simplement confronté à un système de pensée, le lecteur est ainsi embarqué dans une aventure intellectuelle, avec ses doutes, ses révélations, ses combats. Un voyage, au sens métaphorique comme souvent au sens propre.

De quoi redonner à la pensée la vigueur de l’expérience et la sève de la vie ! »

Gaspard Kœnig  
directeur de collection



*À mes grands-parents, Albert et Hélène Jean.*



« No matter how successful you get,  
always send the elevator back down. »

Jack Lemmon



## Introduction

Automne 2011, Boston, Nouvelle-Angleterre. Depuis un mois, je travaille sur le campus du Massachusetts Institute of Technology (MIT), où, sous la direction des professeurs Raúl Radovitzky et John Joannopoulos, j'utilise les mathématiques, la physique, l'algorithmique et le code informatique pour comprendre les mécanismes du traumatisme crânien.

Tous les matins, je franchis les colonnes du Grand Dôme et emprunte le célèbre « couloir infini » (un quart de mile exactement) qu'ont traversé avant moi Kofi Annan, Buzz Aldrin, Ben Bernanke, Robin Chase et mon idole, Richard Feynman. Je longe des salles de classes, des salles d'expériences scientifiques ou encore des murs d'affichage, où se côtoient les annonces de compétitions de salsa, de courses de voiliers et de tournois d'échecs. C'est un peu ça aussi, le MIT : un lieu où sciences, ingénierie, danse, voile et échecs cohabitent librement et sans préjugés. Un lieu où tout le monde trouve sa place, loin des stéréotypes, avec une atmosphère d'ouverture aux autres qui aura joué un grand rôle dans mon parcours.

Mais en ce samedi après-midi ensoleillé, je ne franchirai pas le couloir infini. J'ai décidé d'aller visiter le meilleur ennemi du MIT : l'université de Harvard,

située à seulement deux arrêts de métro, de l'autre côté de la rivière Charles. Je n'y vais pas pour admirer les beaux bâtiments de la plus ancienne université des États-Unis, ni pour revivre des scènes de *La Revanche d'une blonde* ou *The Social Network*, non. J'ai rendez-vous avec *Mark I*.

Le *Mark I*, l'un des tout premiers ordinateurs, a été construit durant la Seconde Guerre mondiale. C'est pour lui que l'amiral Grace Hopper a développé un des plus vieux langages informatiques encore utilisés aujourd'hui : le Cobol. Le *Mark I* a été conçu pour permettre aux scientifiques du projet *Manhattan* (lancé par l'armée américaine avec le soutien du Canada et de la Grande-Bretagne pour travailler sur l'élaboration de la première bombe atomique) de calculer les effets de l'implosion.

J'ai découvert l'histoire du *Mark I* il y a près de vingt ans, en lisant la biographie d'un acteur du projet, le Pr Feynman, prix Nobel de physique. Richard Feynman a été l'une de mes grandes inspirations, lorsqu'à l'université j'ai fait connaissance avec l'atomistique. C'est par ses livres de mécanique quantique et sa personnalité si brillante et drôle que j'ai eu l'envie de devenir physicienne. Plus tard, j'ai découvert ses livres plus populaires, comme *Surely You're Joking, Mr. Feynman!*, qui concentre ses anecdotes scientifiques, mais aussi ses blagues – auxquelles je fais encore référence aujourd'hui, maintenant, qu'à mon tour, j'enseigne à l'université.

Sur les photos d'archives, un scientifique ou un technicien pose toujours à côté de *Mark I*, pour mettre en évidence sa taille gigantesque comparée au frêle *Homo sapiens*. L'homme, si petit face à la machine. À l'époque, c'était une fierté. Dire qu'aujourd'hui nos

ordinateurs portables – que nous voulons toujours plus petits et légers – sont bien plus puissants ! Le *Mark I* a été désassemblé en 1959. Seules ses parties principales sont exposées aujourd’hui, mais peu importe : j’en rêve depuis plus de dix ans, et je *veux* le voir.

Me voilà arrivée à la station Harvard. À quelques mètres seulement se dressent deux grandes portes en fer forgé, portant la lettre H. Pour la première fois, j’entre dans l’enceinte historique de l’université de Harvard, qu’on nomme aussi le *yard*. Au milieu des immeubles de briques et de pierres, je m’offre la liberté, loin du regard des jardiniers, de traverser les carrés de pelouse si bien entretenus. Une sorte de rébellion dans cette enceinte imposante, où sont passés Bill Gates, Michelle et Barack Obama, Sheryl Sandberg, Michael Crichton (l’auteur de *Jurassic Park*) ou mon autre idole, Conan O’Brien. Je m’efforce de conserver une sorte de nonchalance pour cacher mon excitation presque infantine – certains esprits chagrins pourraient prendre cela pour une naïveté juvénile, et qui pour moi est un vrai atout, celui qui me permet d’aborder chaque étape avec confiance. Voilà qui explique d’ailleurs sûrement que je me sois toujours sentie chez moi aux États-Unis et à l’aise avec les Américains : leur optimisme à toute épreuve m’était forcément familier – éblouissement permanent qui empêche d’être blasé et pousse à découvrir de nouveaux mondes en permanence.

Je me dirige vers le très moderne Sciences Center, prête pour cette rencontre du cinquième type. Sur le chemin, j’imagine déjà les étoiles qui vont briller dans mes yeux. Mon anticipation peut sembler exagérée, mais c’est comme voir pour la première fois la *skyline* de New York ou la tour Eiffel, c’est magique !

À mon grand regret, cette machine et son histoire sont encore trop peu connues du grand public, alors que tant de choses sont liées à *Mark I* : les premiers langages informatiques, la naissance du mot « bug », le développement de la bombe atomique aussi, avec ses conséquences tragiques...

Je pousse les portes du Sciences Center et rejoins l'étage où m'attend *Mark I*. Je m'avance, prudente mais déterminée au milieu des touristes, qui sont eux aussi venus voir la bête. Et là, le choc ! Je ne ressens rien. C'est un petit drame existentiel, qui sans en avoir l'air aurait pu avoir des conséquences rédhibitoires sur la suite de ma carrière. Une profonde déception esthétique, comme une passion épistolaire où le charme se romprait à la première seconde de la rencontre réelle. Bien sûr, l'engin est impressionnant. Mais il ne dégage aucune beauté, avec son gris triste et ses lignes grossières. Je suis d'une génération qui utilise des ordinateurs au design raffiné, de couleur blanche, rose ou dorée, et à l'ergonomie rigoureusement étudiée. À quoi donc pouvais-je m'attendre ? Les ingénieurs du *Mark I* n'avaient d'autre but que de bâtir une machine fonctionnelle. J'insiste, je fais le tour de l'engin, je cherche désespérément un coin de beauté, une couleur, un angle intéressant, quelque chose qui m'émeuve... mais toujours rien. Le néant complet. Les seules étoiles dans mes yeux proviennent des flashes des appareils photo des touristes qui s'agitent autour de moi – et qui, eux, semblent exaltés.

C'est alors que l'évidence me frappe. En cet automne 2011, dix ans après ma découverte des algorithmes, je ne suis plus une touriste. J'appartiens au monde de *Mark I*, désormais. Je suis une de ces scientifiques qui tentent de faire avancer la connaissance du

monde. Avec d'autres (car la science est toujours une aventure collective), j'ai développé un algorithme de morphologie mathématique pour modéliser et simuler la forme des particules de carbone dans les caoutchoucs, afin de mieux comprendre les ressorts de leur élasticité. Pendant deux ans, j'ai utilisé ces mêmes simulations numériques pour améliorer la technique de génération d'un muscle cardiaque *in vitro*, technique qui vaincra peut-être un jour les rejets de greffe du cœur. À ma toute petite échelle, je suis aussi l'une des héritières de ces pionniers du *Mark I*.

Alors je ferme les yeux et j'imagine l'ordinateur en fonctionnement, avec des lumières clignotantes qui auraient sans doute contribué à sa beauté. L'imaginaire prend le pas sur l'esthétique. Et maintenant, enfin, l'émotion me rattrape.

Je me figure Grace Hopper, assise près de *Mark I* avec son cahier de laboratoire, traquant les résultats de calcul mais aussi le moindre défaut dans le fonctionnement de la machine. Comment ne pas l'imaginer, écrivant pour la toute première fois dans son cahier le mot « bug », loin d'imaginer que soixante ans plus tard le monde entier l'emploierait ! Je connais l'histoire de ce bug : le 9 septembre 1945, un insecte (*bug*, en anglais) s'immisce accidentellement dans la machine, ce qui entraîne inévitablement un dysfonctionnement du *Mark II* (la deuxième version du *Mark I*), faussant les résultats de calcul. Aujourd'hui, nous parlons de bug pour évoquer un mauvais résultat, une incohérence dans la séquence logique des étapes de calcul, sans qu'une erreur syntaxique ou grammaticale du code informatique soit en cause. Merci, Grace, d'avoir mis un nom sur ce vilain défaut d'implémentation ! Il nous fait régulièrement tourner en bourrique et nous vaut

de passer des heures, parfois des jours, à chercher la cause d'une erreur incompréhensible – puis d'autres heures encore à la réparer... Nous identifions un bug la plupart du temps à l'issue d'un calcul, alors que le code tourne pourtant correctement sur la machine. Il arrive de détecter des bugs sur des codes de calcul qui ont été écrits il y a plus d'une décennie ! Cela m'est arrivé – et c'est normal. D'autres plus tard trouveront sans doute des bugs dans des codes que j'ai pu écrire. Ainsi va l'informatique. De *Mark I* à aujourd'hui, il s'est passé tant de choses... Et il s'en passera encore de nombreuses d'ici à l'ordinateur quantique, qu'on annonce pour (après-)demain.

Me mettre un instant à la place de Grace Hopper, en cet été 2011, a finalement conforté ma motivation à continuer dans cette voie. Cela dit, je me souviens de m'être dit qu'il était plutôt rassurant de ne pas pouvoir voyager dans le temps. Sait-on jamais, j'aurais pu être déçue en assistant à un exposé d'algèbre du mathématicien Al-Khwârizmî ou à une leçon de logique d'Euclide, notre maître à tous. Mon imagination et ma curiosité pourraient me jouer des tours !

Et voilà que quelques années plus tard Gaspard Kœnig me propose de voyager dans le mien – de temps – pour revisiter mon parcours...

« Une scientifique au pays des algorithmes » : voici comment Gaspard m'a présenté l'idée de ce livre. Inviter les lecteurs à un voyage au cœur des équations mathématiques et des lignes de code : une vraie gageure ! Le pays des algorithmes n'est pas encore la destination préférée des Français, mais il me semblait nécessaire de changer cette tendance, et Gaspard était déterminé à m'aider à réparer cette injustice.

Ce titre m'évoquait aussi quelque chose de très personnel. Comment ne pas penser à Lewis Carroll, et à *Alice au pays des merveilles* ? À 36 ans, je ne suis toujours pas certaine de savoir ce qui m'a plu quand j'étais enfant à la lecture de ce livre (et de sa suite, *De l'autre côté du miroir*). Sans doute était-ce la curiosité malade d'Alice, dans laquelle je me retrouvais. Combien de fois ai-je pu entendre cette phrase : « La curiosité est un vilain défaut » ? Alors qu'elle est, me semble-t-il, une arme pour découvrir les territoires encore inexplorés de ma propre vie ! Ma curiosité a toujours été dévorante. Mes grands-parents l'ont intelligemment cultivée au cours de mon enfance. Plus tard, je veux croire qu'elle a eu une influence positive sur mon parcours, sur mes multiples expériences et sur les personnes très différentes qui m'ont accompagnée et m'entourent encore aujourd'hui. Cette curiosité m'a aussi amenée à me confronter à des échecs – et tant mieux ! Après tout, qui ne tente rien n'a rien. Seuls ceux qui ne font rien ne font pas d'erreur : j'aime cet état d'esprit, et ma curiosité m'aide à grandir, comme Alice.

Lewis Carroll décrivait Alice comme « extravagamment curieuse ». Cette curiosité est celle que nous, scientifiques, développons dans nos carrières : savoir poser et se poser les bonnes questions, remettre en cause ses idées et celles d'autrui, ou tout simplement s'évader dans un problème dont la solution n'existe peut-être pas. Naviguer dans le monde des algorithmes et de la modélisation numérique est pour moi un cadeau : celui de comprendre, par la virtualisation des phénomènes, les mécanismes de la vie, de tout système, d'ailleurs, vivant ou inerte. Écrire un algorithme, c'est dessiner un chemin de résolution pour un problème donné, une

manière d'accéder rapidement et avec justesse (ou à une erreur près) à la réponse recherchée. J'ai expérimenté cette discipline dans de nombreux domaines – l'ingénierie, la médecine, l'éducation, le journalisme, l'économie, la finance... Autant d'univers différents qui ajoutent une dimension nouvelle à la seule logique : la réflexion analogique. L'avenir est dans la comparaison, l'interdisciplinarité, cette capacité à réfléchir de façon transversale pour faire profiter à de nombreux champs d'application les retombées de travaux.

Des livres de Lewis Carroll je retiens aussi l'étrangeté de ce monde parallèle « de l'autre côté du miroir », qui laissait penser que toute hypothèse était elle-même hypothétique. En choisissant de travailler sur les algorithmes et la modélisation du monde, je travaille depuis quinze ans sur ce fameux miroir, entre réel et virtuel. Ce miroir est aujourd'hui un véritable enjeu de civilisation, car il devient si net qu'il faudra s'armer de connaissances pour ne pas s'y perdre – nous verrons cela dans la dernière partie de ce livre.

Dans ma carrière, j'ai simulé la morphologie des caoutchoucs à l'échelle nanoscopique, prédit l'élasticité d'un tissu cardiaque régénéré en laboratoire, automatisé l'écriture d'articles de *news* financières, ou encore simulé les mécanismes du traumatisme crânien. Pour chacune de ces applications, j'ai cherché à comprendre des mécanismes et à établir des prédictions par la simulation numérique. La démarche peut sembler paradoxale : plonger dans le virtuel pour comprendre le réel. Ces deux mondes, réel et virtuel, sont séparés par un modèle, une représentation mathématique et algorithmique de la réalité. Comprendre le fonctionnement de ce modèle, c'est comprendre ce qui relie ces deux mondes. Cet ouvrage aborde le fonction-