

ANDY FIELD

L'aventure des statistiques en sciences humaines

Traduction et adaptation par Nicolas B. Verger,
Nicholas J. L. Brown, Christophe Leys



+ EN LIGNE



Compléments numériques
85 QCM, des data sets, des résumés

deboeck **B**
SUPÉRIEUR

TABLE DES MATIÈRES

COMMENT UTILISER CE LIVRE	XV
PROLOGUE : NOS ÉTOILES MOURANTES	1
1 L'IMPORTANCE DE LA SCIENCE	7
2 RAPPORTER LES RECHERCHES, LES VARIABLES ET LES MESURES	39
3 RÉSUMER LES DONNÉES	75
4 AJUSTEMENT DE MODÈLES (LA TENDANCE CENTRALE)	111
5 PRÉSENTER LES DONNÉES	157
6 LES SCORES-Z	189
7 LES PROBABILITÉS	215
8 LES STATISTIQUES INFÉRENTIELLES : ALLER PLUS LOIN QUE LES DONNÉES	257
9 LES ESTIMATIONS ROBUSTES	297
10 LE TEST D'HYPOTHÈSES	331
11 APPROCHES MODERNES AUX TESTS THÉORIQUES	361
12 LES CONDITIONS D'APPLICATION STATISTIQUES	395
13 LES RELATIONS ENTRE LES VARIABLES	429
14 LE MODÈLE LINÉAIRE GÉNÉRAL	477
15 LA COMPARAISON DE DEUX MOYENNES	527
16 LA COMPARAISON DE PLUSIEURS MOYENNES	567
17 PLANS FACTORIELS	633
ÉPILOGUE : UNE SUPERBE NUIT	677
APPENDIX	685
GLOSSAIRE	699
RÉFÉRENCES	727
INDEX	733
REMERCIEMENTS	743

COMMENT UTILISER CE LIVRE

L'idée d'intégrer des statistiques dans une histoire fictive rend ce livre atypique. Je réalise que beaucoup d'étudiants et d'enseignants n'aiment pas ce qui est « atypique », alors voici quelques questions que certaines personnes pourraient se poser.

À QUI EST DESTINÉ CE LIVRE ?

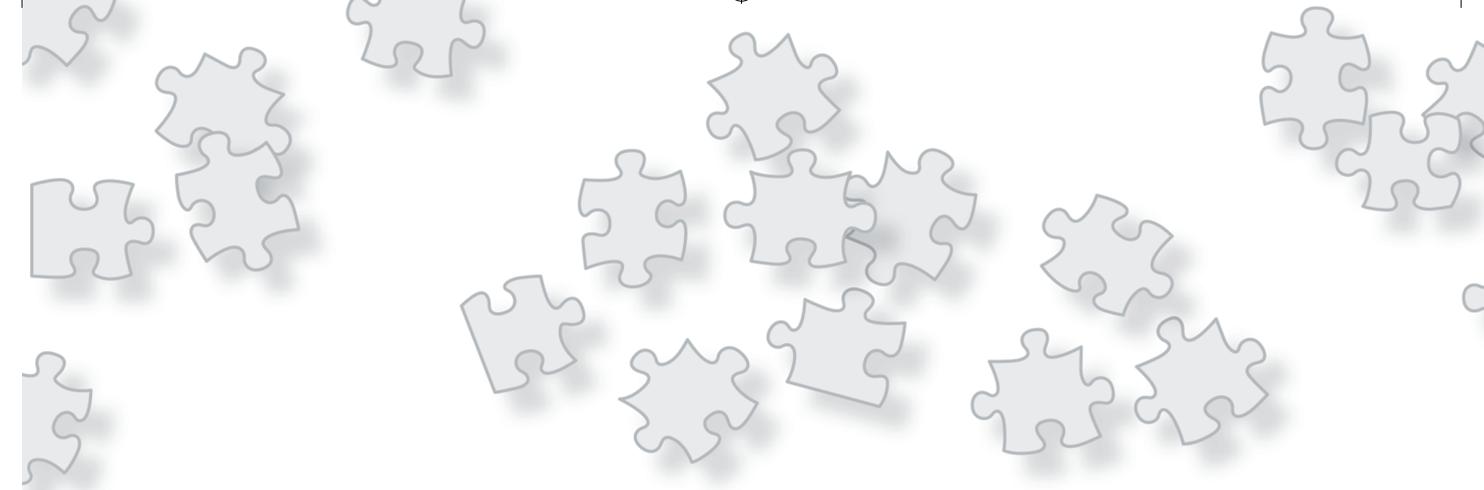
Ce livre vise toute personne qui serait intéressée par l'apprentissage des méthodes statistiques. Il ne présuppose aucune connaissance *a priori* en la matière.

COMMENT PUIS-JE ENSEIGNER AVEC UN LIVRE QUI A UNE FICTION NARRATIVE ?

Fondamentalement, je tente d'enseigner de la même manière que je le ferais avec n'importe quel autre livre. La plupart des chapitres partagent une structure très semblable : une partie romancée, une partie sur les statistiques, une partie romancée, une partie sur les statistiques, une partie romancée. De ce fait, dans la plupart des chapitres, il y a deux grandes parties sur les statistiques, délimitées de part et d'autre par l'histoire principale, ainsi qu'un bout d'histoire placée au milieu afin que vous puissiez souffler un peu. De cette façon, il est assez facile d'ignorer l'histoire si vous le souhaitez. Les parties sur les statistiques sont toutes écrites comme des échanges entre le personnage principal et les différentes personnes qu'il rencontre. Vous trouverez ainsi le contenu académique tel que vous pouvez l'attendre, mais présenté sous la forme d'une conversation entre un étudiant (le personnage principal) et un enseignant (les protagonistes de l'histoire qui lui enseignent les statistiques). Ce style socratique est un bon moyen d'enseignement parce que le personnage principal pose le même genre de questions que les étudiants (espérons-le !). Bien entendu, vous êtes libre de plonger dans l'histoire si cela correspond au style d'enseignement que vous aimez, de même que je pourrais moi-même très bien imaginer donner des cours qui commencent en posant le cadre d'une des scènes de l'histoire, ou qui se concluent avec un climax de fin de chapitre. Je serais enchanté d'apprendre que des gens appliquent cette méthode mais, finalement, vous devriez surtout privilégier ce qui correspond à votre style d'apprentissage.

PUIS-JE PIOCHER DANS LE LIVRE ?

Comme l'histoire se déroule d'un bout à l'autre du livre, il est plus fluide de le lire du début à la fin. L'idée est qu'une fois que vous êtes plongé dans l'histoire, celle-ci devient une source de motivation pour lire le livre et, par-là, les parties sur les statistiques. Selon moi, un des problèmes majeurs de l'enseignement des statistiques est que beaucoup tendent à piocher des informations éparses sans avoir de solides fondations bâties dans le bon ordre. En un sens, l'objectif de ce livre est de vous encourager à apprendre les concepts dans un ordre logique afin que vous puissiez bâtir progressivement votre connaissance ; de cette manière vous intégrerez mieux la matière. Néanmoins, je pense qu'il est possible de se balader à travers le livre si vous le voulez vraiment, dans la mesure où les chapitres sont structurés d'une manière assez standard (voir ma réponse à la question *Comment puis-je enseigner avec un livre qui a une fiction narrative ?*). En conséquence, vous pouvez lire les parties sur les statistiques sans nécessairement savoir ce qui se déroule dans l'histoire. Il demeure que, dans mon monde idéal, vous commenceriez au début du livre et le liriez jusqu'à la fin.

A collection of light gray puzzle pieces scattered across the top of the page. Some pieces are partially cut off by the edges of the page. The pieces are arranged in a way that suggests a larger puzzle that has been broken apart.

PROLOGUE

THE DYING STARS

ADEONA

ELPIS

ANTEVORTA

HERMES CAFE

THE ASHTREE SHRINE

ZACH'S APARTMENT

GENARI'S OFFICE

JANUS

OCCAM'S

DOCTRINE OF CHANCE

POSTVERTA

HALLOWED POINT

PORUS

THE EVIL POCKETS

SECRET PHILANTHROPIC SOCIETY

REPOSITORY

BEIMENI CENTRE OF GENETICS

EGESTES

AYLMER

VERITAS

PROBABILITY BRIDGE

THE 6 BAR

JIGSAW



Zach Slade : le musicien le plus inspirant, talentueux et créatif d'Elpis, la cité de l'espoir. Son groupe, *The Reality Enigma*, donne des concerts aux quatre coins du monde lors de tournées virtuelles. Mais seuls les habitants de notre ville natale, Elpis, ont la chance de les voir en chair et en os. En dépit de ce que les «Pucés» vous diront, rien ne peut remplacer l'expérience transcendante d'un groupe *live* et pour rien au monde je n'aurais manqué l'un de leurs concerts. Il faut voir sur scène comment cet homme envoûte son public à chaque note qu'il joue, chaque mot qu'il prononce, chaque regard ténébreux qu'il lance. Chaque soir, je vois des milliers de personnes folles de lui. Mais aucune d'entre elles ne soupçonne le genre d'homme gentil, doux, quoique plein d'incertitudes, qui partage ma vie. Je ne peux que rêver de toucher les gens avec mes recherches scientifiques comme Zach le fait avec sa musique. Quoiqu'il le remarque à peine, Zach a changé la vie de milliers de personnes, mais ce n'est rien comparé à la manière dont il a changé la mienne en me parlant pour la première fois à la bibliothèque de notre université, il y a dix ans. Alors fille timide et solitaire, totale étrangère déconnectée du monde social, il m'y a introduite. Mais depuis notre rencontre, tout a changé.

Zach et moi sommes ce que nous pourrions appeler des enfants de la Révolution de Réalité : la première génération née à la suite de l'effondrement de la société. Avant ce renversement, chacun croyait qu'il était spécial, talentueux et se destinant à une gloire certaine. Les gens blâmaient la télé-réalité et les illusions qu'elle créait mais, après tout, peut-être avons-nous tous besoin de croire à un futur radieux pour préserver notre santé mentale ? Pour une raison ou pour une autre, les valeurs du travail acharné et du bien commun se sont érodées, remplacées par l'intérêt personnel et les privilèges individuels. De son côté, l'Histoire a accusé le Professeur Milton Grey d'être à l'origine de cette révolution, car c'est par son invention – le Prisme de Réalité – que tout a basculé. Le Prisme de Réalité – une pyramide translucide que l'on enfiler sur la tête – permet de distinguer la part objective de la réalité de celle créée de toute pièce par notre subjectivité. Si, à sa sortie, il s'agissait d'un appareil hors de prix, il s'est peu à peu démocratisé et, très vite, une foule d'adeptes se l'est procuré.



Le Prisme de Réalité a rendu le monde honnête : la propagande et l'influence des médias sont devenues inopérantes dans un monde où les gens avaient désormais le pouvoir de dissocier la vérité des faux-semblants. Les religions se sont effondrées, non pas que le Prisme eut mis au grand jour leur fourvoiement, mais parce qu'il permit de dévoiler les organisations qui profitaient des croyances des fidèles. Doté de cet appareil, chacun pouvait connaître la vérité à propos de tout ce qu'il pouvait contempler du monde. S'il est facile d'en voir les bénéfiques, ce fut aussi une malédiction. Les gens ont commencé à se regarder dans le miroir à travers le Prisme. Imaginez-vous dépouillé des petits tours innocents que votre esprit vous joue pour vous aider à vous sentir mieux à votre égard. Le Prisme a permis à quiconque de contempler la véritable valeur de son intelligence, humour, beauté et talent... Non sans douleur. Nous sommes, pour la plupart, des individus ordinaires et il n'y a rien de mal à ça – sauf lorsque la société nous dicte l'idée qu'être ordinaire n'est pas suffisant.

Déprimés, les gens ont commencé à errer sans but et à perdre intérêt pour toute chose car les médias ne parvenaient plus à créer leur habituel engouement pour tout et n'importe quoi : les groupes de musique ne pouvaient plus prétendre que leur dernier album était leur meilleure création ; on ne pouvait plus duper personne en disant que le dernier Proteus était ô combien meilleur que le précédent. Plus personne ne croyait qu'un événement sportif revêtait une valeur plus importante qu'un simple jeu se répétant chaque saison. Et tout le monde avait pris conscience que les cosmétiques ne pouvaient pas accomplir les miracles qu'ils prônaient. C'en était fini de la publicité ; les affaires s'effondrèrent et les partis politiques cessèrent de fonctionner. La Révolution elle-même s'acheva en cinq ans, mais la société s'éreinta en des décennies de reconstruction. Mes parents disent que la Révolution a tué la culture : sans confiance en soi, plus personne n'osait se montrer créatif, et, sans créativité, il ne pouvait plus y avoir de musiciens, d'artistes ou d'écrivains. Les gens ont tout simplement abandonné ce genre de carrière parce que les Prismes de Réalité leur faisaient croire qu'ils n'avaient rien à offrir. C'est ainsi que l'on s'est tourné vers le monde d'avant : les musiciens et les groupes de la période pré-révolutionnaire, des années 1970 à 2040 sont devenus des idoles que plus personne ne pensait avoir le talent d'égaliser. Nos parents, qui ont connu cette période, avaient perdu foi en toutes ces choses. Mais pour Zach et moi, toute cette histoire avait eu lieu avant notre naissance. Nous n'avions jamais regardé à travers un Prisme de Réalité et nous n'avions donc jamais perçu nos propres limites. Zach s'imprégnait de la musique du passé, croyant qu'il pouvait l'utiliser comme catalyseur dans le but d'inspirer au monde un regard neuf : écrire de nouvelles chansons pour refléter le monde actuel, et non celui du passé. Il avait un véritable don pour ça.

L'histoire telle qu'on me l'a racontée durant ma petite enfance m'a inculquée que la Révolution nous a transportés vers des temps plus sombres. Moi, je crois plutôt qu'elle nous a sauvés. Pour moi, Milton Grey est un héros ; pas un homme avec de mauvaises intentions. À la suite de la Révolution, des personnes du monde entier se sont unies dans un but commun, celui de reconstruire la société. Certaines croyaient que nous devions reprendre là où nous nous étions arrêtés et adopter la technologie pré-révolutionnaire. D'autres aspiraient à retourner vers ce qu'elles croyaient être des temps plus simples et heureux. À mesure qu'elles excavaient notre passé culturel, elles se sont prises d'un amour nouveau pour les sensations tactiles que procuraient les livres aux couvertures en papier cartonné, l'art et les albums vinyles ; ces mêmes reliques que d'aucuns pensaient obsolètes avant la Révolution. Ces personnes ressentaient à présent le désir de se reconnecter au monde avec une technologie rétro et respectueuse de l'environnement : ils adoptèrent une culture basée sur les mécanismes d'horlogerie pré-xxie siècle et la technologie à vapeur. Avec le temps, ces technologies s'unifièrent avec celles de notre propre génération : c'était la naissance de la fusion horlogerie-vapeur.

L'Agence de Gouvernance Mondiale (AGM) émergea des cendres de la Révolution : une organisation humaniste qui aspirait à bâtir une nouvelle société sur les fondations de la vérité. L'AGM travaillait à créer de l'ordre dans une société fragmentée. Leur but premier était de promouvoir la communauté et le bien-être. C'est principalement grâce à leur effort que les différentes visions des gens sur ce que devait être le nouveau monde semblaient se combiner harmonieusement : avec leur aide, les scientifiques ont développé des technologies à vapeur et à mécanismes d'horlogerie afin d'alimenter à la fois les appareils rétro et modernes. Ils bâtirent un immense entrepôt afin de stocker

des collections de médias physiques et offrir un espace pour que les gens en profitent. Le monde devint à la fois audacieux et innovant, quoiqu'un peu nostalgique ; au demeurant, il s'était transformé en un mélange entre beau et étrange – entre moderne et antique. À la différence de tous les partis politiques qui l'avaient précédé, l'AGM, à travers son conglomérat de nations, avait réussi l'impossible : rendre tout le monde heureux.

C'est dans ce monde utopique que Zach et moi avons grandi. Un monde qui se veut autant la toile de fond de notre jeunesse qu'une douloureuse piqûre de rappel sur la façon dont les choses ont changé depuis notre rencontre. Tout d'abord, l'AGM a commencé à « pucer » les gens. Des micro-puces avaient déjà été implantées chez les animaux domestiques il y a plus d'un siècle mais, avec les avancées technologiques, il était devenu possible d'implanter des puces avec accès WiFi chez les humains. Cela leur permettait d'enregistrer ce qu'ils voyaient, pensaient et entendaient en temps réel. Les fervents aficionados de la technologie ont accouru pour être les premiers à se faire implanter une puce, faisant la queue devant les stations de puçage afin de se faire poser un émetteur-récepteur dans le cerveau. Nous les nommions les « Pucés » ; eux appelaient ceux qui avaient refusé cette puce les « Horlogiens », un terme méprisant qui soulignait que nous étions tournés vers le passé, bloqués dans une société à la mode « horloges victoriennes ». Peut-être avaient-ils raison. Mais, au moins, aucune puce ne nous démangeait le cerveau.



Puis, on vit apparaître la *Banque-Mnésique* : un esprit virtuel dans lequel les Pucés pouvaient retransmettre leur vie aux autres, en temps réel et en haute définition. Par le biais d'une pensée, les Pucés pouvaient partager un moment de leur vie en vidéo et le signaler comme un événement extrêmement important (aussi appelés des « *Highsies* » en référence aux procédés de *selfies* de l'époque pré-révolutionnaire). Ces événements étaient diffusés directement dans les esprits des autres Pucés, au cœur d'un même réseau digital, et leurs réactions émotionnelles en lien avec cet événement, leur « émo », étaient automatiquement enregistrées et taguées en temps réel. Il était impossible de cacher ses sentiments dans une *Banque-Mnésique*. En ce qui nous concernait, nous, les Horlogiens, nous stockions nos vies virtuellement ; l'idée pré-révolutionnaire d'un *cloud* avait été poussée jusqu'à son apogée et tout le monde possédait une « étoile » : un espace sans limites qui nous permettait de stoc-

ker notre monde digital. Les amis et la famille pouvaient relier leurs étoiles sous forme de constellation; la *Banque-Mnésique* avait été l'étape suivante, une galaxie d'étoiles créée par les Pucés.

Les Horlogiens étaient mis en marge de la quasi-totalité de ce monde ultra connecté : nous avions des étoiles, mais les connections se faisaient par le biais de technologie physique plutôt que nos esprits; nous vivions en ermite dans une rétro-culture. À nouveau, la société s'était fragmentée, ce que Zach et moi ne pouvions nous empêcher de voir comme une métaphore. Au fil de mes réussites dans ma carrière scientifique, je basais de plus en plus mes croyances sur les preuves et comprenais de moins en moins comment Zach acceptait de rester aveuglément en prise avec ses émotions. Plus mon travail avançait, moins il comprenait – ou essayait de comprendre – mes efforts. Plus la science me poussait vers le progrès technologique et moins je comprenais pourquoi il s'accrochait à un monde dépassé et en ruines depuis plus d'un siècle. Je sens au fond de moi que je ne peux aimer quelqu'un autant que je l'aime, lui; ce genre de sentiments m'effraie, mais pas autant que ce qui s'est passé au cours des semaines passées. C'est pour cela que je dois le quitter. Pire, je ne peux même pas lui exprimer la raison de mon départ. J'espère qu'il m'oubliera et, qu'un jour, il me pardonnera, pourvu qu'il ne découvre jamais à quel point je m'apprête, en cet instant, à me déchirer le cœur.

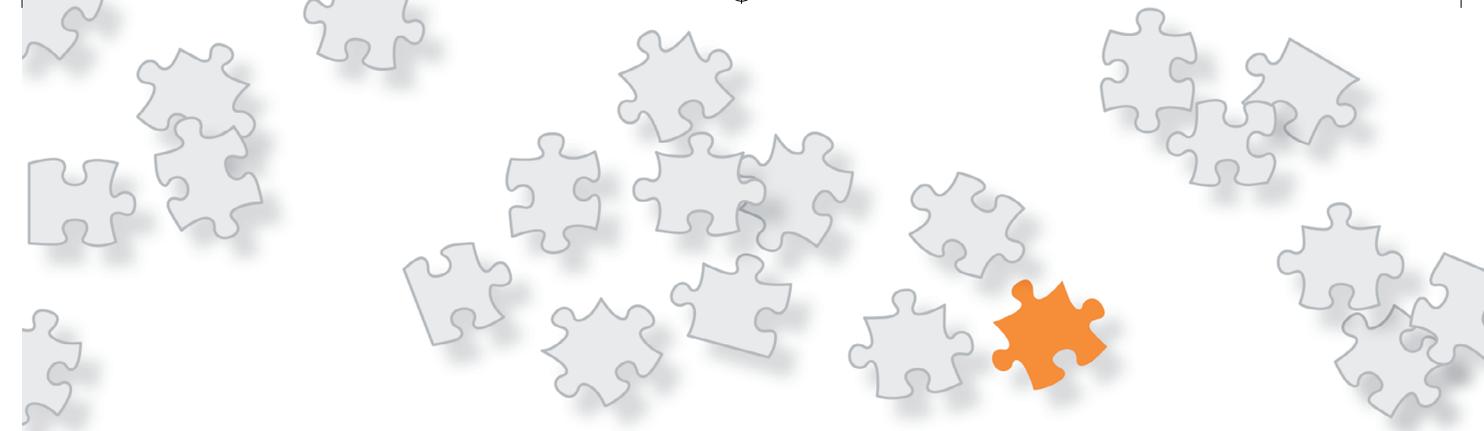
Dr. *Alice Chevalier*,

Centre de Génétique de Beimeni

Elpis

DANS LE PROCHAIN CHAPITRE, ZACH DÉCOUVRIRA...

- ✦ Le processus scientifique
- ✦ Comment élaborer une hypothèse scientifique
- ✦ Les différentes méthodes de recherches
- ✦ Pourquoi nous avons besoin de la science
- ✦ Qu'Alice se comporte bizarrement

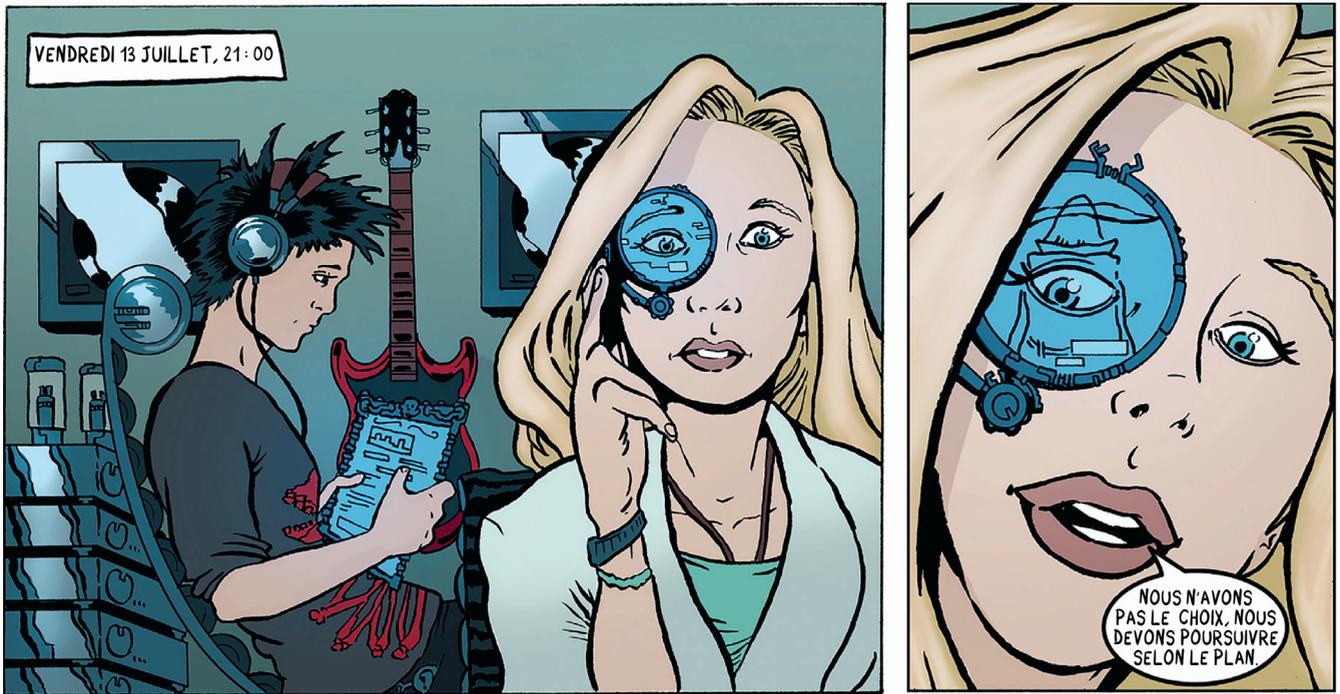


1

L'IMPORTANCE DE LA SCIENCE

LE DÉBUT ET LA FIN

- 1 EST-CE QUE TU M'AIMERAS MAINTENANT ? # 10
- 2 LES ROUAGES DE LA SCIENCE # 14
- 3 LE PROCESSUS DE LA RECHERCHE # 14
- 4 LA SCIENCE COMME STYLE DE VIE # 21
- 5 LES MÉTHODES DE RECHERCHES CORRÉLATIONNELLES # 22
- 6 LES MÉTHODES DE RECHERCHES EXPÉRIMENTALES # 24
- 7 ENTRAÎNEMENT, RANG ET RANDOMISATION # 27
- 8 RECOLLER LES MORCEAUX # 31
- 9 POURQUOI NOUS AVONS BESOIN DE LA SCIENCE # 34
- 10 TERMES CLEFS # 36
- 11 LES ÉNIGMES DE SFIN:X # 36



Alice avait agi bizarrement toute la nuit. J'étais rentré de ma session de répétition avec le groupe afin de préparer le dîner avant qu'elle ne rentre du travail, mais elle était déjà à la maison. Alice ne quittait jamais le travail de bonne heure. Depuis quelques semaines, je la trouvais énervée, comme si elle me cachait quelque chose. Aussi écoutait-elle de la musique : rien d'anormal à cela, pourriez-vous penser, et, en effet au début de notre relation, la musique était bien notre passion commune. Mais Alice avait progressivement perdu tout intérêt pour elle. Certes, elle venait à mes concerts mais, autrement, elle semblait vivre et travailler dans le silence. Je m'inquiétais parfois qu'il y ait trop de silence dans sa vie, qu'elle soit trop isolée, comme si elle vivait dans sa bulle. Ce soir pourtant, notre appartement baignait dans la musique. Elle écoutait un album que nous aimions tous les deux et qui me ramenait aux temps où nous restions éveillés toute la nuit pour parler, trompant le sommeil de peur qu'il ne nous sépare trop longtemps. Le refrain me toucha en plein cœur à la minute où je poussai la porte. C'était étrange de ne pas entrer dans un appartement vide et silencieux – et cela m'inquiéta un peu. Je souris lorsque je compris qu'Alice était à la maison et que je reconnus l'album qu'elle écoutait : peut-être son monde n'était pas aussi silencieux que je l'imaginais. Peut-être ces chansons avaient-elles encore une signification pour elle ? Hélas, ces espoirs s'envolèrent lorsque je la trouvai nerveuse et distante. Elle s'était à peine rendu compte que j'étais rentré et je me sentis stupide d'avoir pensé qu'elle avait mis cette musique en fond dans le but de me dire quelque chose. Alice était scientifique et cela semblait prendre le pas sur son côté sentimental. J'ai cuisiné, nous avons mangé, et Alice m'a à peine adressé un mot. C'était chose courante depuis quelques jours : tout était devenu tendu entre nous. Je n'étais pas certain de la façon dont nous en étions arrivés là, ou même de comment arranger les choses.

Alice et moi sommes Horlogiens mais je suis davantage attaché à l'ère pré-révolutionnaire qu'elle. J'aurais aimé vivre en ces temps-là : le passage au xxi^e siècle signa l'âge d'or de la musique. Les gens se rassemblaient par milliers à des événements qu'ils appelaient « festivals » pour regarder des groupes jouer, non pas en réalité virtuelle mais en chair et en os. Les groupes voyageaient à travers le monde et avaient une réelle connexion physique avec leurs fans. Bien sûr, mon groupe aussi faisait des tournées, mais nous ne nous produisions que dans notre ville. Pour le reste du monde, nous n'étions qu'une image dans ce que nous nommions avec humour un *Oculus Riff*, un casque mul-

tisensoriel qui permettait de vivre des concerts virtuels. Le monde semblait tellement mieux durant le siècle précédent que je n'arrive pas à comprendre comment les choses ont pu si mal se passer. Les gens comme moi font de leur mieux pour remettre au goût du jour ces anciennes pratiques.

Avant les puces d'identité, tout le monde avait un Proteus – un appareil constitué de matière programmable¹, ce qui nous permettait de transformer à la fois sa forme et sa fonction. Durant la période pré-révolutionnaire, les gens avaient des iWatches, des iPads, des iPhones et autres technologies du genre. Le Proteus les remplaça tous en un unique appareil : il pouvait se transformer en un écran tactile permettant de taper des messages, ou devenir une oreillette pour écouter de la musique. Il pouvait également prendre aisément la forme d'un écran ou projeter une vidéo en 3D. Un Proteus pouvait devenir tout ce qu'on voulait : les utilisateurs n'avaient qu'à imaginer ce en quoi ils voulaient qu'il prenne l'apparence, et cette pensée se réalisait. On pouvait le porter comme anneau, comme bracelet, ou lui donner n'importe quelle autre apparence souhaitée. Je gardais le plus souvent le mien sous la forme d'une fine pierre tombale en haut de laquelle il était inscrit « *In loving memory of your memory* » (« À la tendre mémoire de ta mémoire »). Je l'appelais mon diePad. Il s'agissait d'une blague que je me faisais à moi-même parce que je pensais que tout le monde se reposait tellement sur la technologie que notre mémoire en était... morte. Bien entendu, les Pucés n'avaient pas seulement perdu le besoin de compter sur leur mémoire ; ils n'avaient même plus besoin d'un Proteus du tout. Les puces implantées dans leur tête relayaient leurs pensées aux autres Pucés via les *Banques-Mnésiques*. Cette connectivité a fait de nous autres, Horlogiens, des marginaux : il nous est difficile de nous connecter aux Pucés, lesquels doivent avoir recours à un Proteus. Sans cela, aucune communication n'est possible entre nous. Un vrai calvaire !

Alice est restée sur son Proteus la quasi-totalité de la soirée. Elle aimait porter le sien sous la forme d'une oreillette avec un petit micro et un monocle afin de voir la personne qui l'appelait. Ainsi, je ne pouvais pas voir à qui elle parlait ou entendre leur conversation. Mais je pouvais sentir que quelque chose n'allait pas. Je voulais l'aider, mais Alice ne semblait pas d'humeur à ce que je lui adresse la parole. Excédé par son humeur acerbe, j'enfilai mon casque afin d'écouter l'enregistrement de notre répétition, tout en prenant mon *diePad* pour lire les nouvelles. Porter un casque en disait long sur moi : les Pucés avaient leur musique directement transmises dans leur cerveau, et même la plupart des Horlogiens utilisaient leurs Proteus pour en écouter. Mais moi, j'aimais cette sensation unique de contact chaleureux que procuraient les casques.

1 M'AIMERAS-TU, MAINTENANT ?

Un article attira mon attention. Il racontait qu'une partie de la technologie Proteus trouvait ses racines dans les téléphones portables pré-révolutionnaires : des boîtiers primitifs et inflexibles que les gens utilisaient pour communiquer avant l'arrivée du tout premier Proteus, et dont on ne pouvait changer ni la forme, ni la fonction. Ils étaient tout bonnement inutiles. L'article étudiait quelques données parues avant la période pré-révolutionnaire et affirmait que ces vieux téléphones causaient des tumeurs cérébrales. Le journaliste soutenait que les Proteus pouvaient avoir les mêmes effets. Alice passait beaucoup de temps avec son Proteus dans les oreilles et cet article m'inquiétait : était-elle en danger ? En lisant, je m'aperçus qu'Alice n'avait pas lâché son Proteus depuis le début de la soirée. Elle arpenta à présent l'appartement à vive allure, comme si elle cherchait un endroit pour décharger tout le poids qu'elle avait sur les épaules. Je ne pouvais plus supporter ça. Je retirai mon casque et lui demandai si tout allait bien. Elle regarda par terre et, pour me rassurer, me répondit que, oui, tout allait bien. Elle regardait toujours le sol lorsqu'elle mentait.

« Peut-être que je pourrais me rendre utile ? », lui proposai-je.

Alice soupira. C'était l'un de ces soupirs qui donnaient l'illusion qu'elle avait soudainement pris conscience du peu de capacités pulmonaires qu'elle utilisait en temps normal. Si l'on imaginait un diagramme de Venn nous représentant, Alice et moi, on pourrait y voir une belle ellipse commune

qui contenait la musique, les films, la littérature et une croyance générale sur la bonté humaine. Mais, en dehors de ça, nous étions des pôles on ne peut plus opposés et, en de tels moments, Alice me faisait penser que l'ellipse qui rassemblait nos points communs s'effaçait peu à peu. Son expression faciale était une fenêtre ouverte sur nos différences qui ne cessaient de croître. Elle me regarda comme si j'avais dit quelque chose de ridicule.

« C'est par rapport au boulot, tu ne comprendrais pas », rétorqua-t-elle avec mépris.

Alice réagissait beaucoup comme ça depuis qu'elle avait commencé à travailler au Centre Génétique de Beimeni : elle considérait que je ne comprenais pas grand-chose et que je ne portais aucun intérêt à ses recherches. Elle marquait un point. Je ne comprenais ni les maths ni la science, et ce depuis toujours. Je trouvais la science terne et ennuyeuse, sans la moindre émotion. Sans la moindre inspiration. Elle ne pouvait pas vous faire chavirer le cœur comme les notes d'une partition. Mais Alice commettait une erreur : considérer que, comme je ne m'intéressais pas à la science, je ne m'intéressais pas à *elle*, ce qui était entièrement faux : j'étais émerveillé par sa capacité d'analyse et d'évaluation des situations. Elle était l'être doué de la plus grande intelligence que je connaisse et, à vrai dire, même les autres scientifiques s'accordaient à dire qu'elle était brillante. À 21 ans, elle avait gagné la prestigieuse médaille Einstein décernée par la Fédération Internationale de la Science pour ses recherches en génétique. Elle était littéralement géniale, un être doté d'un très haut potentiel ; j'en avais la profonde certitude. Je savais exactement à quel point elle était remarquable et, tous les jours, je contemplais sa passion pour le savoir et la science qui rayonnait depuis chaque particule de son corps, comme j'étais moi-même dévoré par mon amour pour la musique.

Pour être honnête, l'ambiance de ce soir me flanquait la frousse. Je ne saurais dire pourquoi, mais j'étais persuadé qu'Alice avait besoin de quelqu'un. Et je voulais être cette personne. Elle s'était toujours prise d'intérêt pour ma musique, si bien qu'il fallait peut-être que je fasse moi-même l'effort de m'intéresser à la science ; peut-être serait-ce suffisant pour qu'elle me parle de ses soucis.

« Peut-être que je *pourrais* comprendre », dis-je. « Donne-moi une chance ».

Alice soupira. « C'est trop tard pour ça, Zach. Tu ne peux pas simplement tout arranger en m'accordant soudainement un peu d'intérêt. »

Sa franchise me blessa mais sembla également dissoner avec son attitude. Le même album était toujours en train de tourner, comme si cela la réconfortait d'écouter les chansons qui nous avaient réunis. Ses yeux aussi : je n'aurais pas su l'expliquer, mais il y avait *quelque chose* dans ses yeux. Une petite étincelle qui disait « Il n'est *pas* trop tard Zach, s'il te plaît, aide-moi ». Peut-être n'y avait-il rien en réalité, mais il n'y avait qu'une seule manière de le découvrir.

« J'ai lu ça », dis-je en lui passant mon diePad. « Ce gars croit que le Proteus peut causer des tumeurs cérébrales – vraiment. C'est basé sur la science pré-révolutionnaire. Il cite des titres de journaux du siècle dernier : le *Daily Express* déclare que “Juste quelques minutes de téléphone par jour augmentent les ‘risques de cancer’”²; le *Daily Mail*, “Les autorités de santé mettent en garde contre le fait que les téléphones portables peuvent causer le cancer”³; et *US News and World Report*, “L'utilisation des téléphones portables et le cancer : une nouvelle étude suggère un lien.”⁴ Même la BBC et CBS News rapportent que “Les portables peuvent causer des tumeurs cérébrales.”^{5, 6} Cela me semble effrayant. Tu es scientifique, dis-moi comment *toi* tu saurais discerner la vérité dans cette affaire de cancer. »

Alice me regarda avec suspicion. « Les titres sont là pour attirer ton attention. Je chercherais des *faits* », répliqua-t-elle sèchement.

Alice tentait de mettre fin à la conversation mais je n'étais pas près d'abandonner. Je tirai une petite montre à gousset en argent de ma veste. Sur le boîtier en argent était gravé « Reste calme et apprend ». Je pressai le bouton à ressorts afin d'ouvrir le clapet. Déposant la montre à plat dans le creux de ma main, nous contemplions le mécanisme bien familier de son horlogerie : une merveilleuse configuration de rouages, de balanciers et de bijoux rouges, jaunes et bleus positionnés à équidistance à l'intérieur de l'arête circulaire. Les rouages s'accéléraient dans un mouvement flou, jusqu'au point critique où la vélocité des trois bijoux projeta leurs couleurs respectives au-dessus

d'une brume centrale qui se stabilisa rapidement sous la forme opaque d'une tête humaine. La fusion des mécanismes des outils des Horlogiens ne cessait de m'impressionner : comment des ressorts avec un système automatique pouvaient-ils donner l'énergie nécessaire à la création d'une tête artificielle intelligente et fonctionnelle ? Cet appareil était un Contrôleur de Réalité, et la tête qui se trouvait à l'intérieur était connectée à absolument tout. Bien entendu, vous pouviez tout aussi bien effectuer vos recherches en utilisant un Proteus, ou même une puce d'identité si vous en aviez une, mais les Contrôleurs de Réalité ajoutaient quelque chose que rien de ces appareils ne pouvaient vous procurer : un bien meilleur cerveau. Un Contrôleur de Réalité assimilait les données provenant de toute part, les évaluait et donnait la meilleure réponse possible à n'importe quelle question. Fini le temps où l'on croyait à n'importe quelle information dénichée sur Internet sans qu'elle n'ait le moindre sens. Chaque tête avait une personnalité : on pouvait payer pour la personnaliser ou en choisir une modelée avec l'apparence de notre célébrité favorite. Mais pour les moins chères, les personnalités étaient généralement générées aléatoirement. Ceux qui étaient fauchés, comme moi, en achetaient une avec un défaut de fabrication, comme une personnalité tellement excentrique que les fabricants considéraient que personne n'en voudrait. En ce qui me concernait, j'étais tombé sur un type sympa, quoique très extravagant. Il refusait de répondre à tout autre nom que « La Tête », comme s'il s'était lui-même autoproclamé LE modèle définitif. Il avait tendance à répondre aux questions comme il lui plaisait, tout en prenant un malin plaisir à me donner de fausses informations de temps en temps, pour jouer avec mes nerfs. Ce n'était pas vraiment ce qu'on pouvait attendre d'un Contrôleur de Réalité, mais il faut dire que le mien était davantage une sorte d'ami électronique. Je me moquais de savoir si les faits qu'il rapportait étaient justes. Je l'aimais simplement pour ses plaisanteries, son sourire rayonnant et son rire qui respirait le soleil. Il était également plutôt beau gosse, avec son visage ciselé, sa peau noire parfaite, sa coiffure afro et ses lunettes de soleil. Pour un type fait de vapeur, il fallait dire que ce gars était dingue.

« Qu'est-ce que t'as pour moi, Zed ? », dit-il avec son accent créole. Il était la seule personne au monde que j'autorisais à m'appeler « Zed ».

« J'étais en train de discuter avec Alice à propos du fait que les Proteus peuvent causer des tumeurs cérébrales. Elle m'a dit de chercher des preuves. Tu peux m'aider ? »

« Hmm, est-ce que les Proteus créent des tumeurs cérébrales ? Voyons voir... » Le coin de la bouche de La Tête s'allongea en un sourire complice. Il pivota à mesure qu'il cherchait dans sa base de données. « Ils causent le cancer... ». Il sourit avant de pivoter de nouveau. « Ou peut être que non... ». Il tourna encore plus. « Attends... il semble que si... ou que non... ou qu'ils *pourraient*... ou que non... mais probablement. ». Il pivota davantage puis, lorsqu'il revint à une position statique, il se cambra avec excès, fronçant les sourcils comme s'il était sur le point d'annoncer quelque chose de terrifiant. « Mauvaise nouvelle, Zed. Les preuves sont contradictoires », affirma-t-il en grimaçant.

« Ok... et donc, la réponse est... ? » J'élevais le ton de ma voix en espérant qu'il comprenne que sa réponse ne remplissait pas ses obligations de Contrôleur de Réalité.

« Hmm. », bouda-t-il. « Je *pourrais* synthétiser ces faits contradictoires pour toi, mais tu n'aimes pas la science. Donc à la place, je vais te raconter une histoire. C'est davantage à ton niveau. » Comme je le disais, il répondait aux questions à son bon vouloir.

C'était typique de La Tête. Il était rarement évident de savoir s'il était vraiment disposé à m'aider. Je fermai donc son couvercle, le faisant disparaître. Je me posai un instant et lus un article à propos d'un certain Marcolini. Était-ce là le genre de fait dont parlait Alice ? Celle-ci papillonnait nerveusement autour de la pièce mais je suspectai qu'elle avait également entendu l'histoire. Je lui demandai donc si cet article sur Marcolini constituait une preuve sur le fait que les téléphones

peuvent causer le cancer. Elle s'assit à côté de moi. C'était bien là une petite avancée.

« Même si l'on met de côté le fait que cette histoire soit vieille comme le monde, Zach, cela ne nous indique rien. Je compatissais avec M. Marcolini, mais son expérience peut bien être unique ; en soi, cela ne prouve rien. Il pourrait y avoir un millier d'autres personnes qui utilisent leur téléphone autant que M. Marcolini et qui *n'ont pas* développé de cancer. »

CONTRÔLE DE RÉALITÉ 1.1 →

«À l'époque», commença La Tête, «bien avant la Révolution de Réalité, en octobre 2012, la Haute Cour civile d'Italie a soutenu la plaidoirie de M. Innocente Marcolini, revendiquant qu'il avait développé une tumeur cérébrale causée par son utilisation à long terme d'un téléphone portable. Marcolini était alors directeur de commerce et pouvait passer jusqu'à 6 heures par jour au téléphone, et ce pendant 12 ans. Le mec a développé une tumeur non cancéreuse au niveau du ganglion trigéminal – ça se situe dans la tête. Les chirurgiens l'ont retirée mais il souffrait encore. Il a alors réclamé de l'argent à l'INAIL – c'est une agence qui assure les risques de santé en lien avec le travail. Ils ont rejeté sa réclamation et Marcolini est allé jusqu'en Cour d'appel. Tu sais ce qui se passe dans une Cour d'appel? C'est là que les gens font appel pour tout un tas de trucs. Le juge a admis que l'utilisation du téléphone était en cause de son cancer. Cette histoire a fait le tour du monde :

- ⊙ La Cour italienne statue que la tumeur d'un homme est causée par le téléphone portable (*CBS News*, USA)
- ⊙ Les portables peuvent vous causer des tumeurs, la Cour statue (*Sun*, UK)
- ⊙ Les téléphones portables *peuvent* causer des tumeurs cérébrales, la Cour statue sur un cas emblématique (*Daily Mail*, UK)
 - ⊙ Les téléphones portables peuvent causer des tumeurs cérébrales, la Cour statue (*Telegraph*, UK)
 - ⊙ Les téléphones cellulaires peuvent causer des tumeurs cérébrales, la Cour suprême d'Italie statue sur un cas emblématique (*National Post*, Canada)
 - ⊙ L'Italie reconnaît le lien entre mobile et tumeur crânienne (*Le Monde*, France).

Dans une interview accordée à un journal britannique, le *Sun*, Marcolini expliquait : « Ça veut dire beaucoup pour beaucoup de personnes. Je voulais que ce problème devienne public, parce que nous sommes nombreux à ne pas encore connaître les risques que nous encourons... Je voulais que le lien entre ma maladie et l'utilisation du portable ou des téléphones sans fil soit reconnu. Les parents ont besoin de savoir que leurs enfants courent le risque de développer cette maladie. »

CONTRÔLE DE RÉALITÉ 1.1 Une étude de cas basée sur une croyance subjective qui devient un « fait ».

« Mais le juge a reconnu que c'était le cas. Et les juges savent de quoi ils parlent. »

« Peut-être, mais ce ne sont pas des scientifiques. La science n'est pas parfaite, et il est clair que ce n'est pas la seule manière de voir le monde. Toutefois, elle nous apporte un système qui nous permet de trouver des réponses à nos questions. Tu m'as demandé de t'expliquer ce qu'est la science et j'ai essayé, beaucoup de fois, mais le problème est qu'elle t'intimide et que tu refuses de t'y plonger. »

Je sentais que je commençais à battre en retraite. Nous avions déjà vécu ça plusieurs fois auparavant et elle avait raison. J'avais peur qu'en m'ouvrant à son monde, elle se rende compte de ma stupidité. Lorsque je n'arrivais pas à comprendre les maths ou les sciences à l'école, je me sentais inférieur et frustré; je pouvais avoir envie de balancer mon bureau par la fenêtre. Comme j'étais le

gamin cool avec la guitare, je ne pouvais pas demander de l'aide ; je me disais simplement que la musique c'était mon truc, et qu'on n'avait pas besoin des maths et de science pour en faire. Elle a *vraiment* essayé de m'expliquer tout ça avant, mais j'ai *vraiment* refusé de m'engager. Ce soir, cependant, c'était différent. Alice avait l'air désespérée. En même temps, le disque qui tournait en fond était en train de me charger émotionnellement et je me sentais envahi par le besoin d'être là pour elle. J'avais l'intuition que, pour une raison ou une autre, elle avait besoin que je comprenne sa vie pour que j'admette enfin l'importance de la science. Je saisis sa main, plongeai mon regard dans le sien et lui promis que si elle essayait encore une fois, je l'écouterais.

2 LES ROUAGES DE LA SCIENCE

Le processus de la recherche

Alice affichait un air sceptique mais son soulagement était manifeste. Ses yeux alternaient rapidement d'un sens à l'autre. Soudain, son expression changea et je contemplai le premier sourire de la soirée. « Je sais ! », dit-elle, visiblement contente d'elle-même. « Est-ce que tu te souviens quand vous aviez offert un bracelet pour chaque T-shirt acheté pendant ton dernier concert avec *The Reality Enigma*? Après le concert, tu m'as dit que tu avais vendu plus de t-shirts que lors de du dernier, et tu pensais que cela pouvait s'expliquer par ces bracelets gratuits. Qu'est-ce qui t'a fait dire cela ? », demanda-t-elle.

Je haussais les épaules. « Je ne sais pas, c'était juste une intuition ».

« Exactement – et c'est une question à laquelle la science peut répondre pour toi », dit-elle. « Est-ce que tu vends toujours exactement le même nombre de T-shirts à tes concerts ? »

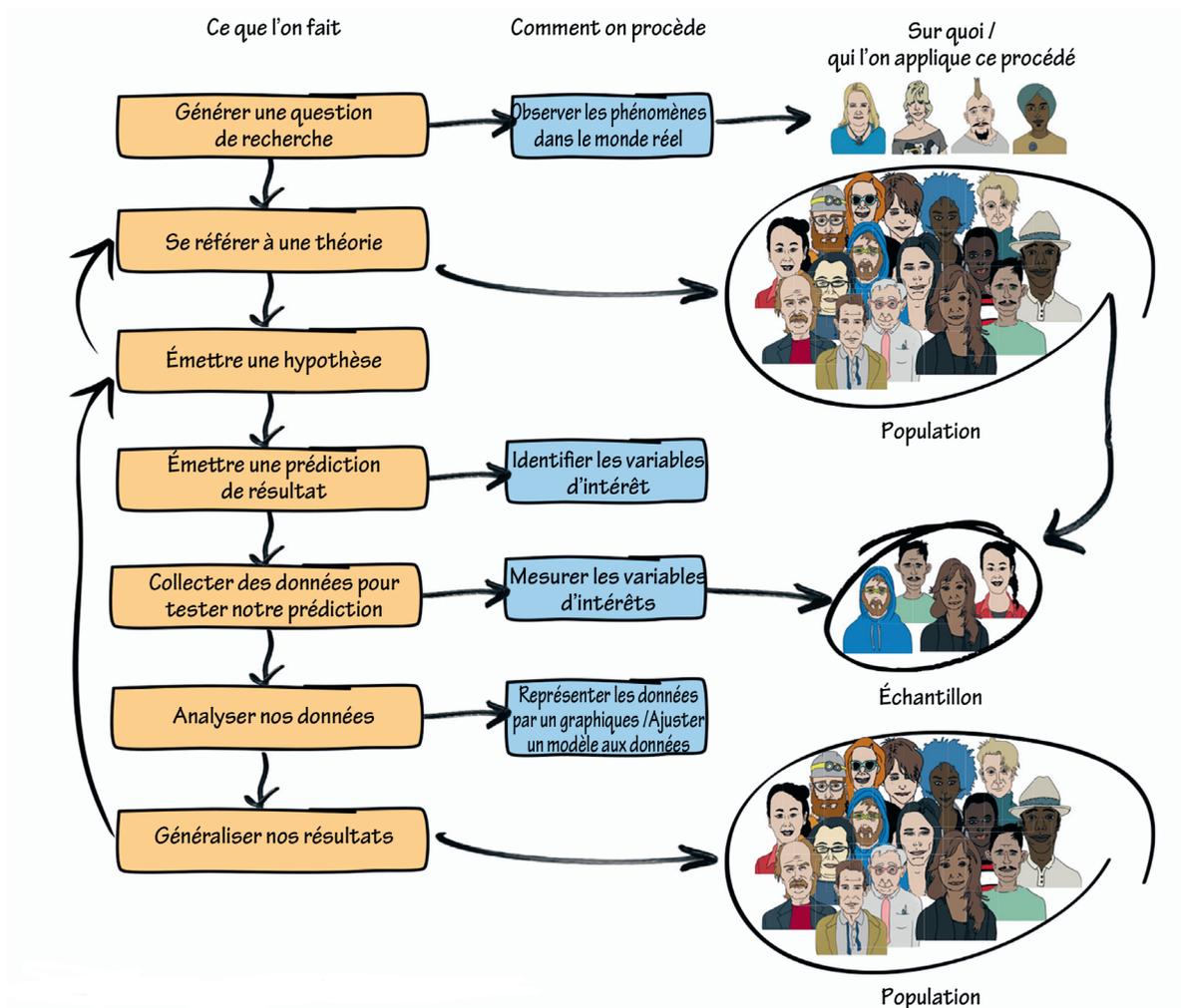
« Non, c'est différent à chaque concert. »

« Ce qui veut dire que cette différence aurait, en effet, pu s'expliquer par les bracelets que vous avez offerts, ou bien parce que c'était simplement un soir où vous avez vendu beaucoup de T-shirts ? » Elle marquait un point. « C'est pour cela qu'il est utile d'avoir un système, comme la science, qui permette d'essayer de trouver la vraie réponse aux questions que l'on se pose. »

Alice prit son Proteus et l'étira en un large écran plat. Elle y esquissa un schéma. « Ce schéma présente le processus scientifique », dit-elle. « Les scientifiques débutent par une observation du monde réel qu'ils ne comprennent pas. Cette observation peut se baser sur des données, comme lorsque tu as remarqué que plus de T-shirts se sont vendus quand tu as offert un bracelet ; mais elle peut aussi se baser sur un fait anecdotique, tel M. Marcolini qui croyait que sa tumeur était causée par l'utilisation de son téléphone. Ces "données" peuvent être des observations isolées, comme lorsque l'on remarque que les gens sont attirés par l'achat d'un T-shirt quand on leur offre un bracelet. Mais elles peuvent également se baser sur autre chose, comme lorsque l'on remarque que neuf personnes sur dix à qui tu as offert un bracelet ont fini par acheter un T-shirt. À partir de ces observations initiales, nous pouvons élaborer une question de recherche. Par exemple, "Est-ce que les cadeaux facilitent la vente de T-shirts ?" ou bien "Est-ce que les Proteus peuvent provoquer un cancer du cerveau ?". Une question de recherche implique que nous essayons de générer une **théorie (theory)**, laquelle renvoie à un principe bien établi ou à un ensemble de principes généraux qui ont pour but d'expliquer un large ensemble d'observations. Par exemple, tu as observé qu'un plus grand nombre de T-shirts s'était vendu lors d'un concert par rapport à un autre : tu pourrais émettre une théorie selon laquelle les gens achètent un produit lorsqu'ils pensent obtenir de la valeur en échange de leur argent. Cette théorie permet d'expliquer le comportement général de tout consommateur. En ce qui te concerne, tu pourrais seulement t'intéresser à ce qui se passe avec ton groupe, *The Reality Enigma*. Mais, en principe, les scientifiques s'intéressent à des théories qui trouvent de très larges applications – ils veulent que leurs théories soient vraies pour toutes leurs observations dans tous les contextes. Un

SCHEMA 1.1

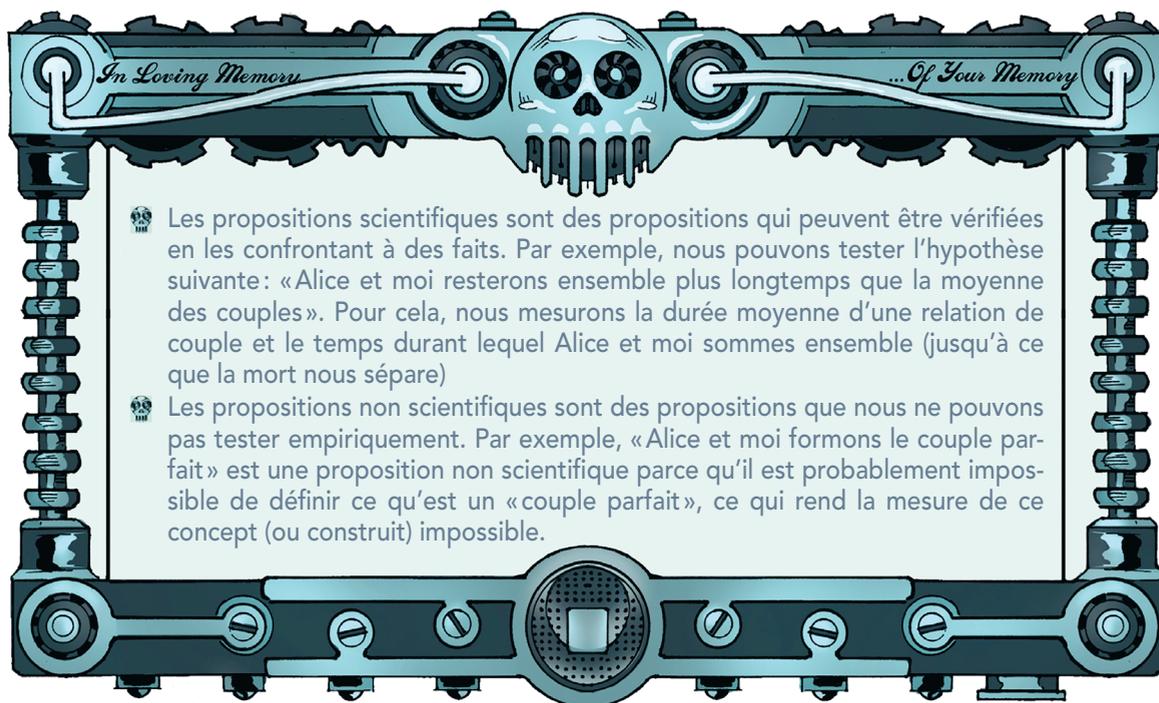
ensemble entier de personnes s'appelle une population (**population**). Une population peut représenter diverses choses (par exemple, tu pourrais chercher à tirer des conclusions vis-à-vis de la vente de T-shirts de chaque groupe de musique sur la planète), mais tu peux aussi être plus spécifique (tu pourrais seulement t'intéresser aux conclusions concernant des groupes qui jouent un certain style de musique, comme le métal). Différents types de scientifiques peuvent se concentrer sur différentes populations. En ce qui me concerne, je travaille dans le domaine de la génétique. Je cherche donc à ce que mes théories se généralisent à l'ensemble de la population humaine, ce qui peut également intéresser les psychologues et les épidémiologistes. En revanche, un économiste pourrait s'intéresser à une population de "petites entreprises" ou de "travailleurs" ou de "gestionnaires", tout comme les biologistes pourraient s'intéresser à une population de "cellules". Nous aspirons à ce que les théories soient générales et qu'elles s'appliquent à la population entière, plutôt qu'à un seul cas spécifique au sein de la population. Si l'on revient à l'exemple du T-shirt, il est beaucoup plus intéressant d'être capable de dire que les cadeaux, en général, aideront n'importe quel groupe (la population) à vendre des T-shirts, plutôt que de conclure que les cadeaux permettent d'augmenter les ventes de T-shirts s'il se trouve que nous faisons partie d'un groupe du nom de *The Reality Enigma*, dont le chanteur et guitariste s'appelle Zach Slade.»



SCHEMA 1.1 Le processus de la recherche

Alice m'adressa un sourire affectueux. Comme j'aimais la voir se détendre un peu. «Nous pouvons utiliser une théorie existante, afin de générer une **hypothèse (hypothesis)**, qui est simplement une proposition qui permettrait d'expliquer une observation spécifique qui nous intéresse. En nous basant sur la théorie du consommateur, nous pourrions émettre l'hypothèse que "les ventes de T-shirts sont plus importantes parce que les cadeaux augmentent la perception de la valeur des choses".

«Nous pouvons tester une hypothèse en tant que prédiction d'un résultat futur. On parle alors d'hypothèse "opérationnelle" (*operational hypothesis*). Dans ce cas, notre hypothèse nous permettrait de prédire que "si un groupe offre un cadeau, il vendra plus de T-shirts". Une prédiction est une proposition scientifique qui peut être vérifiée (ou non) à l'aide de données que nous avons collectées. Cela signifie que nous pouvons décomposer la proposition en plusieurs éléments que nous sommes capable de mesurer : ces phénomènes mesurables portent le nom de **variables (variables)**. Tu m'as dit à l'instant que le nombre de T-shirts que tu avais vendu variait d'un concert à l'autre. Dans ce cas précis, la "vente de T-shirts" est une variable.»



LES NOTES DE ZACH 1.1 Les propositions scientifiques

«Tu veux dire que je peux compter le nombre de T-shirts que nous avons vendus? Je suppose que je peux également noter si nous avons offert, ou non, un cadeau avec le T-shirt pendant le concert?»

«Oui. Nous testons notre hypothèse sur le fait d'offrir des cadeaux en utilisant deux variables : (a) combien de T-shirts ont été vendus et (b) si oui ou non un cadeau a été offert avec le T-shirt. Toutefois, il est courant de rencontrer des propositions non scientifiques, et ces propositions ne peuvent, bien souvent, pas être vérifiées, parce qu'elles renvoient à des phénomènes qui ne peuvent pas être mesurés. Par exemple, "Alice est la meilleure petite copine au monde" – elle me lança un sourire complice – n'est pas une proposition scientifique, car personne ne pourra vraisemblablement s'accorder sur la définition de "meilleure". Différentes personnes évalueront différentes facettes indi-

viduelles (certains évalueront l'apparence, certains l'intelligence, d'autres la gentillesse ou la sociabilité) afin de représenter le concept "meilleur". Toutefois, tu peux transformer cette proposition en une proposition scientifique. Il suffit de changer "meilleur" en un concept (ou "construit" [*construct*]) mesurable, comme l'intelligence. Ainsi, "Alice est la petite copine la plus intelligente au monde" est une proposition scientifiquement valide, parce que l'on peut, en théorie, recruter toutes les petites copines de la planète et mesurer leur intelligence afin de tester cette proposition.»

«D'accord, donc on ne peut pas émettre l'hypothèse que "*The Reality Enigma* est le groupe le plus influent d'Elpis" car ça ne serait pas une proposition scientifique puisqu'il serait impossible de mesurer "l'influence", mais "*The Reality Enigma* est le groupe le plus populaire d'Elpis" est une proposition scientifique parce que nous pourrions mesurer la popularité, par exemple en mesurant le nombre de *likes* de chaque groupe dans sa *Banque-Mnésique*?»