SCIENCE ET PENSÉE CRITIQUE

Par Stéphan Reebs

Faculté des sciences
Université de Moncton
Moncton, NB, Canada

Première édition complète 2020
Dernière révision 2023

SCIENCE ET PENSÉE CRITIQUE

Stéphan Reebs
Faculté des sciences
Université de Moncton

2023

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage s'adresse en premier lieu aux étudiantes et étudiants de la Faculté des sciences de l'Université de Moncton. Il se veut une introduction générale au monde de la science et à la façon de penser des bonnes et bons scientifiques.[1]

Cette façon de penser correspond à ce qu'on appelle souvent la pensée critique, c'est-à-dire exiger de voir les preuves soutenant un énoncé et essayer d'évaluer la qualité de ces preuves. Cette évaluation de qualité consiste souvent à essayer de détecter des erreurs dans la manière dont les preuves ont été obtenues, ou des erreurs dans l'interprétation des faits constituant ces preuves. Une bonne partie du présent ouvrage consiste donc à donner des avertissements vis-à-vis des sources d'erreurs possibles.

La pensée critique est une qualité essentielle de la démarche scientifique, et elle est aussi une bonne qualité à cultiver dans la vie de tous les jours. Quelqu'un qui gradue de la Faculté des sciences devrait être non seulement une bonne scientifique, mais aussi une bonne citoyenne éclairée. C'est dans cette optique que les exemples de pensée critique donnés dans cet ouvrage sont parfois tirés du monde de la science, parfois tirés de la vie de tous les jours.

Cet ouvrage se veut un outil pédagogique. Il comprend donc bon nombre de questions auxquelles l'étudiant peut s'efforcer de répondre afin de jouer mentalement avec les notions présentées. Les réponses aux questions se trouvent dans le chapitre 20.

Bonne lecture!

[1] Note sur l'emploi du masculin et du féminin : Dans la suite de cet ouvrage, j'ai opté pour la politique d'alterner plus ou moins régulièrement entre l'emploi du féminin et l'emploi du masculin pour désigner des personnes, plutôt que de toujours utiliser les deux.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 : C'est quoi la science 1

CHAPITRE 2 : C'est quoi la pensée critique 12

CHAPITRE 3 : Autorité et consensus scientifique 15

CHAPITRE 4 : Le rôle des valeurs personnelles en science 27

CHAPITRE 5 : Les observations, les mesures, et les chiffres 35

CHAPITRE 6 : Danger : Biais de confirmation et picorage 46

CHAPITRE 7 : Danger : Arguments d'ignorance 57

CHAPITRE 8 : Danger : Arguments *post-hoc ergo propter hoc* 62

CHAPITRE 9 : Danger : L'interprétation des corrélations 67

CHAPITRE 10 : Danger : Les échantillons trop petits ou biaisés 73

CHAPITRE 11 : Danger : Le forage de données 79

CHAPITRE 12 : Danger : Les comparaisons pommes vs oranges 84

CHAPITRE 13 : Danger : Différences significatives et différences insignifiantes 88

CHAPITRE 14 : Danger : L'interprétation des pourcentages 94

CHAPITRE 15 : Pensée critique en médecine 97

CHAPITRE 16 : Science et pseudoscience 103

CHAPITRE 17 : Science et religion 108

CHAPITRE 18 : Des listes pour résumer 115

CHAPITRE 19 : 10 conseils aux jeunes scientifiques 124

CHAPITRE 20 : Réponses aux questions 126

CHAPITRE 21 : Index 141

CHAPITRE 1

C'est quoi la science

Pratiquement toutes les définitions de la science font appel à la notion de raison et de logique. La science est une activité qui met l'emphase sur l'utilisation de la raison et de la logique. Mais la science n'est pas la seule activité humaine à utiliser la raison et la logique : la philosophie et la mathématique en font tout autant. Voici donc des définitions (très brèves et rudimentaires) de ces trois activités humaines qui nous permettent de les distinguer :

La science est l'utilisation de la raison et de la logique …
… pour découvrir et expliquer des objets et des phénomènes du monde réel.

La philosophie est l'utilisation de la raison et de la logique …
… pour explorer des idées et obtenir de nouvelles idées qui découlent des premières.

La mathématique est l'utilisation de la raison et de la logique …
… pour jouer avec les nombres et construire des modèles basés sur les nombres.

Les philosophes et les mathématiciens peuvent passer toute leur vie assis dans une chaise, puisqu'ils ou elles travaillent avec des notions abstraites. Une idée est immatérielle, elle vit dans notre tête. Un nombre aussi est essentiellement immatériel (mais il peut bien sûr être utilisé pour représenter des quantités matérielles).

Les scientifiques, pour leur part, se doivent d'appliquer la raison à des faits concrets, à des observations de choses matérielles ou de phénomènes mesurables. Les scientifiques veulent vérifier si leurs idées rationnelles concordent avec la réalité concrète. (Il faut bien admettre qu'une ou un prof d'université qui fait de la recherche scientifique peut aussi passer toute sa vie dans une chaise, en envoyant ses étudiants gradués ou ses techniciennes obtenir les faits concrets, mais il n'en demeure pas moins que les faits concrets sont essentiels à sa démarche).

De par les définitions ci-dessus, la mathématique est une activité distincte de la science. Cependant la mathématique fournit un outil de premier plan pour les scientifiques. De plus, les scientifiques utilisent de la mathématique de haut niveau. C'est une des raisons pour lesquelles, dans pratiquement toutes les universités incluant l'Université de Moncton, les Départements de mathématiques se retrouvent dans les Facultés des sciences.

Notez que **la science n'est pas un bagage de connaissances**. **La science est plutôt une méthode**, une façon d'obtenir des connaissances valides et fiables sur le monde réel. Cette méthode consiste à observer des choses/événements, ou à provoquer des événements dans des expériences, ou à déduire des choses/événements à partir d'autres choses/événements observables, et à fournir une explication rationnelle, logique, pour ces choses/événements observés ou déduits; puis, pour vérifier la validité de cette explication, la méthode **fait des prédictions** à partir de l'explication rationnelle et elle **regarde si ces prédictions se réalisent concrètement** dans des observations supplémentaires ou dans des expériences. Il faut donc que les explications rationnelles proposées par la science soient **validables, vérifiables dans le monde réel**.

SCIENCES PURES vs SCIENCES APPLIQUÉES

Les « sciences pures » (= sciences fondamentales) mettent l'emphase sur l'obtention de connaissances, qu'on le fasse par simple **curiosité** ou par désir de développer quelque chose d'utile avec ces connaissances. « Science pure » est en fait un synonyme de « science » tout court.

> La biologie, la chimie, la biochimie, l'astronomie et la physique sont les disciplines de science pure qu'on retrouve à la Faculté des sciences de l'Université de Moncton. Dans des universités plus grandes, on y rajouterait la géologie et la paléontologie.

Les « sciences appliquées » sont un synonyme de « **technologies** ». Ce sont des disciplines professionnelles qui utilisent les connaissances issues de la science pour développer ou mettre en action des techniques ou outils ou machines **utiles**, dans le but d'améliorer nos conditions de vie.

> L'ingénierie, l'informatique, la pharmacologie, la médecine moderne, et la nutrition sont des exemples de sciences appliquées, de technologies.
>
> Une même personne peut faire à la fois de la science pure et de la science appliquée. Par exemple une biochimiste peut chercher à obtenir des connaissances sur les effets physiologiques d'une molécule (= science pure) et dans un même élan essayer de développer un médicament à partir de cette substance (= science appliquée).

Plusieurs sociétés ou gouvernements veulent prioriser - soutenir financièrement en premier- les projets scientifiques qui dès le départ font miroiter une application pratique plutôt que les études fondées seulement sur la curiosité. Les défendeurs de la curiosité répliquent habituellement qu'il faut aussi soutenir les projets plus abstraits parce qu'on ne sait jamais à quelle application une découverte faite originalement par curiosité pourrait éventuellement mener. C'est un argument valide mais qui a des limites. Je peux penser à beaucoup de recherches scientifiques qui, honnêtement, n'ont aucun potentiel de mener à des applications vraiment utiles. Personnellement, je trouve que de telles recherches valent quand même la peine d'être faites et soutenues tant et aussi longtemps qu'elles sont intéressantes - qu'elles assouvissent la curiosité - pour une bonne partie de la population, et tant et aussi longtemps que la société est assez riche pour pouvoir se le permettre. Je place de telles recherches sur un pied d'égalité avec l'art, la poésie, la musique, le sport, et la culture en général.

> Je trouve aussi que si l'intérêt et la joie de découvrir sont nos principales justifications pour faire une étude scientifique, alors on a une certaine obligation de faire de la **vulgarisation scientifique**, c'est-à-dire de communiquer nos résultats intéressants au grand public (qui a soutenu notre recherche en payant des taxes que le gouvernement a ensuite utilisées pour subventionner notre recherche). Un article de vulgarisation scientifique (comme on en voit dans les magazines ou sur l'internet) n'est pas la même chose qu'un article scientifique (un article de recherche publié dans un périodique scientifique), et il a ses propres règles de rédaction, que je passe sous silence ici.

MATHÉMATIQUES PURES vs MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

Les considérations ci-haut s'appliquent aussi aux mathématiques. Des études peuvent être faites dans le but de découvrir de nouvelles relations entre les nombres ou de nouveaux modèles, seulement par curiosité (= mathématiques pures), et du travail peut aussi être fait dans le but spécifique de développer des outils ou des techniques, mathématiques ou statistiques, qui sont utiles (= mathématiques appliquées).

SCIENCES EXPÉRIMENTALES vs SCIENCES SOCIALES / HUMAINES / etc.

Ici à l'Université de Moncton, tout comme dans bien d'autres universités, nous avons une Faculté des sciences, et une Faculté des sciences sociales. Quelle est la différence?

Les scientifiques des facultés des sciences sont parfois snobs et disent que les sciences sociales ou les sciences humaines ne sont pas de « vraies » sciences. Personnellement je ne suis pas prêt à dire cela. Tant et aussi longtemps que les sociologues, psychologues, historiens, économistes, ou ethnologues (tous des représentants des sciences sociales ou humaines) utilisent la raison pour tenter d'expliquer des faits observés dans la société, et qu'ils essaient de vérifier rigoureusement leurs explications, je suis prêt à dire qu'ils font de la science.

Mais le problème avec les sciences sociales, c'est que souvent les faits qu'elles étudient n'ont pas été observés dans des **situations contrôlées**. Cela rend difficile leur interprétation par la raison.

- Souvent, le paramètre qui nous intéresse et qu'on mesure dans la population humaine est corrélé avec d'autres variables. Donc c'est difficile d'attribuer un effet ou une explication à une seule variable. On ne sait pas laquelle des nombreuses variables corrélées ensemble est responsable de l'effet observé. Les autres variables corrélées sont appelées des **variables confondantes** parce qu'elles viennent confondre notre interprétation des résultats. La meilleure façon d'éliminer les variables confondantes est de faire des expériences dans lesquelles on manipule précisément la constitution de nos groupes expérimentaux et de leurs traitements. Le problème est qu'en sciences sociales les groupes expérimentaux seraient constitués d'humains, et ce ne sont pas toutes les manipulations qui peuvent éthiquement être faites avec des êtres humains.

- Souvent, le paramètre d'intérêt peut avoir plusieurs causes, ce qui fait en sorte qu'il peut y avoir plus qu'une seule explication pour l'effet observé. On ne sait pas laquelle de ces nombreuses explications est la bonne. Les autres explications possibles portent le nom d'**hypothèses alternatives**. Ici encore il faudrait faire des expériences pour éliminer le plus grand nombre possible d'hypothèses alternatives, idéalement jusqu'à n'en conserver qu'une seule qui explique tous les résultats, mais ici aussi il est souvent très difficile de faire cela avec des êtres humains, pour des raisons d'éthique.

Vous devinez donc que dans les sciences « classiques » (Faculté des sciences), l'emphase est plutôt mise sur **l'expérimentation**. On crée soi-même une situation, et on standardise soi-même les variables présentes dans la situation, de façon à pouvoir assigner une seule explication ou une seule cause aux résultats. C'est cette situation artificielle qu'on appelle une **expérience contrôlée**.

> Rappelez-vous qu'**une expérience bien conçue devrait permettre d'éliminer le plus d'hypothèses alternatives possible** (en anglais, on décrit cette façon de procéder avec le terme « *strong inference* ») pour finalement n'en garder qu'une seule qu'on n'aura pas réussi à éliminer, et pour laquelle on aura plutôt obtenu des preuves convaincantes et raisonnables. Il faut donc penser à ces alternatives avant de concevoir l'expérience.
>
> Notez cependant que **l'expérimentation contrôlée** n'est pas la seule façon de travailler à la Faculté des sciences. En biologie par exemple il existe aussi les **expériences « naturelles »**, où on laisse la nature faire varier les conditions et composer les groupes expérimentaux. Vous en verrez un exemple dans l'exemple de la méthode scientifique qui s'en vient.

LES POSTULATS DE BASE (= LE CREDO) DE LA SCIENCE

La science est basée sur les postulats de base que **la nature existe vraiment** (elle n'est pas un rêve), qu'elle opère selon un ensemble de **lois causales qui sont constantes** partout dans l'espace et dans le temps, et qu'il est **possible de comprendre ces lois** en utilisant la raison (et les chiffres).

> Cette position est plus qu'une simple croyance arbitraire. Elle est basée sur ce que l'on vit et voit. **Toutes les observations faites jusqu'à maintenant supportent l'idée que la nature est réelle et régie par des lois immuables**. Les présumés cas d'événements surnaturels ayant enfreint les lois de la nature (ex. : miracles, guérisons suite aux prières) n'ont pas été démontrés de façon convaincante comme étant vraiment surnaturels. De plus, on voit facilement que **la science fonctionne** : les connaissances acquises par la science sont tellement fiables qu'elles ont permis le développement de technologies sures. Beaucoup de ces technologies ont grandement amélioré nos conditions de vie (ex. : électricité, électronique, vaccins, chirurgie, antibiotiques, manipulation génétique, agriculture moderne, transports, ordinateurs, GPS, etc.).

LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE

La science tout entière est une méthode, une qui met l'accent sur la raison, le doute raisonnable, et l'accord entre nos idées et les faits du monde réel. Alors, pourquoi parler de « méthode scientifique » spécifiquement? La « méthode scientifique » est en fait une représentation idéale du déroulement d'une étude scientifique. « Idéale » veut dire qu'il n'est pas nécessaire de suivre exactement toutes les étapes de cette méthode. Il est possible d'entreprendre un projet scientifique qui ne corresponde pas exactement à « la » méthode. Mais elle demeure quand même un bon exemple de démarche à suivre. Elle représente aussi un ordre logique dans lequel présenter au public une recherche scientifique.

Voici donc les **étapes de la méthode scientifique** :

1. Observer et mesurer systématiquement des choses (phénomènes ou objets); ou déduire des choses à partir d'autres choses observées; ou provoquer des choses observables dans des situations particulières.

2. Se poser une question sur ces choses.

3. Proposer une réponse possible à la question, une explication rationnelle, possible et vérifiable pour ces choses observées/déduites (= émettre une hypothèse).

4. Faire une prédiction logique basée sur cette hypothèse.

5. Vérifier si cette prédiction se réalise dans des choses observés systématiquement dans le futur, ou dans des choses déduites à partir de faits observés dans le futur, ou dans des choses observées lors d'expériences qu'on effectue dans le futur.

6. Communiquer ce qu'on a appris ou découvert.

Plusieurs personnes pensent qu'il est essentiel de faire des **expériences contrôlées** pour faire de la science, mais ce n'est pas le cas. Les astronomes, par exemple, ne peuvent pas faire d'expériences (ils ne peuvent pas manipuler les variables astronomiques). Mais ils peuvent quand même tester leurs hypothèses avec des observations supplémentaires obtenues dans la nature. La science est plus caractérisée par **l'observation systématique et le test d'hypothèses** que par l'expérimentation.

Voici les étapes en plus de détails :

1) On observe, mesure, et généralement prend connaissance d'un objet ou phénomène.

On observe cette chose soi-même, idéalement en la quantifiant précisément, ou on apprend l'existence de cette chose en lisant la littérature scientifique. Des choses qui ont simplement été rapportées par « l'homme qui a vu l'homme qui a vu l'ours » devraient être soigneusement vérifiées avant de former la base d'une recherche scientifique.

Exemple fictif: On observe personnellement que, dans notre ville, les étourneaux se perchent sur les cheminées assez souvent (57% des tentatives d'observation) en hiver, mais presque jamais (3%) en été.

2) On se pose une question sur cet objet ou phénomène.

Exemple: Quel est l'avantage pour un étourneau de se percher sur une cheminée en hiver?

Pour faire partie de la démarche scientifique, la question doit pouvoir être répondue par l'intermédiaire d'observations concrètes. Des questions du genre « Pourquoi l'Être Suprême permet-il la douleur dans le Monde? » ou « Combien exactement y avait-il d'espèces de mammifères sur terre en 1524? » ne sont pas scientifiques parce qu'elles ne peuvent pas être répondues concrètement.

3) **On élabore une ou des hypothèses**.

Une hypothèse est une réponse imaginaire (un travail de création intellectuelle), basée sur un raisonnement intelligent, à la question posée. Quand cela est possible, il est bon d'élaborer plusieurs hypothèses pour une même question. Pour être considérées scientifiques, toutes ces hypothèses se doivent d'être testables, vérifiables (= invalidables, potentiellement réfutables – en anglais on dit « *falsifiable* »).

Exemple: Étant donné que les cheminées laissent sortir de l'air chaud, et qu'il fait froid en hiver, peut-être que les étourneaux se perchent sur les cheminées en hiver pour se réchauffer.

Étant donné que les cheminées occupent une position élevée, et qu'il y a des oiseaux de proie dans notre ville en hiver mais pas en été, peut-être que les étourneaux se perchent sur les cheminées pour mieux voir arriver les prédateurs aériens.

4) **On prédit ce qui devrait arriver si chacune de nos hypothèses est vraie**.

Ces prédictions doivent s'appliquer dans des conditions précises. Les conditions peuvent être créées de toute pièce par les scientifiques, en laboratoire ou sur le terrain (= expérience « artificielle »). On peut aussi profiter des conditions déjà créées par la nature, c'est-à-dire les variations naturelles de l'environnement (= expérience « naturelle »).

Exemple: Si les étourneaux utilisent les cheminées comme source de chaleur, on peut prédire que les étourneaux se percheraient en plus grand nombre et plus souvent sur les cheminées lors des journées très froides par rapport aux journées moins froides. Il suffit donc de mesurer le taux d'occupation des cheminées lors de plusieurs journées hivernales qui diffèrent de par leur température ambiante. On pourrait en profiter pour mesurer l'activité des prédateurs aériens pour voir s'ils chassent plus ou moins souvent quand il fait froid.

5) On exécute l'expérience ou les observations, on recueille les données avec précision et de façon non biaisée, et on évalue dans quelle mesure l'hypothèse est supportée.

Si la prédiction ne se réalise pas, l'hypothèse est rejetée, du moins dans sa forme actuelle (il est possible de modifier l'hypothèse plus tard afin qu'elle corresponde aux résultats, et de la tester encore sous cette nouvelle forme). Si la prédiction se réalise, l'hypothèse est supportée, du moins pour l'instant (des études futures pourraient la rejeter en faveur d'une autre hypothèse encore meilleure). L'hypothèse devient très convaincante si l'expérience non seulement la soutient mais rejette aussi en même temps beaucoup d'autres hypothèses compétitrices, et si d'autres expériences continuent à soutenir l'hypothèse.

Exemple: Nos observations supplémentaires révèlent que plus il fait froid, plus les étourneaux utilisent les cheminées. Notre première hypothèse (cheminées comme source de chaleur) est donc supportée. On observe aussi que les prédateurs aériens ne sont pas plus actifs quand il fait froid; cette hypothèse ne peut donc pas expliquer nos résultats. Mais l'hypothèse anti-prédateur n'est pas nécessairement rejetée parce que nous n'avions pas fait de prédictions spécifiques basées sur elle. Nous savons maintenant que les étourneaux utilisent les cheminées comme source de chaleur, mais on ne peut rien dire sur l'avantage anti-prédateur. Peut-être que cet avantage existe <u>en plus</u> de l'avantage thermorégulateur. Il faut faire d'autres expériences ou d'autres observations pour tester cette possibilité.

6) On communique nos résultats à la communauté scientifique, et même à la société en général.

Toute recherche scientifique qui donne des résultats concluants doit être publiée sous forme de rapport technique (habituellement au gouvernement) ou sous forme d'article scientifique dans une revue scientifique spécialisée. Avant d'être acceptés pour publication, les articles scientifiques sont rigoureusement évalués par des spécialistes du domaine qui s'assurent que la recherche a été bien conçue et que les résultats ont été bien interprétés (on appelle ces personnes des « arbitres »). Une recherche publiée est donc normalement très crédible et peut former la base de futures études. Un article scientifique peut aussi être à la base d'un futur article de vulgarisation dans lequel les résultats d'une étude ou d'un grand programme de recherche sont communiqués au public en général (la vulgarisation est une activité que tous les scientifiques devraient s'efforcer de pratiquer, bien que l'appétit du grand public pour la science soit quelque peu inégal: ça dépend du domaine, du niveau de complexité, et de la situation socio-économique).

Exemple: On soumet à la revue scientifique d'ornithologie « Condor » un article scientifique intitulé « Cheminées comme source de chaleur pour les étourneaux urbains en hiver ». Les arbitres apprécient la qualité de cette recherche et l'article est accepté pour publication. Comme d'habitude, ça va prendre quelques mois avant que le numéro qui contient l'article soit finalement publié. En attendant, on publie dans la revue populaire « Le Naturaliste du Nouveau-Brunswick » un petit article intitulé « Étourneaux au coin du feu ».

ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION :

a) Deux des étapes (1 et 5) demandent de décrire ou de mesurer des choses. Il est important de **bien définir** ces « choses », pour que tout le monde s'entende. Il faut donner des critères précis qui définissent le paramètre qu'on observe et/ou qu'on mesure.

b) Il faut que les mesures soient bien prises, le plus exactement et systématiquement possible. Si une étude ne vaut pas la peine d'être bien faite, elle ne vaut pas la peine d'être faite du tout.

c) Ma description de la méthode inclut les « faits déduits ». La science accepte de trouver la vérité par inférence, par déduction logique, sans observer le phénomène directement. Par exemple : (1) on sait que le centre de la terre est une boule de fer semi-solide, pas parce qu'on l'a vue directement, mais plutôt parce que c'est la seule explication logique pour les patrons de réflexions d'ondes séismiques captées après un tremblement de terre, pour l'existence d'un champ magnétique terrestre, et pour la masse calculée de la terre; (2) les atomes et les électrons ne sont pas observables directement, mais leur existence est la seule explication possible pour un grand nombre de phénomènes chimiques et physiques qui, eux, sont mesurables; (3) il n'a jamais été observé directement que la terre tourne autour du soleil, plutôt que l'inverse, mais c'est la seule façon raisonnable d'expliquer le mouvement particulier des étoiles et des planètes qu'on observe dans le ciel.

d) Il faut éviter de développer une attache sentimentale envers certaines hypothèses. Si nos préjugés sont trop forts envers ou contre certaines hypothèses, on devient **biaisé**. On coure le risque de « tricher » inconsciemment en prenant les données, ou de fermer les yeux envers certains aspects des données, ou de mal interpréter les résultats (voir les chapitres futurs sur les dangers). Il faut essayer de demeurer objectif lors de la conception de l'expérience, lors de la prise des données, et lors de l'analyse des résultats. Certains diraient même qu'il faut être le plus rigoureux possible et essayer le mieux possible de réfuter notre hypothèse favorite, si on en a une. Il faut se mettre dans la peau de notre pire ennemi et essayer de prévoir quelle critique il va faire à notre étude. Plus une hypothèse résiste aux bons essais de prouver qu'elle est fausse, et plus elle résiste aux critiques raisonnables, alors plus elle devient convaincante.

e) Presque toutes les études scientifiques ont recours à la **comparaison**. On peut comparer un groupe expérimental (dans lequel on a manipulé une variable) à un groupe témoin (variable non-manipulée). On peut comparer entre eux plusieurs groupes expérimentaux dans lesquels on a manipulé (ou on a laissé la nature manipuler) une variable à différents niveaux, comme par exemple les différentes températures (jours) dans l'exemple des étourneaux ci-haut. On peut aussi comparer entre elles plusieurs espèces ou plusieurs groupes déjà formés en nature.

f) En philosophie des sciences, il est impossible de « **prouver** » une hypothèse de manière définitive par la méthode scientifique. (Philosophiquement parlant, c'est seulement dans le domaine des mathématiques qu'on peut prouver des théorèmes de façon absolue.) On peut « **supporter** » une hypothèse, mais « prouver » veut dire qu'aucune autre hypothèse ne peut expliquer les mêmes résultats, et qui sait si une autre hypothèse ne pourrait pas être imaginée dans le futur? À noter cependant qu'il est possible de « prouver » une hypothèse dans le sens du parler de tous les jours, dans le sens de « **prouver hors de tout doute raisonnable** », dans le sens qu'on reconnait que quelque chose est essentiellement vrai. Par exemple, la théorie de la gravité universelle, la théorie de l'évolution, et la théorie de la constitution atomique de la matière ont toutes été « prouvées » (hors de tout doute raisonnable) par la science, et sont reconnues comme décrivant adéquatement la réalité. Rappelez-vous cependant qu'une seule étude scientifique ne peut pas vraiment prouver quelque chose hors de tout doute raisonnable. Pour ce faire, ça prend plusieurs études qui se confirment les unes les autres et qui apportent du support à partir de plusieurs approches différentes – ce qu'on appelle la « **convergence des preuves** ».

g) Pour vous les amateurs de beaux termes philosophiques : l'**induction** est l'action d'aller du particulier au général, la formulation d'une idée générale à partir d'un ensemble de plusieurs faits individuels. Dans la méthode scientifique elle correspond à l'étape d'élaborer une hypothèse à partir des faits observés à l'étape 1. A l'inverse, la **déduction** est l'action d'aller du général au particulier. Dans la méthode scientifique elle correspond à l'étape de faire une prédiction (dire ce qui arriverait dans telle ou telle condition particulière si l'hypothèse – une idée générale – était vraie).

h) J'ai déjà mentionné que la « méthode scientifique » n'est pas la seule façon de faire de la recherche scientifique. C'est qu'on peut se contenter d'en faire seulement une partie. **La science a deux missions**, une mineure et une majeure. La mission mineure de la science est de **décrire le monde**, faire des découvertes, documenter les choses. Ici tout ce qu'il faut est un programme d'observations systématiques et une prise de mesures non-biaisée. C'est essentiellement se limiter à l'étape 1 de la méthode scientifique. La mission majeure est d'**expliquer le monde**, de répondre aux questions « comment » et « pourquoi ». Ici, il sera difficile de procéder sans la pleine méthode scientifique, mais on peut quand même concevoir des efforts purement théoriques (seulement émettre des hypothèses, ou une explication généraliste, mais sans tester ces hypothèses soi-même). On se contente de l'étape 3 de la méthode. Les **études descriptives** (étape 1) et les **études théoriques** (étape 3) font partie de la science même si elles n'utilisent pas la pleine méthode scientifique.

i) La science en général, et certaines des étapes de la méthode scientifique en particulier, peuvent satisfaire plusieurs tempéraments différents : détective, collectionneur et classeur, amateur de puzzles et de problèmes, bricoleur (instrumentation scientifique), penseur, explorateur, joueur, amant des nombres et des représentations abstraites, créateur (d'hypothèses ou de situations expérimentales), écrivain (communication scientifique).

j) La dernière étape de la méthode (**communication**) est souvent sous-estimée. Elle est néanmoins très importante, en particulier la partie qui consiste à dire clairement à tout le monde comment on a fait notre étude et comment on en est arrivé à nos conclusions. Cela permet à d'autres scientifiques d'essayer de répliquer notre étude, ou de détecter des erreurs dans la façon dont on a fait notre étude ou interprété nos résultats. Les scientifiques adorent corriger les erreurs des autres. Cela fait de la science une activité auto-correctrice. La concordance entre multiples recherches permet d'avoir confiance dans la validité des connaissances scientifiques, d'avoir confiance que ce qu'on a découvert est une vérité.

Tout le monde peut faire de la science

Je suis un professeur de biologie à la Faculté des sciences, mais je ne suis pas snob. Je pense que les profs des facultés de sciences sociales ou de sciences humaines font aussi de la science, tant et aussi longtemps qu'ils ou elles cherchent les **causes naturelles** des phénomènes qui les intéressent en faisant des **hypothèses**, en faisant des **prédictions** à partir de ces hypothèses, et en vérifiant si ces prédictions se réalisent suite à des **observations systématiques** et bien faites du monde réel. À vrai dire, n'importe quelle personne qui fait cela fait de la science.

Josée entre dans une pièce et allume la lumière du plafond, mais l'ampoule reste éteinte. La première réaction de Josée n'est pas de penser qu'un dieu lui joue un tour ou qu'un fantôme hante la pièce et cherche à rester dans la noirceur. Elle pense plutôt à trouver la cause naturelle du mauvais fonctionnement en faisant des hypothèses et des prédictions :

- Elle fait d'abord l'hypothèse que des vibrations ont dévissé l'ampoule. La prédiction est simple : revisser l'ampoule va rétablir son bon fonctionnement.
- Si cette prédiction ne se réalise pas, elle peut maintenant faire l'hypothèse que l'ampoule est brûlée. La prédiction est qu'une nouvelle ampoule va, elle, s'allumer. On peut aussi prédire que la vieille ampoule ne s'allumerait pas si installée dans la douille (*socket*) d'une autre lumière qui, elle, fonctionne.
- Sinon, elle fait l'hypothèse qu'un fusible a sauté. La prédiction est que d'autres lumières ne fonctionneront pas, mais seulement si elles sont sur le même circuit. Une prédiction plus banale est que réactiver ou changer le fusible va permettre à la lumière de s'allumer.
- Sinon, elle peut faire l'hypothèse qu'il y a une panne de courant. La prédiction est qu'aucun mécanisme électrique va fonctionner dans la maison, et que les maisons des voisins ne montreront aucun signe de fonction électrique elles non plus.
- Même si toutes ces prédictions ne se réalisent pas, Josée n'aura toujours pas recours à des explications surnaturelles. Elle continuera de faire des hypothèses sensées, mais moins probables maintenant, comme une disjonction quelconque dans l'interrupteur ou dans la douille, ou même une souris qui aurait rongé et coupé le fil électrique dans le mur. Elle devra faire appel à un électricien professionnel pour la vérification de ces hypothèses.

Dans tout cela, Josée s'est comportée comme une scientifique. Toute personne qui « cherche à trouver » en faisant des hypothèses de causes naturelles, en faisant des prédictions à partir de ces hypothèses, et en faisant des observations attentives, systématiques et non-biaisées pour voir si les prédictions se réalisent, fait de la science. Elle n'en fait peut-être pas une profession, mais elle en fait quand même. Ainsi, je suis prêt à dire que les personnes suivantes font de la science :

- Le plombier qui cherche à trouver la cause d'un blocage de tuyau.
- Le policier enquêteur qui cherche à trouver le coupable d'un meurtre.
- L'amant des oiseaux qui cherche le meilleur endroit où installer sa mangeoire en essayant différents endroits dans sa cour et en comptant combien d'oiseaux fréquentent chacun; il peut faire des expériences similaires pour trouver la sorte de graines préférées des oiseaux.

Une des missions de la science étant de documenter la nature par des observations systématiques (pouvant éventuellement mener à des interrogations et des recherches), les personnes suivantes font ce qu'on appelle de la **science participative** (= science citoyenne, = *citizen science*) :

- L'astronome amateur qui cherche de nouvelles comètes ou supernovas dans le ciel.
- La météorologue amateure qui note systématiquement les paramètres météo chez elle.
- L'ornithologue amateur qui participe à des recensements de populations d'oiseaux.

QUESTIONS :

Q1 Si, contrairement à ce que postule la science, les lois de la nature étaient aléatoires plutôt que constantes, la technologie serait-elle possible?

Q2 Dans son excellent livre « Mystère sans magie », le biologiste Cyrille Barrette dit que la plupart des ouvrages de science-fiction sont en fait des ouvrages de technologie-fiction. Dans la même veine il dit que la plupart des reportages scientifiques dans les médias ne parlent pas vraiment de science, mais plutôt de technologie. Êtes-vous d'accord avec lui? Pourquoi est-ce que science et technologie sont si facilement confondues?

Q3 Les admirateurs de la science parlent souvent des merveilleuses applications que les connaissances obtenues par la science ont permises (électricité, antibiotiques, ordinateurs, etc.). Par contre, les détracteurs de la science parlent souvent des mauvaises applications que les connaissances obtenues par la science ont permises (bombe atomique, pollution, effets environnementaux des pesticides, etc.). Est-ce que c'est une bonne idée d'utiliser la technologie pour justifier la science?

Q4 À quelle partie du credo (postulat de base) scientifique la citation suivante du biologiste Cyrille Barrette (dans son livre « Mystère sans magie ») fait-elle allusion? « La nature résiste souvent à nos avances pour la découvrir et la comprendre, mais elle joue franc-jeu. Il est difficile de la faire parler, mais quand elle parle, elle dit la vérité; elle ne tient pas un double langage et elle ne se contredit pas. Cela ne veut pas dire qu'on réussit toujours à la faire parler ou qu'on comprend toujours ce qu'elle nous dit, mais quand on y arrive, on sait qu'elle ne dira pas le contraire le lendemain. La nature obéit à des lois; il nous suffit de les découvrir pour comprendre le pourquoi et les comment de ce qu'elle est et de ce qu'elle fait. La nature est une bonne citoyenne, elle ne viole pas ses lois. »

Q5 Vous remarquez que, année après année, le gazon pousse moins bien sous les arbres de votre cour arrière qu'en plein milieu de la cour. Décrivez une « méthode scientifique » que vous pourriez lancer et exécuter à partir de cette observation.

Q6 J'ai écrit qu'il n'est pas nécessaire de faire des expériences contrôlées pour faire de la science, et j'ai donné l'astronomie comme exemple. Pouvez-vous penser à d'autres exemples de disciplines scientifiques qui peuvent faire progresser les connaissances sans faire d'expériences contrôlées?

Q7 Les physiciens qui travaillent sur la théorie des cordes (*string theory*) s'affairent à bâtir un modèle mathématique qui décrit toutes les forces et toutes les formes de la matière. Mais la théorie des cordes est, présentement, intestable. Pour l'instant avec notre technologie actuelle il n'existe aucune façon de tester empiriquement si le modèle de la théorie des cordes est valide. Les physiciens de la théorie des cordes font-ils de la science?

Q8 Dans les universités anglophones, et dans les universités québécoises, le diplôme de 3^{e} cycle en science est le PhD (dans les universités francophones hors-Québec, c'est le « doctorat de recherche »). PhD est l'abréviation de *Philosophiae doctor*, littéralement « docteur en philosophie ». Ici « philosophie » est pris dans son sens littéral, c'est-à-dire « amant du savoir » plutôt que dans le sens de la discipline qui applique la raison et la logique à l'étude des idées, comme je l'ai défini au début du présent chapitre. Mais à bien y penser, n'y a-t-il pas un sens dans lequel toute bonne scientifique est aussi une bonne philosophe en tant que discipline?

Q9 J'ai dit que la science est une méthode, pas un bagage de connaissances. Alors, les « connaissances scientifiques », c'est quoi?

CITATIONS:

« En science, la seule bonne raison de « croire », c'est-à-dire d'accepter une théorie ou une conclusion, ce sont les faits. (…) Le fait a toujours raison et la théorie doit s'en accommoder. Seuls les faits ont une autorité absolue en science. » – *Cyrille Barrette, dans Mystère sans magie.*

« For the truth of the conclusions of physical science, observation is the supreme Court of Appeal. » – *Sir Arthur Stanley Eddington.*

« The great tragedy of science: the slaying of a beautiful hypothesis by an ugly fact. » – *T.H. Huxley*.

« La méthode scientifique, c'est faire tout ce qu'il faut pour éviter de penser que quelque chose est vrai alors que c'est faux, ou pour éviter de penser que quelque chose est faux alors que c'est vrai. » – *Neil DeGrasse Tyson (traduction).*

« I have always viewed science as being like a detective game. Our curiosity drives us to seek solutions to nature's mysteries. To do so, we must use the tools of observation and experimentation to "interrogate" our subjects and get them to reveal clues. Some clues will be misleading, and only replication and new experimentation can separate the false from the true. Each clue points the way to another, in a never-ending chase for knowledge. To the scientist, nothing is more intellectually stimulating than being on the chase." – *Steve Emlen*

« Science is perhaps best conceived as a family of activities that share a common base provided by reliance on empirically testable hypotheses and on rationally constructed theoretical frameworks. (…) A reasonable view of science: yes, it is a subjective human activity affected by psychological and social vagaries; but no, it is not an arbitrary activity, and it does make progress, albeit always tentatively and in a way that is constantly subject to the possibility of revision. » – *Massimo Pigliucci, dans Nonsense on Stilts.*

« The mark of real science is that it tests between alternative hypotheses, makes novel testable predictions, handles recurrent anomalies, and constructs strong arguments for its conclusions. » – *Harmon R. Holcomb III, dans Skeptic 4 (1): 66.*

« (Science is) a set of methods designed to describe and interpret observed or inferred phenomena, past or present, and aimed at building a testable body of knowledge open to rejection or confirmation. » – *Michael Shermer, dans Why People Believe Weird Things.*

« La science est l'asymptote de la vérité. » – *Victor Hugo.*

« Vous n'êtes pas faits pour vivre comme des brutes, mais pour chercher la vertu et la science. » – *Dante Alighieri, dans La Divine Comédie (1321) (traduction).*

LIVRES :

Barrette, C. 2006. **Mystère sans magie : Science, doute et vérité : notre seul espoir pour l'avenir.** Éditions Multi-Mondes, Québec. Disponible sur les tablettes (Q158.5 B37) et aussi en ligne à la Bibliothèque Champlain. Facile à lire et très inspirant.

Medawar, Peter B. 1967. **The Art of the Soluble**. Methuen: London. Sur les tablettes de la Bibliothèque Champlain: Q 175.1 M433. Un classique, par un médaillé britannique de Prix Nobel.

CHAPITRE 2

C'est quoi la pensée critique

> « Le dur chemin de la vérité passe par le doute. » – *Cyrille Barrette*
>
> « A wise man proportions his beliefs to the evidence. » – *David Hume (1758)*
>
> « Laisser toutes les portes ouvertes, mais en défendre férocement l'accès. » – *Jean Rostand*
>
> « We should be open-minded, but not so open-minded that our brain falls out. »
> – *James Oberg*

Faire preuve de pensée critique, c'est utiliser la raison et de bonnes informations complètes pour évaluer le bien-fondé d'un point de vue ou d'un énoncé. Appliquer la pensée critique, ça consiste à ne pas tout prendre pour de l'argent comptant. Ça consiste plutôt à **exiger de voir toutes les preuves** (« *evidence* », en anglais) qui appuient (ou contredisent) un énoncé, et à **évaluer le plus objectivement et rationnellement possible la qualité et la quantité de ces preuves.**

Le **scepticisme scientifique** (aussi appelé scepticisme contemporain, scepticisme rationnel, ou zététique) est la position philosophique qui consiste à privilégier la pensée critique.

> Dans ce contexte, les sceptiques ne sont pas des cyniques qui doutent de tout. Elles sont plutôt des personnes qui demandent de voir des preuves afin d'évaluer la véracité d'un énoncé. Les sceptiques reconnaissent comme faux les énoncés ou hypothèses pour lesquels il y a de bonnes preuves qu'ils sont faux, reconnaissent comme vrais les énoncés ou hypothèses pour lesquels il y a de bonnes preuves qu'ils sont vrais, et reconnaissent comme incertains et dignes d'études futures les énoncés ou hypothèses pour lesquels les preuves sont encore vagues, difficiles à interpréter, ou contradictoires.

Les sceptiques reconnaissent que **la science est le meilleur outil que l'être humain possède** afin de trouver la vérité, car la science s'appuie sur la raison et l'obtention de preuves concrètes.

En tant que **mouvement social**, les sceptiques scientifiques s'efforcent de :

1. Promouvoir la pensée critique et la science au sein de la population en général.

2. Exposer les erreurs de nos croyances pour lesquelles il n'y a pas de bonnes preuves, ou pour lesquelles les preuves sont négatives (ex. : astrologie, paranormal, superstition, clairvoyance, complotisme, perception extra-sensorielle, médecine douce, cures miracles, etc.).

3. Sensibiliser les gens aux limites de nos cerveaux, comme les limites de notre mémoire et de notre attention, et nos divers biais cognitifs (dont on reparlera dans de prochains chapitres).

4. Encourager la libre pensée et la liberté d'enquête, sans entrave par la politique ou la religion.

RESSOURCES INTERNET:

https://www.sceptiques.qc.ca/	(Association : Les Sceptiques du Québec).
http://www.skeptic.com	(Association : the Skeptics Society – É.-U.).
https://centerforinquiry.org/	(Association : the Center for Inquiry – É.-U.).
http://www.zetetique.org	(Association : le Cercle Zététique – France).
https://www.mcgill.ca/oss/	(Office for Science and Society – McGill U.).
http://www.skepdic.com/	(Une encyclopédie de la pensée critique)

MAGAZINES :

Le Québec Sceptique (voir première ressource internet ci-haut).
Skeptic (voir 2e ressource internet ci-haut).
Skeptical Inquirer (voir 3e ressource internet ci-haut, et https://skepticalinquirer.org/).

LIVRES :

Sagan, Carl., 1996, **The Demon-Haunted World**, Random House: New York. Un classique de la littérature sceptique américaine, par un astronome et vulgarisateur scientifique de renom. Disponible sur les tablettes de la Bibliothèque Champlain : Q175 S215.

Baillargeon, Normand. 2006. **Petit cours d'autodéfense intellectuelle**. Lux, Montréal. Disponible sur les tablettes de la Bibliothèque Champlain : BC 177 B35.

Arp. R., Barbone, S., et Bruce, M. (eds.), 2018, **Bad Arguments : 100 of the most Important Fallacies in Western Philosophy**, Wiley-Blackwell : Hoboken (NY); Bibliothèque Champlain : BC 175 B333 2019 (en ligne); une approche encyclopédique qui demeure très facile à lire. Pour une approche similaire, voir aussi : **The Skeptics' Guide to the Universe**, 2018, par Steven Novella.

Shermer, M., 2002, **Why People Believe Weird Things**, St Martin`s Griffin : New York. La version révisée de l'excellent original de 1997, par un auteur prolifique au sein du mouvement sceptique. Michael Shermer a aussi écrit « **The Believing Brain** », « **Science Friction** », et « **The Borderlands of Science** ».

Chabris, C., et Simons, D. 2010, **The Invisible Gorilla (and Other Ways our Intuitions Deceive Us)**, Crown Publishers: New York. Un livre fascinant sur l'imperfection de notre attention, de notre mémoire, de notre confiance en soi, de nos capacités mentales, et de nos tendances à voir des patrons et des causes là où il n'y a que hasard et coïncidence.

Nardi, Peter M. 2017. **Critical Thinking : Tools for Evaluating Research.** University of California Press, Oakland. Bibliothèque Champlain: B809.2 N37 (en ligne).

Park, Robert L. 2008. **Superstition : Belief in the Age of Science.** Princeton University Press, Princeton. Bibliothèque Champlain: BL240.3 P37 (en ligne).

CITATIONS :

« Don't you believe in flying saucers, they ask me? Don't you believe in telepathy? — in ancient astronauts? — in the Bermuda triangle? — in life after death? No, I reply. No, no, no, no, and again no. One person recently, goaded into desperation by the litany of unrelieved negation, burst out "Don't you believe in *anything*?" "Yes", I said. "I believe in evidence. I believe in observation, measurement, and reasoning, confirmed by independent observers. I'll believe anything, no matter how wild and ridiculous, if there is evidence for it. The wilder and more ridiculous something is, however, the firmer and more solid the evidence will have to be. » – *Isaac Asimov, dans The Roving Mind.*

« What does it mean to be a skeptic? Some people believe that skepticism is rejection of new ideas, or worse, they confuse "skeptic" with "cynic" and think that skeptics are a bunch of grumpy curmudgeons unwilling to accept any claim that challenges the status quo. This is wrong. Skepticism is a provisional approach to claims. It is the application of reason to any and all ideas - - no sacred cows allowed. In other words, skepticism is a method, not a position. Ideally, skeptics do not go into an investigation closed to the possibility that a phenomenon might be real or that a claim might be true. When we say we are "skeptical," we mean that we must see compelling evidence before we believe. Skeptics are from Missouri - - the "show me" state. When we hear a fantastic claim we say, "that's nice, prove it."

Skepticism has a long historical tradition dating back to ancient Greece when Socrates observed: "All I know is that I know nothing." But this pure position is sterile and unproductive and held by virtually no one. If you are skeptical about everything, you would have to be skeptical of your own skepticism. Like the decaying subatomic particle, pure skepticism uncoils and spins off the viewing screen of our intellectual cloud chamber. Modern skepticism is embodied in the scientific method, that involves gathering data to formulate and test naturalistic explanations for natural phenomena. A claim becomes factual when it is confirmed to such an extent it would be reasonable to offer temporary agreement. But all facts in science are provisional and subject to challenge, and therefore skepticism is a method leading to provisional conclusions. Some claims, such as water dowsing, ESP, and creationism, have been tested (and failed the tests) often enough that we can provisionally conclude that they are not valid. Other claims, such as hypnosis, the origins of language, and black holes, have been tested but results are inconclusive so we must continue formulating and testing hypotheses and theories until we can reach a provisional conclusion.

The key to skepticism is to continuously and vigorously apply the methods of science to navigate the treacherous straits between "know nothing" skepticism and "anything goes" credulity. Over three centuries ago the French philosopher and skeptic, René Descartes, after one of the most thorough skeptical purges in intellectual history, concluded that he knew one thing for certain: *Cogito ergo sum* - - I think therefore I am. But evolution may have designed us in the other direction. Humans evolved to be pattern-seeking, cause-inferring animals, shaped by nature to find meaningful relationships in the world. Those who were best at doing this left behind the most offspring. We are their descendants. In other words, to be human is to think. To paraphrase Descartes: *Sum Ergo Cognito* - - I Am Therefore I Think. »

– Michael Shermer, éditeur, préface dans Skeptic Magazine.

CHAPITRE 3

Autorité et consensus scientifique

Un **argument d'autorité** consiste à accepter quelque chose comme vrai simplement parce que quelqu'un en position d'autorité l'a dit. En pensée critique, les arguments d'autorité sont **dangereux**. Il n'y a pas de garantie qu'une personne ait raison simplement parce qu'elle est en position d'autorité. Peut-être qu'elle a raison, mais peut-être aussi qu'elle a tort. Les personnes en position d'autorité peuvent se tromper, surtout quand elles se prononcent sur des sujets en dehors de leur champ d'expertise ou quand elles sont les seules à soutenir une idée.

Exemples d'argument d'autorité dans la vie de tous les jours :

> « Mon père y croyait, donc j'y crois moi aussi. »
>
> « Je l'ai lu dans un livre, donc c'est vrai. » (On place l'auteur en position d'autorité.)
>
> « Mon prof me l'a dit, donc c'est vrai. »
>
> « Le premier ministre l'affirme; il a sûrement raison. »
>
> « Ce gagnant de Prix Nobel soutient cette cause; il doit savoir ce qu'il fait. »
>
> « Mon idole de cinéma supporte ce produit; ça doit être un bon produit. »

Un argument similaire est **l'argument du peuple (= *ad populum*)** qui consiste à dire que quelque chose est vrai simplement parce que la majorité des gens y croient. C'est **dangereux** : la majorité des gens ont peut-être raison, mais peut-être aussi qu'ils ont tort. Il existe certainement des exemples de majorités ayant tort : il était un temps où tout le monde croyait que la Terre était plate; une majorité d'Américains n'acceptent pas la théorie de l'évolution par sélection naturelle; beaucoup de gens croient que les chiropracticiens peuvent aider à guérir des maux autres que le mal de dos.

Exemples d'arguments du peuple :

> « Il y a beaucoup de magasins qui vendent des médicaments naturels; c'est signe que la médecine douce fonctionne. »
>
> « Ce produit coûte cher (beaucoup de gens sont prêts à payer pour l'avoir); il doit être bon. »
>
> « Il y a beaucoup de gens qui le disent, vous savez. »
>
> « Cette pratique est très bonne. D'ailleurs, elle a commencé à être utilisée par les Chinois il y a 3000 ans. » (**L'appel à la tradition** est un genre d'argument du peuple).

Les arguments d'autorité font souvent des victimes car ils font appel à notre **déférence naturelle envers des leaders**. Les arguments du peuple font eux aussi souvent des victimes car ils font appel à notre **désir d'appartenance** à des groupes ou à notre **amour de la tradition**.

QUOI FAIRE?

Éviter les pièges de l'argumentation d'autorité ou du peuple ne revient pas à dire qu'il faut tout vérifier par soi-même. Une telle approche serait trop lente, reviendrait à toujours ré-inventer la roue. Pour aller de l'avant de manière efficace, il faut à un moment donné accepter comme vrais certains faits, sans avoir à toujours les revérifier, pour qu'ils puissent former la base de nos futures actions ou nos futures études. En d'autres mots, il ne s'agit pas de douter de toute autorité; il s'agit plutôt de **bien choisir des autorités fiables**. Si on veut utiliser l'opinion d'une autorité ou d'une majorité de personnes pour avoir une idée de la véracité ou de la valeur d'un énoncé, essayons au moins de savoir quel genre de personnes constituent cette autorité ou majorité.

- Essayons de trouver des personnes qui sont qualifiées sur le sujet précis à l'étude.

  Pour des questions relevant de la biologie, faisons plus confiance aux biologistes. Pour des questions de santé, faisons plus confiance aux médecins diplômés.

  Méfions-nous de soi-disant spécialistes qui ne sont pas reconnus par leurs pairs.

- Essayons de savoir pourquoi les personnes ont cette opinion.

  Méfions-nous des personnes qui ont déjà un parti pris pour des raisons économiques ou politiques. Elles peuvent très bien être motivées par le gain personnel plutôt que par la raison et la recherche de la vérité.

  Méfions-nous des regroupements d'experts (*think tanks*); ils portent de beaux noms et sonnent érudits, mais souvent (pas toujours, mais souvent) ils sont payés pour soutenir une idéologie particulière, pour ne présenter que les arguments en faveur d'une idée plutôt que d'analyser objectivement tous les côtés d'une question.

  Méfions-nous des personnes qui semblent avoir des croyances plutôt que des raisonnements valides basés sur des faits observables.

- Essayons de trouver des personnes qui non seulement soutiennent un point de vue, mais qui sont aussi capables de réfuter de façon convaincante (appuyée par des raisonnements logiques et des faits) les critiques de leur point de vue.

  Méfions-nous des personnes qui ne sont pas prêtes à discuter raisonnablement des preuves qui vont à l'encontre de leurs énoncés.

  Méfions-nous des personnes qui ne sont pas disposées à entendre la critique, ou qui se plaignent sans cesse d'être persécutées par « *l'establishment* ».

- Essayons de trouver des personnes qui sont prêtes à soumettre leurs preuves ou leurs résultats à des vérifications par des tiers-partis indépendants.

  Méfions-nous des personnes qui veulent garder des procédés secrets, soi-disant par peur de se les faire voler. Habituellement, c'est simplement le non-fondé de leurs allégations qu'elles essaient de garder secret.

- Finalement, donnons priorité au consensus scientifique quand ce consensus existe.

Argument *ad hominem*

Un **argument *ad hominem*** (= à l'homme, contre l'homme) consiste à accepter ou à rejeter un point de vue non pas à cause de la validité ou non du point de vue lui-même, mais plutôt en admirant ou en attaquant la personne qui présente ce point de vue, en parlant de sa personnalité, ou de sa motivation, ou de ses actes du passé, ou des personnes ou causes avec lesquelles il est ou a été associé. Quand c'est une personne qu'on admire, l'argument s'apparente à celui d'autorité.

Cet argument est **dangereux**. La validité d'un argument devrait dépendre uniquement des preuves envers ou contre l'argument lui-même, peu importe qui le présente.

Exemples d'arguments *ad hominem* négatifs (des « attaques » *ad hominem*) :

- Dans un débat entre un sceptique et un ufologue, l'ufologue abandonne et s'écrit : « La seule raison pour laquelle vous dites ça, c'est que vous les sceptiques, vous êtes fermés d'esprit, vous n'acceptez rien. »
- Dans un débat entre un sceptique et un ufologue, le sceptique abandonne et s'écrit : « Ah vous les ufologues, qu'est-ce que ça donne de débattre avec vous, vous êtes tous des fous hyper-crédules. »
- « Le gouvernement a tort de nous imposer cela, car c'est bien connu qu'il est corrompu. »
- « Pff, Hitler aussi pensait comme ça. »
- « Tu dis seulement ça parce que tu as peur. »
- « Ce politicien a épousé plusieurs mauvaises causes dans le passé, c'est pourquoi je n'accepte rien de ce qu'il dit maintenant. »
- « Tu as eu tort dans le passé, donc tu as tort maintenant. »
- N'importe quel acte de discréditation du messager (*shooting the messenger*).

Rappelons qu'un argument *ad hominem* peut aussi être positif, comme par exemple accepter un point de vue simplement parce qu'il est présenté par une personne qu'on admire, ou par une star de cinéma, ou par une personne qui partage nos motivations, ou par « un des nôtres ».

Un genre d'argument *ad hominem* est l'**argument *tu quoque*** (= toi aussi), qui est en fait une contre-attaque *ad hominem* en réponse à une attaque *ad hominem*. On utilise un argument *tu quoque* à chaque fois qu'on dit : « Ah oui? Toi tu n'es pas mieux, tu as fait (telle ou telle chose) » dans un débat sur un sujet quelconque.

Les arguments *ad hominem* ne peuvent pas garantir la validité d'un énoncé, mais voici un point important : **les considérations *ad hominem* demeurent utiles quand on n'est pas un expert sur le sujet et qu'on essaie de décider en qui on devrait avoir confiance**. Chaque « méfions-nous » de la page précédente est une considération *ad hominem*. Si la source d'un énoncé n'est pas fiable, ce n'est pas une preuve que l'énoncé est faux, mais c'est quand même un drapeau rouge qui devrait allumer notre doute.

LE CONSENSUS SCIENTIFIQUE EN TANT QU'AUTORITÉ FIABLE

Au niveau du chercheur INDIVIDUEL, la science n'est PAS une activité parfaitement fiable :

1) Elle demande un certain niveau de jugement quand vient le temps de faire le poids entre des résultats contradictoires, ou de déterminer quelle hypothèse est la plus plausible, et ce ne sont pas tous les scientifiques qui possèdent le bon jugement nécessaire.
2) Pour exercer un bon jugement, il vaut mieux bien connaitre l'état des connaissances actuelles dans le domaine à l'étude, et ce n'est pas tout le monde qui peut s'en vanter.
3) Il faut bien connaitre les limites des méthodes statistiques, des techniques particulières, ou de l'instrumentation qu'on utilise afin que nos résultats soient valides, et ce n'est pas tout le monde qui possède bien une telle expertise.
4) Il faut éviter plusieurs pièges (voir les chapitres suivants) qui sont souvent inconscients, et ce ne sont pas tous les scientifiques qui y parviennent.

C'est donc dire que certaines études scientifiques individuelles mènent à des conclusions qui sont fausses ou non-fondées. Alors, comment peut-on avoir confiance en la science?

La réponse est que **la science est essentiellement une activité communautaire**. Chaque étude peut être menée individuellement par une seule chercheure dans son laboratoire, mais si les résultats de cette chercheure sont le moindrement importants ou intéressants, ils seront examinés à la loupe et évalués par d'autres chercheurs critiques qui essaieront d'y trouver des erreurs (les scientifiques adorent corriger les erreurs des autres) ou qui essaieront de reproduire les résultats et de bâtir sur eux, et qui feront du bruit s'ils ne réussissent pas à le faire.

> C'est pourquoi on dit souvent que **la science s'auto-corrige** (ou plus précisément : les scientifiques se corrigent les unes les autres).
>
> C'est aussi pourquoi on encourage les chercheurs scientifiques à présenter leurs résultats scientifiques dans des **congrès**. En exposant leurs études à un public d'experts dans un congrès, les scientifiques s'ouvrent à la critique. Idéalement, ils devraient même activement rechercher la critique, et l'accepter avec gratitude (mais aussi avec discernement, car ce ne sont pas toutes les critiques qui sont bonnes). S'ils reconnaissent qu'ils ont fait des erreurs, ils pourront les corriger et ainsi contribuer de façon constructive à l'avancement des connaissances quand viendra le temps de publier leur recherche dans une revue scientifique.
>
> Les revues scientifiques publient des résultats de recherche sous forme « d'articles scientifiques », chaque article étant écrit par les chercheurs et chercheuses qui ont effectué la recherche. Ces revues sont souvent désignées comme étant des « **revues arbitrées** ». Avant d'être accepté pour publication dans une revue scientifique, un article rapportant les résultats d'une étude doit être jugé, « arbitré » par au moins deux experts qui oeuvrent dans le domaine et qui n'ont pas de lien direct avec les auteurs de l'étude (on parle d' « **arbitrage par les pairs** »). C'est donc dire qu'en général (en général seulement, parce qu'il arrive parfois que les arbitres font mal leur travail et laissent passer des erreurs) les articles publiés dans des revues arbitrées ont été bien vérifiés par des sources indépendantes. Si ces sources indépendantes ont mal fait leur travail de vérification, et si les résultats sont le moindrement importants, d'autres chercheures publieront une critique de l'étude après l'avoir lue.

L'aspect communautaire de la science fait aussi en sorte que les connaissances deviennent acceptées seulement après avoir été supportées plusieurs fois, par plusieurs laboratoires indépendants, et avec plusieurs tests différents (ce dernier point étant ce qu'on appelle la « **convergence des preuves** »).

Notons aussi que la science est une activité réellement **universelle**, du moins quand elle est bien faite. Il n'y a pas de science masculine vs féminine, ou de science catholique vs musulmane, ou de science libérale vs conservatrice, ou de science asiatique vs américaine. Il y a juste de la bonne science. La vérité, la nature réelle, est la même pour tout le monde. La science accommode donc les personnes de tout sexe, religion, idéologie, et citoyenneté, tant et aussi longtemps que ces personnes sont motivées par un désir honnête de trouver la vérité en appliquant la raison à l'observation des faits et en respectant les postulats philosophiques de base de la science. C'est donc dire que lorsqu'un consensus est atteint, on peut avoir confiance que ce consensus représente une vérité universelle et non pas l'opinion biaisée d'une minorité restreinte de personnes.

En résumé, **le CONSENSUS scientifique, lorsqu'atteint, est une autorité fiable**, parce que :

1) La science s'auto-corrige étant donné que…

    a. les bonnes scientifiques ne cachent pas la façon dont elles sont arrivées à leurs conclusions, permettant à d'autres scientifiques d'essayer de répliquer leurs études;

    b. les scientifiques prennent la bonne habitude de participer à des congrès ou à des groupes de discussion pour soumettre leurs conclusions à la critique;

    c. les résultats scientifiques ne sont publiés que s'ils ont été examinés à la loupe (idéalement) et approuvés par au moins deux autres experts du domaine.

2) Les théories et conclusions acceptées par le monde scientifique ne le sont que suite à plusieurs études qui se sont confirmées les unes les autres, et qui ont amené du support à partir de plusieurs angles d'attaque (= la convergence des preuves).

3) La science est universelle; elle accepte toute personne sans égard au sexe, à l'idéologie politique, ou à la provenance géographique, ce qui aide à éviter les points de vue biaisés.

COMMENT RECONNAITRE QU'IL Y A UN CONSENSUS SCIENTIFIQUE?

On a une assez bonne idée qu'un consensus scientifique s'est établi lorsque :

1) Les connaissances en question sont mentionnées dans les livres en provenance de maisons d'éditions reconnues, que ce soit des maisons d'édition spécialisées pour la science, ou dans le domaine de l'éducation. Vous pouvez faire confiance à vos livres de classe.

2) Les connaissances en question font l'objet de déclarations officielles par de grands organismes scientifiques, comme les sociétés savantes (e.g. Société Canadienne de Physique), les grandes académies (e.g. *National Academy of Sciences*), les regroupements de renom (e.g. *American Association for the Advancement of Science*), et les revues scientifiques prestigieuses comme *Nature* et *Science*.

3) Les connaissances en question sont acceptées par les regroupements sceptiques (dans le sens du scepticisme scientifique présenté au chapitre précédent).

Malheureusement, des gens rejettent parfois le consensus scientifique quand ça fait leur affaire (les trois pages suivantes en donnent des exemples) même s'ils continuent de profiter de tous les bienfaits de la science et de la technologie dans leur vie de tous les jours.

CLIMATONÉGATIONNISME

Le consensus scientifique affirme qu'il se déroule présentement un réchauffement planétaire et des changements climatiques anormalement rapides, et que ces changements et réchauffement sont principalement causés par la population humaine qui libère du CO_2 (un gaz à effet de serre) dans l'atmosphère en brûlant des carburants fossiles extraits du sol.

Ce **consensus** est illustré par le très grand nombre d'organismes scientifiques qui font l'affirmation en question, comme par exemple : (1) Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, en anglais *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC), un organisme intergouvernemental regroupant les meilleurs climatologues professionnels de tous les pays membres de l'ONU; (2) le *National Climate Assessment*, un regroupement des climatologues américains les plus reconnus chargés par le gouvernement des États-Unis d'étudier le phénomène au niveau de leur pays spécifiquement (https://science2017.globalchange.gov/); (3) la *National Academy of Sciences* (https://thesciencebehindit.org/how-is-earths-climate-changing/); la *American Association for the Advancement of Science* (https://www.aaas.org/resources/aaas-reaffirms-statement-climate-change); (4) la *American Geophysical Union* (https://www.agu.org/Share-and-Advocate/Share/Policymakers/Position-Statements/Fact-Sheet-Climate-change); (5) la *American Meteorological Society* (https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/about-ams/ams-statements/statements-of-the-ams-in-force/climate-change1/).

Les **négationnistes du réchauffement climatique anthropique** (*human-caused climate change deniers*) vont soit nier que le réchauffement de la planète existe, ou plus couramment nier que ce réchauffement soit dû aux activités humaines. Il peut y avoir plusieurs raisons personnelles pour lesquelles ces gens rejettent le consensus scientifique :

1) **Idéologie** : ces gens souscrivent aux principes du laissez-faire économique, qui abhorre toute intervention gouvernementale dans le libre marché. Ils entrevoient que le combat contre le réchauffement de la planète devra passer par des lois limitant l'utilisation des carburants fossiles par le consommateur (comme par exemple une taxe sur le carbone). Pour éviter cela, ils choisissent de nier que le réchauffement anthropique est un fait.
2) **Intérêt financier** : ces gens travaillent pour des compagnies pétrolières, ou des compagnies rattachées à l'industrie pétrolière, et ils entrevoient que toute restriction imposée sur l'utilisation des carburants fossiles pourrait nuire à leur emploi.
3) **Religion** : ces gens croient soit (1) que Dieu est bienveillant et qu'il ne laisserait pas l'être humain détruire ainsi la planète qu'il leur a confiée, ou (2) que les changements climatiques sont causés par Dieu (pas par l'humain) qui veut ainsi nous punir pour nos péchés.
4) **Justification de l'inaction** : ces gens ne sont pas prêts à faire les sacrifices qui s'imposent pour mitiger le réchauffement planétaire, et ils apaisent leur sentiment de culpabilité en se convainquant que le réchauffement anthropique n'est pas un fait.

Les climatonégationnistes militants (qui parfois, croyez-le ou non, peuvent même inclure quelques scientifiques) ont recours aux mêmes tactiques anti-science que celles que d'autres négationnistes ont utilisées dans le passé pour semer le doute sur les méfaits du tabac, des pluies acides, de la destruction de la couche d'ozone, et du DDT : picorage (« *cherry-picking* ») des données, erreurs de logique, analyses incomplètes, fausses représentations de la science, énoncés carrément faux, etc.

Plutôt que de nier les faits, les climatonégationnistes devraient mettre leur énergie à discuter des mesures à prendre, ou à ne pas prendre, face aux changements climatiques.

CRÉATIONNISME

La **théorie de l'évolution** par sélection naturelle a depuis longtemps été **acceptée comme valide** par la communauté scientifique. La plupart des sondages indiquent qu'environ 95 % des scientifiques (et 99% des biologistes) acceptent la théorie de l'évolution par sélection naturelle comme représentant correctement la réalité. La théorie de l'évolution est tout aussi bien acceptée en science que la théorie de la relativité, la théorie de la composition atomique de la matière, la théorie de la gravitation universelle, la théorie de la tectonique des plaques, ou la théorie microbienne des maladies infectieuses (= théorie pathogénique).

Les créationnistes rejettent le consensus scientifique et n'acceptent pas le concept d'évolution. Ils préfèrent croire (sans preuve) que la Terre et les organismes qu'elle abrite, incluant l'être humain, ont été créés tel quel par un être surpuissant (un dieu, essentiellement, mais les raéliens disent que ce sont des extraterrestres) il y a un certain nombre d'années (6000 ans, habituellement, mais il y a différents courants de pensée à cet égard parmi les créationnistes).

Les créationnistes sont motivés par des convictions religieuses, bien souvent une adhérence inébranlable et littérale à un texte sacré comme la Bible ou le Coran. Mais ils se convainquent aussi par des arguments comme ceux-ci :

- **Enseigner l'évolution à nos enfants, ça va les rendre immoraux et cruels, comme les animaux**. Pourtant, il n'y a aucune preuve que les évolutionnistes se comportent moins bien dans la vie que les anti-évolutionnistes. De plus, apprendre comment la nature fonctionne ne détermine pas comment on se comporte dans la vie. Ce sont nos gènes et les valeurs transmises par nos parents et nos amis d'enfance qui déterminent notre personnalité, pas notre savoir.

- **La théorie de l'évolution fait perdre à l'être humain la place exaltée qu'il occupe dans le monde,** celle d'un être créé par Dieu et imbu de la grâce divine. Ça c'est vrai! Mais est-on obligé d'être si orgueilleux? Ne peut-on pas être humble et accepter qu'un Dieu ait choisi de donner une âme à l'humain suite à un long processus évolutif à partir d'autres espèces? Après tout, c'est ce qu'accepte l'Église catholique et le clergé protestant conventionnel (démontrant ainsi qu'il est possible de demeurer religieux tout en acceptant la théorie de l'évolution).

- La cellule est complexe, les corps sont complexes, la vie est complexe, le monde est complexe. **Il est impossible qu'une telle complexité soit apparue seulement par hasard; il faut qu'un dieu l'ait créé**. Pourtant, ça fait plus de 150 ans (depuis Darwin, en fait) qu'on sait que ce n'est pas que le simple hasard qui est en jeu. Il y a aussi la sélection naturelle, qui garde en place tout changement avantageux causé par le hasard des mutations. De génération en génération sur des millions d'années, la sélection naturelle préserve et accumule les améliorations pour en arriver à la complexité du vivant.

- **Comment peut-on prouver l'évolution? Personne n'était là il y a des millions d'années**! Mais la science accepte de trouver la vérité par inférence ou par déduction logique, sans observer le phénomène directement. Dans le cas de l'évolution, le passé laisse des traces dans le présent (ex. : les fossiles, les vestiges évolutifs, les pseudogènes, la distribution géographique des espèces), et on peut déduire le passé à partir de ces traces actuelles, de la même façon qu'un détective peut déduire qui est le meurtrier dans un meurtre commis sans témoin, à partir de traces de sang ou d'ADN laissées sur la scène du crime.

COMPLOTISME

Le complotisme (« *conspiracy theories* ») est la croyance que des organisations pleines de ressources travaillent dans l'ombre pour tromper le public, à des fins sordides.

Les organisations visées sont habituellement un gouvernement, une branche du gouvernement, des grandes compagnies, ou des groupes d'intérêts spéciaux. Ça peut même être l'ensemble des scientifiques (les scientifiques, prétend-on par exemple, s'organisent entre elles pour éradiquer les religions et promouvoir l'athéisme).

Les complotistes rejettent le consensus scientifique en faisant appel à toutes sortes d'arguments invalides (voir les chapitres suivants sur les dangers). De plus, ils ne fournissent jamais de preuves concrètes de l'existence du complot : il n'y a jamais d'enregistrements clandestins de réunions des organisateurs du complot, jamais de témoignages par des lanceurs d'alarme (« *whistleblowers* ») qui trahissent le complot.

La motivation derrière le complotisme semble être une combinaison de (1) paranoïa; (2) haine envers les gouvernements, ou envers les riches, ou envers certains groupes (e.g. anti-sémitisme); (3) compulsion à assigner une cause humaine à des événements incompris ou à des patrons aléatoires; et (4) affection pour les histoires à sensation. Dans les cas de ceux qui expriment fortement leur croyance, il y aurait probablement aussi le désir d'attirer l'attention sur soi et l'illusion de se sentir plus perspicace que le reste de la population (et donc supérieur à elle).

Le complotisme est souvent utilisé pour justifier des positions qui vont à l'encontre du consensus scientifique, comme par exemple :

- Il y a consensus scientifique que les vaccins sont sécuritaires (et qu'ils sont, en fait, une des plus grandes merveilles de la médecine moderne, ayant indubitablement sauvé la vie à des millions d'enfants depuis leur création), mais les **groupes anti-vaccination** prétendent que le *Center of Disease Control* cache des effets néfastes de vaccins.

- Il y a consensus scientifique, suite à de nombreuses études, que les organismes génétiquement modifiés (OGM) approuvés jusqu'à maintenant sont sécuritaires tant pour la santé que pour l'environnement, mais les **groupes anti-OGM** prétendent que les études sont fausses et manipulées par la compagnie de biotechnologie agricole Monsanto.

- Il y a consensus scientifique qu'aucune preuve crédible n'existe sur la visite d'extra-terrestres sur notre planète, mais les **ufologues (= ovnilogues)** accusent les militaires de dissimuler ces preuves.

- Il y a consensus scientifique que pratiquement tous les médicaments « naturels » (non-conventionnels) sont inefficaces, mais certains **naturopathes** prétendent que l'industrie pharmaceutique cache les présumés bienfaits des médicaments naturels pour ne pas qu'ils fassent compétition aux médicaments synthétiques.

- Il y a consensus scientifique sur l'authenticité de l'holocauste (les historiens suivent une démarche scientifique quand ils basent leurs conclusions sur des traces du passé laissées dans le présent, comme des photos et des documents historiques, des témoignages bien documentés, des structures encore en place), mais les **négationnistes de l'holocauste** disent que l'holocauste est une vaste supercherie créée par des regroupements juifs.

Le syndrome de Galilée

« *The fact that some geniuses were laughed at does not imply that all who are laughed at are geniuses. They laughed at Columbus, they laughed at Fulton, they laughed at the Wright brothers. But they also laughed at Bozo the Clown*. " – Carl Sagan

Certaines idées nouvelles sont rejetées, parfois même dénigrées, par la communauté scientifique. Il peut alors arriver que les personnes qui défendent ces idées nouvelles disent quelque chose du genre « Ce n'est pas grave si les scientifiques rient de moi; les gens ont ri de Galilée aussi, et pourtant Galilée avait raison ». Cette attitude reflète ce qu'on appelle le **syndrome de Galilée**.

Ce mauvais argument, un exemple de **sophisme par association**, se répond en insistant sur le fait que partager une chose en commun avec une personne ne veut pas dire que tout est partagé avec cette personne. Être persécuté comme Galilée ne veut pas dire que vous avez raison comme Galilée. (Un « sophisme » est un argument qui semble logique mais qui ne l'est pas.)

De plus, Galilée a été persécuté par l'Église plutôt que par ses collègues scientifiques. Galilée n'est donc pas un bon exemple à prendre pour les gens qui sont dénigrés par la communauté scientifique.

Ces gens pourraient plutôt se comparer à Alfred Wegener. L'idée de la dérive des continents énoncée par le géologue allemand Alfred Wegener en 1912 a été fortement rejetée par les géologues américains (mais pas par les européens) de l'époque (aidé par le fait que le mécanisme proposé par Wegener pour la dérive des continents – une force centrifuge causée par la rotation de la terre – n'était pas valide). Mais éventuellement un meilleur mécanisme (la tectonique des plaques) a été proposé dans les années 1950s, de belles preuves ont été obtenues pour ce mécanisme, et on a reconnu que la dérive des continents était un fait. Près de 40 ans ont été nécessaires avant que le consensus scientifique (américain) se rallie au point de vue de Wegener, et donc on pourrait argumenter que le consensus scientifique n'est pas toujours gage de vérité.

Mais Wegener est une exception. Presque toutes les idées qui sont rejetées ou dénigrées par la communauté scientifique s'avèrent effectivement sans fondement. Si vous êtes dénigrés par la communauté scientifique, les chances sont très bonnes que votre idée est mauvaise, que vous vous compariez à Galilée/Wegener ou non.

Les gens rejetés par le consensus scientifique disent qu'ils sont des génies incompris, que la science est autoritaire et qu'elle n'accepte pas les idées nouvelles. Cet **argument du génie incompris** n'est pas valide. La science accepte les idées nouvelles (comment pourrait-elle avancer autrement?), mais elle en exige aussi de bonnes preuves à l'appui (fondamentalement, les scientifiques font acte de pensée critique). Si quelqu'un défend une idée qui semble saugrenue à première vue, il appartient à cette personne de fournir des preuves convaincantes pour l'idée en question. Cette personne se doit de tester son idée, présenter ses résultats à des congrès scientifiques où elle pourra recevoir une rétroaction des autres chercheurs, et publier ses résultats dans des revues arbitrées. La communauté scientifique se fera alors un plaisir de considérer l'idée sérieusement, et éventuellement même de l'accepter si l'idée continue de survivre aux tests et d'accumuler suffisamment de preuves en sa faveur.

MEILLEURES EXPLICATIONS ET THÉORIES

Avant d'en arriver à un consensus, les scientifiques doivent souvent évaluer la validité de plusieurs explications compétitrices. Ils doivent décider quelle explication, parmi toutes celles possibles, est la plus raisonnable et concorde le mieux avec les faits observés. Cette explication doit être supérieure aux autres de façon convaincante et définitive avant d'être acceptée comme vraie hors de tout doute raisonnable. On constate facilement que ces meilleures explications partagent souvent certaines caractéristiques, que voici :

1) L'explication est testable; elle fait des prédictions et ces prédictions se réalisent.

2) L'explication explique un bon nombre de faits déjà observés.

3) Les tests de l'explication font appel à beaucoup d'approches différentes, par des chercheurs différents, et les tests demeurent positifs; il y a convergence des preuves.

4) L'explication ne fait pas appel à un très grand nombre de postulats, de choses prises pour acquis sans savoir si elles sont vraiment valides.

   Le "**principe de parcimonie**" (aussi appelé « **rasoir d'Ockham** ») dit que quand on fait face à plusieurs explications possibles pour un phénomène, on devrait privilégier l'explication qui fait appel au plus petit nombre d'idées et de postulats (celle qui a le moins de « si » dans sa formulation). De telles explications ne sont pas garantes de vérité, mais elles ont les meilleures chances d'être vraies et donc on a avantage à leur donner plus de poids.

5) L'explication n'implique pas un trop grand bouleversement de connaissances déjà acceptées jusqu'à maintenant.

6) L'explication permet de développer des technologies pratiques qui fonctionnent.

7) L'explication est fertile; elle génère facilement de nouvelles questions qui sont répondables par la science, et qui mènent à de nouvelles découvertes.

Certaines explications adoptées par les scientifiques expliquent un si grand nombre de faits (on dit qu'elles ont « une grande portée »), ont résisté à un si grand nombre de tests, et exhibent une si grande convergence de preuves, qu'on leur donne un nom spécial : on les appelle des **théories**. La théorie de la relativité générale d'Einstein, la théorie de la gravitation universelle de Newton, la théorie de l'évolution par sélection naturelle de Darwin, la théorie de la tectonique des plaques et de la dérive des continents, la théorie de la composition atomique de la matière, et la théorie microbienne des maladies infectieuses en sont des exemples. De telles théories sont acceptées par les scientifiques, hors de tout doute raisonnable, comme représentant bien la réalité.

> À noter que cet usage du mot « théorie » par les scientifiques est différent de celui du public. Le public utilise souvent le mot « théorie » dans le sens de « hypothèse non-prouvée », comme dans « j'ai une théorie pourquoi les Aigles ont perdu leur partie hier ».
>
> À noter aussi que, malheureusement, les scientifiques eux-mêmes trichent parfois dans leur usage du mot « théorie ». Ils l'emploient pour désigner des explications qui s'appliquent à plusieurs choses différentes, et qui ont une bonne consistance interne, mais qui ne sont pas encore prouvées hors de tout doute raisonnable, comme la théorie des cordes par exemple.

QUESTIONS :

Q10 L'internet est-il une bonne source pour voir si un consensus scientifique existe sur une question?

Q11 Publicité : « Des études ont démontré que ce produit est efficace. » Qu'en pensez-vous?

Q12 Vous entendez une publicité sur un produit analgésique qui dit « Supporté par le docteur Belzébuth, renommé spécialiste de la douleur ». Qu'en pensez-vous?

Q13 Vous lisez une lettre dans un quotidien par une personne qui dit que l'avortement provoqué est immoral. La lettre est signé « Jean Sérien, MD ». Qu'en pensez-vous?

Q14 Linus Pauling, double Prix Nobel (chimie 1954, paix 1962), a fortement soutenu que des mégadoses de vitamine C pouvaient prévenir le rhume et traiter le cancer. Il a lui-même pris des mégadoses de vitamine C à tous les jours et a vécu jusqu'à l'âge de 93 ans. Êtes-vous convaincus?

Q15 Vous voulez débattre avec un créationniste mais vous n'êtes pas une spécialiste de l'évolution, ou bien vous voulez débattre avec un climatonégationniste mais vous n'êtes pas un climatologue, ou bien vous voulez débattre avec un militant anti-vaccination (*anti-vaxxer*) mais vous n'êtes pas une immunologue. Quel argument central pouvez-vous toujours utiliser?

Q16 Vous êtes encore dans un débat avec quelqu'un qui rejette l'autorité du consensus scientifique. Cette personne vous donne les raisons suivantes pour ce rejet :

a) « La notion de consensus scientifique est un argument du peuple, et les arguments du peuple sont invalides. »
b) « Je n'accepte aucune autorité. Je préfère penser par moi-même. »
c) « Les scientifiques se sont entendus trop rapidement sur un consensus car il y a encore beaucoup d'incertitude et de questions non-réglées sur le sujet. »
d) « Les scientifiques ont des idées préconçues et sont influencés par différentes idéologies, et ils sont donc biaisés comme n'importe qui d'autre. »
e) « La science n'est pas parfaite. Beaucoup de scientifiques font des erreurs. »
f) « Il y a des scientifiques qui ne sont pas d'accord avec le présumé consensus. »
g) « La science est limitée parce qu'elle n'accepte pas la possibilité du surnaturel. »

Pouvez-vous penser à des éléments de réponse à ces objections?

Q17 Complotisme : Si on demande, incrédule, à un complotiste, « Comment est-il possible d'organiser un tel complot? », on se fait répondre, sans preuves, que l'organisation a des ressources illimitées. Si on demande, incrédule, « Pourquoi ne trouve-t-on jamais les organisateurs du complot », on se fait répondre que l'organisation réussit toujours à cacher ses activités clandestines. La position des complotistes est irréfutable! À quelle autre entité surpuissante les complots vous font-ils penser?

Q18 Que répondre à une créationniste qui dit « L'évolution, pfff, c'est seulement une théorie ».

Q19 Que répondre à un créationniste qui dit « La théorie de l'évolution ne fait pas de bon sens. Tout le monde peut voir que les espèces ne changent pas, ne se transforment pas d'une forme à l'autre. »

CITATIONS :

« In one of my final *Scientific American* columns I coined my own neologism in the Colbert tradition : *Factiness*, or the quality of something to be factual when it is not. But how do we know when something is factual and not factiness? We employ science and reason! There is progress in science and culture, and some ideas really are better than others. The post-Enlightenment ideal that beliefs should be tested in the laboratory and marketplace of ideas with the goal of generating objective and disinterested knowledge may seem Sisyphean, in that we are always in danger of backsliding into truthiness and factiness in which propaganda, superstition, and self-serving sophistry can slow our progress in pushing the boulder of knowledge up the mountain of ignorance, but that is precisely what we've been doing for millennia. *Per aspera ad astra* – with difficulty to the stars. » *– Michael Shermer, dans Skeptic Magazine 25: 47.*

« I reject the notion that science is by its nature secretive. Its culture and ethos are, and for very good reason, collective, collaborative, and communicative. » *– Carl Sagan, dans The Demon-Haunted World.*

« This approach to knowing did not take root until early in the seventeenth century, shortly after the invention of the microscope and telescope. The astronomer Galileo and philosopher Sir Francis Bacon agreed: conduct experiments to test your hypothesis and allocate your confidence in proportion to the strength of the evidence. Since then, we would further learn not to claim knowledge of a newly discovered truth until multiple researchers, and ultimately the majority of researchers, obtain results consistent with one another. » *– Neil DeGrasse Tyson, dans Skeptical Inquirer 40(5): 38.*

« (Science is) the most systematically self-critical institution the world has ever known. »
– Daniel Dennett, dans Skeptical Inquirer 40(5): 54.

RESSOURCES INTERNET :

Youtube.com/watch?v=eUB4j0n2UDU&feature=player_embedded (*Baloney Detection Kit*).

Snopes.com ou FactCheck.org ou OpenSecrets.org ou Healthfeedback.org, pour vérifier des faits.

https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_consensus

https://en.wikipedia.org/wiki/Medical_consensus

LIVRES :

Oreskes, N. 2019. **Why Trust Science?** Princeton University Press, Princeton.

Oreskes, N. et Conway, E.M. 2010. **Merchants of Doubt**. Bloomsbury Press, New York. Sur les tablettes de la Bibliothèque Champlain: Q 147 O74.

CHAPITRE 4

Le rôle des valeurs personnelles en science

Le présent ouvrage parle de pensée critique, de raison et d'objectivité. Dans ce chapitre, nous allons prendre une petite pause et parler de valeurs personnelles subjectives.

Dans sa forme idéale, la science se veut une activité parfaitement objective. Mais la science est **faite par des êtres humains, pas par des robots** ou des intelligences artificielles. Les êtres humains ont toujours des valeurs, des choses qu'ils valorisent pour une raison ou pour une autre. Ces raisons n'ont pas besoin d'être rationnelles, parfois c'est juste une question de goût ou de tempérament. Et voilà : **les valeurs qui animent les scientifiques peuvent influencer la nature et la qualité de la science qu'ils ou elles pratiquent**.

Les valeurs jouent en fait un rôle assez tôt dans la vie des scientifiques : dès le choix du domaine de la science dans lequel les étudiantes et étudiants décident de faire carrière.

- On peut choisir la biologie parce qu'on valorise les vies humaines et qu'on apprécie le potentiel de la biologie de mener à des applications médicales; ou parce qu'on aime la beauté et la diversité de la nature et qu'on tient à la protéger; ou parce qu'on aime les animaux et que leur vie nous intrigue.

- On peut choisir la physique parce qu'on apprécie son potentiel de développer de nouvelles technologies; ou parce qu'on est curieux de la constitution fondamentale de la matière et de l'univers.

- On peut choisir la chimie parce qu'on admire son potentiel de synthétiser des produits utiles, que ce soit des produits ménagers ou des médicaments.

- On peut choisir la géologie parce qu'on apprécie son potentiel à trouver des ressources minérales utiles, ou parce qu'on aime tout ce qui touche à la géographie physique.

Différentes motivations peuvent animer les scientifiques tout au long de leur carrière :

- Une forte curiosité, une passion pour découvrir l'inconnu, pour répondre à des questions.

- Un désir de contribuer à la société en faisant des découvertes utiles.

- Une recherche de gloire, ou d'admiration par la société et par le sexe opposé.

- Un simple désir de gagner sa vie, de faire un boulot pour lequel on a du talent.

Au-delà de ces motivations, pour être de bonnes scientifiques tout au long de sa carrière il y a des valeurs qu'il est bon d'entretenir : amour de la vérité; honnêteté; humilité; ouverture d'esprit et tolérance des idées contraires raisonnables; transparence et volonté de s'exposer à la critique.

UNE VALEUR PRIMORDIALE : L'AMOUR DE LA VÉRITÉ

S'il y a une valeur que vous devriez essayer d'entretenir le plus possible, c'est de chérir la vérité. La science se doit d'être d'abord et avant tout une quête de la vérité. Dans vos activités de recherche, attention de **ne pas sacrifier la vérité pour le simple plaisir de** :

- Obtenir un résultat qui soutient votre hypothèse préférée.
- Obtenir un résultat qui fera plaisir à votre directeur de travaux ou à votre employeur.
- Obtenir un résultat qui aura des implications favorables aux autres valeurs que vous avez, à l'idéologie politique, économique, ou environnementale que vous avez.

Comprenez bien que tous ces résultats pourraient très bien correspondre à la vérité. C'est juste que, parce que ces résultats nous font plaisir, il est facile de ne pas les soumettre à une évaluation la plus objective possible. Quand vous obtenez un résultat désirable, n'arrêtez pas là; soumettez votre étude à une évaluation critique par vous-mêmes et par vos collègues (idéalement des collègues qui n'ont pas le même parti pris que vous). Soyez raisonnablement auto-critiques. Mettez-vous dans la peau de votre pire ennemi pour voir quelles bonnes critiques il pourrait faire à votre étude ou à votre interprétation des résultats. La raison de base pour laquelle on devrait faire de la science, c'est pour **obtenir des connaissances vraies, sures, valides, fiables**, pas pour faire plaisir.

Un **dilemme** peut survenir lorsque l'on fait de la recherche scientifique pour un employeur qui aimerait bien que l'on obtienne un résultat en particulier (par exemple, une compagnie pharmaceutique qui veut que son produit expérimental soit prouvé comme étant efficace, ou comme étant non-nocif). Il se pourrait que la vérité ne corresponde pas à ce résultat désiré par l'employeur. On pourrait alors être tenté de lui donner son résultat désiré, peut-être par désir de recevoir une promotion, ou par peur de perdre son emploi. Mais j'ai de la difficulté à concevoir qu'il soit bon de tromper son employeur. Il me semble que l'employeur aurait tout à gagner à connaitre la vérité.

Ceci étant dit, si maintenant l'employeur, à l'encontre du résultat scientifique indésirable, veut tromper le public et demande au scientifique de mentir, ce dernier aura une décision à prendre. Il devra faire preuve de **courage moral**, il me semble.

> Une façon de prévenir les coups est de **s'entendre à l'avance** avec l'employeur, par contrat, sur la démarche à suivre lorsque les résultats scientifiques seront obtenus. Une scientifique peut très bien accepter que les résultats demeurent la propriété de l'employeur et demeurent secrets si c'est ce que veut l'employeur (ça va à l'encontre de la dernière étape de la méthode scientifique – la communication – mais bon, ce n'est pas malhonnête), mais elle peut aussi spécifier à l'avance qu'elle n'acceptera pas de fausser les données, de fermer les yeux sur les cas contraires, ou de mentir sur les conclusions. Elle respectera la vérité en tout temps.
>
> (Cette notion de s'entendre à l'avance peut aussi s'appliquer dans le milieu académique. Par exemple, le mérite et l'admiration que reçoivent les auteurs d'une belle recherche scientifique dépendent de la présence des noms de ces auteurs sur l'article scientifique qui rapporte la recherche, et sur l'ordre dans lequel apparaissent les noms. Il vaut mieux s'entendre à l'avance, avant même que la recherche débute, sur la question de qui contribuera quoi, qui apparaitra sur la liste des auteurs, et dans quel ordre.)

UNE VALEUR QUI DÉCOULE DE LA PRÉCÉDENTE : L'HONNÊTETÉ

Bien entendu, l'honnêteté est une vertu que l'on doit, idéalement, cultiver dans toutes les facettes de notre vie. Mais il est particulièrement important de le faire en science, parce presque toute l'entreprise scientifique est basée sur la **confiance** qu'on accorde aux autres scientifiques.

La première étape de la méthode scientifique est de prendre connaissance de faits. Ces faits peuvent être découverts par soi-même, mais soyons réalistes : la plupart du temps il s'agit de faits qui ont été découverts par quelqu'un d'autre et dont on apprend l'existence en lisant un livre ou un article scientifique. L'entreprise scientifique est en grande partie fondée sur les faits déjà rapportés par d'autres scientifiques. Imaginez ce qui arriverait si ces faits étaient souvent frauduleux, inventés, modifiés, s'ils ne correspondaient pas à la vérité. Alors c'est toute la recherche subséquente qui ne réussirait pas à progresser. Les scientifiques qui essaieraient de bâtir sur ces faits frauduleux perdraient leur temps. L'édifice de la science s'écroulerait.

Un scientifique malhonnête trahit la confiance que tous les autres scientifiques du monde lui accordent. Soyez donc scrupuleusement honnête tout au long de votre carrière de scientifique.

Pour éviter de vivre sans cesse dans l'incertitude qu'elle perd son temps, et parce que les cas de fraude en science semblent peu fréquents, il devient naturel pour une scientifique de prendre pour acquis que ses collègues sont honnêtes et que les faits qu'elle utilise pour lancer ses propres études sont véridiques. Cette **confiance** en l'honnêteté des collègues est tellement grande qu'il est bien connu dans le monde des magiciens et des illusionnistes que les scientifiques comptent parmi les gens les plus faciles à tromper. Devant un tour de magie, le scientifique essaie d'identifier un processus matériel dur à voir, alors que l'essence du truc est bien plus souvent une malhonnêteté délibérée de la part de l'illusionniste, ce que la scientifique n'a pas tendance première à soupçonner.

La malhonnêteté scientifique est habituellement désignée par le terme « **fraude scientifique** ». Les scientifiques font de la fraude quand ils :

- inventent des données, ou modifient des données;
- ignorent des données contrariantes pour leur hypothèse préférée;
- interprètent leurs résultats de façon erronée dans le but de soutenir leur hypothèse préférée, tout en étant conscient de l'erreur qu'ils font dans cette interprétation;
- copient les données ou les écrits de quelqu'un d'autre sans faire les expériences (= plagiat).

Il faut distinguer la fraude des simples erreurs (car les scientifiques peuvent effectivement faire des erreurs) et de l'action de se mentir à soi-même (qui arrive souvent quand on a des motivations matérielles comme l'argent, la possibilité de promotion, ou la recherche de gloire). La vraie fraude implique une tentative consciente de tromper. Les erreurs et les illusions personnelles sont plutôt des signes de mauvaise science. Mais la mauvaise science (la science mal faite) verse facilement dans la fraude. La mauvaise science, quand elle est faite à répétition ou lorsqu'elle est particulièrement grossière, est tout aussi mal vue que la fraude consciente.

UNE VALEUR DIFFICILE : L'HUMILITÉ

Parlant d'honnêteté, il faut aussi savoir être honnête avec soi-même. Il faut **reconnaitre ses limites** et celles de la science, mais sans les exagérer. Il faut donc être réaliste, humble et capable de :

- Admettre son ignorance (mais travailler fort pour la diminuer).
- Admettre qu'on a tort, ou reconnaitre la possibilité qu'on ait tort.
- Reconnaitre que le cerveau humain a des biais, et qu'on pourrait en être la proie.
- Ne pas exagérer les conclusions ou l'importance de nos études. C'est bon d'être enthousiaste, mais il faut demeurer réaliste aussi.
- Reconnaitre les contributions des autres à nos idées et à nos recherches.
- Reconnaitre que notre expertise dans un domaine ne fait pas de nous des experts dans d'autres domaines.

C'est toute la science qui est enracinée dans l'humilité, car les scientifiques reconnaissent que le savoir qu'ils génèrent ne peut pas être définitif. On peut en arriver à générer un savoir que l'on reconnait comme la vérité hors de tout doute raisonnable, mais philosophiquement parlant tout **savoir** trouvé par la science est **provisoire**, doit s'accompagner de l'avertissement « jusqu'à preuve du contraire ». On ne sait jamais quelle future découverte pourrait être faite qui nous forcerait à modifier une connaissance que l'on avait cru définitive jusque-là.

> Un exemple classique est la théorie de la gravité universelle de Newton. Elle représente très bien la réalité … sauf, comme on l'a découvert au 20^{e} siècle, à l'échelle des champs gravitationnels très forts comme ceux retrouvés près des trous noirs, ou comme ceux entre deux corps célestes très rapprochés (comme le soleil et Mercure). C'est la théorie de la relativité générale d'Einstein qui décrit mieux la réalité à ces échelles. Pendant longtemps la théorie de la gravité de Newton était considérée essentiellement définitive, mais les travaux d'Einstein, sans aller jusqu'à rendre la théorie fausse, ont quand même mieux cerné les frontières à l'intérieur desquelles la théorie de Newton pouvait s'appliquer.

Les scientifiques doivent réaliser que leur méthode, **la science, n'est pas parfaite**. Elle est limitée par l'imparfaite capacité intellectuelle de générer des hypothèses raisonnables; d'inventer des situations (expériences ou programmes d'observations systématiques) qui permettent de vérifier les prédictions dictées par les hypothèses; de discerner laquelle d'un ensemble d'hypothèses alternatives est la mieux supportée par les preuves obtenues; et de regrouper les hypothèses soutenues en une théorie qui se tient debout. Elle est aussi limitée par les erreurs que les scientifiques commettent, que ce soit des erreurs de mesure, des erreurs d'interprétation logique, ou des biais cognitifs. Heureusement, ces limitations sont compensées par le fait que la science n'est pas dogmatique, qu'elle est ouverte à tous, qu'elle évalue la critique de la façon la plus objective possible, et donc qu'elle réussit à s'auto-corriger pour finalement, après plusieurs détours, faire reculer les frontières de l'ignorance.

Une doctrine qui s'oppose à l'humilité générale qui doit caractériser la science est le **scientisme**. Cette doctrine, à laquelle bien peu de scientifiques et de penseurs adhèrent, dit que dans le futur la science s'avérera capable de répondre à toutes les questions (incluant des questions de morale et de sens à la vie), qu'elle représente la clé du bonheur humain, qu'elle peut satisfaire à toutes les aspirations humaines. Le scientiste (à ne pas confondre avec l'anglais « *scientist* », qui veut dire « scientifique ») vénère la science comme si c'était un dieu. Mais la vraie science ne se pare jamais de telles prétentions. La science est le meilleur outil que possède l'humanité pour découvrir la vérité dans le monde réel, mais elle n'est pas capable de tout faire.

OUVERTURE AUX IDÉES NOUVELLES ET TOLÉRANCE DES IDÉES CONTRAIRES

Si le savoir généré par la science est toujours provisoire, il en découle que les bons scientifiques ne doivent **pas être dogmatiques**. S'il demeure toujours possible que le savoir acquis jusqu'à maintenant puisse se faire modifier ou même se faire substituer par quelque chose de mieux dans le futur, dépendamment des futures découvertes, il en découle qu'il faut **demeurer ouvert** aux idées nouvelles. Et aux idées contraires.

Ceci étant dit, **il ne faut pas accepter n'importe quoi non plus**. Les nouvelles idées doivent être évaluées, testées, et il ne faut pas avoir peur de les rejeter si les faits et la logique pointent dans cette direction.

Attention : garder l'esprit ouvert n'est pas équivalent à un transfert du fardeau de la preuve (voir le chapitre 7). On peut accepter d'entendre une idée farfelue, mais cela ne veut pas dire que c'est à nous d'étudier cette idée. Le fardeau de la preuve revient à la personne qui propose l'idée. Et la maxime de Carl Sagan s'applique : « Des affirmations extraordinaires nécessitent des preuves extraordinaires ». Plus une idée semble farfelue, plus il faudra obtenir des preuves de qualité pour nous convaincre de sa validité.

> Par exemple, on peut demeurer ouvert à la possibilité de la production facile d'énergie par fusion froide (*cold fusion*), mais c'est au supporteur de cette notion de prouver son cas.

Il faut aussi réaliser que ne pas être dogmatique, être ouvert aux idées contraires, n'est pas équivalent à douter des théories et des connaissances déjà bien établies. Si une théorie a eu beaucoup de succès à faire des prédictions toujours soutenues jusqu'à maintenant, on n'aura pas l'esprit très ouvert à la changer, ce qui est tout à fait raisonnable. On va **exiger de bonnes raisons pour la changer**.

> Par exemple, les premières observations du mouvement de la planète Uranus dans le ciel se sont avérées incompatibles avec la théorie de la gravité de Newton. Mais plutôt que de rejeter une théorie aussi performante que celle de Newton, les scientifiques ont jugé plus prudent de prédire l'existence d'une autre planète, jusque-là inconnue, qui influençait le mouvement d'Uranus. Et effectivement, une fois que des télescopes plus puissants ont été développés, la planète Neptune fut découverte (en partie grâce aux prédictions de position faites par la théorie de Newton, d'ailleurs) et les mouvements d'Uranus ont pu être expliqués dans le cadre de la théorie de Newton.

Loin d'être réfractaires aux idées nouvelles, les scientifiques peuvent devenir très enthousiastes face à des idées nouvelles parce que de telles idées peuvent ouvrir des **champs d'étude inexplorés**, et les scientifiques adorent être les premiers à découvrir des choses plutôt que de peaufiner de vieilles connaissances.

Parlant de champs d'étude inexplorés, un truc est de prendre des notions bien établies dans un domaine et essayer de les transférer dans un autre domaine (ex. : si les animaux peuvent s'avertir les uns les autres de l'approche d'un prédateur, les plantes pourraient-elles le faire aussi ?). Et donc il est bon de **lire la littérature assez large**. De nos jours, la science exige qu'on se spécialise. L'étendue des connaissances est trop grande et il est impossible de tout savoir. Mais il est bon de se rappeler aussi qu'une spécialisation trop bornée limite les opportunités. Il est bien – voire même indispensable – de se spécialiser, mais il faut aussi cultiver un champ de connaissances un peu plus large. C'est à l'interface des parcelles qui constituent ce champ de connaissances que se trouve le sol le plus fertile pour de nouvelles études fructueuses.

TRANSPARENCE ET VOLONTÉ DE S'EXPOSER À LA CRITIQUE

La dernière étape de la méthode scientifique est la **communication des résultats**, que ce soit aux collègues scientifiques ou à la société en général. Et même si on ne suit pas exactement la méthode scientifique, la communication devrait faire partie de toute démarche scientifique. Le savoir généré par la science devrait être un bien universel, et donc les scientifiques ont un devoir presque moral de transmettre les conclusions de leurs recherches au monde entier.

> En science, la communication se fait habituellement en **anglais**, car c'est l'anglais qui est la langue la plus universellement comprise dans les pays du monde (que ce soit comme langue première, langue seconde, ou autre). Si le savoir scientifique est un bien universel, alors le but de la communication scientifique devrait être de se faire comprendre par le plus grand nombre de gens possible, et dans le monde actuel c'est l'anglais qui permet cela. Les publications scientifiques, que ce soit sous forme écrite (ex. : articles scientifiques) ou orale (ex. : présentations dans des congrès), sont habituellement en anglais.
>
> > Une exception à l'utilisation de l'anglais pour la dissémination de résultats scientifiques est dans le cas d'**articles de vulgarisation**. Habituellement en science, les résultats scientifiques sont d'abord publiés dans des revues spécialisées après que l'étude ait été jugée bien faite (= critiquée) par des experts indépendants (= arbitrage); mais par la suite, ils peuvent être communiqués au grand public selon un format moins formel, moins technique, plus facile à comprendre par le public, dans ce qu'on appelle un article de vulgarisation (on en retrouve dans les magazines scientifiques populaires, et sur l'internet). De tels articles peuvent viser une population plutôt locale, et dans ce cas ils gagnent bien sûr à être écrits dans la langue locale.
>
> Une **exception** à la notion de communication universelle des résultats scientifiques est lorsque la recherche a été supportée financièrement par un organisme à but lucratif, dans une optique de développement industriel ou économique, et qu'un contrat signé au préalable a établi qu'il en reviendrait à l'organisme plutôt qu'aux chercheures de dévoiler ou non les résultats de la recherche.

Avant de publier un article scientifique, il est bon de discuter de la méthodologie et des résultats de la recherche avec des collègues, afin que ceux-ci puissent donner des éléments de réflexion qui amélioreraient l'interprétation des résultats. Essentiellement, **on accepte de s'exposer à la critique dans le but d'améliorer notre travail**. Une façon formelle de faire ceci est de participer à des **congrès**. Les congrès sont des rassemblements où, pendant quelques jours, des scientifiques présentent leurs tout derniers résultats, dans le but de les communiquer rapidement (l'article lui-même n'ayant pas encore été publié) et aussi dans le but de recevoir de la critique, du « *feedback* ».

Quand on écrit l'article scientifique formel, il est important d'être transparent et de **bien rapporter complètement notre méthodologie**, afin de permettre au reste de la communauté scientifique d'identifier des erreurs, si on en a fait.

Attention : La **critique scientifique** devrait toujours être présentée de façon **constructive**. Si vous critiquez une étude, faite-le sans dénigrer les auteurs de l'étude (un truc est de présenter les critiques sous forme de questions, ex. : « N'aurait-il pas été préférable de …?). Si vous êtes les récipiendaires de critiques dénigrantes, prenez un grand respire, imaginez que vous êtes un robot, et évaluez à tête reposée la critique elle-même le plus objectivement possible.

CITATIONS :

« L'art cultive le beau, la morale cultive le bon et le bien, la science cultive le vrai. »
– *Cyrille Barrette, dans Aux racines de la science.*

« Science is not perfect. It's often misused; it's only a tool, but it's the best tool we have**.** »
– *Carl Sagan (souvent traduit comme : « La science est loin d'être l'outil parfait de la connaissance. C'est simplement le meilleur que nous ayons. »).*

« (Science is) a slow lumbering beast. The behemoth is clumsy; it stumbles and meanders in its quest, but its course is ultimately self-correcting and it inexorably trudges towards its final goal: the truth. » *– Harriet Hall, dans Skeptic 18(2): 5.*

« There's no law against publishing wrong or biased results. But the cost to you for doing so is high. If your research is rechecked by colleagues and nobody can duplicate your findings, the integrity of your future research will be held suspect. If you commit outright fraud, such as knowingly faking data, and subsequent researchers on the subject uncover this, the revelation will end your career. » *– Neil DeGrasse Tyson.*

« An endorsement of scientific thinking must first of all be distinguished from any belief that members of the occupational guild called "science" are particularly wise or noble. The culture of science is based on the opposite belief. Its signature practices, including open debate, peer review, and double-blind methods, are designed to circumvent the sins to which scientists, being human, are vulnerable. As Richard Feynman put it, the first principle of science is "that you must not fool yourself – and you are the easiest person to fool". » *– Steven Pinker, dans Enlightenment Now: The Case for Reason, Science, Humanism, and Progress.*

« That is the idea that we all hope you have learned in studying science in school—we never explicitly say what this is, but just hope that you catch on by all the examples of scientific investigation. It is interesting, therefore, to bring it out now and speak of it explicitly. It's a kind of scientific integrity, a principle of scientific thought that corresponds to a kind of utter honesty—a kind of leaning over backwards.

For example, if you're doing an experiment, you should report everything that you think might make it invalid—not only what you think is right about it: other causes that could possibly explain your results; and things you thought of that you've eliminated by some other experiment, and how they worked—to make sure the other fellow can tell they have been eliminated.

Details that could throw doubt on your interpretation must be given, if you know them. You must do the best you can—if you know anything at all wrong, or possibly wrong—to explain it. If you make a theory, for example, and advertise it, or put it out, then you must also put down all the facts that disagree with it, as well as those that agree with it. There is also a more subtle problem. When you have put a lot of ideas together to make an elaborate theory, you want to make sure, when explaining what it fits, that those things it fits are not just the things that gave

you the idea for the theory; but that the finished theory makes something else come out right, in addition.

In summary, the idea is to try to give all of the information to help others to judge the value of your contribution; not just the information that leads to judgment in one particular direction or another.

The first principle is that you must not fool yourself—and you are the easiest person to fool. So you have to be very careful about that. After you've not fooled yourself, it's easy not to fool other scientists.

You just have to be honest in a conventional way after that. »

– Richard Feynman, dans Surely You're Joking, Mr. Feynman!

« Again, the reason science works so well is partly that built-in error-correcting machinery. (…) That openness to new ideas, combined with the most rigorous, skeptical scrutiny of all ideas, sifts the wheat from the chaff. It makes no difference how smart, august, or beloved you are. You must prove your case in the face of determined, expert criticism. Diversity and debate are valued. Opinions are encouraged to contend – substantively and in depth.

The process of science may sound messy and disorderly. In a way, it is. If you examine science in its everyday aspect, of course you find that scientists run the gamut of human emotion, personality, and character. But there's one facet that is really striking to the outsider, and that is the gauntlet of criticism considered acceptable or even desirable. There is much warm and inspired encouragement of apprentice scientists by their mentors. But the poor graduate student at his or her Ph.D. oral exam is subjected to a withering crossfire of questions from the very professors who have the candidate's future in their grasp. Naturally the students are nervous; who wouldn't be? True, they've prepared for it for years. But they understand that at this critical moment, they have to be able to answer searching questions posed by experts. So in preparing to defend their theses, they must practice a very useful habit of thought. They must anticipate questions; they have to ask: Where in my dissertation is there a weakness that someone else might find? I'd better identify it before they do. »

– Carl Sagan, dans The Demon-Haunted World.

RESSOUCES INTERNET:

La jonction entre disciplines: lieu de créativité en science. Article de vulgarisation.

LIVRES :

Chevassus-au-Louis, N. (2016). **Malscience : de la fraude dans les labos**. Paris: Seuil. (La version traduite en anglais est disponible en ligne au travers de la Bibliothèque Champlain).

Goodstein, David L. 2010. **On fact and Fraud: Cautionary Tales from the Front Lines of Science**. Princeton University Press: Princeton. Disponible en ligne au travers de la Bibliothèque Champlain.

CHAPITRE 5

Les observations, les mesures, et les chiffres

La science est basée sur l'observation de faits dans le monde réel. L'observation de faits survient à deux moments différents dans la méthode scientifique :

- L'accumulation de faits observés, pouvant mener à une généralisation hypothétique, à la formulation d'une hypothèse, un procédé cognitif nommé **induction**.

- Par la suite, les hypothèses sont testées en vérifiant si leurs prédictions se réalisent par d'autres faits observés dans la nature ou dans des expériences contrôlées (on appelle « **preuve empirique** » une preuve constituée d'un fait observé dans le monde réel).

Il est évident que toutes ces observations se doivent d'être bien faites. Voici quelques notions e et conseils au sujet des observations de faits dans le monde réel.

OBSERVATION QUALITATIVE VERSUS QUANTITATIVE

Une observation **qualitative** est une description d'objets ou de phénomènes donnée en mots seulement. On peut par exemple simplement parler de présence ou absence, ou donner une couleur, ou donner une forme générale, ou rapporter une comparaison générale sans faire appel à des chiffres.

Une observation **quantitative** fait appel à des mesures d'objets ou de phénomènes à l'aide de chiffres et d'instruments. Par exemple : on compte le nombre d'objets présents, on associe la couleur à une charte codifiée, on mesure les dimensions en centimètres d'un objet, on dit par quel facteur un objet est plus grand qu'un autre.

> La science privilégie les observations quantitatives. **Les scientifiques sont des maniaques de la mesure quantitative.**

MESURE D'OBJETS INVISIBLES

Les choses mesurées n'ont **pas besoin d'être visibles**, tant et aussi longtemps qu'elles sont mesurables. Pensons par exemple à la gravité, à l'énergie, aux forces électromagnétiques : ces entités sont des propriétés invisibles et émergentes de la matière, mais elles ont des effets mesurables, et donc elles sont étudiables par la science.

La science accepte aussi de **mesurer de façon indirecte** les objets inaccessibles, tant et aussi longtemps que le lien indirect entre l'objet et la mesure est logique et constant. On peut alors parler de preuves circonstancielles, un peu comme dans le cas d'une enquête de meurtre. Un meurtrier peut être trouvé coupable même si personne ne l'a vu commettre le meurtre.

- Les biologistes Francis Crick et Jim Watson n'ont pas découvert la structure en hélice de l'ADN en observant à l'œil nu la molécule, ce qui est impossible, mais en ont plutôt déduit la forme en interprétant les patrons de rayons X qui étaient reflétés par un échantillon d'ADN cristallisé.

- Aucune biologiste n'a vu l'évolution prendre place (personne ne peut remonter dans le temps), mais l'évolution qui a eu lieu dans le passé a laissé des traces dans le présent sous forme de fossiles, de vestiges anatomiques, de distributions biogéographiques des espèces, et de reliques génétiques, permettant aux biologistes d'aujourd'hui de déduire hors de tout doute raisonnable que l'évolution a bel et bien eu lieu.

- Les géologues savent que le centre de la terre est constitué d'une boule de fer solide au centre mais liquide en son pourtour non pas parce qu'ils s'y sont aventurés en personne, mais parce que la raison leur dit qu'une telle structure est la seule qui soit compatible avec la présence du champ magnétique terrestre et avec le patron de réflexion de diverses ondes séismiques engendrées par les tremblements de terre.

- Électrons, ondes radio, lumière ultra-violette, fusion nucléaire à l'intérieur du soleil, action des enzymes, et constitution des virus ne sont que quelques autres exemples de choses qui ne peuvent pas être observées directement mais dont l'existence est prouvée hors de tout doute raisonnable, et dont la nature est assez bien comprise, grâce aux indices que ces entités ont laissé sur la scène du crime lorsqu'elles ont interagi avec nos instruments et nos dispositifs expérimentaux.

VALIDITÉ ET DÉFINITION DES PARAMÈTRES MESURÉS

On dit qu'un paramètre a une bonne **validité** lorsqu'il **représente bien** le phénomène ou l'objet à l'étude. Par exemple, si le phénomène à l'étude est le taux de croissance d'une plante, il faut se demander quel paramètre utiliser pour bien représenter ce taux de croissance : est-il préférable de mesurer le changement de hauteur de la plante par unité de temps, ou bien le changement de biomasse de la plante par unité de temps? La réponse dépendra probablement de la raison pour laquelle on s'intéresse au taux de croissance (si c'est une question de compétition pour la lumière avec d'autres plantes, la hauteur est probablement indiquée; si c'est une question de bonne utilisation des nutriments, la biomasse est probablement indiquée).

Il est très important que le paramètre mesuré soit bien défini. Par exemple, si on mesure le changement de biomasse d'une plante, parle-t-on de la biomasse fraîche, de la biomasse après un séchage de 24 h (ou autre durée bien mentionnée), de la biomasse de la partie aérienne seulement de la plante (donc sans inclure les racines), d'un changement après 1 ou 2 ou 3 semaines, etc.

Il y a deux avantages à très bien définir les paramètres mesurés dans une étude :

- Cela aide à obtenir une certaine uniformité dans la prise des mesures.

- Cela permet aux personnes qui liront les résultats de notre étude de bien comprendre comment notre étude a été faite, de bien la répliquer si elles le désirent, et de bien juger si nos paramètres étaient valides.

ERREUR DE MESURE ALÉATOIRE ET ERREUR SYSTÉMATIQUE

Une **erreur aléatoire** est une influence en provenance de facteurs non-contrôlés, mais cette influence ne change pas la valeur mesurée dans un sens plus que dans un autre. Parfois la mesure s'en trouvera augmentée, parfois elle s'en trouvera diminuée. L'effet est au hasard, aléatoire. Cela arrive communément lorsque les mesures sont prises sur des individus vivants (plantes, animaux, humains), lesquels ne sont jamais identiques en dehors du traitement à l'étude, mais a priori sans raison de penser que les différences inter-individuelles favorisent indûment le groupe témoin ou le groupe expérimental.

L'erreur aléatoire introduit du « bruit dans les données », mais elle n'introduit pas de biais systématique. Elle rend difficile l'obtention de résultats clairs, mais au moins elle ne nous conduit pas vers la fausse conclusion qu'un effet existe là où il n'y en a pas.

L'erreur aléatoire peut masquer les petits effets difficiles à détecter, mais au moins elle ne donne pas l'illusion d'effets qui n'existent pas vraiment.

L'erreur aléatoire, lorsque présente, nécessite la répétition des mesures, l'emploi de sujets nombreux, et l'utilisation de tests statistiques dans l'analyse des résultats.

Une **erreur systématique** est une influence en provenance de facteurs non-contrôlés, souvent inconnus ou non-remarqués, et cette influence est dans une direction particulière.

Les **variables confondantes**, non contrôlées, sont souvent une source d'erreur systématique.

Par exemple, si un groupe expérimental de plantes (le traitement étant l'exposition à un certain type de lumière) s'adonne à être dans un sol plus riche que nos plantes témoins (parce qu'on n'a pas fait attention de vérifier la nature des sols), alors tout taux de croissance supérieur du groupe expérimental pourrait être dû au sol (la variable confondante) plutôt qu'au traitement expérimental (la lumière).

Les erreurs systématiques sont très dangereuses parce qu'elles nous mènent à énoncer des **conclusions qui sont en fait fausses**.

Par exemple, on pourrait conclure que le type de lumière à l'étude favorise le taux de croissance des plantes, alors qu'il n'en est rien.

L'observateur peut faire des erreurs de mesures favorisant de façon systématique son hypothèse préférée, un exemple de **biais de confirmation** (on s'en reparle au prochain chapitre).

Par exemple, si l'observateur désire obtenir des résultats positifs au sujet de son idée que certains types de lumière favorisent la croissance des plantes, il pourrait inconsciemment étirer un peu plus les plantes sur sa règle à mesurer quand vient le temps de mesurer le groupe expérimental.

UN TYPE D'ERREUR SYSTÉMATIQUE : LES EFFETS DE L'OBSERVATEUR

Il faut toujours se demander si la présence de l'observateur (l'expérimentateur, le chercheur) peut influencer de façon systématique les paramètres qu'on mesure.

- Notre haleine, nos cellulaires épidermiques qui se détachent, notre chaleur corporelle, pourraient-elles contaminer nos échantillons?

  Solution : prendre les mesures nécessaires pour éviter la contamination.

- Si on veut estimer le taux de prédation des nids en inspectant à intervalles réguliers la présence des œufs ou des jeunes oisillons dans les nids, se pourrait-il que nos visites aux nids laissent des odeurs ou des traces qui attirent les prédateurs dans le voisinage des nids?

  Solution : mesurer l'occupation des nids avec des caméras cachées.

- La présence de l'observateur peut affecter le comportement des sujets étudiés. Par exemple, si on s'intéresse au comportement animal, peut-on être certain que les animaux qu'on observe exhibent leur comportement normal en notre présence? Peut-être qu'ils ont un peu peur de l'observateur en train de les regarder et que cela affecte leur comportement.

  Solution : bien dissimuler l'observateur dans une cache, ou utiliser des caméras.

- Effet Hawthorne : on a trouvé que les travailleurs d'une usine travaillaient plus fort après que le niveau de lumière ait été augmenté sur le plancher d'usine … mais dans une expérience contrôle supplémentaire, ils ont aussi travaillé plus fort après que la lumière ait été diminuée! La raison pour laquelle ils travaillaient plus fort n'avait rien à voir avec la lumière, en fin de compte; c'était plutôt en réaction à la nouvelle présence sur le plancher d'un observateur en train de les regarder et de prendre des notes pour l'expérience.

  Solution : bien cacher l'observateur.

- Les sujets humains veulent faire plaisir au chercheur. Par exemple, dans un cas célèbre, l'anthropologue Margaret Mead a grandement exagéré les mœurs sexuelles des jeunes filles de l'Ile Samoa, parce qu'elle se fiait à ce que les jeunes filles lui disaient, et ces dernières lui disaient ce qu'elles pensaient que Mead voulait entendre.

  Solution : ne pas dire aux sujets quel est le but de l'étude. On appelle ce type de recherche une **étude à simple insu (= simple aveugle, *single blind*)** : l'observateur sait quel est le but de l'étude, mais les sujets ne le savent pas. (Le « simple » représente le côté des sujets.)

- L'observateur donne involontairement des indices au sujet. Prenez par exemple le cas célèbre de Hans le Malin (*Clever Hans*), un cheval qui pouvait répondre à des problèmes mathématiques qu'il voyait au tableau en tapant du pied jusqu'à ce que la bonne réponse (le bon nombre de tapements) ait été atteint. Loin d'être doué en mathématiques, Hans avait plutôt appris à détecter comment l'observateur (ou le public présent) retenait son souffle ou étirait le cou au moment où Hans atteignait la bonne réponse, et il arrêtait de taper du pied à ce moment-là.

Solution : expérience à **simple insu**, où cette fois-ci c'est l'observateur qui ne connait pas le but de l'étude ou la bonne réponse. C'est de cette façon que Clever Hans a été démasqué : il ne pouvait plus donner la bonne réponse lorsqu'il voyait le problème au tableau mais que personne d'autre ne pouvait voir le tableau.

- L'observateur est biaisé et, inconsciemment, il donne des scores de façon à favoriser son hypothèse préférée.

Solution : expérience à **simple insu** encore une fois, où la personne qui donne des scores ne connait pas le but de l'expérience, ou ne sait pas à quel groupe expérimental ou témoin le sujet mesuré appartient.

Vous aurez remarqué dans les exemples d'études à simple insu ci-haut que l'insu appartient parfois aux sujets, parfois à l'observateur. Parfois il est indiqué que ce soit à la fois l'observateur et ses sujets qui soient gardés dans le noir : on parle alors de **protocoles à double insu (= double aveugle*, double blind*)**.

Les protocoles à double insu sont particulièrement indiqués dans les études en **médecine** où on cherche à établir l'efficacité d'un médicament expérimental. L'efficacité est souvent mesurée par des scores de bien-être qui sont assignés par l'observateur, souvent suite à du *feedback* par les sujets. Pour éviter les biais d'un observateur qui veut avoir des résultats positifs, on ne lui dit pas à quel groupe expérimental ou témoin les sujets qu'il est en train de scorer appartiennent. Et pour ne pas que les sujets soient influencés dans leurs commentaires ou comportements, on ne leur dit pas s'ils ont reçu le médicament ou non (ou leur donne à tous des pilules, mais seulement la moitié de ces pilules contiennent le vrai médicament, les fausses pilules étant alors appelées un **placebo** – voir le chapitre 15).

PRÉCISION ET EXACTITUDE DANS LA MESURE :

L'**exactitude** est la relation entre une mesure et la vraie valeur de ce qui est mesurée. Une mesure très exacte est une mesure qui est très proche de la « bonne » valeur, de la vraie valeur.

Pour obtenir l'exactitude, il faut avoir :

- Des instruments de mesure électroniques bien calibrés.

Attention : nous vivons dans une société où nous sommes habitués à pousser un bouton et laisser des instruments électroniques accomplir le travail pour nous, sans se poser trop de questions. Mais les instruments de mesure électroniques peuvent parfois « dériver », commencer à donner des résultats qui sont systématiquement, et de plus en plus au fil du temps, biaisés à la hausse ou à la baisse. Il est **essentiel de régulièrement calibrer ses instruments de mesure** (calibrer = vérifier que l'instrument nous donne la bonne valeur d'une variable dont on connait déjà, par d'autres moyens plus compliqués, la vraie valeur).

- Des ingrédients ou sujets non-contaminés.

  De la même façon qu'il ne faut pas prendre pour acquis que les instruments de mesure fonctionnent bien tout le temps, il ne faut pas prendre pour acquis que les ingrédients chimiques qu'on utilise sont toujours purs. Il ne faut pas prendre pour acquis que nos lignées cellulaires n'ont pas été contaminées pour d'autres lignées présentes dans le laboratoire. Il ne faut pas prendre pour acquis que nos échantillons n'ont pas été contaminés par des souches bactériennes. Il ne faut pas prendre pour acquis que les rats de laboratoire commandés ont été élevés de la même façon que nous l'aurions fait nous-mêmes. Il faut régulièrement **vérifier la qualité du matériel** qu'on utilise dans nos études.

- Des résultats bien notés et bien archivés.

  Il est important de **noter immédiatement** toutes les observations et toutes les mesures dans un cahier de laboratoire, ou cahier de terrain, ou fichier électronique. **Ne faites pas confiance à votre mémoire.**

  Il est important de **régulièrement sauvegarder des copies** (faire des « *back-ups* ») de nos données.

  Lorsqu'on copie ou transcrit des données, ou qu'on entre des données dans l'ordinateur, il est très important de repasser sur son travail pour doublement **vérifier que les données ont été bien reproduites** dans la copie ou dans l'ordinateur.

La **précision** est la relation entre plusieurs mesures répétées d'un même objet ou phénomène. Des mesures très précises sont des valeurs répétées qui se ressemblent beaucoup, même à une fine échelle.

Pour obtenir la précision, il faut avoir :

- une grande uniformité dans la méthodologie de la prise de mesures;
- un instrument de mesure sensible (= capable de détecter de petites différences);
- une échelle de mesure fine.

Un manque de précision peut être compensé en prenant plusieurs mesures répétées de la même chose. Même s'il y a de la variation dans les mesures à cause d'un manque de précision, la moyenne de toutes les mesures devrait être raisonnablement exacte (assez proche de la vraie valeur) tant et aussi longtemps qu'il n'y a pas de biais systématique, et tant et aussi longtemps que vraiment beaucoup de mesures ont été prises.

L'exactitude est plus importante que la précision. Une grande précision est souvent prise comme gage d'exactitude, ce qui est une erreur. Si on prend 5 mesures et que toutes les cinq mesures sont exactement les mêmes, avec beaucoup de décimales, on pense tout de suite qu'on a la bonne mesure. On ne se pose pas plus de questions, alors qu'en fait il faudrait toujours se demander si notre façon de mesurer comportait un biais systématique qui nous a empêché en fait d'obtenir la vraie valeur.

Attention, quand on lit un résultat d'étude qui semble très précis (comme un pourcentage exprimé à la deuxième décimale, par exemple), on a tout de suite tendance à penser que l'étude a été bien faite et que le résultat représente bien la réalité. Or, ce n'est pas garanti :

- Un résultat précis n'est pas garant d'exactitude, et c'est l'exactitude qui est importante. Si l'étude était victime d'un biais systématique, alors la précision ne nous est d'aucun secours : nous serons induits en erreur, peu importe comment précises les mesures étaient.

- Un résultat précis ne nous dit rien sur la qualité du protocole expérimental. Si les variables étaient mal définies, ou si elles n'étaient pas valides pour représenter le phénomène à l'étude, ou si les échantillons étaient trop petits, ou si les conclusions exprimées ne découlent pas logiquement des résultats observés, alors la précision ne nous est d'aucun secours; au contraire, la bonne précision nous donne en fait une fausse impression de la qualité de l'étude.

  « Cet aliment riche en omégas-3 rend les gens plus performants par 37.43% sur des tâches cognitives. »

  Oui, mais … Combien de personnes ont été testées?
  Quelles personnes ont été testées?
  Combien d'omégas-3?
  Quelles tâches cognitives?
  Que veut-on dire par « performants »?
  37.43% comparé à quoi?

MESURES SUBJECTIVES

Dans les travaux avec les êtres humains (comme par exemple en médecine ou en psychologie), il peut arriver que la mesure soit une évaluation subjective de quelque chose difficile à définir comme la sensation de douleur, ou le niveau de tristesse. L'évaluation prend souvent la forme d'un score donné par une évaluatrice, ou peut-être même par le sujet humain lui-même. De telles données doivent être interprétées avec précaution car elles peuvent facilement manquer d'exactitude et de précision.

Dans des études faisant appel à de telles mesures, il est bon d'essayer d'estimer :

- la fiabilité intra-observateur : si l'évaluatrice est présentée avec le même cas le lendemain, donnera-t-elle le même score que la première fois?

- la fiabilité inter-observateur : si le même cas est présentée à deux évaluatrices différentes, donneront-elles des scores similaires?

Dans les deux cas, on veut une bonne fiabilité, une bonne réplicabilité des scores.

IMPORTANCE DE LA VARIATION

Parfois, connaître la variation autour d'une moyenne est plus important que la moyenne elle-même.

- Deux régions peuvent avoir sensiblement la même température annuelle moyenne (disons, 18 ºC), mais il y a une différence entre vivre à un endroit où les températures minimales et maximales sont 10 et 26 ºC, versus un endroit où elles sont -2 et 38 ºC.

- Quand vient le temps de traverser une rivière, il y a une grosse différence entre deux rivières qui ont toute deux une profondeur moyenne de 1.5 m, mais une d'entre elles a une grosse variation autour de cette moyenne et l'autre non. Dans laquelle risquez-vous le plus de vous noyer?

- Le mois lunaire dure 28 jours. Le cycle menstruel de la femme est d'en moyenne 28 jours aussi. Il est donc facile de penser que c'est la lune qui influence la durée du cycle menstruel de la femme. En fait, on peut utiliser la variation pour réfuter cette idée. Si la lune déterminait la durée du cycle menstruel, toutes les femmes devraient avoir la même durée de cycle menstruel, puisque le mois lunaire dure toujours 28 jours. Mais il y a en fait beaucoup de variation d'une femme à l'autre dans la durée du cycle menstruel, qui peut aller de 21 à 35 jours, 28 n'étant qu'une moyenne.

En science, chaque valeur moyenne rapportée dans un article ou un rapport devrait s'accompagner d'une mesure de la variation autour de cette moyenne (comme un écart-type, une erreur-type, ou des intervalles interquartiles) et de la taille d'échantillonnage qui a servi à calculer cette moyenne.

Dans la vie de tous les jours :

On a souvent tendance à oublier la variation. On a souvent tendance à **penser en noir et blanc** et ne considérer que des catégories absolues, comme par exemple : nous et eux, pays riches et pays pauvres, les bons et les méchants, les gagnants et les perdants, les respectueux de la loi et les criminels.

C'est **dangereux** parce que la plupart du temps, il y a beaucoup d'intermédiaires entre les deux termes absolus que notre cerveau utilise pour se représenter les catégories. Catégoriser en deux nous donne alors une fausse représentation de la réalité.

Quoi faire?

- Essayer d'obtenir toutes les données, surtout sous forme de chiffres.

- Quand l'histoire compare deux moyennes, exiger d'obtenir une idée de l'étendue des valeurs autour de chaque moyenne, pour voir si ces étendues se chevauchent. S'il y a beaucoup de chevauchement, la différence entre les moyennes n'est pas si importante.

- Se demander si l'histoire qu'on lit ne présente que les extrêmes d'une situation, et se demander si la majorité des cas seraient plutôt intermédiaires entre ces deux extrêmes.

- Quand seulement deux catégories sont présentées, essayer d'imaginer à quoi ressembleraient les conditions intermédiaires, et se demander s'il est possible que des cas appartiennent à ces conditions intermédiaires, et si oui, se pourrait-il que ce soit la majorité des cas?

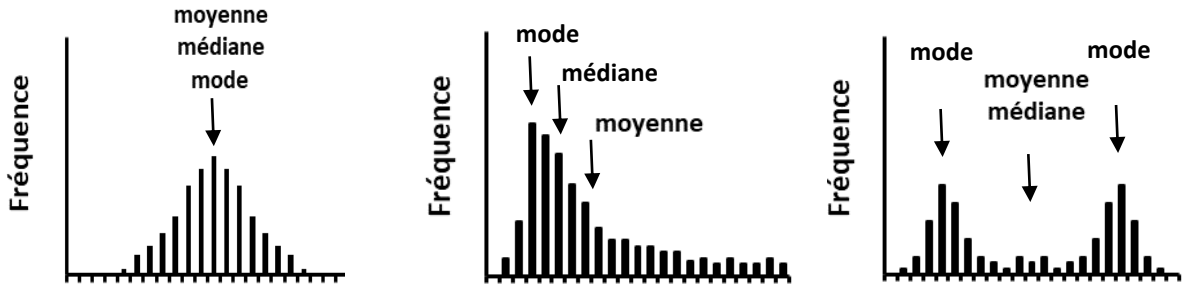
MOYENNE VS MÉDIANE VS MODE

Parfois, la médiane ou le mode sont plus importants que la moyenne, car la moyenne peut être indûment influencée par des variations extrêmes allant dans une même direction.

Médiane : valeur en-dessous de laquelle se retrouve la moitié de la population, et au-dessus de laquelle se retrouve l'autre moitié, peu importe les valeurs précises de chaque individu.

Mode(s) : valeur (ou valeurs) correspondant au plus grand nombre d'individus (ou : le ou les pics observés dans la distribution des valeurs sur un histogramme).

La moyenne donne une assez bonne information dans le cas de populations qui suivent ce qu'on appelle une « distribution normale », une distribution de fréquences en forme de cloche centrée sur la moyenne (graphique de gauche). Mais il existe beaucoup de populations qui ne sont pas distribuées de cette façon, et pour elles la moyenne nous donne de fausses impressions. C'est particulièrement vrai dans le cas de distributions dites asymétriques (graphique du centre) ou bimodales (graphique de droite). Dans de tels cas, il est plus juste d'utiliser la médiane ou la/les mode(s) pour représenter la population.



La distribution des salaires annuels a beaucoup tendance à être asymétrique (avec une asymétrie dite positive, avec une queue étirée vers la droite, comme le graphique du centre), avec quelques millionnaires seulement contribuant à faire augmenter la moyenne. Quand on parle de salaires, il vaut toujours mieux utiliser le salaire médian plutôt que moyen.

> Supposons que vous lisez une nouvelle qui dit que le salaire moyen de la population canadienne a augmenté de, disons, 10% entre telle année et telle année. Vous pensez tout de suite que le salaire de tout le monde a augmenté de 10%. Mais en fait il se pourrait qu'il s'agisse plutôt du salaire de quelques millionnaires qui a augmenté de plusieurs millions de dollars alors que le salaire des gens ordinaires n'a pas changé. L'augmentation de la moyenne n'est due qu'à l'augmentation très grande du salaire de quelques individus seulement, pas de la majorité. Dans un tel cas, il vaut beaucoup mieux utiliser le salaire médian plutôt que le salaire moyen. Le salaire médian nous donne une meilleure idée de la situation pour la majorité des gens.

Voici des exemples d'autres paramètres qui exhibent des asymétries positives, et pour lesquels la **médiane donnerait une information plus juste que la moyenne**:

- La grandeur des différentes villes d'un pays.
- Le nombre de morts dans les différentes guerres.
- Le nombre de copies vendues par les différents livres.
- Le succès commercial de différentes applis.

Pour ce qui est des **distributions multi-modales** (avec plusieurs pics), le meilleur exemple que je pourrais vous donner est celui de la distribution des notes d'examen dans mon cours de première année BIOL 1133/1143 (Anatomie et Physiologie Humaine I). À chaque année, pour chaque examen, j'ai un très grand nombre de personnes qui font A+ et un très grand nombre qui font E, avec peu de personnes entre les deux (une distribution bimodale). Est-ce que ça vous donne une information vraiment utile de savoir que la note moyenne d'examen est de 75%? Non : dans ce cas-ci il serait beaucoup plus utile de connaître les valeurs des deux modes.

Donc, **faites très attention quand vous lisez « la moyenne est… »**. Ne pensez pas tout de suite que cette moyenne vous donne nécessairement une juste représentation de la population. Demandez-vous si la médiane ou les modes pourraient vous donner une information plus juste.

IMPORTANCE DE LA TAILLE D'ÉCHANTILLONNAGE

À chaque fois que vous voyez un résultat représenté sous forme de moyenne, demandez-vous non seulement …

1) Quelle est la variation autour de cette moyenne?
2) Est-ce qu'une médiane ou un mode serait plus indiqué?

… mais aussi :

3) Quelle la taille d'échantillonnage sur laquelle le calcul de cette moyenne est basée?

La raison pour cette dernière question est que les moyennes basées sur un petit nombre de mesures sont souvent moins exactes; elles ont plus de chance d'être influencées par des sujets extrêmes. Si on mesure seulement 10 plantes dans un champ et qu'on s'adonne à avoir inclus la plus grande plante, cette grandeur extrême va mener à une moyenne anormalement élevée de grandeur de plantes. Si on avait mesuré 100 plantes, la valeur extrême de la plus grande plante se serait fait diluer par les 99 autres dans le calcul de la moyenne, et alors la moyenne obtenue dans le calcul aurait été plus près de la vraie moyenne pour tout le champ.

QUESTIONS :

Q20 Vous lisez ceci dans un article scientifique : « La hauteur moyenne des plantes dans le champ expérimental était 28.3 cm alors qu'elle n'était que de 26.8 cm dans le champ témoin. » Comment cette phrase pourrait-elle être améliorée?

Q21 Imaginez que vous mesurez la grandeur corporelle des profs dans différentes universités canadiennes, et vous regardez quelles sont les universités qui ont les plus grands profs en moyenne. Vous remarquez que ce sont toutes de petites universités qui ont les plus grands profs en moyenne. Devriez-vous conseiller à votre ami de 6'9" qui veut devenir prof de se concentrer sur les petites universités comme employeur potentiel?

Q22 Basé sur votre lecture de ce chapitre, complétez cette phrase avec une douzaine d'éléments de réponse : « Une bonne scientifique devrait le plus souvent possible ….. ».

Q23 Vous apprenez qu'en moyenne, les nouvelles applis mises en marché rapportent 325,000 $ à leurs inventeurs. Seriez-vous tentés d'essayer de développer une nouvelle appli?

Q24 Vous voulez tester si les poissons ont une horloge interne qui leur permet d'anticiper l'arrivée de nourriture journalière toujours à la même heure du jour. Vous installez des poissons rouges dans un aquarium et vous placez un nourrisseur automatique qui laisse tomber de la nourriture à la surface à 14h00 à tous les jours. À chaque jour vous entrez dans la pièce à 13h30 et vous mesurez le nombre de fois que les poissons s'approchent de la surface près du nourrisseur dans la demi-heure qui précède 14h00, l'idée étant que cette mesure d'anticipation d'arrivée de nourriture devrait augmenter au fil des jours à mesure que les poissons (et leur horloge interne) apprennent que la nourriture arrive toujours à cette heure. Vous observez les poissons en vous cachant derrière une toile percée d'un petit trou au travers duquel vous pouvez les regarder. Avez-vous réussi à bien minimiser les effets de l'observateur?

Q25 Les candidats et candidates à l'admission en médecine doivent se soumettre à un processus d'entrevue appelé MEM (mini-entrevues multiples). Chaque candidature doit passer au travers d'un circuit composé de 10 stations où elles se font scorer par des évaluatrices. Pour sauver du temps, il y a simultanément deux circuits avec les mêmes stations (= les mêmes questions) mais forcément avec des évaluatrices différentes. Comment vérifier s'il y a un effet de l'observateur sous la forme d'évaluatrices qui s'adonneraient peut-être à être plus sévères dans un des circuits par rapport à l'autre?

LIVRES ET ARTICLES :

Loken, E., et Gelman. A., 2017. Measurement error and the replication crisis. Science 355 : 584-585.

CHAPITRE 6

Danger : Biais de confirmation et picorage

> « The general root of superstition: namely, that men observe when things hit, and not when they miss; and commit to memory the one, and forget and pass over the other. » – *Francis Bacon (1819).*
>
> « Vos préjugés sont vos fenêtres sur le monde. Nettoyez-les de temps en temps, ou la lumière n'entrera pas. » – *Isaac Asimov (traduction).*
>
> « The idea is to try and give all the information to help others to judge the value of your contribution; not just information that leads to judgment in one particular direction or another. » – *Richard Feynman.*

Le **biais de confirmation** est une prédisposition naturelle à privilégier les informations qui confirment nos idées préconçues ou nos hypothèses préférées et à accorder moins de poids ou même passer sous silence les informations qui jouent en défaveur de nos idées préconçues.

Le **picorage** (« *cherry picking* ») est l'action de ne considérer et de ne rapporter que certains faits plutôt que d'autres, habituellement dans le but de soutenir un point de vue qu'on préfère. En science par exemple, ça consisterait à ne retenir que les résultats qui soutiennent une hypothèse préférée, et à « oublier » ou ignorer les résultats qui vont plutôt à son encontre.

> Biais de confirmation et picorage vont ensemble. Le premier est un état d'esprit, le deuxième est une action due à cet état d'esprit. Par exemple, on peut dire qu'à cause de notre biais de confirmation, on a tendance à faire du picorage des données.

Beaucoup de sceptiques considèrent le biais de confirmation comme le plus répandu et le plus dangereux de tous nos biais cognitifs. Il est extrêmement facile pour les gens, scientifiques ou non, de commencer par se former une opinion pour des raisons idéologiques (« il faut sauver l'environnement », « il faut éviter de payer des taxes »), ou religieuses (« Dieu a créé le monde »), ou psychologiques (« je ne pourrais pas vivre sans le réconfort de cette idée »), ou esthétiques (« c'est tellement une belle hypothèse »), avant de prendre connaissance de tous les faits, et par la suite de simplement faire cadrer (faire « fitter ») les faits avec l'opinion préconçue, ou inconsciemment trier les faits pour éviter de contredire l'opinion. Les gens intelligents peuvent même être les pires victimes de ceci, car leur intellect supérieur leur permet de plus facilement inventer des explications compliquées pour faire concorder les faits avec leur idée préconçue; ces concoctions intellectuelles sonnent vaguement possibles mais sont très peu probables, sont difficiles ou même impossibles à tester, et font donc probablement fausse route.

Le biais de confirmation est très fort; il est inconscient et contribue sans cesse à miner notre pensée critique. Il est important de garder ce biais présent à l'esprit et de tenter de **l'éviter en tenant compte de toutes les informations**, que ce soit dans la vie de tous les jours ou en science.

LE BIAIS DE CONFIRMATION DANS LA VIE DE TOUS LES JOURS

Le cas le plus commun de picorage dans la vie de tous les jours est ce qu'on décrit souvent comme étant la **mémoire sélective** de nos expériences personnelles. En voici des exemples :

- On se souvient de la fois où une de nos prémonitions (ou un de nos rêves) s'est fait confirmer, et on oublie toutes les fois, bien plus nombreuses, où nos prémonitions ou nos rêves n'ont pas été confirmés. À cause de cela, on dit que les humains peuvent « lire le futur », alors qu'en fait la prémonition confirmée n'était qu'une coïncidence, le fruit du hasard.

- On se souvient de la fois où la prise d'un médicament naturel a été suivie d'une amélioration de santé, mais on oublie toutes les fois où ce même médicament naturel n'a pas eu d'effet. On devient donc un acheteur de médicaments naturels. Pourtant, l'amélioration de santé la première fois serait possiblement survenue même si on n'avait pas pris le médicament (le corps peut se guérir lui-même parfois); cette possibilité serait plus présente à notre esprit si on prêtait plus attention aux nombreuses fois où le médicament naturel n'a pas fonctionné.

- On se souvient de toutes les fois où notre arthrite s'est empirée lorsqu'il pleuvait, et de là on dit que la météo influence l'arthrite, alors qu'en fait les études sérieuses démontrent que les crises d'arthrite surviennent aussi souvent par beau temps que par mauvais temps.

- On se souvient de la fois où, en tant que gardien de but, on a commencé une partie en faisant une prière aux poteaux de notre but et notre partie s'est super bien déroulée, et donc on devient superstitieux et on fait maintenant une prière à nos poteaux à toutes les parties, sans remarquer qu'en moyenne ces parties ne tournent pas mieux que ce qui nous arrivait avant qu'on prenne l'habitude de supplier nos poteaux.

- On dit « je n'ai jamais de chance aux dés » alors qu'en fait on est chanceux aussi bien que malchanceux (c'est juste qu'on se souvient seulement de nos malchances).

- On se souvient de la fois où quelques touristes américains ont été impolis envers nous (ce furent des expériences très désagréables, et donc on s'en souvient bien) mais on ne remarque pas toutes les fois ordinaires où des touristes américains n'ont pas été impolis, et de là on finit par dire que les touristes américains sont impolis. Une telle conclusion exige qu'on regarde quel pourcentage de touristes américains sont impolis, et cela exige de prêter attention non seulement au nombre d'impolis mais aussi au nombre de polis.

- On se fait donner un exemple qui soutient un de nos points de vue préférés, et on s'en sert pour justifier notre position, mais on ne prend pas la peine d'essayer de trouver des exemples contraires, ou si on trouve de tels exemples contraires on les oublie.

La solution est bien entendu de s'efforcer de **noter tous les cas et d'en faire un bilan**. Ici on se heurte à un problème potentiel : le **biais de disponibilité**. Ce biais est le fait que notre mémoire retient mieux les cas les plus récents, ou les plus frappants, ou les plus personnels. De plus, les médias et les rumeurs et les conversations avec nos amis ne nous transmettent que les cas les plus frappants, plutôt que l'ensemble des cas. Illustrons ce problème avec une sous-division du biais de disponibilité : le biais du survivant.

Si on entend parler du succès de quelqu'un, on est souvent tenté de penser que cette personne détient la clé du succès et que l'imiter nous permettra de réussir aussi. Le problème est qu'on entend beaucoup moins parler des personnes qui ont emboité le pas et qui n'ont pas réussi. On entend seulement parler des cas positifs mais pas des cas négatifs (= le **biais du survivant**). Il faut réaliser que juste parce qu'une certaine personne a eu une expérience de succès avec une certaine démarche ne garantit pas que tout le monde aura le même succès avec cette démarche. Il y a beaucoup trop de variation entre individus pour garantir que tout le monde connaîtra les mêmes expériences personnelles dans les mêmes conditions.

- On entend l'histoire d'une étudiante qui n'a pas réussi à être acceptée en médecine la première fois qu'elle a fait demande d'admission, mais qui a persisté en faisant demande à nouveau à chaque année pendant 5 ans. Finalement, elle a été acceptée. Morale : ne lâchez pas, la persévérance est gage de succès. Oui mais ….. on entend beaucoup moins parler des étudiants et étudiantes qui ont persévéré et qui n'ont pas réussi à être acceptés, même après 5 ans. La persévérance est une belle qualité, mais elle ne garantit pas le succès. En particulier, la persévérance ne doit pas être aveugle. Au fil des tentatives répétées, il faut évaluer si on s'améliore et si on se rapproche vraiment du but. S'il n'y a pas d'amélioration, alors le message devient plutôt d'arrêter de se cogner la tête contre un mur.

- Un livre vous promet de vous dévoiler les « cinq secrets pour avoir du succès en affaires ». La publicité à l'arrière du livre décrit l'auteur comme une personne qui s'est rendu riche en mettant en pratique ces cinq secrets, ce qui prouve que sa démarche fonctionne. Oui mais …. les personnes, probablement beaucoup plus nombreuses, qui ont suivi la même démarche mais qui ne sont pas devenues riches n'ont pas écrit de livre, elles. Les conseils donnés dans le livre sont probablement utiles, en général, mais ils ne sont certainement pas garants de richesse pour tous, ni même pour la majorité des gens, en fait. Il y a beaucoup trop d'autres variables, en plus des « cinq secrets », qui déterminent si une personne devient riche ou non dans sa vie (une certaine dose de chance est probablement une de ces variables, ce que trop peu de gens réalisent).

- Deux de mes tantes ont suivi le même régime amaigrissant et ont chacune perdu 20 livres. Le régime fonctionne! Oui mais ……

Attention, je ne suis pas en train de dire qu'on ne devrait pas poursuivre ses rêves, ou qu'on ne devrait pas être prêt à essayer des choses nouvelles. Je dis simplement qu'il faudrait le faire avec les yeux ouverts, en gardant en tête la notion qu'on ne réussira peut-être pas, et donc en étant prêt à changer de direction quand on réalise qu'on ne semble pas en voie de devenir un des cas positifs.

Je dis aussi que **ça fait du bien de s'exposer à des points de vue divergents de ceux que l'on préfère**. Les médias sociaux de nos jours ont beaucoup tendance à identifier par algorithme ce que l'on préfère, et à ne nous suggérer que des pages qui concordent avec nos goûts. C'est certain que c'est toujours plus agréable d'être exposé à des choses qu'on aime, mais une fois de temps en temps ça fait du bien d'aller voir les arguments des gens qui ne pensent pas comme nous, que ce soit en termes de politique, de religion, ou d'idéologie. Il ne s'agit pas de se convertir à leurs points de vue, mais plutôt d'étudier ces points de vue, de se demander honnêtement pourquoi nous ne sommes pas d'accord avec eux, et peut-être même de trouver quelques éléments valables dans leur position, éléments qu'on pourrait commencer à intégrer dans nos propres philosophies afin de mieux vivre, et aussi peut-être afin de mieux accepter tous les gens de notre communauté.

Je répète finalement qu'il faut **baser nos décisions sur le plus d'informations possible**.

LE BIAIS DE CONFIRMATION EN SCIENCE

Les scientifiques sont humains, et le biais de confirmation peut les frapper s'ils ou elles ne font pas attention. Il y a de tels cas maintenant célèbres, comme par exemple :

- En 1903, le physicien René Blondot rapporte la découverte d'un nouveau type de rayonnement magnétique, qu'il baptise les « **rayons N** ». Plusieurs autres chercheurs confirment la découverte. Blondot reçoit un grand prix (le prix Leconte). Mais la présumée preuve de ces rayons n'est basée que sur une évaluation subjective de la faible brillance d'une mèche. Plusieurs facteurs reliés à la sensibilité de l'œil sont invoqués par Blondot et ses supporteurs afin de rejeter des données contrariantes, ce qui aurait dû constituer une alerte au biais de confirmation. Un an plus tard, en 1904, les rayons N sont démontrés comme illusoires grâce à des expériences à simple-insu effectuées par le physicien Robert Williams Wood dans le laboratoire de Blondot lui-même.

- En 1988, une équipe de recherche internationale dirigée par le biochimiste Jacques Benveniste publie dans la prestigieuse revue *Nature* un article qui supporte la notion d'**homéopathie** (ou « mémoire de l'eau »). Cependant, la revue avait rendu la publication de résultats si bizarres conditionnelle à ce que l'équipe de Benveniste soit soumise à une enquête par des spécialistes de la fraude un mois plus tard. Les enquêteurs ont rapporté que la variable à l'étude (la dégranulation de basophiles) était mesurée de façon trop subjective, menant à des évaluations biaisées, et que l'équipe de Benveniste semblait être animée surtout par un désir de « faire marcher les expériences ». Sons de cloche vis-à-vis du biais de confirmation envers une hypothèse! Et effectivement des études ultérieures à double-insu ne réussirent pas à répliquer les résultats initialement rapportés dans *Nature*.

- Le désir de « **faire marcher les expériences** » est assez répandu en science (vous allez commencer à le vivre dès vos premiers cours de travaux pratiques ici à l'université), et malheureusement il peut faire perdre le sens de l'objectivité, menant à du picorage de données et à la publication de résultats apparemment positifs qui ne résistent pas à un examen rigoureux. De telles publications sont mises en évidence par des essais infructueux de les répliquer. Par exemple, en 2011 est parue une étude menée par trois chercheurs de la compagnie pharmaceutique Bayer dans laquelle ils ont essayé de répliquer les résultats positifs de 67 recherches déjà publiées dans le domaine de la biochimie médicale; l'étude a rapporté que deux-tiers des résultats étaient impossibles à reproduire.[2] En 2012 une conclusion similaire a été publiée au sujet de la non-reproductibilité de plus de 85% d'études biomédicales sur le cancer.[3] Et en 2015 c'est au tour de la psychologie de voir moins d'un tiers des résultats positifs d'une centaine de publications récentes pouvant être répliqués.[4] Tous ces cas de **non-reproductibilité** suggèrent que le biais de confirmation est bien présent en science, surtout dans des domaines qui impliquent des mesures prises sur la maladie et le comportement des êtres humains, mesures qui peuvent facilement être imprécises, subjectives jusqu'à un certain point, et très variables.

---

[2] Prinz, F., Schlange, T., et Asadullah, K. 2011. Believe it or not: how much can we rely on published data on potential drug targets? Nature Reviews Drug Discovery 10: 712 https://doi.org/10.1038/nrd3439-c1

[3] Begley, C., et Ellis, L. 2012. Raise standards for preclinical cancer research. Nature 483: 531-533.

[4] Open Science Collaboration, 2015. Estimating the reproducibility of psychological science. Science 349: 943-951. Mais voir aussi: Gilbert, Daniel, Gary King, Stephen Pettigrew, et Timothy D. Wilson. 2016. Comment on "Estimating the reproducibility of psychological science." Science 351: 1037.

Pour contrer le biais de confirmation, il faut très attentivement **noter et mesurer le plus objectivement possible <u>tous les cas</u>** (il faut maintenir des cahiers de notes complets et ne pas faire confiance à sa mémoire). Il faut ensuite **appliquer des méthodes statistiques** dans l'analyse de toutes ces données sans en éliminer arbitrairement. Et aussi :

- Si parmi toutes les données qu'on obtient dans une expérience, il y en a une ou deux qui semblent différentes des autres, et qui semblent aller à l'encontre de notre hypothèse préférée, il ne faut pas les éliminer arbitrairement de l'analyse. Il faut essayer de trouver pourquoi ces données sont inhabituelles. Si on confirme de bonnes raisons (e.g. l'appareil de mesure fut défectueux cette journée là; l'animal était malade; la donnée n'était pas écrite à la bonne place dans les registres de l'expérience et est donc suspecte), alors on peut éliminer ces données inhabituelles (et on doit alors éliminer toutes les autres données auxquelles les mêmes raisons s'appliquent). Si on ne peut pas trouver pourquoi la donnée est inhabituelle, alors il faut l'inclure dans l'analyse. (À noter cependant qu'il existe des méthodes statistiques qui permettent d'éliminer les « ***outliers*** », c'est-à-dire les données jugées le plus objectivement possible – statistiquement parlant – comme étant trop inhabituelles.)

- Il ne faut pas tirer des conclusions qui ignorent certains résultats obtenus dans notre étude, même si on est honnête et qu'on prend la peine de rapporter ces résultats contrariants dans les articles qu'on écrit. Dans la discussion de nos articles scientifiques, il faut à tout le moins expliquer, le plus raisonnablement possible, pourquoi on pense que ces résultats contrariants ne contredisent pas la conclusion générale qu'on tire de notre étude.

- Si vous décidez à l'avance que vous allez tester une hypothèse avec une taille d'échantillonnage de 20 sujets, et que vous suivez l'évolution des données à mesure qu'elles entrent et qu'après 15 sujets vous voyez que vos données supportent votre hypothèse de façon statistiquement significative, il serait malhonnête de votre part d'arrêter l'expérience par peur que les cinq sujets restants vous donnent des données contraires qui rendraient le résultat final non-significatif. Vous vous devez d'aller jusqu'au bout de votre échantillonnage. (Une exception à ceci est parfois rencontrée dans des études médicales où l'efficacité d'un médicament expérimental devient tellement évidente tellement tôt que, par souci humanitaire, on décide d'arrêter l'expérience et de donner le médicament à tout le monde incluant le groupe témoin qui était supposé ne pas le recevoir.)

- Le moindrement que la mesure de la variable à l'étude est un peu subjective, il faut privilégier un protocole à simple ou à double insu (voir le chapitre 5 sur les mesures).

Il faut aussi **éviter de donner trop de poids aux anecdotes (= les histoires racontées par une personne) et aux cas uniques (ex. : un animal a fait un comportement à un moment donné; une personne se remet du cancer après avoir pris un médicament naturel) qui soutiennent notre hypothèse préférée** mais qui pourraient aussi fort bien n'être que le fruit du hasard. Le hasard peut facilement engendrer des cas uniques. Le seul bon côté des anecdotes et des cas uniques, c'est que ça nous encourage à continuer de tester notre hypothèse préférée en augmentant le nombre d'observations, en élargissant notre taille d'échantillonnage, pour confirmer que le phénomène qui nous intéresse est général plutôt que le simple fruit du hasard.

> Il est rare que les revues scientifiques acceptent de publier des études qui sont basées sur des anecdotes ou sur une seule observation (parmi les quelques exceptions, on compte la découverte de fossiles et l'observation de phénomènes célestes rares comme l'explosion d'une supernova). Des faits uniques peuvent nous donner des idées ou nous suggérer des hypothèses de relation cause-à-effet, mais habituellement la simple formulation d'hypothèses représente une trop petite partie de la méthode scientifique pour justifier la publication d'un article, et le support apporté à l'hypothèse par une seule observation est aussi trop faible pour justifier la publication. Il incombe plutôt aux chercheures d'élargir leur champ d'observation, de faire des observations supplémentaires pour voir si leur hypothèse continue à être soutenue, ou à faire des expériences pour tester leur hypothèse. On veut vérifier s'il y aura des cas contraires.

Il faut aussi se demander si nos observations pourraient être expliquées non seulement par notre hypothèse principale, mais peut-être aussi par d'autres hypothèses, qu'on appelle **hypothèses alternatives ou hypothèse compétitrices**. Plus que nos observations peuvent être expliquées par un certain nombre d'hypothèses alternatives (en autant que ces hypothèses soient raisonnables et plausibles), moins que le support offert à notre hypothèse principale est convaincant. Il ne faut donc pas ignorer les hypothèses alternatives (en autant qu'elles soient raisonnables).

> Quand on analyse ses résultats et qu'on en tire une conclusion, il faut aussi expliquer pourquoi on pense que les résultats ne sont pas aussi bien expliqués par de possibles hypothèses alternatives. Il faut donc faire le travail mental d'essayer de trouver des hypothèses alternatives qui pourraient aussi expliquer nos résultats (ou les résultats des autres, si on est en train de critiquer une étude ou article scientifique de quelqu'un d'autre), et essayer d'évaluer le bien-fondé de ces hypothèses alternatives. Ce travail intellectuel devrait même être effectué avant de faire les expériences, car cela pourrait nous aider à **concevoir des expériences qui pourraient distinguer entre les diverses hypothèses, entre notre préférée et les alternatives plausibles**.
>
> Une bonne expérience devrait **chercher à obtenir des résultats qui peuvent supporter une hypothèse tout en éliminant le plus d'autres hypothèses possibles**. En anglais, le principe de faire des expériences qui permettent de supporter une hypothèse tout en en éliminant le plus d'autres hypothèses possibles s'appelle "***strong inference***" (voir Science, vol. 146, 16 octobre 1964, p. 347-353).
>
> Je répète : **il faut quand même que les hypothèses alternatives soient plausibles**, raisonnables. Il est contreproductif de semer le doute sur une conclusion supportant une hypothèse en disant « oui mais vous n'avez pas éliminé telle ou telle hypothèse alternative » si ces hypothèses alternatives sont farfelues.
>
> Les hypothèses ajoutées après que les résultats ont été obtenus, dans le but de réconcilier les résultats avec nos attentes, portent le nom d'**hypothèses *ad hoc***. Une hypothèse *ad hoc* peut être légitime et raisonnable (honnêtement, on n'y avait juste pas pensé à l'avance) mais si elles ne sont que de piètres excuses pour sauver nos résultats (« *special pleading* »), alors on ne devrait pas leur accorder trop d'importance.

Quand on soutient un point de vue dans un débat scientifique, **il ne faut pas ignorer les études qui semblent contredire notre point de vue.** Au contraire, il faut les considérer sérieusement, les mentionner, et dire pourquoi on pense que ces études ne sont pas assez bonnes pour réfuter notre point de vue. Et **il faut essayer de trouver des erreurs avec autant de verve dans les études qui supportent notre point de vue de départ que dans celles qui ne le supportent pas**.

CHERCHEZ À INFIRMER AUSSI BIEN QU'À CONFIRMER

Une façon très proactive d'éviter le biais de confirmation est de consciemment, et honnêtement, essayer de trouver des cas qui contredisent notre hypothèse.

En science, on essaie habituellement de soutenir l'hypothèse qu'on a imaginée. C'est naturel. Mais il faut garder en tête qu'une autre façon productive de faire de la science est en fait d'essayer d'invalider une hypothèse, essayer de prouver qu'elle est fausse, essayer de trouver des données qui contredisent l'hypothèse. **C'est à force de tester une hypothèse de plusieurs façons différentes, et de ne jamais réussir à la réfuter, en plus de trouver des preuves confirmatoires, qu'on finit en fait par la supporter de manière convaincante**.

- Essayez l'exercice suivant. Présentez à un ou une amie la série de chiffres « 2-4-6 » en lui disant que cette série suit une règle que vous avez écrite sur un morceau de papier dans votre poche. Invitez la personne à vous donner des séries de chiffres qui continueraient votre série, et vous lui direz alors si chacune de ses séries est consistante avec votre règle, et vous l'inviterez à deviner la règle quand elle se sentira confiante de la connaitre. Les chances sont bonnes que la personne commencera avec « 8-10-12 », et vous direz « consistant avec la règle », et la personne devinera immédiatement « la règle est d'augmenter de 2 à chaque fois », et vous lui dévoilerez alors qu'elle a mal deviné car la règle écrite sur votre morceau de papier était « chaque chiffre est tout simplement plus haut que son précédent ». Le problème est que la personne a seulement essayé de confirmer sa première impression plutôt que d'essayer de l'invalider. Elle aurait dû essayer des chiffres qui invalideraient son hypothèse, ce qui l'aurait mis sur la piste de nouvelles hypothèses qu'elle aurait pu tester par de nouveaux chiffres jusqu'à ce qu'elle puisse deviner avec justesse.

- Essayez l'exercice suivant. Imaginez quatre cartes montrant A, B, 2, et 3. Sachez que chaque carte a une lettre d'un côté et un chiffre de l'autre. Quelles sont les cartes qui, au minimum, doivent être retournées pour vérifier si la règle suivante est respectée : « Si une carte montre une voyelle d'un côté, alors de l'autre côté elle doit montrer un chiffre pair » ? La plupart des gens tournent le A et le 2. Tourner le A est correct, mais tourner le 2 est une démarche confirmatoire inutile dans ce cas-ci, car même si on y découvrait une consonne, cela n'infirmerait pas la règle (qui est de forme « si A, alors B » et non pas « si B, alors A »). C'est le 3 qu'il faut tourner en plus du A afin de vérifier si on y retrouve une voyelle, ce qui infirmerait la règle. Le fait que la plupart des gens ne réalisent pas que la tâche demande d'essayer d'infirmer la règle (c'est ce que veut dire l'expression « vérifier que c'est respecté ») illustre que notre cerveau a plus tendance à penser en termes de confirmation plutôt que d'infirmation.[5]

En science **il ne faut pas avoir peur de publier des résultats « négatifs »** (c'est-à-dire, qui ne supportent pas notre hypothèse de départ), tant et aussi longtemps que notre étude était rigoureuse et bien conçue, et que les données ont été obtenues avec soin. Il est vrai que les résultats négatifs sont moins frappants que les positifs, mais ils sont en fait tout aussi importants. Ils comptent pleinement dans les **revues systématiques** de la littérature qui essaient de faire le point sur une question.

[5] Mais peut-être que cet exemple n'illustre que notre difficulté à travailler avec des notions abstraites. Remplacez A et B par avoir < 18 ans et > 18 ans, et 1 et 2 par avoir un verre en main et ne pas en avoir, et demandez de vérifier le règlement que pour boire il faut avoir > 18 ans, et les vérificateurs dans un bar regarderont correctement si les gens qui ont un verre ont > 18 ans, et si les < 18 ans ont un verre caché.

PHÉNOMÈNES COGNITIFS RELIÉS AU PICORAGE

Effet Dunning-Kruger :

Biais cognitif selon lequel les gens surestiment leur compétence. Ils se rappellent des cas où ils ont réussi mais pas de ceux où ils ont échoué, ou se rappellent des cas où ils ont mieux fait que les autres mais pas de ceux où ils ont moins bien fait que les autres.

Biais de disponibilité (= heuristique de disponibilité) :

Baser ses décisions sur des exemples frappants, donc mieux retenus en mémoire (plus « disponible » dans la mémoire) plutôt que d'essayer d'acquérir objectivement le plus d'informations possible. On se souvient plus facilement de ce qui est arrivé aux gens célèbres ou à nos amis et parents, et on ne base nos décisions que sur leur exemple. On se souvient de la personne du coin qui a gagné une somme exorbitante à la loterie, sans penser aux centaines de personnes qui n'ont rien gagné, et donc on achète des billets de loterie. On se souvient très bien du cas horrible d'une personne qui s'est fait arracher une jambe par un requin, et donc on refuse d'aller à la plage, même si le risque que la même chose nous arrive est objectivement et statistiquement minuscule. On pense qu'il y a plus de cas de meurtres que de cancer de l'estomac (ce qui est faux) simplement parce qu'on entend plus souvent parler de meurtres que de cancers dans les nouvelles.

Dogmatisme :

Respect inconditionnel d'une position, sans accepter de pouvoir la remettre en question, sans prendre conscience des inconsistances de ses jugements, sans accepter de considérer les preuves contraires.

Rationalisation motivée :

Action de justifier des croyances auxquelles on tient beaucoup (des « vaches sacrées ») en utilisant une gymnastique mentale, notamment en (1) expliquant de manière incorrecte les preuves qui vont à l'encontre de nos croyances, comme par exemple en attaquant la personne qui la donne (attaque *ad hominem*), ou en invoquant un complot, ou en y trouvant des erreurs ou des inconsistances jugées accablantes mais qui sont en fait insignifiantes, ou en les soumettant à des erreurs de logique; et en (2) expliquant de façon pseudo-scientifique et incorrecte les preuves confirmatoires.

Dissonance cognitive :

Manque de compatibilité entre les croyances chères d'une personne et les faits qu'elle observe. Le cerveau ne tolère pas la dissonance cognitive. Le cerveau peut résoudre la dissonance cognitive de deux façons : (1) abandonner ou modifier la croyance pour la rendre compatible avec les faits, ou (2) ignorer ou nier les faits, ou les interpréter incorrectement par rationalisation motivée, afin de préserver la croyance. C'est malheureusement la deuxième façon qui est habituellement adoptée par les gens.

Biais de confirmation, qualité des études, et réplication des études

Les climatonégationnistes accusent souvent les climatologues de n'être que des environnementalistes dans l'âme et d'être biaisés par une idéologie environnementaliste; ce ne serait que par biais de confirmation que les climatologues concluent que l'humain est responsable du réchauffement de la planète.

La réponse classique à cette objection est que même si certains climatologues peuvent être la proie du biais de confirmation (les scientifiques sont formés à éviter un tel biais, mais personne n'est parfait), la nature communautaire de la science fait en sorte que leurs collègues vont se faire un plaisir de les corriger en introduisant dans la discussion les faits « oubliés » et en pointant du doigt les biais d'interprétation. De par sa nature communautaire la science est auto-correctrice (revoir le chapitre 3).

Mais dans ce chapitre j'ai mentionné des recherches recensant qu'environ deux-tiers des études publiées en biochimie médicale ou en psychologie ne pouvaient pas être répliquées avec succès, jetant un doute substantiel sur la justesse de leur conclusion, et suggérant une influence majeure du biais de confirmation. Si la science est auto-correctrice, comment se fait-il que tant de mauvaises études réussissent à s'installer dans la littérature?

Un premier élément de réponse est d'admettre que les **arbitres** qui doivent approuver un manuscrit avant qu'il soit accepté pour publication ne font pas toujours très bien leur travail. Parfois c'est de leur faute (ils ne lisent pas le manuscrit suffisamment attentivement) et parfois ce n'est pas de leur faute (ex. : les chercheurs n'ont pas mentionné certains détails de leur méthodologie qui aurait permis aux arbitres de déceler un défaut majeur; ou peut-être qu'à l'insu de tout le monde le principal instrument de mesure était mal calibré). Le processus de vérification par les pairs (arbitrage) n'est pas parfait et pas à toute épreuve.

Un deuxième élément de réponse est de dire que même si de mauvaises études réussissent à se faire publier, cela ne veut pas dire qu'elles ne réussissent pas à se faire corriger.

- Habituellement la correction apparait sous forme d'un autre article (souvent par une autre équipe de recherche) qui soulève les problèmes avec le premier article. Mais cela n'empêche pas le premier article de demeurer présent dans la littérature. Il faut se garder au courant de la littérature pour apprendre que le premier article est défaillant.

- La correction peut prendre plus ou moins beaucoup de temps, dépendamment du champ d'intérêt. Les études qui visent à mener à une application technologique se font rapidement vérifier/corriger, car il y a un enjeu monétaire important. Les études qui ont des impacts directs sur la santé humaine (e.g. pollution, contamination, effets de médicaments) se font aussi vérifier/corriger rapidement. Les études dans une discipline populaire ou en croissance rapide se font vérifier/corriger rapidement (e.g. génomique). Les études qui ont des enjeux sociétaires (e.g. celles sur le changement climatique) se font vérifier/corriger rapidement (c'est là la réponse à donner aux climato-négationnistes). Cependant, les études portant sur un sujet intéressant mais avec peu d'impact sur la société (certains aspects de la psychologie, par exemple) n'ont pas tendance à se faire vérifier ou corriger rapidement. Leurs résultats erronés peuvent trainer longtemps dans la littérature scientifique avant que quelqu'un prenne la peine de faire une nouvelle étude éclairant la situation.

Ce dernier point nous amène à l'observation suivante : la culture scientifique moderne accorde **beaucoup d'importance à la nouveauté des résultats**, et donc peu d'importance à la réplication d'études déjà faites. Les organismes subventionnaires veulent supporter des études qui vont faire de nouvelles découvertes; les revues scientifiques veulent publier des articles intéressants et donc ils ont tendance à refuser les articles qui ne font que confirmer une ancienne étude. Les tentatives de réplication d'anciennes études ne sont donc pas populaires : au pire, elles ne feront que confirmer et ne seront donc pas très intéressantes; au mieux, elles ne feront que pointer du doigt une erreur. Débusquer les erreurs est utile; pour plusieurs scientifiques c'est même perversement satisfaisant, mais cela peut aussi être perçu comme un boulot un peu sale, un boulot de nettoyage, un travail de second plan, de coulisse, en arrière de ceux qui explorent courageusement l'inconnu.

Plusieurs scientifiques, inquiets de la qualité de la recherche scientifique et de la validité des connaissances rapportées dans la littérature scientifique de certains domaines, **déplorent ce manque de popularité des tentatives de réplication**.

La science n'est pas parfaite. C'est le meilleur outil que nous avons pour faire reculer l'ignorance, mais ce combat contre l'ignorance n'est pas une glorieuse avancée de front. La science suit un chemin tortueux, comprenant certains culs-de-sac, certains reculs, certaines stagnations. Le combat est difficile.

QUESTIONS :

Q26 Vous voulez tester l'hypothèse que les propriétaires de camion ont tendance à avoir des chiens comme animaux de compagnie. Vous faites un sondage auprès des propriétaires de camion que vous connaissez et vous observez que plus de la moitié d'entre eux ont effectivement un chien. Vous en concluez que votre hypothèse est soutenue. Qu'est-ce que votre pire ennemi va penser de votre étude?

Q27 Au printemps, les mâles d'une espèce de grenouilles établissent des territoires dans un marais. Chaque mâle s'assoit au milieu de son territoire et coasse (fait des appels) pour attirer les femelles. Vous faites l'hypothèse que les femelles sont plus attirées par les coassements plus fréquents. Vous allez dans le marais à côté de l'université la nuit et pour 10 mâles différents vous mesurez sa fréquence de coassement et le nombre de femelles qui acceptent de s'accoupler avec lui. Vous trouvez une corrélation positive : plus un mâle coasse, plus il attire de femelles. Vous concluez que votre hypothèse est supportée. Mais votre pire ennemi va mentionner que votre conclusion ne tient pas compte de plusieurs hypothèses alternatives pour expliquer vos résultats. Quelles hypothèses alternatives, et comment les tester?

Q28 L'internet permet un accès plus facile que jamais à l'information. On penserait donc que, avec plus d'informations, les gens abandonneraient les fausses croyances. Utilisez l'argument du biais de confirmation pour soutenir l'opinion contraire.

Q29 Vous lisez un livre dans lequel plusieurs exemples sont donnés d'athlètes et d'artistes qui ont atteint un grand succès dans leur discipline après avoir passé au moins 10,000 h à se pratiquer. Vous prenez donc la résolution de pratiquer le piano pour 5 h à tous les jours pendant des années, certain que vous allez devenir maitre de cet instrument. De quel biais cognitif êtes-vous la victime?

Q30 Quel est le lien entre le biais de confirmation et l'astrologie?

Q31 Un de vos amis dit qu'il a des pouvoirs extrasensoriels et qu'il peut lire les pensées. Pour le tester, vous lui demandez 10 fois de deviner quelle couleur vous avez en tête (changeant de couleur à chaque essai). Il ne réussit jamais à deviner correctement. Mais il vous dit que c'est parce que vous aviez des doutes et que vous ne pensiez pas assez fort à la couleur. Quel nom donne-t-on à ce genre d'argument?

Q32 Quel conseil général donneriez-vous à vos amis pour minimiser le biais de confirmation?

CITATIONS :

« I followed a golden rule, whenever a new observation or thought came across me, which was opposed to my general results, to make a memorandum of it without fail and at once; for I had found by experience that such facts and thoughts were far more apt to escape from the memory than favorable ones. » – *Charles Darwin*

« En somme, chaque étape d'une recherche peut porter au biais de confirmation : depuis la formulation des éléments d'un questionnaire aux choix méthodologiques et statistiques. Un regard pessimiste sur cette réalité pourrait alors faire perdre la foi dans la recherche. Notre analyse montre plutôt que ce biais est un piège évitable si on redonne leurs lettres de noblesse aux rudiments de la méthode scientifique : appliquer le critère de réfutabilité, reproduire les expériences afin de confirmer leurs résultats, publier les résultats négatifs et, concernant les éditeurs, refuser les articles qui contiennent de la mauvaise science. C'est à ce prix qu'on gardera à distance le biais de confirmation, un contaminant toxique de l'effort d'objectivité scientifique.

Enfin, on aura compris que la présence du biais de confirmation en recherche montre à quel point la démarche scientifique n'est pas naturelle à l'homme, d'où la nécessité de son enseignement. Il faut voir et entendre à cet égard l'embarras d'un grand nombre d'étudiants en sciences humaines et sociales lorsqu'ils se rendent compte qu'un cours de méthode de recherche fait partie du programme obligatoire de leur formation. Comme la vision spontanée des choses est étrangère à la démarche scientifique, l'esprit critique et le scepticisme sont nécessaires pour contrôler le biais de confirmation et cela requiert un certain apprentissage, un effort volontaire et une vigilance constante. » – *Serge Larivée et al., 2019, Revue de psychoéducation 48: 245-263.*

« Le principe du vrai courage, c'est le doute. L'idée de secouer une pensée à laquelle on se fiait est une idée brave. » – *Émile-Auguste Chartier (dit Alain)*

« Of course, science contains a special self-correcting mechanism to get around the confirmation bias: other people will check your results or rerun the experiment. If your results were entirely the product of the confirmation bias, someone will sooner or later catch you on it. That is what sets science apart from all other ways of knowing. » – *Michael Shermer, dans Why people believe Weird Things.*

LIVRES ET ARTICLES:

Munafo, M.R., Nosek, B.A., Bishop, D.V.M., Button, K.S., Chambers, C.D., Percie du Sert, N., Simonsohn, U., Wagenmakers, E.-J., Ware, J.J., et Ioannidis, J.P.A., 2017. A manifesto for reproducible science. Nature Human Behaviour 21: 1-9.

CHAPITRE 7

Danger : Arguments d'ignorance

« On ne doit pas escamoter l'incompréhensible, mais non plus s'en servir comme d'une explication. » – *Jean Rostand.*

ARGUMENT D'IGNORANCE

Un **argument d'ignorance** constitue à admettre son ignorance sur un certain point A, et à partir de là se permettre de faire une affirmation sur un point B.

C'est un argument **dangereux**. Être ignorant de A ne rend pas automatiquement vraie une hypothèse apparemment alternative B. Après avoir dit « je ne sais pas ce que XYZ était », on devrait arrêter là! Si on ne sait pas, alors on ne sait pas!

Exemples d'arguments d'ignorance (tous non-valides) dans la vie de tous les jours :

« Je ne peux pas expliquer ce qu'étaient ces lumières qui bougeaient dans le ciel. Ça devait être des soucoupes volantes. »

« Il fait toujours froid sans raison dans cette pièce; elle doit être hantée par un fantôme. »

« Jean n'a pas d'alibi (nous sommes ignorants de ce qu'il faisait), donc il a commis le crime. »

« On ne peut pas être certain que l'homéopathie n'a pas d'effet, donc pratiquons l'homéopathie. » (Nous sommes ignorants des preuves du contraire de A, donc A est vrai) »

« Il n'a pas été prouvé que ce pesticide est sécuritaire, donc il est nocif et il faut le bannir. »

« Je dis que le gouvernement essaie de nous endoctriner avec des messages subliminaux à la télévision. Tu n'as pas trouvé de preuve du contraire, donc j'ai raison. »

« Prouvez-moi que l'astrologie ne fonctionne pas, sinon c'est qu'elle fonctionne. »

« Je ne peux pas expliquer comment ce magicien a pu faire cela. Donc, la magie existe. »

« Je ne fais pas confiance aux scientifiques, car je ne comprends rien à ce qu'ils disent. »

« Je n'arrive pas à comprendre comment les animaux peuvent être si parfaitement adaptés à leur milieu; ça peut seulement être Dieu qui les a créés. »

« Cette guérison est inexpliquée par la science; c'est un miracle, une intervention divine! »

FAUX DILEMME :

Un argument similaire, appelé **faux dilemme**, consiste à prouver que A est faux, et de là dire que B est vrai comme si B était la seule alternative à A. C'est **tout aussi dangereux**. Il arrive souvent qu'il y ait des alternatives C, D, E …. à A et on ne sait pas laquelle est la bonne.

Exemples de faux dilemme (tous risqués) :

« Ce n'est pas noir, donc c'est blanc. »

« Tu es soit pour nous, soit contre nous. »

« Si tu ne vas pas à l'université, tu ne réussiras pas dans la vie. »

« Si vous ne votez pas pour moi, l'économie va s'effondrer. »

EN SCIENCE :

La véracité d'une hypothèse devrait dépendre des preuves pour ou contre cette hypothèse elle-même, et non pas des ignorances ou des preuves vis-à-vis une hypothèse alternative.

Il est peut-être facile de rire des exemples de la vie de tous les jours ci-haut, mais même en science les arguments d'ignorance peuvent faire des victimes. En effet, il arrive que certains scientifiques, pour essayer d'expliquer un phénomène, émettent deux hypothèses (A et B) mutuellement exclusives. Ils font une expérience qui réfute l'hypothèse B, et à partir de cela ils se permettent de dire que l'hypothèse A est supportée. C'est une erreur. Réfuter B n'est pas équivalent à prouver A. Peut-être que A et B sont toutes les deux fausses, et que c'est une autre hypothèse C, à laquelle on n'avait pas pensé, qui est la bonne.

- Je dis : « Soit que les grenouilles femelles préfèrent s'accoupler avec les mâles qui ont les plus gros territoires, ou bien avec ceux qui coassent (chantent) le plus fort. » Je vais sur le terrain au printemps et j'observe qu'il n'y a pas de corrélation entre la grosseur du territoire et le succès reproducteur des mâles propriétaires de territoire. J'en conclus que les femelles préfèrent probablement les mâles qui coassent le plus fort. Mais c'est une erreur de faire une telle conclusion! Je n'ai pas vraiment testé la question des coassements forts, et je n'ai pas considéré toutes les hypothèses possibles. Peut-être qu'elles préfèrent les mâles les plus gros, ou ceux qui coassent le plus souvent (plutôt que le plus fort). Peut-être même qu'elles n'ont pas de préférence pour quoi que ce soit! Il faudra que je retourne sur le terrain l'année prochaine et que je fasse une étude plus complète!

À noter qu'il demeure quand même très utile de réfuter des hypothèses alternatives à notre hypothèse principale. Plus on élimine les hypothèses alternatives, plus on prend confiance en l'hypothèse principale qui reste. **Mais il faut aussi tester notre hypothèse principale**. Il faut essayer d'imaginer des situations où les prédictions faites par notre hypothèse principale pourraient se réaliser, et de voir si effectivement elles se réalisent. Plus on essaie de tester notre hypothèse principale, et plus on s'aperçoit que ses prédictions continuent à se réaliser, alors plus on devient confiant que notre hypothèse est vraie.

FARDEAU DE LA PREUVE :

> *«* Des affirmations extraordinaires nécessitent des preuves extraordinaires *»* – *Carl Sagan (traduction)*
>
> « Nous devons les examiner (*les phénomènes*) avec une attention d'autant plus scrupuleuse qu'il paraît plus difficile de les admettre » – *Laplace (1840)*

Je répète : il faut non seulement réfuter des hypothèses alternatives, il faut aussi tester notre hypothèse principale. **Le fardeau de la preuve repose sur les épaules de la personne qui fait l'hypothèse**. C'est à nous de prouver que notre hypothèse est vraie, pas aux autres de prouver qu'elle est fausse.

Plus une idée ou hypothèse va à l'encontre de ce qu'on connait déjà, ou plus elle semble surprenante à la lumière de ce à quoi on s'attendrait, plus il importe de bien la soutenir avec le plus grand nombre possible de preuves convaincantes. Si les preuves qui prétendent renverser une théorie tout entière ou qui semblent aller à l'encontre des probabilités sont peu nombreuses ou de mauvaise qualité, alors les chances sont que ces preuves ne sont pas valides.

- Il serait vraiment surprenant que le monstre du Loch Ness, ou l'Abominable Homme des Neiges, ou le Sasquatch aient réussi à maintenir des populations viables sans jamais être capturés, ou sans jamais laisser de cadavres ou autres traces probantes de leur existence. Les quelques « preuves » en faveur de leur existence (des photos floues, des témoignages de personnes isolées) sont tellement peu nombreuses qu'il semble plus probable qu'elles soient des cas de fraude, ou d'hallucinations, ou de vœux pieux (« *wishful thinking* »).

- Il serait vraiment surprenant que des OVNIs (*UFO*s) en provenance de civilisations extra-terrestres réussissent à être observés visuellement par des personnes tout en échappant aux radars qui, de nos jours, balaient le ciel entier. Il serait surprenant que les extra-terrestres décident de kidnapper quelques conducteurs solitaires sur les routes de la campagne américaine plutôt que de se faire connaitre à la population entière. Les quelques photos floues ou témoignages isolés qui supportent l'idée de l'existence des OVNIs sont bien peu impressionnants et sont probablement plutôt des cas de fraude ou des erreurs d'identification d'objets volants plus mondains, comme des avions ou des ballons météorologiques.

Seulement critiquer une théorie bien établie n'est pas aussi convaincant que de vraiment donner des preuves de sa fausseté, ou de donner des preuves soutenant une hypothèse alternative. **Le fardeau de la preuve repose sur les épaules de la personne qui veut réfuter le consensus scientifique**.

- Les créationnistes aiment bien parler des lacunes de la théorie de l'évolution, c'est-à-dire les questions que la théorie ne parvient pas encore à bien répondre, mais ils ne fournissent jamais de preuves que la théorie est fausse, ni de preuves que leur hypothèse alternative préférée (l'existence d'un dieu créateur) est vraie. Vous ne verrez jamais de congrès scientifiques ou de revues scientifiques sur le créationnisme, car les créationnistes ne font pas de recherches pouvant mener à des preuves concrètes (pour une raison assez évidente : leur hypothèse est non-vérifiable puisqu'elle invoque un créateur surpuissant qui peut faire n'importe quoi, selon son caprice).

PREUVE D'ABSENCE :

Vous avez peut-être déjà lu l'expression « l'absence de preuve n'est pas une preuve d'absence ».

C'est un aphorisme qui sonne bien, mais il n'est pas tout à fait exact. Il faudrait plutôt dire « l'absence de preuve n'est pas NÉCESSAIREMENT une preuve d'absence. »

A strictement parler, en termes philosophiques, il est vrai qu'on ne peut pas prouver un négatif, prouver à 100% de certitude la non-existence de quelque chose, pour la même raison qu'on ne pas prouver à 100% l'existence de quelque chose non plus : on ne sait jamais si des preuves pour ou contre l'existence de quelque chose pourrait apparaitre et nous contredire dans le futur.

Mais de la même façon qu'il soit possible de prouver hors de tout doute raisonnable l'existence de quelque chose, il est aussi possible de **prouver hors de tout doute raisonnable la non-existence de quelque chose**. Il faut tout simplement remplir les conditions suivantes :

1. Il faut faire des prédictions logiques et solides sur ce qu'on devrait observer dans le monde réel si la chose existait.

2. Il faut qu'il y ait des chances raisonnables et pratiques que ces prédictions puissent se réaliser et se faire observer, si la chose existait.

3. Il faut qu'on fasse un bon effort pour vérifier si les prédictions se réalisent.

Si on remplit ces conditions et qu'on ne réussit PAS à observer ce qui avait été prédit, alors on peut, hors de tout doute raisonnable, dire qu'on a prouvé la non-existence de ce que l'on recherchait.

- Imaginez que je veux prouver la non-existence de souris dans mon grenier. Il ne suffit pas que j'ouvre la trappe du grenier, que je regarde aux alentours pendant 5 minutes, et que je dise « je n'ai rien vu, donc il n'y a pas de souris dans mon grenier ». Il me faut prédire non seulement que les souris seraient visibles de temps en temps, mais aussi qu'elles laisseraient des crottes, qu'elles feraient du bruit, qu'elles mangeraient du fromage s'il y en avait; et puis il faudrait que je fasse un grand effort de détection : installer des caméras en permanence dans mon grenier, incluant des caméras à infra-rouge pour la nuit, installer des microphones, installer des pièges avec du fromage (pour les capturer vivantes!), chercher partout pour trouver des crottes. Si après tout cela je ne parviens toujours pas à obtenir des preuves de la présence des souris, je serais justifié de conclure en leur absence (provisoirement, je l'admets, comme toute conclusion scientifique, mais quand même hors de tout doute raisonnable, = avec un haut niveau de certitude, = une forte probabilité que ce soit vrai qu'elles sont absentes).

Bien sûr, on peut argumenter en quoi une prédiction est "solide", ce qu'est une chance "raisonnable" d'observer la prédiction, ce qu'est un "bon effort" de vérifier la prédiction. Il y a une certaine part de subjectivité dans ces termes, et donc il n'est pas surprenant que ce ne soit pas tout le monde qui s'entendent sur la non-existence de certaines choses, et qui demandent que les recherches continuent. Les pseudoscientifiques qui étudient le paranormal, en particulier, aiment bien cette stratégie.

Le surnaturel bouche-trou

L'ignorance et le mystérieux sont souvent une excuse pour certaines personnes d'avoir recours à des explications surnaturelles (e.g. fantômes, esprits, dieux). Souvent c'est un dieu qui est invoqué pour expliquer un phénomène incompris, et les sceptiques donne le nom anglais de « *God of the gaps* » à ce type d'argument (*gaps* désignant les lacunes actuelles de notre savoir). Un bon équivalent français, qui ne se limite pas à un dieu, serait : le surnaturel bouche-trou.

Le gros problème avec le surnaturel bouche-trou, c'est qu'il éteint toute curiosité, nous fait baisser les bras face à l'inconnu, décourage la poursuite rationnelle du savoir, inhibe la recherche scientifique, et nous garde dans un état moyen-âgeux.

Dans les mots de Daniel Fortier (dans Le Québec Sceptique 90: 52) :

> « La conception scientifique de la réalité est encore incomplète. La science actuelle n'explique pas certains phénomènes, dont : le big bang lui-même (la science peut expliquer un très grand nombre de choses à partir du moment où le big bang a eu lieu, mais pas le big bang lui-même), l'origine de la vie, de la vie complexe, de l'intelligence et de la conscience de soi. Des hypothèses scientifiques existent, certaines très solides, d'autres moins, mais pas de réponses définitivement établies.
>
> (…)
>
> L'absence d'une explication naturelle implique-t-elle que l'explication doit être surnaturelle? Non : cela implique seulement que l'explication naturelle n'a pas encore été trouvée, qu'il faut savoir dire « je ne sais pas ». Nommons « surnaturel bouche-trou » le surnaturel auquel on fait appel pour rendre compte d'un phénomène dont l'explication naturelle n'a pas été découverte ou vérifiée.
>
> Dans le passé, les humains ont eu recours au surnaturel bouche-trou pour expliquer nombre de phénomènes : la foudre, les tremblements de terre, le volcanisme, les épidémies, les mauvaises récoltes, etc. Si tous nos ancêtres s'étaient contentés du surnaturel bouche-trou, nous n'aurions pas la science ni ses résultats concrets, pour le meilleur ou pour le pire.
>
> Accepter le surnaturel bouche-trou revient à renoncer à chercher l'explication naturelle, à renoncer à savoir et à comprendre, à accepter de demeurer dans l'ignorance. En réponse à l'angoisse que peut créer l'état d'ignorance, le surnaturel bouche-trou crée seulement une illusion de connaissance; le fait de s'accrocher au surnaturel bouche-trou peut être rassurant, mais nous maintient dans l'état d'ignorance.
>
> Aujourd'hui, croire en la nécessité d'une intervention surnaturelle pour expliquer le big bang, la vie, la vie complexe, l'intelligence et la conscience de soi, c'est recourir au surnaturel bouche-trou. »

CHAPITRE 8

Danger : Arguments *post hoc ergo propter hoc*

L'argument *post hoc ergo propter hoc* (« À la suite de cela, donc à cause de cela »), ou simplement argument *post hoc*, dit que si A est suivi par B dans le temps, alors A a forcément causé B.

C'est un argument **dangereux** : oui, il est vrai que B suit A lorsque A cause B; mais il peut aussi arriver que B suive A sans que A soit la cause de B.

- Parfois c'est simplement le **jeu des coïncidences** qui fait que B suit A.
- Parfois c'est que B allait arriver de toute façon, peu importe la présence ou absence de A, comme dans le cas des **régressions vers la moyenne** (= retour à la normale).
- Parfois c'est parce que A et B sont tous les deux causés par un même facteur C antécédent (un type de **variable confondante**), et que l'effet de C s'exprime sur A avant de s'exprimer sur B. Donc on a C cause A, suivi de C cause B, mais on n'a pas A cause B même si B suit A.
- Parfois c'est que B était déjà contenu dans A dans les **conditions de départ**.

Donc, quand on voit que B suit A on peut **suggérer** que B est causé par A, mais on n'en a certainement pas la preuve absolue. Il faut faire des expériences pour le tester. L'observation d'une relation temporelle entre deux variables est une **invitation à faire des études supplémentaires** et non pas une conclusion sur une relation de cause-à-effet.

Dans ces études (que ce soit des expériences contrôlées ou des observations systématiques dans le futur), il est bon de considérer les questions suivantes :

- Est-ce que B suit toujours/habituellement A?
- Est-ce que A est toujours/habituellement suivi de B?
- Est-ce que B peut arriver sans A?
- Est-ce que B disparait quand on enlève A?
- Est-ce qu'un changement dans le niveau de A entraîne un changement dans le niveau de B?
- Peut-on penser à des mécanismes qui expliqueraient que A puisse causer B?

JEU DES COÏNCIDENCES

B peut suivre A seulement par hasard, sans qu'il y ait de relation cause-à-effet. Si A et B peuvent tous les deux survenir par hasard, alors le hasard peut très bien faire en sorte que A arrive un peu avant B, sans qu'il y ait une relation de cause-à-effet entre A et B.

- Au début des années 80, environ deux à trois ans après que Nutrasweet (= l'aspartame) ait été introduit comme édulcorant artificiel dans la nourriture, une hausse soudaine (et prolongée jusqu'à ce jour) de cas de cancers du cerveau a été détectée dans la population nord-américaine. Les médias ont immédiatement annoncé que Nutrasweet causait le cancer. Mais il y a beaucoup d'autres choses qui sont apparus en même temps que Nutrasweet, peu de temps avant la hausse de cancer : la télévision par câble ou les Sony Walkman par exemple. Pourquoi accuser Nutrasweet plutôt que ces autres facteurs? En fait, la hausse des cancers du cerveau au début des années 80 était peut-être (probablement, en fait) seulement due à une amélioration des techniques de détection plutôt qu'à une cause externe, et la juxtaposition temporelle de cette amélioration avec l'introduction de Nutrasweet n'était qu'une coïncidence. Malgré cela, il y a encore beaucoup de gens qui croit que Nutrasweet est mauvais pour la santé, alors qu'en fait toutes les études scientifiques sérieuses ont conclu que Nutrasweet (l'aspartame) est sans danger pour la santé humaine (sauf pour les gens qui souffrent de phénylkétonurie).

Q33 Quelle expérience (ou observations supplémentaires) pourrait-on faire pour tester l'idée que Nutrasweet cause le cancer du cerveau?

- Je veux tester l'hypothèse que la pleine lune déclenche le comportement de reproduction chez une certaine espèce de poisson. Donc, j'attends pour la prochaine pleine lune, et une fois qu'elle est apparue dans le ciel je me rends sur le terrain, et j'observe qu'effectivement les poissons sont en train de se reproduire.

Q34 Cette observation est-elle un bon support en faveur de mon hypothèse?

- Un gouvernement (insérez ici le nom de votre parti préféré) est élu. Six mois plus tard, la récession frappe le pays.

Q35 Les politiciens adverses sont-ils justifiés de dire « Voilà ce qui arrive quand on élit un gouvernement (insérez ici le nom de votre parti préféré) » ?

- Une personne se fait donner le vaccin annuel contre la grippe. Quatre jours plus tard elle commence une grippe.

Q36 Cette personne est-elle justifiée de dire que c'est le vaccin qui a causé sa grippe?

RÉGRESSION VERS LA MOYENNE

Certaines variables montent et descendent de façon assez régulière. Si A s'adonne à arriver juste avant que B s'apprête à changer par elle-même (B retourne à la normale, ou « régresse vers la moyenne »), il est facile de penser, erronément, que A a causé B.

- *The Sports Illustrated jinx* : Les athlètes qui font la une sur le magazine américain *Sports Illustrated* ont toujours de moins bonnes performances l'année suivante, ce qui fait croire à certains que d'apparaître sur la page couverture de *Sports Illustrated* porte malchance. Mais n'est-il pas plus logique de penser que pour apparaître sur la page couverture de *Sports Illustrated*, ça prend une performance inhabituellement bonne pendant une période de temps inhabituellement longue, et que les performances inhabituellement bonnes et longues, de par la définition même de « inhabituelle », sont presque toujours suivies par des performances plus proches de la moyenne? La super bonne performance était un gros coup de chance et a été inévitablement suivie par un retour vers la normale. Le fait d'apparaitre sur la page couverture du magazine n'avait rien à y voir.

- Certains entraîneurs pensent que la critique est un meilleur instrument que la louange pour améliorer la performance des athlètes. Ils justifient cette conclusion en disant : « À chaque fois que je louange un de mes joueurs après qu'il ait fait un beau jeu, il fait moins bien la fois suivante; et à chaque fois que je critique un joueur après qu'il ait mal joué, il fait mieux la fois suivante; donc c'est seulement la critique qui est efficace ». Ces entraîneurs ne réalisent pas que les moins mauvaises ou les moins bonnes performances ne sont pas une conséquence de leur louange ou de leur critique précédente, mais simplement une expression de la régression vers la moyenne, le retour à la normale.

- Une personne développe soudainement un mal de genou. Elle décide de suivre un traitement de réflexologie/aimants/acupuncture/etc. Un mois plus tard, le mal de genou disparait. Doit-on en déduire que la réflexologie ou la magnétothérapie ou l'acupuncture sont des traitements efficaces contre les maux de genou? Se pourrait-il que le mal de genou aurait cessé par lui-même au bout d'un mois de toute façon? (À une époque où la médecine était loin d'être aussi efficace que maintenant, Voltaire a dit : « L'art de la médecine consiste à distraire le malade pendant que la nature le guérit ».) Après tout, les maux de genou (tout comme l'arthrite et les maux de jointures en général) évoluent souvent de manière cyclique. C'est souvent au pic de la maladie que le patient n'en peut plus et essaie le remède non-conventionnel. Quand la situation s'améliore ensuite, le patient pense que c'est à cause du remède non-conventionnel, alors qu'en fait il se serait amélioré de toute façon, de par la nature cyclique de sa maladie.

Q37 Quelle expérience faudrait-il faire pour tester l'efficacité d'un traitement contre le mal de genou?

- La compagnie dont vous êtes la PDG a eu une très mauvaise année. Vous engagez un consultant qui va donner des ateliers à vos employés pour tenter d'améliorer les choses. L'année suivante, bingo, la compagnie fait un bon profit.

Q38 Allez-vous recommander le consultant à toutes les autres entrepreneures que vous connaissez?

EFFET CONFONDANT D'UNE TROISIÈME VARIABLE

B peut suivre A non pas parce que A cause B, mais plutôt parce que A et B sont tous les deux le résultat d'une même variable C et que cet effet s'exprime sur A avant B. Le facteur C potentiel qui pourrait causer A et B ensemble est un type de « **variable confondante** ». À chaque fois qu'on voit un argument de cause-à-effet basé sur une relation entre deux événements/états, on devrait se demander si une troisième variable confondante pourrait être à l'origine de la relation, plutôt qu'une vraie relation de cause à effet entre les deux évènements/états.

- L'autisme se développe chez l'enfant entre sa première et troisième année. C'est aussi pendant ces années de la vie que certains vaccins sont administrés. Invariablement, il arrive que chez certains enfants l'autisme se déclenche quelques mois après un des vaccins. Des gens pensent immédiatement que c'est le vaccin qui a causé la maladie, alors qu'en fait ce n'est qu'une variable confondante, l'âge, qui est responsable de cette synchronie entre la vaccination et le début de la maladie.

- Un article récent dans la revue scientifique *Nature* faisait état d'une étude qui a trouvé que les étudiants de médecine qui prenaient la peine de suivre des cours à option dans la Faculté des arts, comme « Appréciation de l'art » par exemple, avaient plus de succès plus tard dans leur carrière à correctement diagnostiquer les maladies mystérieuses. La conclusion était qu'on devrait encourager les étudiants de médecine à prendre des cours de la Faculté des arts afin qu'ils deviennent de meilleurs médecins.

Q39 Que pourrait être la variable confondante?

- Plusieurs études ont démontré que les gens heureux dans leur vie (tel que mesuré par questionnaire) vivent plus vieux que les malheureux. On dit alors qu'il faut s'efforcer d'être positif dans la vie dans le but de pouvoir vivre plus longtemps.

Q40 Est-ce que le bonheur cause la longévité, ou y a-t-il une variable confondante?

- Une étude démontre que les étudiants qui fument ont de moins bons résultats scolaires. Donc, arrêtez de fumer, et vous aurez de meilleurs résultats scolaires.

Q41 Le fait de fumer cause-t-il vraiment le moins bon rendement scolaire?

- Les femmes qui vont à l'Université ont plus tendance à rester célibataires toute leur vie. Les gens pensent alors que l'éducation universitaire cause le célibat des femmes.

Q42 Que pourrait être la variable confondante?

ATTENTION AUX CONDITIONS DE DÉPART

Parfois il semble que A mène à B, mais en fait B était déjà contenu dans A au départ. Il n'y en a donc pas vraiment d'influence particulière de A sur B.

- Tous les nageurs olympiques ont des corps de plage. On est donc tenté de penser que pratiquer la nage permet de développer de beaux corps. Bon, il n'y a pas de doute que la nage, comme toute autre activité physique, peut améliorer certains aspects physiques, mais l'uniformité du physique des nageurs olympiques vient plus du fait que ces personnes avaient déjà un tel corps avant même de devenir nageur, un corps bien adapté à réussir en natation. Ce n'est pas la natation qui leur a fait développer ce beau corps, c'est plutôt leur beau corps qui les a prédisposés à devenir nageur. (Pensez au basketball comme analogie : les joueurs de basketball sont grands, mais jouer au basketball ne vous fera pas devenir plus grand! Les joueurs ont choisi le basketball parce qu'ils étaient déjà grands.)

- Cinq ans après avoir obtenu leur diplôme, les gradués des grosses universités américaines occupent des emplois plus payants que les gradués des petites universités, en moyenne.

Q43 Doit-on en déduire que le fait d'aller à de grosses universités nous fait mieux réussir dans la vie (si on équivaut « réussir » à « faire beaucoup d'argent »)?

LE DANGER DES ÉTUDES PROSPECTIVES

À noter que même si les relations temporelles ne sont pas en elles-mêmes une preuve de relation cause-à-effet, elles sont quand même une **invitation à faire des études supplémentaires**. Ces études devraient essayer le plus possible d'éliminer les variables confondantes, ou de les mesurer afin de calculer et tenir compte de leur influence. Les études devraient aussi essayer de former aléatoirement (au hasard) les groupes expérimentaux, plutôt que laisser les groupes expérimentaux se former eux-mêmes (ex. : étudiantes de médecine qui décident par eux-mêmes de prendre des cours d'art; une vraie expérience devrait essayer de forcer certaines étudiantes à prendre des cours d'art et empêcher d'autres de le faire, et suivre leur carrière plus tard).

Attention les intéressés aux sciences de la santé : les chercheurs médicaux ont rarement la chance de forcer leurs sujets (si ce sont des êtres humains plutôt que des rats de laboratoire) à manger telle ou telle chose, à prendre ou ne pas prendre tel ou tel médicament, à prendre telle ou telle habitude. C'est donc dire que les études médicales ont tendance à suivre et mesurer le destin de groupes qui se sont formé eux-mêmes volontairement. De telles **études sont dites « prospectives »**. Les études médicales de ce genre sont particulièrement vulnérables aux arguments *post hoc* et donc à l'objection possible qu'une variable confondante est à l'oeuvre. Les études prospectives peuvent s'ajouter à d'autres études pour amener plus de poids à un point de vue (et à ce titre elles valent la peine d'être effectuées), mais par elles-mêmes elles ne constituent pas un argument suffisant pour « prouver » une hypothèse (contrairement à ce que beaucoup d'articles de journaux ou de magazines aimeraient nous faire croire).

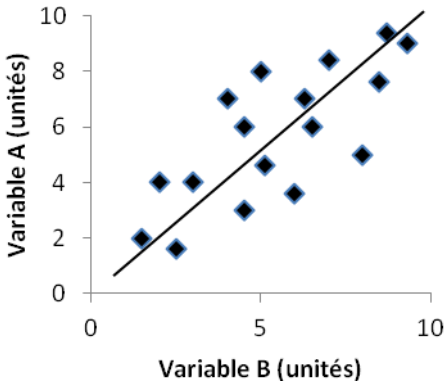
- Une étude a trouvé que les gens qui mangent des céréales régulièrement le matin ont moins tendance à mourir de troubles cardiovasculaires que ceux qui n'en mangent pas. Les céréales sont bonnes pour la santé!

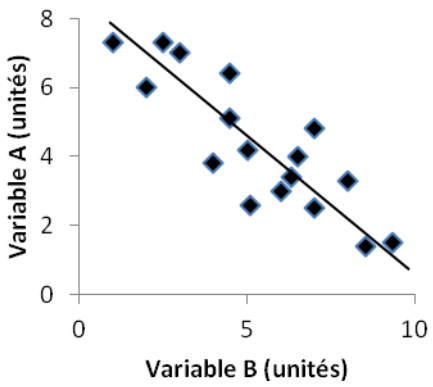
Q44 Vraiment?

CHAPITRE 9

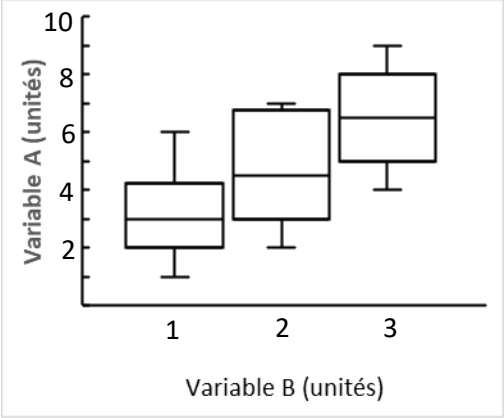
Danger : L'interprétation des corrélations

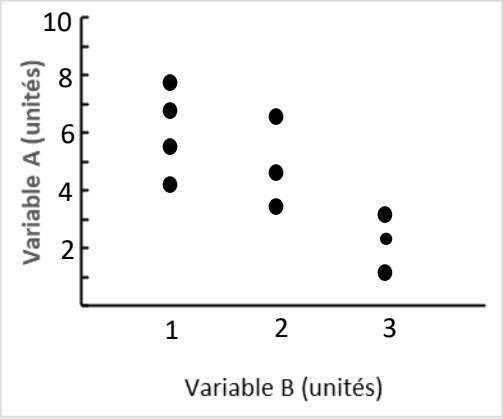
Plusieurs recherches scientifiques trouvent des résultats qui s'expriment sous la forme suivante : plus la variable A augmente, plus B augmente aussi. Ou bien : plus A augmente, plus B diminue. On parle alors de corrélation positive (le premier cas) ou de corrélation négative (le deuxième cas). Dans les articles scientifiques, les corrélations sont habituellement représentées sous forme graphique, avec une « ligne de régression », comme ceci :





Au lieu d'une variable B continue comme dans les deux cas ci-haut, une corrélation peut aussi être calculée sur une variable B <u>discontinue</u> (plusieurs points enlignés vis-à-vis quelques valeurs de B seulement), comme dans les représentations suivantes :





Les médias aiment bien couvrir de tels résultats parce qu'ils semblent directs et faciles à comprendre en termes de relation entre A et B (« plus de A, plus de B, donc A cause B »). Mais l'interprétation des corrélations recèle des **problèmes cachés** dont il faut tenir compte :

- Une corrélation peut très bien suggérer une relation cause-à-effet entre A et B, mais elle n'en est pas une preuve absolue. On dit souvent « corrélation n'égale pas causation ».

- Même s'il y a causation, on ne sait pas toujours si c'est A qui cause B, ou B qui cause A.

- Même s'il y a causation, il faut vérifier si A cause de grands ou de petits effets sur B.

CORRÉLATION N'ÉGALE PAS NÉCESSAIREMENT CAUSATION

Ah, les fameuses **variables confondantes**, que j'ai déjà mentionnées dans quelques chapitres (Chapitres 1, 5 et 8), incluant le dernier sur les relations temporelles indicatrices de cause-à-effet. Une variable semble en causer une autre dans le temps, mais en fait elles sont toutes les deux le résultat d'une troisième variable, dite confondante. Il s'avère que les variables confondantes sont un problème non seulement dans le cas des arguments *post hoc*, mais aussi dans le cas des corrélations. Une variable A semble directement en influencer une autre B, mais en fait elles sont toutes les deux le résultat d'une variable confondante C, et il n'y a pas d'effet direct de A sur B.

- Choisissez au hasard 20 villes du Canada. Pour chaque ville, mesurez le nombre absolu de personnes sans abri dans la ville et le nombre absolu d'incendies par année. Vous trouverez rapidement une corrélation positive : plus il y a de personnes sans abri, plus il y a d'incendies. Preuve que les personnes sans abri déclenchent les incendies!

Q45 Quelle est la variable confondante?

- Prenez les 20 derniers étés et dénombrez le nombre de noyades au Nouveau-Brunswick et la vente estivale de crème glacée. Vous trouverez probablement une corrélation positive : plus il se vend de crème glacée, plus il y a de noyades.

Q46 La consommation de crème glacée rend-elle les gens plus enclins à se noyer?

Il peut aussi arriver que la corrélation ne soit que le **fruit du hasard**, sans qu'il y ait de relation cause-à-effet entre les deux variables. Cela risque plus souvent d'arriver quand les données sont moins nombreuses (il y a moins de points sur le graphique) et quand elles sont le résultat d'une recherche à l'aveugle dans une grande banque de données (une « expédition de pêche », voir le Chapitre 11 sur le forage de données). Sur le site web https://www.tylervigen.com/spurious-correlations, on peut retrouver toute une panoplie de corrélations entre des variables qui n'ont aucun lien logique entre elles et qui ne sont que le fruit du hasard, comme par exemple :

- De 1997 à 2009, il y a une corrélation significative entre le nombre annuel de missions spatiales et le nombre annuel de doctorats accordés en sociologie aux États-Unis.

- De 1999 à 2009, il y a une corrélation significative entre le nombre annuel de voitures de marque japonaise vendues aux États-Unis et le nombre annuel de suicides impliquant une automobile (de n'importe quelle marque).

Bref, une corrélation peut **suggérer** une relation de cause-à-effet, mais elle ne la prouve pas de façon absolue. Une corrélation statistiquement significative est plutôt une invitation à faire des études plus poussées.

> Dans ces études, on pourra faire varier systématiquement la variable A en gardant le reste des conditions le plus uniforme possible (pour éliminer l'effet de variables confondantes), et voir si B continue à varier proportionnellement à A.
>
> Ou bien on pourra mesurer les variables qu'on pense être confondantes et utiliser des méthodes statistiques pour évaluer leur contribution à la corrélation, et voir s'il reste un effet significatif (qu'on appellera « effet résiduel ») de la variable A sur la variable B.
>
> Ou bien on pourra essayer d'agrandir la taille d'échantillonnage (augmenter le nombre de points sur le graphique) et voir si la corrélation se maintient, signe que la corrélation n'est probablement pas le fruit du hasard.

Tout bon article scientifique qui rapporte un résultat sous forme de corrélation statistiquement significative devrait, dans sa section discussion, mentionner s'il est possible que des variables confondantes existent, ou s'il est possible que le simple hasard soit en cause.

CORRÉLATION PEUT = CAUSATION, MAIS PAS DANS LE SENS QU'ON PENSE

Parfois, certaines juxtapositions de facteurs reflètent une relation de cause-à-effet, mais il n'est pas toujours évident quel facteur est la cause et quel facteur est l'effet. C'est le **dilemme de l'œuf et de la poule**.

- En étudiant plusieurs équipes de hockey, vous trouvez une corrélation positive entre l'esprit d'équipe (que vous avez estimé en comptant le nombre de contacts interpersonnels entre les joueurs en dehors des pratiques et des matches) et le pourcentage de victoires dans la saison. La première tendance est de conclure qu'un bon esprit d'équipe contribue au succès de l'équipe, mais n'est-il pas aussi possible que ce soit plutôt le succès qui améliore l'esprit d'équipe?

- En étudiant plusieurs individus dans une population de souris sauvages, vous trouvez une corrélation positive entre la fréquence d'un certain comportement et la grosseur d'un noyau particulier dans le cerveau. La première tendance est de conclure que le noyau cause le comportement, mais se pourrait-il que ce soit plutôt l'exécution répétée du comportement qui cause le noyau à mieux se développer?

- Une étude sociologique sur 145 personnes vivant en milieu défavorisé trouve une corrélation positive entre la consommation hebdomadaire d'alcool et le niveau d'endettement. Est-ce l'alcoolisme qui entraine l'endettement (peut-être parce que les alcooliques ne parviennent pas à garder un emploi payant), ou est-ce que c'est plutôt l'endettement qui déprime les gens et qui mène alors à l'alcoolisme?

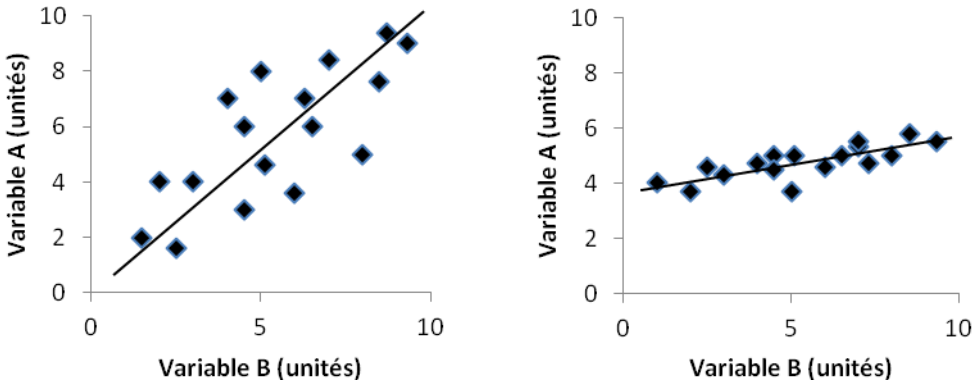
Pour trouver quelle est la variable causale, il faut la faire varier de façon expérimentale, et voir si l'autre variable change alors de manière proportionnée.

CORRÉLATION PEUT = CAUSATION, MAIS ≠ EFFET IMPORTANT

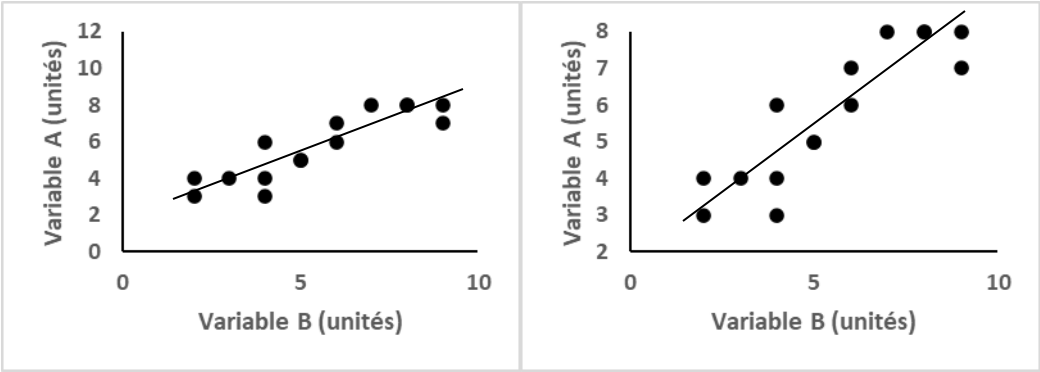
Une corrélation peut refléter une vraie causation (A a vraiment un effet sur B), mais ça ne veut pas dire que cet effet est très grand.

- Si vous lisez, dans la presse, qu'une étude vient de démontrer une corrélation entre la consommation de vin et le risque de souffrir d'artériosclérose, la corrélation voulant que plus on boit de vin, moins on risque de souffrir de la maladie, serez-vous tenté – au nom de la bonne santé, vous comprenez bien – de doubler votre consommation hebdomadaire de Cabernet Sauvignon? Si vous le faites, vous allez vite vous apercevoir que vos dépenses à la Commission des Alcools elles aussi vont doubler, et c'est peut-être à ce moment-là que l'idée va vous frapper : c'est bien beau de diminuer les risques d'artériosclérose, mais le jeu en vaut-il la chandelle? Si vous apprenez que le risque est diminué par seulement 1 % pour chaque doublement dans la consommation (un chiffre fictif ici), alors vous en arriverez probablement à la conclusion que l'effet de l'alcool, même s'il est peut-être bien réel, n'est tout de même pas très fort. La relation cause-à-effet serait réelle, mais elle n'influencerait pas tellement votre vie.

Les études rapportant des corrélations **devraient toujours quantifier l'ampleur de l'effet**. Si les résultats sont donnés sous forme de graphique, on devrait toujours porter attention à l'axe des Y et à la pente de la ligne de régression, les pentes plus à pic (pour un même axe des Y) indiquant des effets plus forts. Dans le graphique de droite, la variable B a moins d'effet sur la variable A que dans le cas du graphique de gauche, car la pente est plus faible.



Prêtez bien attention à l'axe des Y. Les deux lignes de régression ci-dessous ont la même pente!

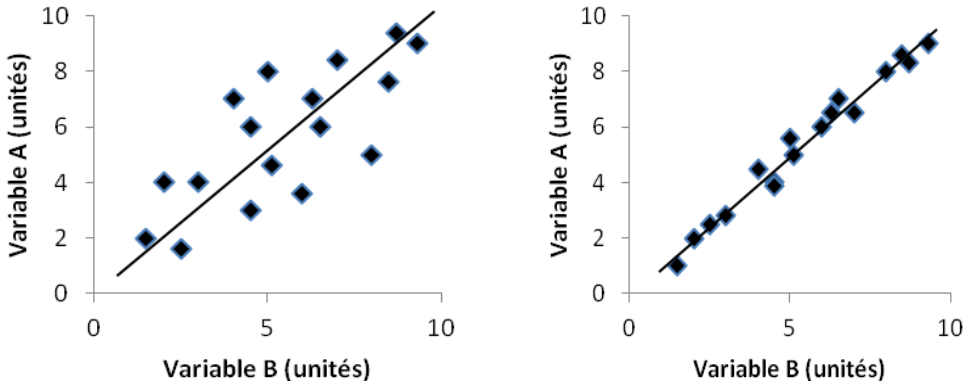


POURCENTAGE DE VARIATION EXPLIQUÉE

Les deux graphiques suivants montrent deux corrélations qui dénotent le même effet (la pente des deux lignes de régression est la même) et les analyses statistiques désignent cet effet comme étant également réel dans les deux cas (l'effet n'est probablement pas dû au hasard). Dans les médias, ces deux résultats seraient probablement rapportés par exactement la même phrase : la (insérez ici le nom d'une variable A) est corrélé avec (insérez ici le nom de la variable B); B augmente de tel ou tel pourcentage avec telle ou telle augmentation de A.

Si chaque point représente un être humain chez qui on a mesuré deux variables (la consommation d'une certaine substance d'une part, disons, et le risque d'une certaine maladie d'autre part), ces résultats vous intéresseront et vous porteront peut-être à changer vos habitudes de vie. Mais voilà, vous risquez d'être déçus par les conséquences. La raison est que les **corrélations sont des phénomènes moyens**. Ils s'appliquent à la moyenne de la population. Or, certaines causalités sont ouvertes à beaucoup d'influences extérieures qui viennent brouiller les cartes. Dans de tels cas, la moyenne s'accompagne d'une très grande variance (le graphique de corrélation montre un large nuage de points), comme cela arrive souvent dans le cas de la physiologie humaine. Les chances sont bonnes que vous ne saurez pas où vous, personnellement, vous situez à l'intérieur de cette variance. Peut-être serez-vous chanceux : peut-être que vous tomberez dans la moyenne, ou même mieux qu'elle. Mais peut-être aussi serez-vous pire que la moyenne, et l'effet ne s'appliquera pas tellement bien à vous.

Ce problème est particulièrement aigu dans le cas de résultats rapportés par les médias, car la meilleure façon d'apprécier la variance est de la visualiser sur un graphique (comment est-ce que le nuage de points est large), et les médias habituellement ne publient pas de tels graphiques.



En termes de statistique, il faut donc porter attention au « **pourcentage de variance expliquée** » par la corrélation (ce pourcentage est le **carré du paramètre « r » calculé** lors de l'analyse de corrélation). Si le pourcentage est élevé, cela veut dire que la variable A est très influencée par la variable B et par pas grand-chose d'autre (le nuage de points sur le graphique est mince, comme dans le cas du graphique de droite). Si le pourcentage est faible, cela veut dire que A est influencée par B mais aussi par beaucoup d'autres variables qui n'ont pas été contrôlées dans l'étude (le nuage de points est large, comme dans le cas du graphique de gauche). Dans ce dernier cas, faire varier B ne garantit pas un grand changement dans la variable A; en moyenne oui, il va y avoir un bon changement, mais sur une base individuelle, qui sait?

DANGER DE L'EXTRAPOLATION

Les corrélations illustrent habituellement des relations linéaires (il existe des techniques spéciales pour les relations non-linéaires, mais on les voit plutôt rarement). Notez cependant qu'il n'y a aucune garantie qu'une relation demeure linéaire avec la même pente pour toute l'étendue des valeurs possibles d'une variable. En dehors de l'étendue des valeurs mesurées dans la corrélation, peut-être que la ligne changerait de pente, ou peut-être qu'elle deviendrait courbée (comme dans le cas d'une relation logarithmique ou exponentielle) plutôt que linéaire. Morale de l'histoire : ne prenez rien pour acquis en ce qui concerne la relation entre deux variables en dehors de l'étendue des valeurs rapportées par une corrélation (le jargon dirait : « **n'extrapolez pas** »).

QUESTIONS

Q47 « Notre étude a démontré que l'incidence du facteur A influence significativement la fréquence de la maladie B ($r = 0.269$); il faudra donc veiller à diminuer A si on veut limiter la maladie B ». Avez-vous des commentaires à faire?

Q48 Plus une équipe de football lance de passes pendant le 4^{e} quart, plus elle a tendance à perdre par un gros écart de points. Devrait-on recommander de faire plus de courses au sol pendant le 4^{e} quart?

Q49 On vous dit : « Les programmes sociaux (comme le bien-être social) encouragent la paresse et mènent ainsi au chômage et à la pauvreté. La preuve : les états américains où il y a le plus de pauvreté sont aussi ceux où il y a le plus de programmes sociaux. » Commentaires?

Q50 Par convention en science, on place la variable dite dépendante sur l'axe des Y et la variable dite indépendante sur l'axe des X. En quoi cette façon de faire peut-elle mettre le lecteur sur une fausse piste dans le cas de certaines corrélations?

Q51 Un article de vulgarisation scientifique rapporte « une étude effectuée à l'Université du Haut Savoir a mis en corrélation la consommation d'aliments gras et le risque de subir une crise cardiaque avant l'âge de 65 ans ». Si c'est là la seule information donnée, quelles questions (il y en a plusieurs!) devriez-vous vous poser pour faire preuve d'esprit critique?

CHAPITRE 10

Danger : Les échantillons trop petits ou biaisés

Quand on ne peut pas mesurer toute une population pour bien la décrire, on se contente d'en mesurer un échantillon, et de là on extrapole nos conclusions à toute la population. Mais pour extrapoler ainsi, il faut que l'échantillon soit bien représentatif de la population. Pour cela, il faut que…

… l'échantillon soit suffisamment grand;

… l'échantillon ait été sélectionné au pur hasard, aléatoirement.

PROBLÈMES DE L'ÉCHANTILLONNAGE TROP PETIT

Dans la vie de tous les jours, les échantillons trop petits mènent à des **généralisations trop hâtives** ou des **stéréotypes non justifiés**, du genre :

- « Ma fille en est à son premier cours dans cette école, et le prof est pourri, donc l'école n'est pas à recommander. » (Un seul prof…)
- « Mon voisin a acheté une voiture de cette marque, et elle a plein de problèmes, donc cette marque est à éviter. » (Une seule voiture…)
- « Les américains sont impolis; je le sais parce que j'ai rencontré un groupe de touristes américains très impolis lors de mon dernier voyage. » (Un seul groupe…)
- « Mon cousin est alcoolique et il est au chômage, preuve que l'alcoolisme mène au chômage. » (Une seule personne…)
- « Le réchauffement de la planète, mon œil! Il a fait plus froid que d'habitude l'hiver passé. » (Une seule saison, pendant une seule année, à un seul endroit …)

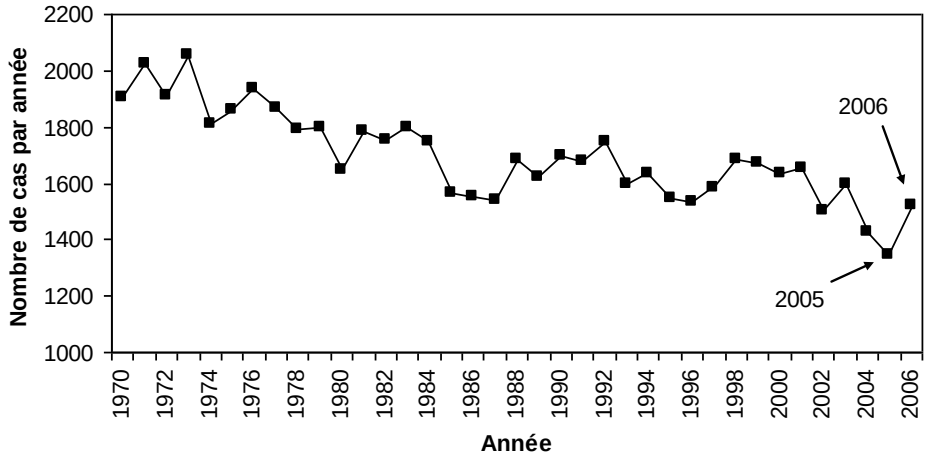
Plus un échantillon est petit, plus sa moyenne est influencée par des **cas extrêmes** s'il s'adonne à en contenir, donc moins il représente bien la population tout entière, et donc moins on est justifié d'en tirer des conclusions. À cela se rajoute un certain biais (**le biais de disponibilité**) : souvent on entend seulement parler des cas frappants, mais pas des bien plus nombreux cas ordinaires (les cas bizarres font plus souvent les nouvelles ou les potins), donc notre petit échantillon (le petit nombre de cas dont notre mémoire se souvient) ne comprend que les cas bizarres, et donc on a tendance à faussement se faire une mauvaise opinion de la population d'où viennent ces cas bizarres, sans se rendre compte que les cas bizarres représentent mal toute la population.

Le proverbe « Une hirondelle ne fait pas le printemps » illustre le danger de tirer des conclusions basées sur des échantillons trop petits.

FAUSSES TENDANCES

Les échantillons trop petits peuvent aussi suggérer de fausses tendances. Par exemple, dans les journaux, il arrive de lire des énoncés selon lesquels tel ou tel phénomène est à la hausse ou à la baisse. Souvent, ces énoncés s'accompagnent de chiffres à l'appui. Par exemple, un article pourrait annoncer que tel ou tel cancer semble devenir plus fréquent, et on verra la phrase suivante : « Ainsi, de 2005 à 2006 le nombre de cas diagnostiqués au Canada est passé de 1,345 à 1,522, une augmentation de 13% ».

L'utilisation de chiffres précis semble ajouter du poids à l'argument, mais il y a en fait un problème : seulement deux années sont impliquées. Les affirmations de tendance devraient être basées sur un grand nombre d'années. Dans le cas du cancer, le nombre de cas détectés annuellement, comme beaucoup de phénomènes naturels, est influencé par une multitude de facteurs, ce qui entraîne une certaine variabilité d'une année à l'autre, variabilité qui ne va pas toujours dans la même direction que la tendance générale. À titre d'exemple, jetez un coup d'œil au graphique suivant (dont les données sont fictives).



Comme vous pouvez le voir, il y a de la variabilité d'une année à l'autre. À la longue, le nombre de cas diminue, mais d'une année à l'autre il peut aussi bien augmenter que diminuer. Et ici la seule comparaison entre 2005 et 2006 peut nous induire en erreur, car elle va dans le sens inverse de la tendance générale. Quelqu'un qui n'aurait que les chiffres de 2005 et 2006 en main pourrait facilement tirer une conclusion d'augmentation générale qui en fait serait fausse.

La meilleure façon de rectifier la situation est « d'augmenter la taille d'échantillonnage », c'est-à-dire de baser notre conclusion de tendance sur un plus grand nombre d'années. Pour la scientifique, ceci revient simplement à utiliser toutes les années du graphique. Lorsque la conclusion sera publiée dans un article scientifique, il faudra que le graphique, comprenant toutes les années, soit inclus.

Pour les journalistes, la présentation d'un graphique n'est pas pratique. Bien peu de quotidiens acceptent d'incorporer des graphiques dans leurs articles. Alors que faire? La meilleure solution est de calculer la tendance moyenne, et de l'exprimer dans une expression du genre « de 1970 à 2006, le nombre de cas a diminué de 15.3 par année en moyenne, passant d'environ 2000 au début des années 70s à environ 1450 au milieu des années 2000s ».

DU TRAVAIL POUR LES STATISTICIENS

Combien d'hirondelles est-ce que ça prend pour faire le printemps? Combien d'échantillons doit-on prendre pour se convaincre qu'une relation est réelle et non pas causée par le simple hasard ou par la variabilité induite par d'autres facteurs qui ne nous intéressent pas pour l'instant?

Il existe une branche des mathématiques – la statistique – qui s'occupe de répondre à cette interrogation. Grâce aux recherches des statisticiens, il est habituellement possible de déterminer, avec un degré de confiance quantifiable, et connaissant la taille d'échantillonnage, si telle relation ou telle différence entre deux variables est bel et bien réelle ou simplement due au hasard. Il n'est donc pas surprenant de constater que la formation scientifique comprend souvent des cours en statistique. Par exemple, au Département de biologie de l'Université de Moncton, il existe au premier cycle un cours de « Biométrie » et au deuxième cycle un cours de « Dispositifs expérimentaux », tous deux portant sur les tests statistiques couramment employés en sciences de la vie.

En plus de rajouter à la liste de cours que doivent prendre les étudiants, la problématique de l'échantillonnage suffisant donne du travail aux scientifiques. Dans les reportages de science vulgarisée à la radio ou à la télévision, on entend souvent le chef de laboratoire annoncer la conclusion de son étude et décrire les grandes lignes de son approche expérimentale. Mais derrière ces trois minutes médiatiques, il se cache des dizaines, peut-être même des centaines d'heures passées par des étudiants de maîtrise ou de doctorat, ou par des employés contractuels, à mesurer un très grand nombre de cas pour obtenir des échantillons suffisamment grands. Faire de la science engendre souvent de brefs moments très intenses et gratifiants – le graphique qui apparaît sur l'écran confirmant notre hypothèse originale; la réalisation soudaine de l'effet qui explique tous nos résultats – mais soyons honnête : la science comporte aussi souvent un travail de routine long et pénible visant simplement à obtenir la confirmation statistique de ce qui nous était apparu évident (bien sûr!) dès le premier cas.

MAIS L'HIRONDELLE PEUT ÊTRE LA PREMIÈRE D'UNE VAGUE!

Il ne faut pas bâtir des conclusions à partir d'un nombre limité de cas, à partir d'anecdotes. Cependant, n'allez pas croire que les événements rares sont pour autant sans valeur.

Premièrement, de tels événements peuvent servir de base à l'élaboration d'hypothèses de travail.

- Par exemple, quelques heures avant que l'ouragan Gabrielle ait frappé la Floride en septembre 2001, les requins bordés (« *blacktip shark* ») qui vivaient près de la côte se sont déplacés vers le large, comme s'ils anticipaient et essayaient éviter les grandes vagues de l'ouragan. Une équipe de chercheurs dirigée par l'ichtyologue Michelle Heupel a trouvé que le moment précis du départ des requins coïncidait avec la baisse de pression atmosphérique qui a précédé l'arrivée de Gabrielle. Cette observation unique a amené les chercheurs à émettre l'hypothèse – attention je dis bien l'hypothèse, pas la conclusion – que les requins pouvaient ressentir les baisses de pression atmosphérique même sous l'eau.[6] Cette hypothèse a par la suite fait l'objet de travaux expérimentaux plus poussés en laboratoire, et d'observations supplémentaires lorsque l'ouragan Charley a frappé la même région en 2004, et les résultats ont jusqu'à maintenant supporté l'hypothèse.

[6] Heupel, M.R., C.A. Simpfendorfer et R.E. Hueter (2003). Running before the storm: blacktip sharks respond to falling barometric pressure associated with Tropical Storm Gabrielle, Journal of Fish Biology 63: 1357-1363.

Deuxièmement, certains événements singuliers peuvent s'avérer concordants avec d'autres types de preuves et ainsi ajouter leur modeste support à une hypothèse déjà existante.

- Par exemple, la panne d'électricité qui s'est étendue sur l'ensemble du nord-est américain et de l'est du Canada pendant environ deux jours en août 2003 a empêché la plupart des usines de charbon de fonctionner. Des chercheurs de la University of Maryland ont profité de cette situation unique pour prendre des échantillons d'air et comparer ces échantillons avec d'autres pris la même journée à des endroits non touchés par la panne de courant, ou avec des échantillons pris précédemment au même endroit lorsque les usines étaient en opération. Ils ont mesuré des baisses de 90% et 50 % dans les niveaux de dioxyde de soufre et d'ozone respectivement, confirmant ainsi directement la grande part que jouent les usines de charbon dans la production de polluants, laquelle avait déjà été supposée à partir de mesures d'émission et de modèles numériques. Comme la circulation automobile n'avait pas tellement changé lors de la panne de courant, les chercheurs ont aussi avancé l'hypothèse que la contribution polluante des usines de charbon par rapport à celle des voitures était plus grande qu'on ne l'avait pensé auparavant.[7]

Les faibles tailles d'échantillonnage et les événements singuliers peuvent donc trouver leur place en science. L'important est de ne pas tirer de conclusions seulement à partir d'eux.

PROBLÈMES DE L'ÉCHANTILLONNAGE NON-ALÉATOIRE

La sélection non-aléatoire (= pas au hasard) de l'échantillon peut mener à une sous-représentation disproportionnelle de certains éléments de la population. Si cela arrive, on dira que l'échantillon est biaisé. Les échantillons très biaisés rendent invalide la généralisation à toute la population des résultats obtenus à partir de l'échantillon**.**

Les sondages auprès des êtres humains sont habituellement biaisés, pour plusieurs raisons :

- Les sondages se font sur une base volontaire; les réponses qu'on obtient sont seulement celles des personnes qui étaient prêtes à donner leur opinion.

- Les gens ne disent pas toujours la vérité, surtout en ce qui concerne les questions qui ont trait à l'âge, au salaire annuel, aux pratiques morales, aux pratiques sexuelles, etc.

- Certaines des questions demandent des réponses subjectives plutôt qu'objectives (des estimés plutôt qu'une mesure précise, un souvenir de quelque chose plutôt qu'une mesure actuelle, une impression générale plutôt qu'une action mesurable).

- Les réponses peuvent être influencées par la façon dont la question est posée.

[7] Marufu, L. T., B. F. Taubman, B. Bloomer, C. A. Piety, B. G. Doddridge, J. W. Stehr, et R. R. Dickerson (2004). The 2003 North American electrical blackout: An accidental experiment in atmospheric chemistry, Geophysical Research Letters 31: L13106, doi:10.1029/2004GL019771.

Les biais dans les sondages sont pratiquement impossibles à éviter. Faites un sondage auprès des gens dans la rue, et vous manquez les jeunes mères de familles ou les gens qui ne sortent pas beaucoup. Faites un sondage porte-à-porte pendant le jour, et vous manquez les gens qui travaillent au bureau le jour. Faites un sondage au téléphone le soir, et vous manquez les gens qui vont souvent au cinéma ou au club. Faites un sondage sur la performance d'un prof auprès des élèves en classe, et vous manquez les élèves qui n'aiment pas le prof et qui s'absentent de son cours. Faites un sondage sur la qualité d'un film en interviewant les premières personnes qui sortent du cinéma, et vous manquez le gens qui ont tellement aimé le film qu'ils sont restés pour lire le générique. Votre seul espoir est que le biais ne soit pas trop grand, et que l'estimé que vous en retirerez ne sera pas trop loin de la réalité.

Les résultats de sondages sonnent très impressionnants, habituellement parce qu'ils sont exprimés sous forme de chiffres bien précis. Mais il faut leur appliquer notre pensée critique, comme par exemple :

- « Cinq ans après qu'ils aient gradué, les finissants de 2003 de la Faculté des sciences avaient un salaire moyen de 42,535 $ »

Q52 La façon dont le sondage a été fait pourrait affecter la validité de ce salaire estimé. Comment?

- « Lors de sa dernière réunion, le syndicat a voté à 86% pour la grève. »

Q53 Cela veut-il dire que 86 % des syndiqués veulent avoir la grève?

- « Nous avons envoyé notre questionnaire à 150,000 étudiants répartis dans 25 universités canadiennes. Près de 70% des répondants ont indiqué qu'ils consommaient plus d'alcool pendant la semaine de relâche, et que leur activité sexuelle augmentait aussi pendant cette semaine. »

Q54 Feriez-vous confiance à un tel résultat?

- « 9 personnes sur 10 ont aimé notre produit ». Mais si je vous disais que les 10 personnes ont été payées par le manufacturier du produit pour participer au test d'essai, alors représentent-elles vraiment un échantillon non-biaisé de la population en général?

Q55 Comment le fait de payer des participantes, juste pour participer, pas pour supporter le produit, pourrait-il quand même biaiser cet échantillon de participantes?

EN SCIENCE :

Les biais d'échantillonnage peuvent également survenir lors d'études scientifiques, tout particulièrement en biologie, en médecine, et en psychologie. Les sciences de la vie font plus souvent appel à l'échantillonnage que les sciences physiques, puisque les entités biologiques (ex. : individus d'une même espèce) sont plus variables que les entités physiques (ex. : atomes d'un même élément). Le biais peut venir du fait que seuls des volontaires ont été utilisés pour l'étude, ou seuls des animaux provenant d'un même endroit ou d'un certain type de capture.

- Vous étudiez la personnalité des poissons, en particulier leur témérité. Vous voulez savoir si les individus plus âgés (adultes) sont plus téméraires que les jeunes (juvéniles). Vous capturez les adultes avec des nasses à menés, un genre de cage avec des entrées en forme d'entonnoir dans laquelle les poissons entrent volontairement après y avoir été attirés par des appâts que vous avez placés dans la cage. Mais ce type de piège ne fonctionnent pas pour les juvéniles plus petits, et donc vous capturez vos juvéniles avec un filet. Au laboratoire, vous mesurez le temps que ça prend pour que les poissons sortent finalement d'un abri dans lequel vous les placez. Vous remarquez que les adultes prennent moins de temps à sortir et donc votre conclusion est que les adultes sont plus téméraires que les juvéniles.

Q56 Critiquez cette conclusion.

- Vous êtes une physiologiste qui veut mesurer la performance des muscles d'une espèce de poisson lors de l'exercice (nage) soutenu. Vos poissons ont été élevés en laboratoire à partir de parents sauvages. Tous ces poissons sont gardés dans un même aquarium commun. Quand vient le temps de faire vos expériences, vous choisissez vos spécimens « au hasard » à l'aide d'une épuisette (un petit filet tenu pour attraper à la main les poissons) dans le grand aquarium.

Q57 Critiquez cette façon de procéder.

- Une étude veut vérifier l'efficacité d'une nouvelle méthode d'enseignement au secondaire. Cinq écoles secondaires francophones du Nouveau-Brunswick sont sélectionnées. Dans chacune d'entre elles, deux classes continuent d'être enseignées avec la méthode couramment en place, et deux se font enseigner avec la nouvelle méthode expérimentale. Les classes sont choisies en fonction des enseignantes qui sont prêtes à apprendre et essayer la nouvelle méthode. Les classes sont toutes au même niveau. L'efficacité de la nouvelle méthode est mesurée à la fin de l'année scolaire en comparant les résultats d'un test par les classes expérimentales versus les classes témoins.

Q58 Bon protocole expérimental, n'est-ce pas?

Comme vous pouvez le voir, le biais d'échantillonnage peut facilement être subtil et difficile à anticiper. Il faut vraiment s'asseoir et prendre le temps de penser aux différentes façons dont nos échantillons pourraient être biaisés, et essayer d'éviter ces biais.

CHAPITRE 11

Danger : Le forage de données

« If you torture the data long enough, it will confess. » – *Ronald Coase*

De nos jours, les ordinateurs permettent d'emmagasiner **d'énormes banques de données**. Ces mêmes odinateurs permettent aussi de passer au travers de ces banques de données pour y découvrir des patrons, corrélations entre variables, différences entre groupes, etc. Une telle activité faite à l'aveuglette porte le nom de **forage de données (*data mining*)**. On pourrait aussi appeler cela des « expéditions de pêche » parce qu'on se sait pas à l'avance ce qu'on va « attraper », étant donné qu'on fait cette recherche sans hypothèse préalable.

Un patron découvert par forage de données donne l'impression qu'il existe un effet réel, mais en fait il est fort **possible que le patron soit seulement dû au hasard**. Le hasard a peut-être peu de chances de donner un patron remarquable, une chance sur 1000 disons, mais dans un tel cas si on regarde au travers de 1000 ensembles de données les chances deviennent raisonnables qu'on va découvrir au moins 1 patron remarquable. On va alors penser qu'on vient de découvrir un effet intéressant; on va peut-être même dire qu'on a prouvé que cet effet existe, alors qu'en fait le patron n'était dû qu'à la chance et il n'y avait pas d'effet réel.

La facilité à obtenir des patrons illusoires quand on examine de grandes banques de données est bien illustrée par les corrélations statistiquement significatives mais sans aucun bon sens retrouvées sur le site web https://www.tylervigen.com/spurious-correlations, déjà mentionné dans le chapitre 9 sur les corrélations, comme par exemple :

- De 2002 à 2009, il y a une corrélation significativement positive entre le nombre annuel de livres publiés sur la religion et le nombre annuel de noyades dans des bains.

- De 2000 à 2012, il y a une corrélation significativement positive entre le nombre annuel de films mettant en vedette Chris Evans et le nombre annuel de tremblements de terre de magnitude 8 ou plus dans le monde.

De telles corrélations illusoires ne font pas de mal parce qu'on voit tout de suite qu'elles n'ont aucun sens. On voit tout de suite que c'est le hasard qui est responsable de la chose. Mais parfois les variables impliquées semblent reliées (ou reliables) logiquement, et quand cela arrive on saute tout de suite aux conclusions et on oublie que le hasard est aussi une explication possible.

- Aux Olympiques de 2004, les adversaires dans les matches de lutte, boxe, et judo portaient soit des maillots rouges ou des maillots bleus (comme dans toutes les autres Olympiques, d'ailleurs). Les maillots rouges ont gagné 55% des matches en 2004, une faible déviation du résultat attendu de 50%, mais significatif quand même vue la très grande taille d'échantillonnage. Aussitôt un article scientifique fut publié (dans la prestigieuse revue *Nature*, rien de moins) qui disait que ces résultats supportent l'idée que la couleur rouge intimide les gens et est perçue comme dominante. Mais ces résultats ne seraient-ils pas tout simplement le fruit du hasard suite à une expédition de pêche?

Q59 Comment faire pour voir si ce n'était que le fruit du hasard?

- Une étude en Floride a examiné à quels jours du mois les crimes avaient lieu. Dans le comté de Dade, les chercheurs ont trouvé qu'il y avait plus de crimes commis le jour de la pleine lune que n'importe quel autre jour du mois. Conclusion : la pleine lune incite au crime! Mais pourquoi le comté de Dade spécifiquement? Pourquoi pas les autres comtés? Se pourrait-il que le résultat n'était dû qu'au hasard à force de regarder beaucoup de comtés, beaucoup d'années, beaucoup de phénomènes météorologiques?

L'erreur fondamentale que ces exemples illustrent est qu'après avoir observé le patron, les **chercheurs ont émis une hypothèse *a posteriori*** (= après coup) et ils ont dit que le patron original prouvait leur hypothèse. **Ces gens ont mis la charrue avant les bœufs**. Ils ont assigné l'observation des choses à la mauvaise étape de la méthode scientifique. Rappelez-vous de ces étapes, brièvement :

1. Observer des choses.
2. Se poser une question sur ces choses.
3. Émettre une hypothèse qui répondrait à la question.
4. Faire une prédiction à partir de l'hypothèse.
5. Observer des choses pour voir si la prédiction se réalise.
6. Communiquer les conclusions.

Remarquez comment l'observation de choses survient à l'étape 1 et à l'étape 5. Les gens qui observent des patrons par forage de données devraient assigner leurs observations à l'étape 1. L'erreur qu'ils font est de penser que leurs observations peuvent compter comme l'étape 5. Ils émettent une hypothèse *a posteriori* (étape 3) pour expliquer leurs patrons observés. Donc ils font leur étape 3 <u>après</u> leur étape 5, alors que ça devrait toujours être l'ordre inverse. Pour respecter le bon ordre, l'observation originale du patron doit être placée à l'étape 1.

C'est donc dire que l'observation d'un patron par forage de données doit constituer **un début de recherche, pas une conclusion**. Elle entraine la création d'une hypothèse, et il faut alors tester cette hypothèse en élargissant le champ d'observation, en faisant des prédictions basées sur l'hypothèse et en regardant si ces prédictions se réalisent en dehors du strict contexte original de l'observation. Dans les exemples ci-haut, il fallait voir si le patron se maintenait dans d'autres Jeux Olympiques, ou d'autres comtés et états. Bien souvent, les prédictions de l'hypothèse ne se réaliseront pas, et il faudra alors se rendre à l'évidence que le patron original n'était que le fruit du hasard.

Soyez très prudents quand vous examinez une banque de données à l'aveuglette, sans hypothèse préalable. Tout patron que vous observerez doit être perçu comme étant une incitation à aller plus loin, et non pas une confirmation d'une hypothèse émise *a posteriori*. De plus, **n'incluez pas le patron original dans votre test d'hypothèse**; recherchez plutôt une confirmation indépendante avec de nouvelles données seulement.

Ceci étant dit, je ne veux pas donner l'impression que les expéditions de pêche sont inutiles. Elles ne sont pas très populaires, étant donné qu'elles révèlent rarement des effets réels, mais elles ne sont pas forcément inutiles. **Il arrive parfois que le patron découvert ne soit pas dû au hasard**, qu'il se confirme comme étant réel suite aux subséquents tests d'hypothèses. On est alors content d'avoir pris la peine d'aller à la pêche à l'origine.

Attention les amateurs de sciences de la santé : le forage de données est beaucoup plus fréquent dans les domaines de **l'épidémiologie** (l'étude de la distribution des cas de maladies) et de la **nutrition**. La recherche dans ces domaines implique souvent de passer au travers de larges banques de données médicales pour trouver des corrélations qui suggéreront des facteurs de risque de maladie (dans le cas de l'épidémiologie) ou des aliments à éviter ou à favoriser pour promouvoir la santé (dans le cas de la nutrition). Les bonnes scientifiques savent que de telles corrélations ne sont qu'un début de recherche, qu'il faut les confirmer par des observations ou des expériences supplémentaires, mais ces recherches supplémentaires peuvent prendre beaucoup de temps, et entretemps les journalistes ne peuvent s'empêcher de rapporter les corrélations d'origine en les présentant comme des conclusions, comme des faits établis, malheureusement. C'est une des raisons pour lesquelles les articles de journaux sur la santé sont souvent contradictoires (un jour on lit que tel remède fonctionne, et plusieurs mois plus tard on lit qu'il ne fonctionne pas; un jour on lit que tel aliment est bon pour la santé, beaucoup plus tard on lit qu'il ne l'est plus).

DANS LA VIE DE TOUS LES JOURS

La vie des millliards de personnes sur terre est un peu comme une immense banque de données, en ce sens que plein de choses peuvent arriver dans l'immensité temporelle et spatiale de la vie collective de toutes les personnes du monde entier. Il y a tellement de choses qui arrivent que c'est pratiquement certain que, par pur hasard, par simple **coincidence**, il va y en avoir qui vont former des patrons ou des suites d'événements qui suggèrent une relation causale. C'est ainsi qu'on voit le visage de Mère Thérésa dans le patron grillé d'une toast et on pense que cette défunte est en train d'essayer de communiquer avec nous à partir de l'au-delà. Ou bien on pense à quelqu'un et voici que quelques minutes plus tard cette personne nous téléphone, nous faisant penser qu'on a des pouvoirs télépathiques. Ou bien on perd six fois de suite à pile-ou-face et on pense qu'on a fait quelque chose de mal qui justifie ce mauvais sort qui nous frappe.

Notre cerveau est fait pour détecter des patrons et des suites d'événements dans notre vie parce que chez nos ancêtres évolutifs cette capacité était très utile pour la survie, même si parfois les patrons étaient en fait vides de sens réel. Il faut se rappeler que notre cerveau nous pousse à voir ainsi chaque patron remarquable comme étant une source d'information valide, même les coincidences qui en fait ne veulent rien dire. Il faut garder en tête la possibilité que les patrons que l'on détecte dans nos vies puissent n'être que des coincidences, et chercher à les tester en regardant s'ils se maintiennent dans des conditions élargies (ex. : si je continue à penser à mes amis, est-ce qu'ils continuent à m'appeler immédiatement après?).

Le forage de données est aussi une tactique utilisée dans divers domaines **pseudoscientifiques** (médecine douce, régimes alimentaires miracles, « sciences » occultes, ufologie, complotisme, etc.). En cherchant suffisamment longtemps dans des banques de données suffisamment grandes, les pseudoscientifiques finissent par trouver des patrons qui semblent supporter leurs théories farfelues, alors que bien sûr ces patrons ne sont dûs qu'au simple hasard. Mais les pseudoscientifiques présentent quand même ces patrons comme étant des preuves. Ils ne vont pas plus loin pour tester la généralité et la réplicabilité de ces patrons qui font leur affaire (on peut aussi voir ceci comme un exemple de **picorage**, dont on a parlé au chapitre 6).

Les hypothèses *a posteriori* et le biais rétrospectif

A posteriori veut dire « **après coup** ». Une hypothèse *a posteriori* est une hypothèse que l'on émet pour **expliquer un phénomène <u>après</u> que le phénomène se soit produit**.

(À ne pas confondre avec l'hypothèse *ad hoc*. *Ad hoc* veut dire « pour cela », « dans un but spécifique ». Par exemple, un comité *ad hoc* est un comité qu'on crée spontanément pour répondre à un besoin qui vient de surgir. Les hypothèses *ad hoc*, elles, sont une sous-catégorie d'hypothèses *a posteriori*. Elles sont des hypothèses faites après coup dans le but spécifique de sauver une hypothèse de travail ou une théorie que les phénomènes qu'on vient d'observer semblent démentir. Essentiellement, **émettre une hypothèse *ad hoc*, c'est donner une excuse**.)

De la même façon qu'elles sont souvent émises après qu'un patron quelconque ait été découvert par forage de données, les hypothèses *a posteriori* sont souvent imaginées pour expliquer tout phénomène observé par chance dans le monde. Et tout comme dans le cas du forage de données, il est important de ne pas mettre la charrue avant les bœufs; il est important de réaliser que le phénomène n'est pas une preuve de l'hypothèse. Plutôt, le phénomène a permis de générer l'hypothèse, laquelle doit maintenant être testée en regardant si les prédictions qui en découlent peuvent se réaliser dans un contexte plus élargi que celui du phénomène original. Une hypothèse *a posteriori* est une hypothèse correspondant à l'étape 3 de la méthode scientifique. **Une hypothèse *a posteriori* exige d'être testée.**

Les hypothèses *a posteriori* sont souvent émises par des gens qui ont déjà des opinions ou des croyances ou des préjugés. Ces gens vont observer un phénomène et ils vont essayer de faire cadrer (faire « fitter ») ce phénomène dans leur vision du monde en lui donnant une explication *a posteriori* (un effet du biais de confirmation, voir le chapitre 6). Cette explication est en fait une hypothèse, et comme toutes les hypothèses elle n'est convaincante que dans la mesure où d'autres hypothèses (le hasard, d'autres causes possibles) ne réussissent pas à expliquer le phénomène tout aussi bien. Ainsi, les complotistes (*conspiracy theorists*) sont particulièrement friands d'hypothèses (explications) *a posteriori*. Ils vont toujours essayer d'interpréter les choses à la lumière de leur théorie complotiste préférée en émettant des hypothèses *a posteriori* appropriées. Ils prennent alors ces choses, à tort, comme étant des preuves supportant leur théorie. Ils ne cherchent pas à faire des prédictions avec leurs hypothèses, et ils refusent de considérer la possibilité d'hypothèses alternatives, comme par exemple le simple hasard. C'est tout le contraire de ce qu'une bonne scientifique ferait.

Rattaché conceptuellement au concept de l'hypothèse *a posteriori* est celui du **biais rétrospectif** (*hindsight bias*). C'est un biais cognitif qui consiste à surestimer, **après coup**, avec du recul, comment facilement on aurait pu prédire et anticiper un événement. Après que l'événement soit survenu et qu'on ait eu le temps de l'analyser, on voit comment il était prévisible, et on pense alors, à tort, qu'il aurait dû être tout autant prévisible avant qu'il arrive. L'existence du biais rétrospectif doit être pris en considération dans certaines circonstances juridiques. En effet, il n'est pas rare de poursuivre des personnes pour négligence criminelle après un accident ou une tragédie, et il faut alors distinguer la négligence criminelle de la simple erreur de jugement. Le biais rétrospectif nous fait pencher plus vers la négligence criminelle: ayant eu la chance d'analyser l'accident à tête reposée, <u>après</u> que l'accident soit survenu, il nous semble évident qu'il aurait pû être anticipé et qu'il a été négligent de ne pas le faire. Mais en fait on surestime souvent ce qu'était la raisonnable capacité d'anticipation <u>avant</u> l'accident.

QUESTIONS

Q60 Vous voulez tester l'efficacité d'un nouveau médicament sur un type de cancer. Pour ce faire vous décidez de comparer le taux de survie 5 ans après que le cancer ait été détecté chez un groupe de personnes à qui le médicament a été prescrit et chez un groupe de personnes qui a plutôt reçu un placebo. Vous ne trouvez aucune différence statistiquement significative entre les deux groupes. Mais tout au long de l'étude vous avez accumulé d'autres informations et vous commencez à regarder ces informations : taux de survie après un an, taux de survie après trois ans, nombre de visites annuelles à l'hôpital, niveau de douleur ou d'inconfort rapporté par les patients à chaque année, qualité du sommeil, etc. Vous trouvez une différence significative en faveur du groupe expérimental (= recevant le médicament) en ce qui concerne le niveau d'inconfort rapporté par les patients la première année. Vous voulez publier les résultats de votre recherche. Comment allez-vous présenter vos conclusions?

Q61 Vous faites une liste de toutes les équipes qui ont gagné le championnat de hockey pee-wee au Nouveau-Brunswick pendant les 15 dernières années. Puis vous essayez de trouver ce qu'elles avaient en commun, que les autres équipes n'avaient pas, en regardant un grand nombre de facteurs possibles. Vous découvrez une différence significative en ce qui a trait à l'âge de l'entraineur. Les entraineurs des équipes gagnantes étaient en moyenne 15 ans plus jeunes que ceux des autres équipes. Êtes-vous justifiés de recommander aux futures équipes d'engager des entraineurs relativement jeunes?

Q62 Vous êtes le propriétaire d'un site web d'intérêt international. Vous voulez tester l'idée que la couleur de fond de la page d'entrée de votre site peut influencer les chances que les visiteurs seront encouragés à explorer votre site plus en profondeur. Vous alternez entre trois couleurs (vert, rouge, bleu), une par jour, pendant 30 jours. Vous comparez chaque couleur en termes du pourcentage de visiteurs ayant continué plus loin que la page d'entrée. Vous n'obtenez aucune différence significative entre les couleurs. Déçu, vous recommencez l'analyse de vos données pays par pays (car après tout, votre site international a des visiteurs de 16 pays différents). Bingo, vous trouvez que les allemands ont visité votre site plus en profondeur quand la page d'entrée était verte. Êtes-vous justifiés d'utiliser seulement une page verte en Allemagne dans le futur?

LIVRES

Vigen, T. 2015. **Spurious correlations**. Hachette Books, New York.

Smith, Gary. 2015**. Standard Deviations: Flimsy Theories, Tortured Data, and Other Ways to Lie with Statistics.** Harry N. Abrams, New York.

CHAPITRE 12

Danger: Les comparaisons pommes vs oranges

La comparaison est un outil fondamental dans l'entreprise scientifique et dans la découverte de nouvelles connaissances. On compare des groupes expérimentaux entre eux, et on les compare avec des groupes témoins (contrôles). Mais attention : avant de tirer des conclusions sur l'effet expérimental d'une variable, **il faut s'assurer que les groupes qu'on compare ne diffèrent qu'au niveau de cette variable seulement**. S'il y a d'autres différences dans la constitution des groupes, alors on ne peut pas savoir laquelle de ces différences a causé l'effet expérimental. En d'autres mots, pour reprendre une expression de la vie de tous les jours, il ne faut pas comparer des pommes avec des oranges.

FAIRE DES COMPARAISONS DANS LA VIE DE TOUS LES JOURS

- Titre de journaux : « Nos enfants préscolaires performent mieux sur les tests d'intelligence qu'il y a 20 ans. » Ah, mais les tests sont-ils exactement les mêmes? Les chances sont que les tests d'intelligence ont changé en 20 ans, et donc leurs résultats ne sont pas vraiment comparables.

- Affirmation d'une entreprise : « Le salaire moyen de nos employés a augmenté sans cesse depuis les 25 dernières années, jusqu'à atteindre un maximum aujourd'hui en 2020 ». Oui, mais tout le monde sait que la valeur du dollar diminue d'année en année à cause de l'inflation. Un dollar de 2020 n'est donc pas comparable à un dollar de 1995. Si l'augmentation de salaire est la même que celle de l'inflation, alors le pouvoir d'achat des employés n'a PAS augmenté au fil des années. Si on tenait compte de l'inflation et qu'on exprimait tous les salaires en « dollars 1995 » par exemple, peut-être que ces salaires seraient en fait restés les mêmes, ou auraient peut-être même diminué.

- Déclaration du gouvernement : « Il y a 5 ans, nous avons coupé le budget des services de santé de 3 millions de dollars. Aujourd'hui, notre gouvernement redresse la situation et augmente ce budget de 3 millions de dollars ».

Q63 Ça donne l'impression qu'on est revenu à la situation d'origine; est-ce bien le cas?

- « Au Canada, les femmes professeures d'Université gagnent 18 cents de moins par dollar que leurs collègues masculins. » Présenté isolément, ce fait laisse sous-entendre qu'il y a présentement discrimination contre les femmes en termes de salaire dans les universités. Mais cette conclusion est-elle valide? Le fait présenté est probablement le résultat d'une comparaison entre le salaire moyen des professeures et celui des professeurs. Mais le salaire augmente avec la séniorité. Si les hommes sont surreprésentés dans les catégories d'âge avancé (peut-être à cause d'une discrimination du passé lors de l'embauche), alors il n'est pas surprenant que le salaire moyen masculin soit supérieur au salaire moyen féminin. On ne sait plus vraiment si la différence de salaire est dû au sexe ou à l'âge. Si c'est seulement la différence entre hommes et femmes qui nous intéresse, alors il faudrait comparer hommes et femmes à l'intérieur des mêmes classes d'âge. Peut-être qu'il y aurait encore une différence, mais peut-être pas.

- Résultat d'une étude historique : « Pendant la guerre hispano-américaine de 1898, le taux annuel de mortalité dans la marine américaine était de 9 sur 1000, tandis que dans la population générale de la ville de New York, le taux annuel de mortalité était de 16 sur 1000. Étonnamment, il était plus dangereux de vivre à New York que de faire la guerre dans la marine américaine. »

Q64 Trouvez le problème avec cette conclusion.

- Déclaration : « Il y a plus d'accidents d'auto entre 7 am et 8 am qu'entre 2 pm et 3 pm; donc il est plus dangereux de conduire le matin que l'après-midi. »

Q65 Trouvez le problème avec cette conclusion (pour vous inspirer, sachez qu'il y a aussi beaucoup plus d'accidents par beau temps que par temps brumeux, donc pour être consistent il faudrait dire qu'il est plus dangereux de conduire par beau temps, ce qui bien sûr est ridicule).

- Déclaration fictive : « Les cancers du pancréas sont à la hausse dans notre société moderne. Au Canada par exemple, dans toutes les années 1990, il y a eu 2965 diagnostics de cancer du pancréas, alors que dans toutes les années 1950 il y en avait eu seulement 1623. »

Q66 Trouvez au moins deux raisons pour lesquelles il y a maintenant plus de diagnostics de cancer du pancréas au Canada, sans que cela veuille nécessairement dire que votre chance d'avoir ce cancer est maintenant plus grande que celle de vos grands-parents. (Notez que les chiffres que je donne dans cet exemple sont fictifs.)

- Pour essayer de nous convaincre que le cartilage de requin est un bon médicament naturel contre le cancer, l'auteur d'un livre sur le sujet mentionne que sur 7,500 carcasses de requins collectionnées par le musée Smithsonian, seulement 30 avaient des tumeurs, un taux de seulement 0.04 %, alors que les chances de mourir de cancer chez l'être humain sont 1 sur 4, ou 25%.

Q67 Même en prenant pour acquis que le cancer agit de a même façon chez le requin que chez l'humain, est-il valide de comparer les taux de cancer de requins capturés en nature avec ceux observés chez les humains aujourd'hui?

FAIRE DES COMPARAISONS EN SCIENCE

En science, la notion de comparaison entre pommes et oranges mène à une précaution bien simple : vos expériences devraient comporter un (ou des) groupe(s) expérimental(aux) et un (ou des) groupe(s) témoin(s). Le groupe témoin devrait être le plus semblable possible au groupe expérimental, à tous les points de vue sauf pour la présence/absence du facteur expérimental à l'étude. Malheureusement, parfois cela est difficile à accomplir, ce qui rend difficile l'interprétation des résultats.

- Quand vous lisez de façon critique un article scientifique, regardez attentivement comment les groupes témoins (contrôles) ont été constitués, et demandez-vous si ces groupes sont appropriés. Est-il raisonnable de penser que les résultats de l'étude pourraient être dus à un autre facteur que celui qui figure dans la conclusion de l'étude, facteur qui n'a pas été contrôlé dans la constitution des groupes témoins?

- Dans les articles scientifiques que vous écrivez, décrivez précisément comment vos groupes expérimentaux et vos groupes témoins ont été constitués, et comment ils ont été soumis à des manipulations différentes.

- À part la variable étudiée, les groupes expérimentaux et témoins de vos études devraient être les plus semblables possible. Relisez attentivement le chapitre 10.

EFFET D'ORDRE (« *ORDER EFFECT* »)

Un cas particulier de comparaison pommes et oranges est **l'effet d'ordre**. Souvent, pour rendre le groupe expérimental et le groupe témoin le plus semblable possible (un noble but), on utilise les mêmes sujets dans les deux groupes. Par exemple, dans le cas de personnes, on applique la manipulation témoin à Jean et on mesure sa réponse, et puis par la suite on applique la manipulation expérimentale à Jean et on mesure sa réponse encore pour voir si elle est différente. Le problème potentiel avec cette approche, c'est que Jean la deuxième fois n'a pas le même niveau d'expérience personnelle que Jean la première fois. Il faut alors se demander si la différente réponse de Jean la deuxième fois est due à la manipulation expérimentale, ou à son différent niveau d'expérience personnelle. Dans le cas de traitements qui durent longtemps, il y a aussi une bonne différence d'âge qui peut survenir, et on sait que l'âge peut avoir des effets sur beaucoup de variables.

- Vous voulez voir si un certain régime alimentaire affecte la pression artérielle. Vous travaillez avec des rats. Vous prenez un groupe de 10 rats et vous les nourrissez avec une moulée ordinaire pendant 6 mois, mesurant leur pression artérielle à toutes les semaines. Ensuite vous les nourrissez pendant un autre 6 mois avec la même moulée ordinaire mais à laquelle vous avez ajouté un certain nutriment. Encore une fois vous mesurez leur pression artérielle à toutes les semaines, et vous observez qu'elle est plus haute en moyenne qu'auparavant.

Q68 Êtes-vous justifiés de conclure que le nutriment ajouté à la moulée a causé une hausse de pression artérielle chez vos sujets?

- Quelques jours avant l'équinoxe d'automne (autour du 21 septembre) vous apprenez qu'il existe une croyance que les œufs intacts peuvent se tenir debout tout seul sur une table, mais seulement à l'équinoxe de printemps (autour du 21 mars) et à l'équinoxe d'automne, quand la longueur du jour et de la nuit est exactement la même (12 h). Sachant que l'équinoxe d'automne approche, vous décidez de tester cette croyance en essayant maintenant, quelques jours avant l'équinoxe, de faire tenir des œufs debout sur une table. Vous échouez. Quelques jours plus tard, à l'équinoxe (21 septembre), vous essayez de nouveau et miracle! Ça fonctionne!

Q69 Avez-vous des commentaires à faire?

La seule façon de procéder quand on soupçonne qu'un effet d'ordre pourrait influencer nos résultats, c'est de **séparer notre groupe de sujets en deux sous-groupes de taille égale**. Un sous-groupe recevra le traitement témoin en premier et le traitement expérimental en deuxième; l'autre sous-groupe, au contraire, recevra le traitement expérimental en premier et le traitement témoin en deuxième. De cette façon, s'il y a un effet de l'âge ou de l'expérience personnelle, cet effet favorisera également le traitement témoin et le traitement expérimental lorsque toutes les données seront analysées ensemble.

- Vous voulez tester l'idée que la consommation d'une boisson énergisante permet de meilleures performances athlétiques. Vous choisissez le sprint sur 100 m comme épreuve athlétique. Vous choisissez 20 de vos amis comme sujets d'étude. Une bonne façon de maximiser leur utilisation serait de chacun les faire courir avec et sans consommation de boisson énergisante.

Q70 Décrivez votre protocole expérimental, et pendant que vous y êtes, ajoutez-y une approche à double insu.

CHAPITRE 13

Danger: Différences significatives et différences insignifiantes

« A difference is a difference only if it makes a difference » – *Darrel Huff, dans « How to Lie with Statistics »*

La science consiste souvent à faire des comparaisons. On compare des groupes expérimentaux entre eux et avec des groupes témoins (contrôles). Il y a invariablement des différences entre les résultats moyens de chaque groupe, et pour voir si ces différences sont le fruit de notre manipulation expérimentale ou simplement le fruit du hasard, on utilise des tests statistiques (avec l'idée que si le test nous dit que la différence a peu de chance d'être due au hasard, alors on pourra imputer la différence à l'effet expérimental, au facteur qu'on a fait varier d'un groupe à l'autre). Vous en apprendrez plus là-dessus dans les cours de statistiques que vous allez prendre pendant votre baccalauréat ici à la Faculté des sciences.

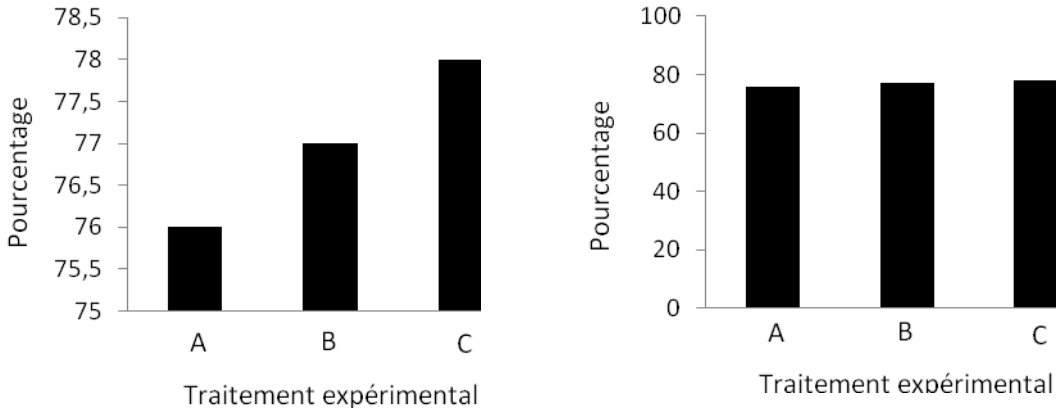
Quand les tests statistiques nous disent que la différence a peu de chance d'être le fruit du hasard (5% ou moins, représenté par la terminologie « $P < 0.05$ »), on emploie des expressions du genre « Mes résultats sont significatifs » ou « Les différences sont statistiquement significatives » ou « La variable A s'est avérée significativement plus élevée dans le groupe X que dans le groupe Y ».

De telles expressions nous suggèrent qu'il existe un effet expérimental (étant donné qu'on a rejeté comme improbable l'effet du hasard), mais elles ne nous disent rien sur **l'ampleur de cet effet**. Pour connaître cette ampleur, il nous faut voir les résultats moyens eux-mêmes. Malheureusement, de plus en plus les articles scientifiques ont tendance à donner le résultat des tests statistiques sans donner les résultats originaux eux-mêmes (ou, parfois, sans les représenter d'une façon objective). Le problème ici est que la simple existence d'un effet ne veut pas nécessairement dire que cet effet est important ou intéressant. L'effet, bien que présent, peut être tellement petit qu'il est en fait « insignifiant » dans le parler de tous les jours. En biologie, on dit souvent que « une signifiance statistique n'équivaut pas à une signifiance biologique ».

- Vous lisez un article de journal qui dit que le taux d'un certain type de cancer a doublé en 10 ans. Wow! Mais si c'est seulement le passage de 1 cas par 10,000 habitants à 2 cas par 10,000 habitants (c'est donc le double), ce n'est pas comme si vous devriez trop vous alarmer!

- Vous mesurez le succès de reproduction des étourneaux qui vivent en ville versus ceux qui vivent en campagne. Vous obtenez une différence significative en faveur de ceux de la ville. Êtes-vous justifiés de penser que vos résultats sont renversants? Si on parle d'une différence significative de 4.6 jeunes par année par couple versus 2.8 jeunes en moyenne, alors là, oui. Mais si on parle seulement d'une différence significative de 4.6 versus 4.4 jeunes par année, alors là, d'accord vous avez découvert un facteur qui effectivement influence le succès de reproduction des étourneaux, mais ce n'est pas un facteur très important.

- Considérez les deux graphiques suivants. Celui de gauche semble représenter des différences importantes. Mais quand on remarque que les valeurs sont en fait des pourcentages, et qu'on rapporte ces valeurs sur une échelle de 0 à 100 comme on devrait toujours le faire pour des pourcentages (graphique de droite), alors on s'aperçoit que les différences étaient en fait bien peu importantes.



Rappelez-vous qu'une différence statistiquement significative n'est pas toujours une différence de grande envergure. (On a déjà touché à une telle notion au chapitre 9 sur les corrélations.)

Il arrive parfois que les gens font l'erreur miroir : ils voient une grande différence entre deux groupes expérimentaux, mais malheureusement les tests statistiques démontrent que cette différence n'est pas significative (elle peut très bien être due au seul hasard, probablement parce que la taille d'échantillonnage était petite – c'est toujours plus facile d'obtenir des résultats extrêmes par hasard quand il y a peu de données, comme par exemple : à pile ou face, il est plus facile d'obtenir 100% de piles sur 4 lancers (4 piles sur 4) que sur 10 lancers (10 piles sur 10)). Malgré cela, les gens oublient le résultat du test statistique et continuent de parler comme si la différence était réelle. Non, non, non! Si le test statistique dit « non-significatif », alors dans votre tête vous devriez toujours considérer les valeurs des différents groupes comme étant égales, peu importe leur différence mesurée, grande ou petite.

- Si vous lisez les résultats d'un sondage qui dit qu'un parti politique remportera 55 % du support populaire lors des prochaines élections alors que l'autre parti n'en aura que 45 %, avec une marge d'erreur de 14 points de pourcentage, sachez alors qu'il n'y a pas de différence entre les deux partis. La différence mesurée entre eux (10 points de pourcentage) est moins grande que la marge d'erreur du sondage.

- Si vous lisez le résumé d'un article scientifique qui dit que le groupe expérimental a montré des valeurs deux fois plus élevées que le groupe témoin, mais qu'en lisant l'article lui-même vous voyez que cette différence n'était pas significative sur un test statistique, alors sachez que le résumé a été écrit de façon trompeuse pour faire croire qu'il y avait eu un effet alors qu'il n'y en avait pas. Le résumé aurait dû simplement dire qu'aucune différence significative n'a été détectée entre les deux groupes (ou, à la rigueur, parler d'une différence 2X mais ajouter qu'elle n'était pas significative).

PRÉCAUTIONS À PRENDRE

- Si vous rapportez un effet significatif de votre manipulation expérimentale, dites aussi quelle est l'ampleur de cet effet. Donnez des chiffres.

- Si vous entendez parler d'un effet significatif, posez-vous la question : Quelle est l'ampleur de cet effet? Cette différence statistiquement significative est-elle vraiment une différence intéressante? Exigez de voir les chiffres.

- Quand vous regardez un graphique, prêtez attention à l'échelle des unités sur l'axe des Y. L'échelle commence-t-elle à 0 comme elle le devrait? Sinon, les chiffres sur l'échelle révèlent-ils un effet qui est plutôt mince?

- Si les différences entre les groupes expérimentaux ne sont pas statistiquement significatives, alors traitez les groupes comme s'ils étaient égaux (si la puissance de votre test statistique est grande) ou potentiellement égaux (si la puissance du test n'est pas très grande). Ne les traitez pas comme s'ils étaient différents, peu importe la différence entre les valeurs moyennes des groupes. À la rigueur, si la différence entre les groupes va dans la direction à laquelle vous vous attendiez mais qu'elle n'est pas significative statistiquement, suggérez des études futures afin d'augmenter la puissance de vos tests statistiques (ce qui reviendra probablement à augmenter votre taille d'échantillonnage).

QUE SIGNIFIE P < 0.05, RÉSULTAT SIGNIFICATIF, DIFFÉRENCE SIGNIFICATIVE?

Comprenez bien ce que veut dire « P < 0.05 » (une « différence significative ») dans un article scientifique. Cette expression veut dire que **la probabilité (P) que la différence mesurée entre les groupes expérimentaux de l'étude soit due au simple hasard est de 5% ou moins**.

Par convention, le monde scientifique s'est entendu pour dire que 5% ou moins est assez faible pour dire que la différence mesurée est **probablement** due à quelque chose d'autre que le hasard. On conclura alors que la différence est **probablement** plutôt due au facteur qu'on a fait varier d'un groupe expérimental à l'autre (on conclura que notre résultat est significatif et qu'on a supporté l'hypothèse que ce facteur a un effet). **Mais attention** : peut-être qu'il y a d'autres facteurs (les fameuses variables confondantes dont j'ai déjà parlé dans d'autres chapitres) auxquels on n'avait pas pensé et que ce sont eux qui en fait sont responsables de la différence observée. La valeur de P nous parle seulement du rôle du hasard et ne nous dit rien comme tel sur le rôle des autres facteurs. Pour **éviter le piège du faux dilemme** (revoir le chapitre 7), il faut qu'on soit très confiant que notre facteur expérimental soit la seule alternative raisonnable au hasard. C'est seulement dans ce cas qu'on peut dire que P < 0.05 nous permet de bien supporter notre hypothèse de travail.

- Si une étude sur la télépathie (ex. : sur plusieurs essais, deviner si notre voisin pense à noir ou à blanc) rapporte un P < 0.05 (ex. : le devin a correctement deviné 9 fois sur 10), cela ne veut pas nécessairement dire que la télépathie existe. Cela veut dire que les résultats ne sont pas dus au hasard. Peut-être qu'ils sont dus à la télépathie, mais peut-être aussi qu'ils sont plutôt dus à d'autre chose, comme lire les expressions du visage, ou une tricherie. Il y a ici des alternatives raisonnables à l'hypothèse de travail.

- Réalisez qu'un résultat P < 0.01 nous convainc plus du non-rôle du hasard qu'un résultat P < 0.05 (seulement 1 chance sur 100 ou moins que le hasard soit impliqué, à comparer avec 5 chances sur 100 ou moins), mais pour que cela donne aussi plus de force à la conclusion que notre facteur expérimental a un effet, il faut qu'il y ait peu de chance que des variables confondantes soient à l'œuvre. Éliminer le hasard avec plus de certitude nous donne plus de certitude sur notre hypothèse de travail seulement dans la mesure où notre hypothèse est la seule alternative raisonnable au hasard. Dans l'exemple précédent, même si le devin devinait correctement 50 fois sur 50 (P < 0.0001), la possibilité qu'il y ait tricherie plutôt que télépathie demeurerait la même.

Réalisez que sur un ensemble de 100 études qui rapportent un résultat significatif à P = 0.05, les chances sont qu'environ 5 de ces études rapportent un résultat significatif qui en fait n'était qu'une manifestation du hasard. (J'ai employé les mots « chances » et « environ » parce qu'il faut bien comprendre que P fait référence à une probabilité, un phénomène statistique, et donc il ne peut pas y avoir de certitude sur des chiffres précis.) Et vous ne pouvez pas savoir lesquelles sont ces études. (Si ces études portaient sur un sujet important ou intéressant, les chances sont bonnes que d'autres études essaieront de les répliquer ou de bâtir sur elles, et lorsqu'elles ne réussiront pas on aura ainsi découvert que les résultats « significatifs » de ces premières études n'étaient en fait que le fruit du hasard, aussi improbable était-il.)

Réalisez aussi qu'un résultat significatif (P < 0.05, ou P < 0.01, peu importe) ne nous **dit rien sur l'envergure de la différence** entre les groupes, ou l'ampleur de l'effet expérimental mesuré. En particulier, il est facile de penser qu'un résultat plus significatif (P < 0.001 plutôt que P < 0.05) veut dire que l'effet expérimental est plus fort, ou que la différence observée entre votre groupe expérimental et votre groupe témoin, par exemple, est plus grande. Ce n'est pas nécessairement le cas. Être plus certain que la différence n'est pas due au hasard (P est très faible) peut arriver même si la différence n'est pas très grande.

Réalisez que P < 0.05 est une **convention**. Si votre analyse statistique vous donne P = 0.06, vous allez être frustrés, parce que vous n'aurez pas le droit de dire que vous avez réfuté l'effet du hasard (et donc vous n'aurez pas le droit de dire que vous avez supporté votre hypothèse de travail), même si 6% est pratiquement la même chose que 5%. Mais il faut bien établir la barre à quelque part, et le monde scientifique s'est entendu pour la mettre à 5 %. Consolez-vous en sachant qu'il est acceptable de parler de « **tendances statistiques** » lorsque P est compris entre 0.05 et 0.1 (entre 5% et 10%), mais les tendances statistiques ne doivent pas être interprétées comme un support pour l'hypothèse de travail; elles doivent plutôt être considérées comme un encouragement à poursuivre l'étude, probablement en augmentant la taille d'échantillonnage, ou en adressant la même question mais sous un autre angle d'attaque.

« P-HACKING »

Les chercheurs scientifiques qui doivent évaluer leurs résultats avec des tests statistiques deviennent très rapidement obsédés par $P < 0.05$. On espère toujours que nos résultats vont correspondre à $P < 0.05$, parce que sinon ça veut dire que nos résultats pourraient être dus au hasard seulement, et personne ne va s'intéresser à notre étude à ce moment-là. C'est quand $P < 0.05$ qu'on peut commencer à dire qu'on a supporté notre hypothèse de travail, et ça c'est beaucoup plus intéressant; c'est une étude qu'on va réussir à publier dans une meilleure revue; on va s'en servir pour convaincre les organismes subventionnaires de nous donner encore plus d'argent; on va donner des conférences où l'audience va chaudement nous applaudir, etc.

Étant donné tous ces avantages d'obtenir $P < 0.05$ plutôt que $P > 0.05$, on peut concevoir que certains chercheurs succombent à la tentation de tricher dans leurs analyses statistiques pour augmenter les chances d'avoir $P < 0.05$. Cette tricherie, qu'on appelle « *P-hacking* » est subtile et donc sournoise, car on peut facilement se convaincre qu'on n'est pas vraiment en train de tricher. Voici différentes formes de *P-hacking* :

- Quand plusieurs tests statistiques existent pour évaluer un même résultat, le *P-hacker* va tous les essayer dans l'espoir qu'il y en ait un qui va donner $P < 0.05$, et dans son article scientifique il ne parlera que de ce test et pas des autres (un exemple de picorage).

- S'il possède beaucoup de données, le *P-hacker* va essayer de trouver des sous-ensembles de ces données qui donnent des différences significatives sur ses tests statistiques, et il se donnera une excuse apparemment justifiée pour ce tri de données. Il ne parlera que des données triées dans son article scientifique, sans avouer qu'il a fait un tri (un exemple de forage de données et de picorage).

- Si le *P-hacker* fait ses tests statistiques à mesure que les résultats rentrent, il va arrêter de ramasser les données aussitôt que $P < 0.05$, par peur que les données futures ramènent la valeur de P au-dessus de 0.05 (un exemple que j'avais déjà donné dans le chapitre 6 sur le biais de confirmation et le picorage).

- Le *P-hacker* ne va surtout pas faire de nouvelles expériences pour essayer de répliquer ses résultats originaux, par peur de ne pas obtenir $P < 0.05$ cette fois-ci.

Il va sans dire que vous ne devriez pas faire de *P-hacking*. De plus, dans vos articles et conférences, **soyez transparents et rapportez fidèlement toute votre méthodologie**.

Remarquez le dernier des quatre points ci-haut. Si c'est vraiment la recherche de la vérité qui nous intéresse, **il est important d'essayer de répliquer nos études**. Cela rejoint des notions dont j'ai parlé dans le chapitre 3 sur le consensus scientifique : une seule étude n'est pas suffisante pour nous convaincre d'une découverte, même si cette étude rapporte $P < 0.05$. Il faut plusieurs études, testant toutes les hypothèses alternatives possibles, avec des angles d'attaque différents, idéalement par des personnes ou des laboratoires différents, et convergeant toutes vers une même réponse, pour nous convaincre qu'un phénomène existe vraiment.

QUESTIONS

Q71 Par des tests statistiques j'ai déterminé que la différence entre mon groupe témoin et mon groupe expérimental correspond à P = 0.05. Les énoncés suivants sont-ils vrais ou faux?

a) Je suis confiant à 95% que la différence entre les deux groupes est due au facteur expérimental que j'ai testé.

b) Mes résultats sont significatifs et j'ai prouvé mon hypothèse de travail (j'ai prouvé que le facteur expérimental joue bel et bien un rôle).

c) La probabilité est de seulement 5% que quelque chose d'autre que mon facteur expérimental puisse expliquer la différence obtenue.

d) La différence entre mon groupe témoin et mon groupe expérimental n'est que de 5%.

LIVRES ET ARTICLES

Huff, D. 1993. **How to lie with statistics**. WW Norton, New York. Sur les tablettes de la Bibliothèque Champlain: HA 29 H835.

Barber, T.X. 1976. **Pitfalls in Human Research : Ten Pivotal Points**. Pergamon Press, New York. Sur les tablettes de la Bibliothèque Champlain: BF 76.5 B37

Simmons, J.P., Nelson, L.D., et Simonsohn, U. 2011. **False-positive psychology : undisclosed flexibility in data collection and analysis allows presenting anything as significant**. Psychological Science 22 : 1359-1366. https://doi.org/10.1177/0956797611417632 .

CHAPITRE 14

Danger: L'interprétation des pourcentages

Exprimer un résultat en pourcentage est dangereux car cela peut prêter à confusion, pour diverses raisons.

POURCENTAGE DE RÉDUCTION OU D'AUGMENTATION

Un traitement expérimental abaisse la valeur d'une variable de 75 à 50. Quel est le pourcentage de réduction? La réduction est-elle de (75-50) / 75 = 0.33 = 33 % , ou est-elle de (75-50) / 50 = 0.5 = 50 % ?

La réponse est qu'il faut toujours calculer le pourcentage de changement en divisant par la valeur originale (i.e., c'est la **valeur originale** qui représente 100%). Donc, une baisse de 75 à 50 est une baisse de (75-50) / 75 = 0.33 = 33%. Mais remarquez maintenant qu'une hausse doit aussi être calculée à partir de la valeur originale. Donc une hausse de 50 à 75 représente une augmentation de (75-50) / 50 = 50%. On en arrive avec la conclusion vraie, mais troublante, que pour revenir à la situation d'origine après une baisse de 33%, ça nous prend une augmentation de 50% !

- L'employeur offre au syndicat une réduction de salaire de 20% ce mois-ci, suivi d'une augmentation de salaire de 22% à partir du mois suivant.

Q72 Le syndicat devrait-il accepter?

Vous voulez un autre exemple de confusion possible? Demandez à votre voisin ce qu'est une augmentation de 100 %, et il vous dira probablement que c'est un **doublement**. Demandez maintenant à une autre personne ce qu'est une augmentation de 200 %, et elle vous dira elle aussi que c'est un doublement! Qui a tort et qui a raison? La deuxième personne a tort : une augmentation de 200 % est en fait un **triplement**, mais vous pouvez voir comment facilement l'expression 200 % peut suggérer un doublement. En fait, pour n'importe quelle augmentation au-dessus de 100% (au-dessus d'un doublement), il vaut mieux utiliser des expressions du genre « a augmenté par un facteur 2.4 X » plutôt que d'utiliser un pourcentage.

Un autre problème survient quand on travaille avec des valeurs qui sont déjà des pourcentages. Imaginez que 6% des non-fumeurs meurent d'une certaine maladie, et que 9% des fumeurs meurent de cette même maladie. Paradoxalement, il est tout aussi vrai de dire que le fait de fumer augmente le risque de mourir de cette maladie par 50%, ou par 3%. Dans le premier cas, on a une **augmentation relative** (relative à la situation d'origine ou au témoin, donc : (9% - 6%) / 6% = 0.5 = 50%) et dans le deuxième cas on a l'**augmentation absolue** d'un paramètre déjà exprimé en % (donc: 9% - 6% = 3%). Ici il vaut mieux utiliser des expressions du genre « par tranche de 100 personnes, 6 vont mourir de la maladie parmi les non-fumeurs, tandis que 9 vont mourir de cette même maladie parmi les fumeurs »; en d'autres mots, il vaut mieux présenter les données originales plutôt que (ou en plus de) calculer des différences en pourcentage. Une autre possibilité est d'utiliser le terme « point de pourcentage » dans le cas des augmentation absolues. Dans l'exemple ci-haut, la meilleure chose à dire est « le fait de fumer augmente le risque de mourir de la maladie par 3 points de pourcentage (de 6% à 9%), une augmentation relative de 50% ».

VALEUR 100 % DIFFICILE À DÉFINIR

Les pourcentages de réduction ou d'augmentation ne sont pas les seules occasions où ce qui est représenté par 100% n'est pas très clair.

- « Notre presseur de jus de fruit peut extraire 26 % plus de jus. » Publicité attirante, mais à bien y penser, que représente 100 % ici? 26 % de plus par rapport à quoi? L'annonce ne le dit pas. Est-ce 26 % de plus que leur compétiteur le plus performant? Cela nous donne de l'information sur quelle marque de presseur je devrais acheter. Ou est-ce 26% de plus que de presser le fruit à la main? Cela nous donne de l'information sur l'avantage d'acheter un presseur, mais ça ne nous convainc pas que nous devons acheter cette marque en particulier.

VALEUR 100 % QUI CHANGE

Quand on lit qu'une valeur exprimée en pourcentage change, on pense tout de suite que c'est un changement dans la valeur absolue du paramètre qui a changé. Mais parfois ce n'est pas le cas; parfois c'est ce qui représente 100% qui a changé. Cela peut prêter à confusion.

- Un article de vulgarisation récent faisait état d'une étude qui a découvert que, dans les villes, le pourcentage de bactéries qui flottent dans l'air et qui proviennent de crottes de chiens, plutôt qu'en provenance d'autres sources, augmentent en hiver. Si on s'en tenait à cet énoncé seulement, on penserait tout de suite que le nombre de crottes de chien laissées dehors augmente en hiver, ou que le froid les fait persister plus longtemps. Mais non, quand on lit les détails de l'étude, on s'aperçoit que le nombre absolu de bactéries flottantes en provenance de crottes de chien ne change pas au fil des saisons. Ce qui change, c'est la valeur 100%, le total de bactéries flottantes dans l'air. En été, la majeure partie des bactéries volatiles viennent des feuilles d'arbre et de la terre du sol, et donc le pourcentage dû aux crottes de chien est faible. Mais en hiver, il n'y a plus de feuilles et le sol est isolé de l'air par une couche de neige. Ces bactéries disparaissent, le total de bactéries volatiles diminue, et donc le pourcentage (la fraction) dû aux crottes augmente. Le résultat, donc, n'avait rien à voir avec les crottes de chien. Le seul vrai changement était au niveau des feuilles et de l'exposition du sol. (Mais bien sûr, un article qui parle de respirer des bactéries en provenance de crottes de chien est bien plus frappant – et, soit dit en passant, ne vous inquiétez pas, le nombre absolu de ces bactéries fécales est beaucoup trop faible pour vous causer des maladies.)

TAILLE D'ÉCHANTILLONNAGE MASQUÉE

Un autre danger des pourcentages est qu'ils peuvent cacher une faible taille d'échantillonnage.

- Si vous lisez « 67% de répondants préfèrent notre produit », vous êtes impressionnés, n'est-ce pas? Vous imaginez tout de suite qu'au moins 100 personnes ont été testées. Mais il se peut que seulement 3 personnes aient été interviewées, et que 2 des 3 aient préféré le produit (= 67%). Un résultat basé sur seulement trois personnes testées, c'est beaucoup moins impressionnant, car il y a beaucoup plus de chances que le haut pourcentage observé ne soit dû qu'au hasard.

PRÉCAUTIONS À PRENDRE

- Si vous lisez un article, essayez d'obtenir les chiffres originaux, les valeurs absolues, qui ont servi au calcul d'un pourcentage. Si vous écrivez un article, donnez les chiffres originaux en plus du pourcentage.

- Si vous lisez « X % » dans un article, posez-vous la question : X % de quoi? Que représenterait 100 % ? Si la réponse ne vous apparait pas évidente, ou si la réponse apparemment évidente n'est en fait pas la bonne, l'article est mal écrit.

- Cherchez toujours à savoir sur quelle taille d'échantillonnage un pourcentage a été calculé.

QUESTIONS

Q73 Au premier semestre la moyenne de classer du premier examen était de 62%, tandis que la moyenne du deuxième examen était de 68%. Au deuxième semestre la moyenne du premier examen était de 78% tandis que la moyenne du deuxième examen était de 85%. L'augmentation de la moyenne entre le premier et deuxième examen était-elle plus haute au premier ou au deuxième semestre?

Q74 Deux groupes expérimentaux sont composés de personnes ayant le rhume. Un des groupes reçoit un médicament, l'autre ne reçoit rien. Après quelques jours on fait chaque personne tousser sur une plaque et on compte le pourcentage de gouttelettes qui contiennent des virus. Les résultats moyens sont 2% pour le groupe ayant reçu le médicament et 7% pour le groupe témoin. Les fabricants du médicament font alors une publicité qui dit que leur produit est efficace à 71% pour traiter le rhume. Avez-vous des commentaires?

Q75 Vous lisez un article qui dit que le taux d'un certain type de cancer a augmenté de 55% au Nouveau-Brunswick au cours des 10 dernières années. Quelles questions devriez-vous vous poser?

Q76 « 90% des dentistes recommandent Crest ». Posez des questions critiques face à cet énoncé.

Q77 Un biscuit sec annonce « nouvelle formule avec 50% moins de gras! ». Présumément ça veut dire la moitié du gras qu'il y avait dans l'ancienne formulation de ce biscuit sec. 50%, c'est substantiel, mais pensez-vous que la compagnie cherche à grandement améliorer la santé de ses clients?

CHAPITRE 15

Pensée critique en médecine

Beaucoup de fausses croyances sont motivées par l'espoir, et s'il y a une facette de notre vie où l'espoir joue un rôle important, c'est bien face à la maladie. Il y a donc beaucoup de fausses croyances et de charlatanisme dans le domaine de la santé. La médecine est un domaine où la pensée critique se doit d'être pratiquée très assidûment.

MÉDECINE DOUCE (= MÉDECINE ALTERNATIVE, = MÉDECINE NATURELLE)

Presque par définition, la médecine « alternative » (ou médecine « naturelle », ou médecine « douce ») est la médecine qui ne fonctionne pas.

Aussitôt qu'on a des preuves que quelque chose de la médecine alternative ou naturelle ou douce fonctionne sans occasionner de réactions secondaires indésirables, ce quelque chose cesse d'appartenir à la médecine alternative et commence à faire partie de la médecine conventionnelle. Les médecins ne sont pas fous; ils veulent guérir leurs patients. Si un traitement fonctionne sans causer des réactions secondaires nuisibles et sans avoir de conséquences immorales, alors peu importe que ce traitement soit « naturel » ou synthétique, peu importe que le mécanisme de ce traitement soit complètement compris ou non, peu importe que ce traitement ait été développé par des compagnies pharmaceutiques multinationales ou par un chamane dans la jungle sud-américaine, les médecins vont tous commencer à prescrire ce traitement si efficace et il fera maintenant partie de la médecine conventionnelle.

Ce qui reste dans la médecine « alternative », ce sont les traitements pour lesquels on n'a pas de preuves solides qu'ils fonctionnent, et ce, bien souvent, malgré les nombreuses expériences scientifiques qui les ont testés. Plus on teste ces traitements « alternatifs » sans obtenir de résultats convaincants, plus il devient évident que ces traitements ne fonctionnent pas (ou, du moins, pas en dehors de l'effet placebo – voir plus bas). À noter cependant que les tests doivent être faits; la médecine naturelle ou alternative ne devrait pas être ignorée, elle doit tout simplement être testée et évaluée plutôt que d'être acceptée aveuglément.

Exemples de médecine alternative pour lesquels les nombreux tests n'ont pas révélé de preuves en dehors de l'effet placebo:

- Acupuncture.
- Chiropratique pour des choses autres que les maux de dos.
- Magnétothérapie (aimants) et métallothérapie (bracelets de cuivre, aluminium, etc.).
- Homéopathie.
- Réflexologie (pressions sur le pied qui guérissent des maux ailleurs dans le corps).
- Hypnose, aromathérapie, hydrothérapie, vitamine E, toucher thérapeutique, psychanalyse, naturopathie, régimes de détoxification, etc.

- Pour le rhume ou la grippe : vitamine C en excès, ginseng, échinacées, zinc, Cold-FX, etc., etc. (Le seul traitement reconnu pour le rhume ou la grippe est le repos; certains antibiotiques peuvent aussi traiter les infections bactériennes de gorge qui accompagnent parfois le rhume ou la grippe – mais pas le rhume ou la grippe eux-mêmes, qui sont des maladies virales alors que les antibiotiques ne combattent que les bactéries.)

Les adhérents de la médecine alternative citent parfois des études scientifiques qui supportent l'efficacité de leur traitement non-conventionnel (ou qui, à l'inverse, trouvent des problèmes avec les traitements conventionnels). **Mais il est important de réaliser que ce ne sont pas toutes les études scientifiques qui sont bien faites**, malheureusement. Même les études qui réussissent à être publiées dans des revues arbitrées peuvent présenter des défauts que les arbitres n'ont pas réussi à remarquer, comme par exemple :

- Les doses utilisées étaient beaucoup trop élevées ou beaucoup trop basses; elles ne pourraient pas être utilisées comme traitement dans la vie de tous les jours.

- Les tests ont été faits sur des animaux et on n'a pas de certitude qu'un être humain réagirait de la même façon.

- Les sujets humains savaient à l'avance à quel groupe expérimental ils appartenaient et cela a pu influencer leur description de comment ils se sentaient par la suite.

- Les groupes témoins (contrôles) ont été mal constitués et ne sont pas de vrais groupes témoins.

- Le traître effet placebo (voir ci-dessous) a entrainé des difficultés d'interprétation des résultats.

- Les tailles d'échantillonnage étaient trop faibles, ou l'échantillonnage était biaisé, ou les tests statistiques étaient inappropriés, voire même absents.

- Les données qui ne concordaient pas avec la conclusion souhaitée ont été « oubliées », ou on a trouvé une excuse peu convaincante pour les éliminer, un acte de picorage.

- Les auteurs de l'étude ont donné une conclusion qui est beaucoup trop ferme et générale, à la lumière des résultats vagues et du peu de paramètres qu'ils ont étudiés.

Heureusement, pour des questions aussi importantes que celles reliées à la santé humaine, vous pouvez être certains qu'il y aura plus d'une étude qui sera faite sur une certaine question. Certaines de ces études attireront l'attention sur les erreurs des autres études. En fin du compte, s'il y a suffisamment d'études effectuées, un **consensus** finira par s'établir et les experts du domaine seront au courant du consensus. Pour juger de l'efficacité d'un traitement, il vaut mieux attendre un peu et se fier à l'opinion des experts dans le domaine (l'ensemble des médecins diplômés) plutôt qu'à une seule étude. (Revoir le chapitre 3 sur le consensus scientifique.)

Les traitements « alternatifs », n'étant pas réglementés, peuvent être nocifs. La plupart des traitements alternatifs, cependant, ne font pas vraiment de mal. Ils vous font dépenser votre argent pour rien, mais les gens après tout sont libres de faire ce qu'ils veulent avec leur argent. Mais là où la **médecine alternative a une conséquence plus sournoise** et pernicieuse, c'est quand les gens deviennent tellement convaincus de la pseudo-efficacité du pseudo-traitement qu'ils commencent à ne se fier qu'à ce pseudo-traitement et ils négligent d'aller voir leur médecin et d'obtenir aussi le traitement conventionnel. Il va sans dire que les conséquences de ne pas obtenir le traitement conventionnel peuvent être très graves (dépendamment de la maladie). Si tu fais une réaction anaphylactique en réponse à une piqure d'abeille, va te faire donner une injection d'épinéphrine à l'hôpital plutôt que de boire du thé à la menthe … sinon tu vas mourir.

Les traitements alternatifs (surtout s'ils sont faciles, comme prendre une pilule d'un « élément naturel ») peuvent aussi dérailler les efforts plus grands qui sont requis par les vrais traitements. Dans le cas de l'obésité en particulier, il existe plusieurs « régimes miracles » qui font appel à des choses faciles à faire, comme prendre une pilule, alors que le seul vrai traitement pour minimiser les risques d'obésité ou pour perdre du poids est de faire de l'exercice et de manger moins de calories (quelque chose qui est difficile à faire, et donc on se sert du régime facile comme excuse pour ne pas avoir à le faire). Dans les mots de Richard Veech, du *National Institute on Alcool Abuse and Alcoholism* : « People don't want to exercise. They don't want to eat healthy food. They don't want to stop drinking; they don't want to stop smoking; they don't want to stop having dangerous sex. They want to take a pill. Well, good luck. » (Extrait de « *Bad Medicine* », par Christopher Wanjek, 2003, John Wiley and Sons Inc.).

Une dernière pensée : il n'y a aucune évidence que les gens qui vantent les mérites de la médecine alternative vivent plus vieux que le reste de la population, en moyenne. C'est comme les gens qui prétendent avoir des pouvoirs psychiques : ils ne gagnent jamais à la loterie. Comme c'est bizarre.

EFFET PLACEBO

Un **médicament placebo** est une substance ou une manipulation sans effet physiologique que l'on donne à un patient en lui faisant croire qu'il s'agit d'un vrai médicament. L'**effet placebo** est une légère amélioration de santé d'un patient qui croit avoir obtenu un médicament efficace alors qu'en fait le médicament lui-même n'était pas efficace. Cette amélioration de santé est parfois uniquement subjective, mais parfois elle est réelle aussi, bien qu'invariablement faible. Il semble que le cerveau puisse involontairement influencer l'état de santé d'un patient, bien que cette influence soit faible et que le mécanisme impliqué soit encore inconnu.

Le problème occasionné par l'effet placebo est que certaines personnes qui croient en un pseudo-médicament ou un pseudo-traitement peuvent voir leur état de santé s'améliorer un peu sans réaliser que c'est seulement un effet placebo, et donc ils deviennent encore plus convaincus que ce médicament ou ce traitement est efficace. Ils refusent alors tout autre médicament plus conventionnel, même si le médicament conventionnel est bien plus efficace que le petit effet placebo causé par le pseudo-médicament. L'effet placebo perpétue la croyance en des médicaments ou traitements bidons, et minimise l'utilisation de traitements conventionnels plus efficaces (mais aussi, bien souvent il faut l'admettre, plus coûteux ou plus incommodants).

L'attention et les réassurances apportées à un patient ont aussi un effet placebo. Lorsqu'ajoutées à un traitement conventionnel, ces bonnes manières du médecin ne peuvent qu'aider, sans coûts.

LES ARGUMENTS NON-VALIDES DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ

Ce chapitre, qui arrive vers la fin du présent ouvrage, est une bonne occasion de revoir certaines notions, car ils ont tous des exemples dans le domaine de la santé.

Argument du peuple	Beaucoup de personnes croient en l'efficacité de l'acupuncture; les remèdes naturels sont très populaires; il y a des pays où beaucoup de mauvais médecins prescrivent des traitements homéopathiques. Pourtant il n'y a pas de preuves que ces choses fonctionnent.
Appel à la tradition	La médecine traditionnelle chinoise, le régime alimentaire « paléo », les cures traditionnelles autochtones, et les traitements de type « recettes de grand-mère » sont des exemples de procédures anciennes, mais dont l'efficacité n'a pas été démontrée par la science malgré de nombreux tests.
Argument d'autorité	Beaucoup d'annonces publicitaires disent « Ce traitement est recommandé par tel ou tel médecin, ou par tel ou tel gagnant du Prix Nobel, par telle ou telle célébrité. » Mais il vaut mieux se fier au consensus médical, à l'opinion de l'ensemble des médecins plutôt qu'à un seul d'entre eux ou à une seule célébrité.
Argument d'ignorance	« On ne sait pas si la médecine naturelle est bonne ou pas, donc allons de l'avant et pratiquons la médecine naturelle. Qu'est-ce qu'on a à perdre? » (La réponse est : argent, danger des produits non-réglementés, risque de délaisser le meilleur traitement conventionnel.)
Faux dilemme	« Le traitement conventionnel ne semble pas bien fonctionner, donc il faut avoir recours à la naturopathie à la place. » Mais l'efficacité ou non du traitement conventionnel ne nous dit rien sur celui de la naturopathie!
Fardeau de la preuve	« Mon traitement peu orthodoxe (et qui coûte très cher) fonctionne contre le cancer; c'est aux sceptiques de prouver que j'ai tort. » « Tu ne peux pas prouver avec certitude que la médecine alternative ne fonctionne pas, donc j'ai le droit de pratiquer la médecine alternative. » Mais c'est aux gens qui préconisent un traitement alternatif de prouver que ce traitement fonctionne.
Argument *post hoc*	« J'ai vacciné mon enfant et quelques mois plus tard il a été diagnostiqué avec l'autisme; c'est donc le vaccin qui a causé la maladie! » Mais ce n'est qu'une coïncidence temporelle. « Je n'en pouvais plus, et donc en désespoir de cause j'ai pris le médicament naturel, et il a marché! » Mais beaucoup de maladies s'améliorent par elles-mêmes sans médicament après leur pic maximum – un cas de régression vers la moyenne.

Biais du survivant	Les annonces publicitaires pour un médicament ou un traitement présentent une ou deux personnes qui se sont senties mieux, mais bien entendu les annonces ne disent rien sur les centaines d'autres personnes pour qui le médicament ou le traitement n'a pas eu d'effet autre que l'effet placebo.
Biais de confirmation I	On croit en la médecine alternative et on se souvient de la fois où la prise d'un médicament naturel a été suivie d'une amélioration de santé, mais on oublie toutes les fois où ce même médicament naturel n'a pas eu d'effet.
Biais de confirmation II	Dans des études sur les facteurs de risque pour une maladie, ou sur l'efficacité de nouveaux traitements, on se donne des excuses pour éliminer de notre analyse certaines données qui ne font pas notre affaire. Non, il faut inclure tous les cas!
Reproductibilité	Il semble que peu d'études scientifiques dans le monde biomédical soient réplicables, un gros problème qui reflète un désir de « faire marcher les expériences » (un genre de biais de confirmation) et l'utilisation de méthodologies défaillantes. Lors de la publication d'articles, il faudrait encourager les auteurs à donner une description la plus complète possible de leur méthodologie pour maximiser les chances que les arbitres vont réussir à détecter toute faille.
Échantillonnage	Dans les tests cliniques sur l'efficacité de nouveaux médicaments ou traitements, il faut que le groupe expérimental (l'ensemble des patients recevant le traitement) et le groupe témoin (l'ensemble des patients ne recevant pas le traitement) soient le plus large possible, et aient été le plus possible constitués au hasard. Il ne faut pas que les groupes diffèrent par autre chose que la présence ou l'absence du traitement. Il faut qu'ils se ressemblent en moyenne en termes de leur âge, sexe, habitudes de vie, autres troubles de santé, etc.
Double insu	Dans les études qui impliquent des mesures relativement subjectives, comme une échelle de douleur de 0 à 10, ou l'évaluation d'un tracé de ECG ou d'une radiographie, il est préférable que l'évaluateur ne soit pas au courant du groupe expérimental auquel appartient le patient qu'il mesure; et puisque parfois c'est le patient qui fait une auto-évaluation, ou qui change son comportement s'il est au courant de son statut expérimental, il est préférable qu'il ignore lui aussi à quel groupe il appartient.
Études prospectives	Études médicales qui suivent le destin de groupes de personnes qui se sont formés eux-mêmes volontairement (comme par exemple, les gens qui mangent des céréales le matin versus ceux qui n'en mangent pas). Les études de ce genre sont particulièrement vulnérables aux effets de variables confondantes (ex. : les gens qui mangent des céréales sont aussi plus soucieux de leur alimentation en général).

RESSOURCES INTERNET

www.Lepharmachien.com : Un site web dont le but est de « simplifier la science et anéantir la pseudoscience », surtout dans le domaine de la santé.

https://sciencebasedmedicine.org : "*Exploring issues and controversies in science and medicine*".

http://www.bodyofevidence.ca : Un blog médical – voir aussi *Cracked Science* sur YouTube.

LIVRES

Offit, P.A.. 2013. **Do you Believe in Magic : The Sense and Nonsense of Alternative Medicine**. HarperCollins, New York.

Wanjek, C., 2003. **Bad Medicine**. John Wiley and Sons, Hoboken NJ.

Goldacre, B., 2008, **Bad Science**, McClelland and Stewart: Toronto. Ben Goldacre est un médecin qui rédige la rubrique « Bad Science » dans l'hebdomadaire britannique *The Guardian*, et ce livre est un recueil de ces écrits. Le livre expose les fausses conclusions et les mauvaises procédures de plusieurs études dans le monde de la médecine et de la nutrition. Il a aussi écrit un autre livre dans la même veine sur le développement de nouveaux médicaments : **Bad Pharma.**

Chapitre 16

Science et pseudoscience

Le long de certaines dimensions, la science a des frontières floues. Par exemple, on a déjà vu que la frontière entre la science et la philosophie n'est pas étanche, étant donné que les scientifiques passent beaucoup de temps à jouer mentalement avec des idées (l'essence de la philosophie) pour essayer d'expliquer les faits qu'elles observent. La frontière entre la science et la technologie est souvent difficile à définir elle aussi, puisque des personnes peuvent dans un même élan mettre à jour de nouvelles connaissances et les appliquer aux affaires humaines.

Parmi les chemins qui s'avancent vers les frontières de la science, un est balisé par la qualité avec laquelle la recherche scientifique est faite. Certaines études scientifiques peuvent être mal faites; elles peuvent souffrir de différents défauts, comme par exemple :

- Des mesures mal définies ou mal prises;
- Des échantillons non-aléatoires, ou trop petits pour être représentatifs;
- Des analyses statistiques inappropriées;
- Du picorage de données;
- Des biais de confirmation s'exprimant dans des mesures subjectives, sans insu;
- L'oubli de considérer des hypothèses alternatives plausibles;
- L'oubli de considérer l'effet de variables confondantes;
- Des erreurs de logique.

Il s'agit là de cas de **mauvaise science**, mais encore de science quand même.

Mais parfois, la présumée science est tellement mal faite, elle a tellement de défauts majeurs, qu'il devient pervers de continuer à lui donner le nom de science, même si elle continue de se parer d'un vocabulaire technique et d'une apparence de pensée scientifique. On parle alors de **pseudoscience**. Ce sont des domaines d'opinion où les preuves qui sont fournies sont soit absentes, soit totalement inadéquates, soit contrebalancées par un trop grand nombre de preuves contraires. Il est frappant (et triste) de réaliser la popularité et la très grande diversité de pseudo-sciences, de croyances sans bonnes preuves (mais avec des pseudo-preuves) pour des illusions que, dans bien des cas, la vraie science a depuis longtemps déboulonné, comme par exemple :

> Astrologie, ufologie, détection des esprits et des fantômes, études de perception extrasensorielle (ou « sixième sens »), télépathie, clairvoyance (= prédiction du futur), psychisme, médecine douce et naturopathie, homéopathie, cures miracles, régimes amaigrissants faciles, fontaines de jouvence, lithothérapie (pouvoir des cristaux), génération facile d'énergie, créationnisme et dessin intelligent.

Voici un tableau qui présente les différences entre science et pseudoscience. Dans ce tableau, gardez en tête que les caractéristiques de la science sont idéales, sont celles d'une science bien faite. Il est certainement possible de dénicher des études scientifiques qui ne présentent pas toutes ces belles caractéristiques. Il est certainement possible pour les scientifiques de faire fausse route. Heureusement que la science s'auto-corrige, tel qu'expliqué au chapitre 3.

Science	Pseudoscience
De nouvelles connaissances continuent d'être découvertes. La recherche est active car il y a moyen de faire des prédictions testables.	Il y a beaucoup d'élucubrations, mais peu ou pas de recherche, et l'état des connaissances n'avance pas, habituellement parce qu'il n'y a pas moyen de faire des prédictions testables (ex. : créationnisme).
Stabilité éventuelle des connaissances acceptées hors de tout doute raisonnable, formant un consensus scientifique.	Diversité d'opinions, connaissances non fiables (ex.: les créationnistes ne s'entendent pas sur l'âge de la Terre, car ils interprètent la bible de différentes façons).
Résultats de recherche publiés dans des revues spécialisées suite à un processus de vérification par les pairs (arbitrage).	Arguments publiés dans les médias publics ou dans des livres sans aucun processus d'arbitrage.
Congrès où les gens présentent des résultats, se critiquent, et s'échangent des idées.	Conventions où les gens installent des kiosques pour vendre leurs produits ou distribuer des pamphlets.
Collaborations fréquentes.	Travail en solitaire, habituellement.
Applications technologiques complexes.	Produits ou cures simplistes.
Plusieurs années de formation nécessaires (études de 1er, 2e et 3e cycle; formation post-doctorale).	Absence de formation, invoquée comme étant une bonne chose (absence de limites à la pensée). Mais le résultat n'est qu'une absence de pensée critique et une absence des connaissances et des habitudes mentales essentielles pour bien concevoir les études et bien interpréter les résultats.
Transparence des méthodes utilisées lors des recherches. On dévoile la façon dont la recherche a été faite.	Procédés gardés secrets en attendant le brevet, ou de peur de se les faire voler par des espions industriels.
Découverte d'effets expérimentaux de bonne ampleur.	Effets minuscules, facilement explicables par des biais subjectifs lors de la mesure, ou l'inexactitude de la méthode de mesure (ex. : les cas de perception extrasensorielle).
Effets réplicables; effets robustes (= réplica-bles dans une grande variété de conditions).	Effets inconsistants, capricieux; recours à une panoplie d'excuses pour expliquer cela.
Explications rationnelles basées sur des faits établis. Un cadre théorique sous-tend les recherches.	Explications vagues pleines de jargon, basées sur des phénomènes souvent difficiles à mesurer. Aucun cadre théorique.
On attaque une question sous plusieurs angles, et on cherche à atteindre une convergence des preuves.	Emphase mise sur des cas uniques, des anecdotes, de rares guérisons inexpliquées.

Accepte le fardeau de la preuve. Recherche de preuves tout aussi bien contre que pour les hypothèses.	Rejette le fardeau de la preuve. Prise pour acquis que l'hypothèse est vraie jusqu'à temps que quelqu'un d'autre prouve qu'elle est fausse.
Tentatives de confirmer et aussi d'infirmer les hypothèses. On tente d'éviter les biais de confirmation.	Tentatives de seulement confirmer les hypothèses, menant à un picorage (*cherry picking*) des données ou des études. Biais de confirmation bien présent.
Méthode expérimentale rigoureuse, à simple ou double insu lorsqu'indiqué, sur des paramètres bien définis, avec échantillonnage large et non-biaisé, avec des méthodes statistiques bien appliquées.	Expériences où on veut que ça marche, où on utilise des méthodes subjectives, des paramètres mal définis, des échantillons biaisés, et des méthodes statistiques qui nous donneront les résultats qu'on veut avoir.
On s'efforce de considérer toutes les hypothèses alternatives possibles, en autant qu'elles soient raisonnables.	Recours aux arguments d'ignorance ou aux faux dilemmes.
On accepte la critique; idéalement même, on invite la critique; on analyse le plus objectivement possible la critique.	Hostile à la critique; syndrome de Galilée; argument du génie incompris.
Accepte l'ignorance, mais tente sans cesse de la réduire.	Accepte l'ignorance et veut la préserver de peur que les nouvelles connaissances vont contredire le point de vue ou la soi-disant efficacité du produit.
Humilité vis-à-vis de l'importance de leurs recherches et de leurs résultats.	Délusion de grandeur, revendications grandioses sur l'importance du point de vue ou du produit.
Recours à des explications *ad hoc* pour expliquer un résultat inattendu ou un résultat négatif, mais ces explications *ad hoc* sont alors testées dans des études futures.	Recours à des explications *ad hoc* pour expliquer un résultat inattendu ou un résultat négatif, mais aucun effort n'est fait pour tester ces explications *ad hoc*.
Reconnait que les conclusions, même quand elles sont établies hors de tout doute raisonnable, demeurent ouvertes à des réfutations ou à des raffinements dans le futur.	Tend à voir les conclusions comme étant « coulées dans le béton »; entêtement à s'accrocher aux conclusions coûte que coûte.
Recherches basées sur des faits déjà établis, sur des prémisses déjà vérifiées.	Acceptation inconditionnelle de prémisses douteuses, menant à des études vides de sens (ex. : études sur qui, quand, et comment on utilise la médecine douce, comme si la médecine douce était un traitement efficace).
Ne remet pas trop en question les théories déjà acceptées comme prouvées hors de tout doute raisonnable.	Bouleverse les théories déjà établies; se vante d'être révolutionnaire.

Donne priorité aux explications qui minimisent le nombre de postulats, le nombre de nouvelles choses prises pour acquis sans preuve (une position appelée « le rasoir d'Ockham »).	N'hésite pas à recourir à des postulats majeurs (ex. : les ufologues prennent pour acquis que le voyage interstellaire est possible, que des civilisations extra-terrestres ont développé cette technologie, qu'elles nous ont trouvé, et qu'elles désirent nous étudier discrètement).
Pratique le naturalisme méthodologique : n'accepte pas les explications surnaturelles, magiques, ou spirituelles.	A un penchant pour les explications surnaturelles (ex. : le créationnisme donne des explications divines; le psychisme fait appel à des formes d'énergie inconnues ou à une conscience hors-cerveau; les résultats négatifs sont expliqués en disant que « Dieu refuse d'être testé » ou que « des ondes négatives ont été émises par les chercheurs sceptiques »).
Poursuite du gain, de la gloire, de l'admiration par les pairs ou le sexe opposé, et de la vérité (idéalement pas dans cet ordre!).	Poursuite du gain, de la gloire, de l'admiration par les pairs ou le sexe opposé, mais pas de la vérité.

CITATIONS

« On ne peut accepter de gaité de cœur une telle intoxication par la niaiserie. »
– Jean Rostand, au sujet de l'astrologie.

« When (Carl Sagan was) asked a futurological question, he said that not enough was known to answer it. The questioner pressed him on what he really thought. 'What is your gut feeling?' Sagan's reply is immortal: 'But I try not to think with my gut.' Gut thinking is one of the main problems we have to contend with in public attitudes to science. »
– Richard Dawkins, dans A Devil's Chaplain.

« The scientific way of thinking is at once imaginative and disciplined. This is central to its success. Science invites us to let the facts in, even when they don't conform to our preconceptions. It counsels us to carry alternative hypotheses in our heads and see which best fit the facts. It urges on us a delicate balance between no-holds-barred openness to new ideas, however heretical, and the most rigorous skeptical scrutiny of everything – new ideas and established wisdom. This kind of thinking is also an essential tool for a democracy in an age of change.

One of the reasons for its success is that science has built-in, error-correcting machinery at its very heart. Some may consider this an overbroad characterization, but to me every time we exercise self-criticism, every time we test our ideas against the outside world, we are doing science. When we are self-indulgent and uncritical, when we confuse hopes and facts, we slide into pseudoscience and superstition. »

— Carl Sagan, dans The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark.

« Science arouses a soaring sense of wonder. But so does pseudoscience. Sparse and poor popularizations of science abandon ecological niches that pseudoscience promptly fills. If it were widely understood that claims to knowledge require adequate evidence before they can be accepted, there would be no room for pseudoscience. »

– C*arl Sagan, dans The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark.*

« I worry that (…) pseudoscience and superstition will seem year by year more tempting, the siren song of unreason more sonorous and attractive. Where have we heard it before? Whenever our ethnic or national prejudices are aroused, in times of scarcity, during challenges to national self-esteem or nerve, when we agonize about our diminished cosmic place and purpose, or when fanaticism is bubbling up around us – then habits of thought familiar from ages past reach for the controls.

The candle flame gutters. Its little pool of light trembles. Darkness gathers. The demons begin to stir.

— *Carl Sagan, dans The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark.*

LIVRES

Daempfle, Peter. 2012. **Good Science, Bad Science, Pseudoscience, and just Plain Bunk: How to Tell the Difference**. Rowman & Littlefield, Lanham. Disponible en ligne au travers de la Bibliothèque Champlain.

Prothero, Donald. 2013. **Reality Check: How Science Deniers Threaten our Future**. eBook Collection. Disponible en ligne au travers de la Bibliothèque Champlain.

De Pracontal, Michel. 2001. **L'imposture scientifique en dix leçons**. La Découverte : Paris. Sur les tablettes de la Bibliothèque Champlain : Q172.5 F7 P73. Une édition mise à jour est apparue en 2005 aux Éditions du Seuil.

Sagan, Carl. 1996. **The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark**. Ballantine Books, New York. Disponible sur les tablettes de la Bibliothèque Champlain : Q175 S215.

Park, Robert. 2000. **Voodoo Science : The Road from Foolishness to Fraud**. Oxford University Press: New York.

Shermer, Michael. 2001. **The Borderlands of Science: Where Sense Meets Nonsense**. Oxford University Press: New York.

CHAPITRE 17

Science et religion

Beaucoup d'encre a coulé sur la dichotomie, voir même le conflit potentiel, entre science et religion. D'après moi, il y a dichotomie mais fondamentalement il ne devrait pas y avoir de conflit entre les deux (et pas de dialogue non plus), puisqu'il n'y a **pas de terrain commun entre les deux**. La science touche les explications de faits réels, matériels, naturels, tandis que la religion touche à des concepts surnaturels, spirituels, moraux. Tant et aussi longtemps que la science s'en tient à des explications logiques du monde naturel, et tant et aussi longtemps que la religion évite d'expliquer des faits naturels à partir de notions du surnaturel, les deux peuvent co-exister, tout à fait indépendantes l'une de l'autre.

Le problème, c'est que la religion bien souvent ne s'en tient pas qu'à des concepts surnaturels, spirituels, et moraux. **La presque totalité des religions ne peuvent s'empêcher d'affirmer des choses sur le monde réel**, comme par exemple dire que tous les êtres humains sont issus d'un seul couple à l'origine (Adam et Ève) et que ce couple a été créé d'un seul coup il y a 6000 ans (et non pas suite à un procédé évolutif sur des millions d'années), ou bien que Dieu intervient dans notre vie de tous les jours en faisant des miracles.

À chaque fois que la religion fait un énoncé sur le monde réel, elle entre dans le terrain de jeu de la science. Un conflit peut alors se développer entre les conclusions scientifiques et la religion.

- L'exemple classique, mais ancien, est celui de Galilée, persécuté au 17^{e} siècle par l'Église chrétienne qui n'acceptait pas sa conclusion scientifique que la Terre tourne autour du soleil.

- Un conflit actuel est celui qui oppose les créationnistes au consensus scientifique. Pour des raisons religieuses, les créationnistes rejettent la notion de l'évolution des espèces, malgré le fait que la théorie de l'évolution par sélection naturelle soit complètement acceptée en science comme décrivant et expliquant bien la réalité.

- Un conflit survient entre la médecine moderne et les gens qui, pour des raisons religieuses, refusent la transfusion sanguine ou la vaccination.

- Un conflit survient lorsque la religion proclame que la prière est efficace. Des études scientifiques rigoureuses, avec les groupes témoins appropriés, ont démontré sans équivoque que le fait de prier pour un patient n'améliore pas ses chances de guérison par rapport à un patient pour qui personne ne prie.

- Un conflit survient lorsque la religion proclame l'authenticité de certaines reliques sacrées. La science peut démontrer le contraire, comme dans le cas du Suaire de Turin (le présumé linceul de Jésus) dont l'âge, loin d'être 2000 ans comme il devrait l'être, a été estimé à environ 700 ans par la datation au carbone-14.

- Un conflit survient lorsque la religion affirme l'existence de miracles médicaux. Plusieurs explications rationnelles sont possibles pour ces présumés miracles : effet tardif de traitements modernes déjà en cours, amélioration normale de l'état de santé, effet placebo, rémission spontanée (dont les causes peuvent être encore mal connues, mais qui sont au moins le sujet d'études en cours plutôt que de juste se baisser les bras).

Voici un tableau qui résume les principales différences entre science et religion :

Science	Religion
Pensée critique et raison Exiger des preuves, et interpréter la qualité de ces preuves à la lumière de la raison.	**Foi** Croire sans preuve solide.
Aborde seulement le naturel, les faits observables, ou les faits déductibles à partir de faits observables.	**Aborde (et devrait se contenter d'aborder) le surnaturel, le spirituel.**
Ouverture d'esprit Rien n'est sacré. Rejeter un point de vue déjà établi est acceptable, en autant que les preuves qui appuient ce rejet soient bonnes	**Dogme** Respect inconditionnel d'un texte sacré ou de l'opinion des autorités qui interprètent le texte sacré.
Révélation personnelle (« *insight* ») Une idée rationnelle nous vient en tête comme réponse possible à une question.	**Révélation divine** Dieu nous parle directement, ou parle à un prophète qui nous dit ce que Dieu lui a dit.
V**érifiable (« *falsifiable* »)** Pour être scientifique, une hypothèse se doit de pouvoir être testée, d'être vérifiable. Et il doit être possible que le test révèle l'hypothèse comme étant fausse.	**Invérifiable (« *Unfalsifiable* »)** Dieu est considéré inscrutable et omnipotent, donc tout est possiblement consistant avec son existence et ses actes. Son existence est invérifiable.
Universelle La science est pratiquée de la même manière partout, toujours (si elle est bien faite!).	**Diverse** Il existe plusieurs dieux et plusieurs religions, géographiquement et historiquement.
Permet de faire des prédictions	**Ne permet pas de faire des prédictions**
Difficile, pas toujours évident	**Facile, tendance instinctive**
Impact sociétal technologique	**Impact sociétal psychologique**
Amorale La réalité est ce qu'elle est; la science ne dit pas si la réalité est bien ou mal. (Mais la science peut analyser les origines et les effets de certaines lois morales, et donner de l'information pour nous aider à décider de ce qui est bien et ce qui est mal.)	**Morale** Décide pour nous de ce qui est bien et ce qui est mal, ce qui est péché. (Mais elle n'est pas la seule à pouvoir faire cela; il existe aussi des systèmes de loi laïques, juridiques.)

EST-IL POSSIBLE D'ÊTRE SCIENTIFIQUE ET RELIGIEUX EN MÊME TEMPS?

La réponse est OUI, MAIS cela exige une certaine flexibilité au niveau de la religion, flexibilité qui semble bien difficile à maintenir chez le commun des mortels.

Rappelons-nous (revoir le chapitre 1) que la science est basée sur le principe que la nature opère selon un ensemble de lois physiques qui sont constantes partout dans l'espace et dans le temps, et qu'il est possible de découvrir ces lois, et donc la façon dont la nature fonctionne, en utilisant la raison. Pour que les lois demeurent immuables, la science n'accepte pas la possibilité que des êtres surnaturels tout-puissants soient capables, au gré de leur caprice, d'enfreindre ces lois de temps en temps. La science n'accepte jamais le recours au surnaturel dans ses explications (une position philosophique qu'on nomme le **naturalisme méthodologique**).

Quand les scientifiques obtiennent un résultat d'expérience, elles doivent être convaincues que ce résultat reflète la vraie nature, une nature objective, et donc que le résultat pourra être répliqué par d'autres personnes dans l'espace et dans le temps. Elles doivent être convaincues que le résultat n'est pas un cas exceptionnel causé de façon magique par une entité surnaturelle comme un sorcier ou un dieu qui a décidé de violer temporairement les lois de la nature juste pour nous faire plaisir (ou, à l'inverse, juste pour nous mettre des bâtons dans les roues).

Il en découle donc que le scientifique religieux doit adhérer à une position religieuse qui dit que **Dieu n'intervient jamais dans les affaires humaines (une position appelée « déisme »)**. C'est difficile. La plupart des personnes religieuses sont très réconfortées par l'idée que Dieu puisse intervenir de façon favorable dans leur vie en réponse à leurs prières, incluant les prières qu'un scientifique pourrait faire pour que son expérience « fonctionne » ou pour qu'il ait du succès dans sa carrière.

De plus, pour certaines personnes il peut s'avérer difficile de toujours exiger des preuves matérielles lors de l'entreprise scientifique, mais en même temps d'accepter de **croire certaines autres choses sans preuve**, comme le paradis et la vie après la mort (il n'existe aucune preuve que la conscience peut être présente en l'absence de neurones fonctionnels; et aucune preuve convaincante de la présence d'esprits après la mort).

Toutes ces difficultés contribuent à expliquer pourquoi le taux d'athéisme (ou d'agnosticisme, qui dans la vie de tous les jours revient au même : se comporter comme si Dieu n'existait pas) est beaucoup plus élevé chez les scientifiques que chez le public en général. Mais les difficultés ne sont pas insurmontables si on est prêt à ne pas trop y réfléchir et à cloisonner son cerveau. Il est donc possible d'être scientifique et religieux en même temps.

Dans le paragraphe précédent, je dis « ne pas trop y réfléchir ». Les grandes religions n'encouragent pas tellement leurs adhérents à penser par eux-mêmes, car l'application de la pensée critique et du raisonnement scientifique ont tendance, il faut bien l'admettre, à mener à la conclusion qu'il n'existe pas de Dieu intervenant dans nos vies. Le raisonnement est le suivant :

Il est possible pour la science de démontrer, hors de tout doute raisonnable, l'existence de toute chose qui s'exprime par des faits observables, incluant l'existence de toute idée sur la façon dont la nature fonctionne.

> La science souscrit à la position philosophique que rien ne peut être prouvé avec 100% de certitude. Il est toujours possible qu'un nouveau fait soit observé dans le futur qui viendrait contredire nos connaissances considérées comme établies et démontrées. C'est pourquoi en science on entend rarement une expression du genre « mon hypothèse est prouvée par cette observation »; on dit plutôt « mon hypothèse est supportée par cette observation ».
>
> Mais si les faits observables appuyant une hypothèse s'accumulent sans jamais qu'une observation contraire crédible ne survienne, alors on atteint une situation où les scientifiques diront que l'hypothèse est correcte « hors de tout doute raisonnable ». La relation ou modèle ou mécanisme hypothétique deviendra alors une connaissance établie en laquelle on aura confiance, au point d'en développer des applications pratiques ou d'en faire le point de départ de futures études allant plus loin dans ce champ de connaissance.

De façon similaire, il est aussi possible pour la science de **démontrer, hors de tout doute raisonnable, la non-existence de choses qui devraient s'exprimer par des faits observables, alors que ces faits ne sont jamais observés**.

> Une hypothèse devrait permettre de faire une prédiction sur ce qui devrait être observé dans des conditions bien précises. Si la prédiction ne se réalise pas, alors l'hypothèse est réfutée, du moins dans sa forme actuelle. On conclura que la relation ou le modèle ou le mécanisme proposé par l'hypothèse ne correspond pas à la réalité, n'existe pas, ou du moins pas dans sa forme actuelle.

Il est souvent dit que « on ne peut pas prouver un négatif », ou que « l'absence de preuves n'est pas preuve d'absence ». Il est vrai qu'on ne pas prouver un négatif (ou même un positif, philosophiquement parlant) à 100% de certitude. Il est aussi vrai que l'absence de preuves n'est pas forcément une démonstration de non-existence.

Mais il est aussi vrai qu'**on peut prouver un négatif hors de tout doute raisonnable** si l'existence de la chose en question entrainait raisonnablement certaines conséquences, et que ces conséquences ne sont jamais observées. L'absence de preuves dans une situation où on s'attendrait raisonnablement à avoir des preuves est une démonstration de la non-existence de l'entité qu'on cherche à démontrer. (Revoir le chapitre 7.)

> Il y a beaucoup de choses que la science a conclu comme n'existant pas car elles n'ont jamais été observées de façon rigoureuse. Des exemples en biologie incluent la génération spontanée, le lamarckisme, et les homoncules (hommes miniatures) présents dans les spermatozoïdes.

Considérons maintenant les choses suivantes :

1) Le Père Noël qui apporte des cadeaux du Pôle Nord.
2) Les fantômes qui hantent les vieilles maisons.
3) Les sorciers qui peuvent jeter de mauvais sorts.
4) Les dragons qui vivent dans nos garages.[8]
5) Le Monstre du Loch Ness, le Sasquatch, le Big Foot, l'Abominable Homme des Neiges.[9]
6) Le Monstre en spaghetti volant qui vole invisiblement dans le ciel.[10]
7) Une théière en orbite autour du soleil, entre la Terre et Mars.[11]
8) Un dieu qui intervient dans les affaires humaines, qui fait des miracles.

On n'a aucune preuve solide de l'existence de ces entités, même si chacune d'entre elles devrait raisonnablement laisser dans le monde actuel des traces de son existence. On a plutôt des indices assez convaincants qu'elles ne sont que le fruit de l'imagination humaine (comme par exemple la très grande diversité de dieux et de religions, géographiquement et historiquement). La raison et la pensée critique acceptent alors la conclusion que ces entités, jusqu'à preuve du contraire mais quand même hors de tout doute raisonnable, n'existent pas.

---

[8] Dans son livre *The Demon-Haunted World*, Carl Sagan donne l'exemple de quelqu'un qui prétend qu'un dragon vit dans son garage. Un voisin demande des preuves. A-t-on une photo? Non, se fait-il répondre, le dragon est invisible. Pourrait-on étendre de la farine sur le plancher pour détecter ses empreintes de pas? Non, se fait-il répondre, le dragon flotte toujours dans l'air. Peut-on mesurer une élévation de la température quand le dragon expire du feu? Non, le feu du dragon n'est pas chaud. Chaque tentative sans succès de démontrer l'existence du dragon se fait contrer par une explication *ad hoc*. À la longue, malgré ces explications *ad hoc* (toutes peu plausibles de toute façon), toute personne raisonnable finirait par conclure que le dragon n'existe pas étant donné l'absence de preuves concrètes.

[9] On a donné un nom à l'étude de ces espèces imaginaires : la cryptozoologie (« crypt » = caché). Quelqu'un qui explorerait le Loch Ness en sous-marin dans l'espoir de prendre en photo le Monstre du Loch Ness pourrait se targuer d'être un cryptozoologiste. Il existe des exemples d'espèces imaginaires au Canada (elles ont même fait l'objet d'une émission de timbres en 1990), comme Ogopogo, un monstre serpentin du Lac Okanagan en Colombie-Britannique. Il m'arrive de songer à inventer et populariser mon propre monstre imaginaire, comme par exemple le Monstre du Lac Poucette (près de Cap-Pelé). J'aime bien la juxtaposition incongrue des mots « monstre » et « Poucette ».

[10] Le Monstre en spaghetti volant (*Flying Spaghetti Monster*) est l'objet de vénération du Pastafarisme, une parodie religieuse inventée par Bobby Henderson en 2005. Il s'agit d'une boule de spaghetti avec deux boulettes de viande ressemblant à des yeux, le tout en vol indétecté dans le ciel.

[11] Aussi appelée « théière de Russell », elle fut imaginée par l'écrivain Bertrand Russell, qui a écrit en 1952 : « De nombreuses personnes orthodoxes parlent comme si c'était le travail des sceptiques de réfuter les dogmes plutôt qu'à ceux qui les soutiennent de les prouver. Ceci est bien évidemment une erreur. Si je suggérais qu'entre la Terre et Mars se trouve une théière de porcelaine en orbite elliptique autour du Soleil, personne ne serait capable de prouver le contraire pour peu que j'aie pris la précaution de préciser que la théière est trop petite pour être détectée par nos plus puissants télescopes. Mais si j'affirmais que, comme ma proposition ne peut être réfutée, il n'est pas tolérable pour la raison humaine d'en douter, on me considérerait aussitôt comme un illuminé. Cependant, si l'existence de cette théière était décrite dans des livres anciens, enseignée comme une vérité sacrée tous les dimanches et inculquée aux enfants à l'école, alors toute hésitation à croire en son existence deviendrait un signe d'excentricité et vaudrait au sceptique les soins d'un psychiatre à une époque éclairée, ou de l'Inquisiteur en des temps plus anciens. »

CITATIONS

« Le combat pour la raison et pour la vérité n'est pas engagé contre la foi et la religion mais contre notre ignorance atavique et sans borne et contre un Univers qui s'obstine à conserver jalousement ses mystères. » – *Cyrille Barrette, dans Mystère sans magie.*

« Il faut aussi, à mon avis, arrêter d'accuser la science de nous priver de la beauté et du mystère du monde, arrêter de l'accuser de nous offrir un monde où le sacré, la vénération, l'émerveillement n'ont plus de place. Je trouve franchement bizarre de penser que la vénération, le respect, l'émerveillement ne peuvent fleurir que dans l'ignorance. Je ne vois pas pourquoi on trouverait la vie moins sacrée ou moins merveilleuse depuis qu'on connait l'ADN, ou pourquoi on serait moins ébloui par la beauté ou ému par le spectacle d'un arc-en-ciel ou des aurores boréales depuis que la physique nous explique comment ils se forment. Et je ne vois pas pourquoi on respecterait moins l'humain parce qu'on sait maintenant qu'il est l'espèce sœur du chimpanzé et un proche cousin du gorille. » – *Cyrille Barrette, dans Mystère sans magie.*

« Il faut vraiment méconnaitre la science pour croire que les scientifiques ne sont que des empêcheurs de rêver. Comment pourraient-ils l'être alors qu'ils ont les deux mains dans le coffre aux trésors des mystères du monde? De plus, contrairement à la fiction, leur imagination et leur audace les amènent à trouver du vrai au lieu de mirages. Entre autres parce que le scientifique cultive le doute, la science est digne de confiance plus que toute autre entreprise pour trouver la vérité. – *Cyrille Barrette, dans Mystère sans magie.*

« Einstein aussi s'en mêle : 'La science sans religion est boiteuse, la religion sans la science est aveugle.' La formule est jolie et peut inviter la science et la religion à se respecter, mais si elle les invite à fusionner, c'est futile et nuisible pour les deux. Si la science sans religion est boiteuse, la science avec la religion n'est pas meilleure; elle est en fait bien pire, elle est dénaturée par des intrusions illégitimes. Le scientifique religieux est peut-être une meilleure personne, plus humaniste, plus généreux, plus tolérant, mais il peut tout aussi bien pratiquer toutes ces vertus sans religion et, surtout, sa science n'est pas meilleure que celle de l'athée. (…)

Foi et raison ne peuvent ni se nuire, ni s'aider, pas plus que religion et science. Il y a entre les deux mondes une démarcation nette et étanche qu'il est illusoire de vouloir franchir et nuisible de vouloir s'estomper. La foi et la religion donnent des réponses simples à toutes les questions sous forme de certitudes incontestables et invérifiables. La raison et la science font tout le contraire, non pas par esprit de contradiction mais par une sorte de respect lucide, humble et honnête pour leur nature et pour la réalité. Il ne peut rien sortir de fertile ou d'éclairant des tentatives de fusion de la science et de la foi. La science est aussi rationnelle que la foi ne l'est pas. Même si 200 détenteurs de prix Nobel en science déclaraient publiquement leur foi, ça ne donnerait aucune légitimité scientifique à la foi. À l'inverse, si 200 autres affichaient leur athéisme, ce ne serait nullement une attaque scientifique de la foi. Science et religion sont irréconciliables. » – *Cyrille Barrette, dans Mystère sans magie.*

La science et la religion ne sont pas complémentaires. En effet, la religion n'explique pas ce que la science ne peut pas encore expliquer, ni ce qu'elle ne pourra jamais expliquer. La religion n'explique rien. Elle donne des réponses qu'elle nous invite à croire aveuglément, non pas des explications. On est dans deux mondes totalement différents : celui de la raison et celui de la foi. Les confondre ou les mélanger les dénature tous les deux. » – *Cyrille Barrette, dans Mystère sans magie.*

LIVRES

Barrette, C. 2006. **Mystère sans magie : science, doute et vérité**. Éditions Multimondes : Québec. Disponible à la Bibliothèque Champlain : Q 158.5 B37, et aussi en ligne.

Coyne, J.A. 2015. **Faith vs. Fact : Why Science and Religion are Incompatible**. Viking, New York.

Shermer, M. 2000. **How We Believe : Science, Skepticism, and the Search for God**. Holt, New York.

CHAPITRE 18

Des listes pour résumer

Missions de la science :

1) Décrire fidèlement, idéalement quantitativement, comment la nature est faite. Découvrir de nouvelles choses grâce à l'observation systématique de la nature et grâce à la technologie, et bien décrire ces nouvelles choses.

2) Comprendre et expliquer comment les choses fonctionnent (ou ne fonctionnent pas). Trouver les relations causales entre les choses.

Postulats de base (= credo, = choses prises pour acquis) de la science :

1) La nature est réelle, elle n'est ni un rêve ni une illusion. On n'est pas dans le film « *The Matrix* ».

2) La nature opère selon une série de lois, qui sont causales (= tout effet a une cause), et qui sont constantes dans le temps et dans l'espace (= ces lois ne sont jamais enfreintes).

3) La raison permet de découvrir et de comprendre la nature et ses lois. La nature est intelligible.

Le terrain de jeu et les frontières de la science :

1) La science s'adresse uniquement aux faits concrets. Les idées scientifiques ne sont valides que si elles concordent aux faits observés dans la nature.

2) De par ses postulats de base, la science n'accepte aucune explication surnaturelle, magique, divine.

3) Tout fait mesurable peut faire l'objet d'une recherche scientifique. Les sciences humaines, sociales, politiques, religieuses, ou infirmières font effectivement partie du monde de la science, dans la mesure où elles peuvent bien mesurer des choses dans leur domaine de spécialité, se poser des questions répondables sur ces choses, tenter de les expliquer par la raison, et vérifier ces explications en faisant des prédictions à partir d'elles et en regardant si ces prédictions se réalisent. Même les gens du public peuvent faire de la science dans leur vie de tous les jours.

4) À strictement parler, la technologie (et cela inclut le génie, l'informatique, la médecine) ne fait pas partie de la science pure comme tel. Cependant, la technologie utilise les connaissances acquises par la science pour créer des choses utiles; et les scientifiques se servent beaucoup de la technologie dans leurs activités de recherche.

<u>Les caractéristiques de la science</u> :

1) La science propose des hypothèses, et pour être vraiment scientifiques ces **hypothèses** doivent être **testables**, vérifiables, potentiellement réfutables par des observations dans le monde réel.

2) La science vérifie la validité de ses hypothèses ou des connaissances qu'elle a acquises en faisant des **prédictions** logiques à partir d'elles et en regardant si ces prédictions se réalisent dans des faits futurs, soit des faits qui arrivent spontanément dans la nature ou que l'on provoque dans des expériences.

3) La science repose beaucoup sur **l'observation systématique**, bien faite, non-biaisée, de faits naturels, que ce soit pour documenter la nature ou pour tester ses hypothèses.

4) La science aime **définir précisément** les faits, objets, paramètres qu'elle observe et qu'elle mesure.

5) La science est **transparente**. Les scientifiques **communiquent** leurs découvertes à leurs collègues et au public en général.

6) Le **savoir** généré par la science est toujours **provisoire**. Les scientifiques doivent donc demeurer **ouverts aux idées nouvelles** et aux **hypothèses alternatives**. Les scientifiques ne sont **pas dogmatiques**.

7) Même si les connaissances scientifiques sont toujours provisoires, il demeure possible de les tester à tel point qu'on devient confiant qu'elles représentent la vérité hors de tout doute raisonnable. Pas hors de tout doute à 100%, mais hors de tout doute raisonnable. En fait, le **savoir** scientifique est tellement **fiable** qu'on l'a utilisé pour créer des **applications pratiques**, des technologies qui fonctionnent à coup sûr et qui contribuent grandement à notre qualité de vie.

8) La science est **universelle**. La bonne science (la bonne!) est faite de la même façon par tout le monde, peu importe leur sexe, nationalité, religion, ou idéologie politique.

9) La science est **collective**. Les scientifiques participent à des congrès, s'échangent des idées, se critiquent les uns les autres. Les scientifiques collaborent souvent en équipes.

10) Les scientifiques acceptent de soumettre leurs études à la **critique des autres**, notamment au moment de la publication des résultats de recherche. Tout article scientifique ne peut être publié que s'il a été soumis à un processus de **vérification par les pairs**, c'est-à-dire s'il a été approuvé par au moins deux experts (= arbitres) indépendants.

11) La science n'est **pas parfaite**. Certains scientifiques font de la fraude intellectuelle. Certains scientifiques font des erreurs. En tant qu'outil pour faire reculer l'ignorance, la science est limitée par les biais cognitifs de ses pratiquants, et par leur imparfaite capacité intellectuelle à générer des hypothèses, imaginer des expériences, interpréter les résultats.

12) La science s'**auto-corrige**. Elle a besoin de corrections parce qu'elle n'est pas parfaite, et les corrections découlent de sa nature collective. Si les découvertes sont importantes, elles se font vérifier par les autres scientifiques. Éventuellement, un **consensus** scientifique peut s'établir, et, sauf rares exceptions, ce consensus représente la meilleure approximation de la vérité atteignable par l'esprit humain avec les moyens de bord actuels.

La méthode scientifique :

1) Observer et mesurer des objets/phénomènes; ou déduire des objets/phénomènes à partir d'autres objets/phénomènes observés; ou provoquer des phénomènes observables dans des situations particulières.

2) Se poser une question sur ces objets/phénomènes.

3) Proposer une réponse possible à la question, une explication rationnelle, possible et vérifiable pour ces objets/phénomènes (= émettre une hypothèse). Cette explication peut s'appuyer sur des connaissances déjà établies comme étant vraies par la science.

4) Faire une prédiction logique basée sur cette hypothèse.

5) Vérifier si cette prédiction se réalise dans des objets/phénomènes observés dans le futur, ou dans des faits déduits à partir d'objets/phénomènes observés dans le futur, ou dans des phénomènes observés lors d'expériences futures qu'on effectue.

6) Communiquer ce qu'on a appris ou découvert.

Le coffre à outils de la science :

1) Les **expériences contrôlées** : On compare différents groupes qu'on a composé soi-même de façon à faire varier le niveau du facteur à l'étude entre ces groupes. Tous ces groupes devraient être le plus similaires possible, la seule différence étant le niveau du facteur étudié. Le groupe où le facteur sera absent portera le nom de groupe témoin (= contrôle).

2) Les **expériences naturelles** : Même idée que pour que les expériences contrôlées, sauf qu'on laisse la nature former les groupes. Un danger potentiel est la difficulté à s'assurer que ces groupes ne diffèrent que par leur niveau du facteur à l'étude, la difficulté à s'assurer que des variables confondantes ne viendront pas rendre difficile l'interprétation des résultats.

3) Les **études comparatives** : Similaire aux expériences naturelles, en ce sens que ces études mettent l'emphase sur la comparaison entre groupes déjà formés naturellement. On peut dire que les études comparatives font appel à des expériences naturelles. On peut comparer entre elles des espèces, des populations, des cohortes d'âge, des villes, des pays, des civilisations, des lieux, des groupes de minéraux, etc, etc.

4) Les **études prospectives** : En science médicale, comparaison entre groupes d'humains différant dans le niveau d'un traitement auquel ils sont soumis. Les groupes peuvent s'être déjà formés volontairement, à la façon d'une expérience naturelle, ou les sujets peuvent y être assignés aléatoirement à la manière d'une expérience contrôlée. Les sujets sont souvent suivis pendant une longue période de temps pour voir les effets ou non-effets du traitement. Les études pendant une longue période de temps sont aussi appelées « **études longitudinales** ».

5) Les **études descriptives** : On ne fait que mesurer et documenter des objets ou des phénomènes de la façon la plus complète, systématique, et précise possible. Ces études se limitent seulement à la première mission de la science et à l'étape 1 de la méthode scientifique. Cependant, les étapes 2 et 3 (se poser des questions et émettre des hypothèses) sont toujours présentes à l'esprit d'une personne qui se lance dans une étude descriptive. On ne mesure pas n'importe quoi; on ne mesure pas des choses qu'on estime sans importance ou sans intérêt; il y a toujours un cadre théorique qui se cache derrière une étude descriptive. C'est Darwin qui a dit : "*How odd it is that anyone should not see that all observation must be for or against some view if it is to be of any service!*"

6) Les **études théoriques** : Travail simplement intellectuel, où il n'y a pas d'objets ou de phénomènes mesurés, consistant plutôt à faire des hypothèses (suggérer des explications) ou bâtir un modèle explicatif, ou établir des relations entre des faits déjà établis. Les études théoriques correspondent surtout aux étapes 2, 3, et 4 de la méthode scientifique.

7) Les **revues systématiques** : On fait le tour d'une question en examinant l'ensemble des recherches qui ont été publiées sur une question jusqu'à ce jour, dans le but de voir si on peut faire ressortir un consensus, une convergence des preuves, ou pour suggérer ce qui reste à faire. Attention au mot « revue » : il peut désigner un journal spécialisé dans lequel on publie des articles scientifiques (une revue scientifique est ce qu'on appelle en anglais « *scientific journal* ») mais dans le cadre de l'expression « revue systématique » il fait référence à un type d'étude (*review*). L'article scientifique qui sera publié suite à un travail de revue systématique porte de nom d'article-synthèse (*review article*).

8) Les **projets pilotes** : Études préliminaires, avec une faible taille d'échantillonnage, dans le seul but de voir si la méthodologie et le protocole proposés fonctionnent, pour estimer si l'étude qu'on propose de faire sera bel et bien faisable.

9) Le **travail en équipe et l'interdisciplinarité** : Le domaine des connaissances est maintenant tellement vaste par rapport à la capacité de notre mémoire qu'une scientifique de nos jours n'a pas d'autre choix que de se spécialiser. Mais pour faire de la bonne science il est préférable d'avoir une expertise large, ce qui va à l'encontre de la spécialisation. Une solution : rassembler différentes expertises dans du travail d'équipe. La science moderne est beaucoup faite en équipe. Les expertises ainsi rassemblées peuvent gagner à venir de domaines différents car les idées développées en premier lieu dans un domaine peuvent souvent porter fruit dans d'autres domaines.

10) La **technologie** : Dans les sciences classiques, la plupart des études faciles à faire (pas toutes, mais la plupart) ont déjà été faites. Les nouvelles études dépendent souvent de l'application de nouvelles technologies dans la recherche. C'est souvent suite à l'apparition de nouvelles technologies, de nouveaux instruments, de nouvelles capacités informatiques, que beaucoup d'avancements scientifiques intéressants surviennent.

<u>Les raisons pour lesquelles la conclusion d'une étude peut être fausse ou non-justifiée :</u>

1) Les chercheurs ont été la proie d'**erreurs techniques** :

    a. Instruments de mesure mal calibrés ou mal opérés.
    b. Ingrédients impurs ou contaminés.
    c. Données mal entrées dans l'ordinateur.
    d. Sujets humains qui ne disent pas la vérité.

2) Les chercheurs ont commis des **erreurs méthodologiques** :

    a. Groupes témoins (= groupes contrôles) absents.
    b. Groupes témoins mal constitués (une seule variable devrait varier).
    c. Échantillons trop petits (= faible taille des groupes expérimentaux, ou cas uniques).
    d. Échantillons non-aléatoires (= biais dans la constitution des groupes).
    e. Précision des mesures trop faible pour détecter le petit effet à l'étude.
    f. Paramètres mal définis et donc mesurés de façon inconsistante.
    g. Paramètres peu représentatifs du sujet de l'étude.
    h. Trop de paramètres mesurés menant à un risque de forage des données.
    i. Observations faites, ou mesures prises, de façon non systématique, menant à un biais dans la nature des données.
    j. Simple examen visuel des données, sans utiliser de tests statistiques.
    k. Erreurs mathématiques; tests statistiques inappropriés.
    l. Effets d'ordre non-contrôlés.

3) Les chercheurs ont fait des **erreurs d'interprétation** :

    a. Oubli de considérer des hypothèses alternatives raisonnables qui expliqueraient leurs résultats tout aussi bien que ne le fait leur hypothèse de travail.
    b. Oubli de considérer l'existence de variables confondantes (= corrélées avec leur facteur d'intérêt) qui pourraient expliquer leurs résultats tout aussi bien que ne le fait le facteur qui les intéressait.
    c. Oubli de considérer l'effet placebo.
    d. Conclusion forte émise suite à des hypothèses *ad hoc* (des excuses pour expliquer des résultats non-attendus) qui n'ont pas été validées.
    e. Conclusion qui traite une corrélation comme indicatrice de causation sans vérifier la possibilité de coïncidences, de variables confondantes, ou d'effet renversé.
    f. Conclusion basée sur un argument *post hoc* sans vérifier la possibilité de coïncidence, de régression vers la moyenne, de variables confondantes, et d'états déjà contenus dans les conditions de départ.
    g. Conclusion basée sur un faux dilemme (considérer que B est prouvé seulement parce qu'on a éliminé l'alternative A, sans considérer la possibilité de C, D, E…).
    h. Conclusion beaucoup trop large (ex. : extrapoler à l'humain des résultats obtenus sur des rats; suggérer des applications pharmacologiques à partir de résultats obtenus avec des doses irréalistes; extrapoler à tous les mammifères un résultat obtenu sur une seule espèce).
    i. Conclusion sans rapport avec les données obtenues.

4) Les chercheurs ont peut-être fait de la **fraude scientifique** :

    a. Invention des données.
    b. Altération des données.
    c. Élimination ou « perte » de données inconvénientes.

5) Pour une raison ou pour une autre, les chercheurs ont été la proie du **biais de confirmation**. Pour favoriser leur hypothèse de travail, ils ont :

    a. Ignoré certaines données sans bonnes raisons (picorage, = *cherry picking*);
    b. Arrêté prématurément de ramasser les données une fois que le seuil $P < 0.05$ a été atteint;
    c. Été inconsciemment biaisés lors de la prise de mesures subjectives (plutôt que de travailler en simple ou double insu);
    d. Été animés par un simple désir de « faire marcher les expériences ».

6) Il se pourrait que l'effet observé ne soit que le **fruit du hasard**, même quand $P < 0.05$. Le point limite $P < 0.05$ veut dire que 1 étude sur 20 en moyenne rapporte un faux positif (= rapporte un effet expérimental qui en fait n'est que le fruit du hasard). Il faut plus d'une étude pour qu'un effet expérimental soit considéré comme bien établi.

7) L'effet rapporté a été obtenu par **forage de données** lors d'une expédition de pêche, et donc la conclusion rapportée n'est pas la vérification d'une prédiction mais plutôt une simple hypothèse *a posteriori* qui reste encore à être testée.

8) Les chercheurs ont rapporté un effet significatif (= qui existe vraiment), mais ils n'ont pas parlé de **l'ampleur de cet effet** parce que l'effet était en fait très faible, et donc pas très intéressant.

<u>La mission sociale du mouvement sceptique (= sceptiques scientifiques, contemporains)</u> :

1) Promouvoir la pensée critique et la science au sein de la population en général.

2) Exposer les erreurs de nos croyances pour lesquelles il n'y a pas de bonnes preuves, ou pour lesquelles les preuves sont négatives (ex. : astrologie, paranormal, superstition, clairvoyance, complotisme, perception extra-sensorielle ou sixième sens, créationnisme, médecine douce, cures miracles, pouvoirs magiques, etc.).

3) Sensibiliser les gens aux limites de nos cerveaux, comme les limites de notre mémoire et de notre attention, et comme nos divers biais cognitifs.

4) Encourager la libre pensée et la liberté d'enquête, sans entrave par la politique ou la religion.

L'attitude sceptique dans la vie de tous les jours :

1) **Exiger de voir les preuves** qui soutiennent un énoncé ou une conclusion.

2) **Vérifier les preuves**. Y a-t-il moyen de faire confirmer l'existence et la nature des preuves par des personnes ou organisations indépendantes? Des sites web comme FactCheck.org ou Snopes.com ou OpenSecrets.org peuvent être très utiles.

3) **Prêter attention aux détails de comment une preuve a été obtenue**. Chercher à obtenir ces détails s'ils ne sont pas immédiatement disponibles. Les détails peuvent nous permettre d'identifier des biais lors de l'obtention des preuves qui rendent ces dernières non-valides.

4) **Donner plus de poids aux preuves qui sont quantitatives** plutôt que subjectives, en autant que le paramètre mesuré représente bien le sujet de la conclusion et qu'il ait été bien défini.

5) **Considérer toutes les hypothèses** pouvant expliquer un phénomène. Comparer ces hypothèses en termes de (1) leur capacité à générer des prédictions qui ont été testées avec succès, (2) leur concordance avec ce qui est déjà connu, et (3) leur capacité d'expliquer des choses avec le moins possible de postulats non-vérifiés.

6) **Ne pas être ébloui par un long texte scientifique**. Beaucoup de pseudosciences ont recours à des textes qui sonnent scientifiques mais qui ne sont qu'un ramassis de non-sens. Un vrai bon texte scientifique, vulgarisé pour le public, devrait être intelligible par toute personne modérément éduquée.

7) Lorsque dans l'impossibilité d'obtenir et de vérifier soi-même les preuves (ce qui arrive souvent dans notre monde technique et spécialisé), il vaut mieux admettre son ignorance ou son manque d'expertise et **se rabattre sur une autorité fiable**. Le consensus scientifique, ou au moins une forte majorité de la communauté scientifique, est la meilleure autorité. Une seule étude ou 1-2 scientifiques ne sont pas des autorités suffisantes.

8) Lors de discussions avec quelqu'un qui ne partage pas notre point de vue, **demander « quel genre de preuves pourrait te faire changer d'avis? »**. Poser cette question à notre interlocuteur, et se la poser à soi-même aussi. Puis, essayer de voir si de telles preuves existent.

9) **Être très conscient du biais de confirmation**. Souvent on cherche des preuves mais on ne retient que les preuves qui confirment notre idée préconçue (préconçue pour des raisons idéologiques ou religieuses), sans les regarder avec un œil critique, tout en « oubliant » les preuves contraires. On pense qu'on a fait preuve de pensée critique parce qu'on a cherché des preuves, mais en fait tout ce qu'on a accompli est de tomber dans le panneau du biais de confirmation.

10) **Être conscients, en fait, de tous les biais cognitifs dont souffre le cerveau humain**, et de toutes les erreurs de logique, de mémoire, d'attention, de mathématiques, qu'il commet souvent. Se renseigner sur ces défaillances du cerveau humain, et chercher à les minimiser en utilisant la raison objective. Demeurer polis envers les gens qui ne semblent pas accomplir cette tâche aussi bien que nous (sauf s'ils sont des escrocs ou des charlatans foncièrement malhonnêtes, dans lequel cas ils méritent d'être sévèrement dénoncés).

Une liste de -ismes pour les philosophes amoureux de la classification parmi vous :

1) **Naturalisme** : Position philosophique qui dit que la nature existe pour de vrai (elle n'est pas une illusion) et qu'elle est régie par des lois causales, dites « lois naturelles ». Le **naturalisme philosophique** dit que rien d'autre n'existe en dehors de la nature (une position équivalente à l'athéisme). Le **naturalisme méthodologique**, auquel adhère la science, ne se prononce pas sur l'existence du surnaturel, mais prend pour acquis que s'il existe il n'intervient pas dans le monde naturel. Donc, dans ses efforts d'expliquer comment les choses fonctionnent, la science n'accepte pas les explications surnaturelles qui défient les lois de la nature. Elle cherche toujours une explication naturelle. Parmi les systèmes de pensée qui s'opposent au naturalisme méthodologique on compte le **théisme**, la notion que des dieux existent en dehors de la nature et qu'ils peuvent intervenir dans le fonctionnement de la nature en défiant ses lois. Plus acceptable pour les scientifiques est le **déisme**, la notion que des dieux surnaturels existent mais qu'ils n'interviennent pas dans le déroulement naturel de l'univers.

2) **Matérialisme** : Très similaire au naturalisme, c'est la notion que seule la matière et les forces physiques et autres propriétés émergentes qui en découlent existent, et que tout effet observé en nature découle de causes physiques et matérielles. Le matérialisme rejette les explications floues basées sur des concepts immesurables comme les « forces vitales » ou les « énergies psychiques ». Un exemple de matérialisme est d'interpréter le conscient comme étant une propriété émergente du cerveau, absolument dépendante de l'existence physique du cerveau, plutôt que comme une chose séparée du monde réel et pouvant exister séparément d'un cerveau. (Ce dernier point de vue – que des choses comme la conscience, ou l'âme, ou l'esprit, puissent exister indépendamment du cerveau ou du corps – s'appelle le **dualisme**.)

3) **Réductionnisme :** En science, le réductionnisme est la notion que pour comprendre un objet ou un phénomène, il est utile d'étudier ses composantes plus petites. Par exemple, on comprend mieux le fonctionnement du corps en étudiant ses organes, puis ses cellules, puis les molécules qui composent ces cellules.

4) **Empirisme** : La notion que les connaissances sont basées sur l'expérience sensorielle, sur l'observation et la mesure d'objets ou de phénomènes concrets. Une preuve empirique est une preuve basée sur l'existence d'objets ou de phénomènes concrets tels que perçus par nos sens et nos instruments.

5) **Rationalisme** : La notion que la raison humaine est capable de trouver des connaissances et d'établir la vérité. La science étant une application de la raison à l'étude de choses concrètes, elle se fonde sur une combinaison de rationalisme et d'empirisme.

6) **Scepticisme** : La position qui consiste à exiger des preuves rationnelles, empiriques et de qualité pour supporter tout énoncé. On peut aussi le concevoir comme l'action de douter de tout ce qui n'est pas supporté par de bonnes preuves tangibles. Le scepticisme s'associe très étroitement à la science, et fait contraste avec les simples croyances. Un synonyme est « **zététique** ».

7) **Cynisme** : La position qui consiste à toujours douter de tout, peu importe la présence ou absence de preuves tangibles.

8) **Humanisme** : La position qui donne priorité à l'épanouissement et au bien-être des individus humains, et qui dit que ce sont les humains eux-mêmes qui sont responsables d'atteindre ces objectifs (plutôt que l'aide d'un dieu ou un destin incontrôlable). L'humanisme met l'emphase sur le progrès de la condition humaine, et sur la raison et la science comme meilleurs outils pour y parvenir (plutôt que la prière ou les croyances non-fondées).[12]

9) **Scientisme** : Doctrine plutôt tordue (et épousée par bien peu de scientifiques) qui dit que la science est toute puissante et réussira un jour à répondre à toutes les questions et à résoudre tous les problèmes de l'humanité.

10) **Sophisme** : Raisonnement qui semble logique, mais qui en fait ne l'est pas.

---

[12] Les grandes lignes du Manifesto humaniste III, rédigé en 2003 par l'*American Humanist Associatio*n, sont les suivantes :

Knowledge of the world is derived by observation, experimentation, and rational analysis. Humanists find that science is the best method for determining this knowledge as well as for solving problems and developing beneficial technologies. We also recognize the value of new departures in thought, the arts, and inner experience—each subject to analysis by critical intelligence.

Humans are an integral part of nature, the result of unguided evolutionary change. Humanists recognize nature as self-existing. We accept our life as all and enough, distinguishing things as they are from things as we might wish or imagine them to be. We welcome the challenges of the future, and are drawn to and undaunted by the yet to be known.

Ethical values are derived from human need and interest as tested by experience. Humanists ground values in human welfare shaped by human circumstances, interests, and concerns and extended to the global ecosystem and beyond. We are committed to treating each person as having inherent worth and dignity, and to making informed choices in a context of freedom consonant with responsibility.

Life's fulfillment emerges from individual participation in the service of humane ideals. We aim for our fullest possible development and animate our lives with a deep sense of purpose, finding wonder and awe in the joys and beauties of human existence, its challenges and tragedies, and even in the inevitability and finality of death. Humanists rely on the rich heritage of human culture and the lifestance of Humanism to provide comfort in times of want and encouragement in times of plenty.

Humans are social by nature and find meaning in relationships. Humanists long for and strive toward a world of mutual care and concern, free of cruelty and its consequences, where differences are resolved cooperatively without resorting to violence. The joining of individuality with interdependence enriches our lives, encourages us to enrich the lives of others, and inspires hope of attaining peace, justice, and opportunity for all.

Working to benefit society maximizes individual happiness. Progressive cultures have worked to free humanity from the brutalities of mere survival and to reduce suffering, improve society, and develop global community. We seek to minimize the inequities of circumstance and ability, and we support a just distribution of nature's resources and the fruits of human effort so that as many as possible can enjoy a good life.

CHAPITRE 19

10 conseils aux jeunes scientifiques

1) **Soyez curieux**. La nature n'est pas cachottière comme telle; elle est prête à vous révéler ses secrets, pour autant que vous sachiez lui poser des questions qui sont répondables avec les moyens de bord (les techniques et instruments dont vous disposez), et que vous soyez ingénieux dans votre façon de la forcer à vous donner ses réponses (= à concevoir des expériences ou des études observationnelles).

2) **Soyez en amour avec la vérité**. Vous ne voulez pas vous contenter de n'importe quelle réponse à une question que vous posez à la nature. Vous ne voulez pas nécessairement la plus belle réponse, aussi séduisante soit-elle. Vous ne voulez pas nécessairement la réponse attendue ou espérée, la réponse qui va soutenir votre hypothèse. Vous ne voulez pas nécessairement la réponse qui va faire plaisir à votre directrice de travaux ou à votre employeur. Vous voulez la bonne réponse, celle qui révèle le vrai état des choses.

3) **Exercez la pensée critique**. Que ce soit en examinant votre propre travail ou celui des autres, soyez aux aguets du biais de confirmation, du picorage, des faux dilemmes, des arguments *post hoc*, des variables confondantes, des faibles tailles d'échantillonnage, et autres pièges mentionnés dans ce recueil. Faites-le dans votre vie de tous les jours aussi!

4) **Soyez honnêtes et transparents.** Évitez les tentations de commettre de la fraude scientifique. Décrivez complètement comment vous avez fait vos études. Réglez les conflits potentiels avec vos collègues en discutant à l'avance des politiques du laboratoire où vous travaillez: par exemple, clarifier les politiques de publication (ordre des auteurs, publication de résultats qui ne soutiennent pas les désirs du chef).

5) **Soyez humbles.** Admettez votre ignorance (mais essayez ensuite d'y pallier en émettant des hypothèses, en essayant de trouver des réponses raisonnables, en discutant du sujet avec d'autres personnes intéressées). Admettez que votre expertise dans une spécialité ne fait pas de vous un expert, ni même nécessairement un bon interlocuteur, dans un autre domaine.

6) **Acceptez la critique**. En fait, encouragez la critique. Si la critique vous est donnée de façon agressive ou insultante, prenez un grand respire et oubliez cet aspect, ne vous concentrant que sur la critique comme telle. Analysez cette critique à tête reposée, rejetez-en les éléments que vous jugez le plus objectivement possible comme étant injustifiés, et acceptez-en les bons éléments afin d'apporter les correctifs nécessaires à vos recherches. Comme corollaire, n'hésitez pas à rendre service à vos collègues en leur donnant votre critique, de façon posée, constructive, éclairée, et raisonnable.

7) **Ne vous isolez pas**. Profitez de l'aspect communautaire et culturel du monde de la science. Impliquez-vous dans les regroupements scientifiques étudiants ou professionnels, où vous aurez la chance de côtoyer beaucoup de gens qui partagent vos valeurs. Participez à des congrès, ça va vous faire rencontrer encore plus de gens qui partagent vos valeurs, et ça va vous donner la chance de faire du tourisme en plus. Considérez de faire du travail en collaboration avec d'autres personnes qui ont des expertises ou de l'équipement complémentaires aux vôtres, et allez les rencontrer dans leurs laboratoires. Ayez du « fun » avec vos collègues scientifiques!

8) **Réfléchissez**. **Pensez**. Il y a beaucoup de travail physique et routinier en science (monter le dispositif expérimental, effectuer les expériences, noter les données, entrer les données dans l'ordinateur, faire des analyses statistiques, etc.), mais le travail le plus innovateur (et je dirais le plus valorisant) est intellectuel, mental : percevoir un problème, imaginer une hypothèse, imaginer une façon élégante de tester cette hypothèse, imaginer des solutions aux problèmes techniques, interpréter ce que les résultats veulent dire. Les gens qui réussissent bien en science sont ceux et celles qui génèrent beaucoup d'idées : des idées de questions, et des idées de réponses possibles (hypothèses). Mettez du temps de côté à chaque jour pour simplement penser à vos recherches, pour vous concentrer mentalement sur les problèmes à résoudre.

9) **Lisez**. Lisez des articles qui ont été évalués par des arbitres (« *peer-reviewed* ») pour connaitre les tous derniers développements dans votre domaine de recherche. Lisez des livres publiés par des auteurs et des maisons d'édition bien reconnus, pour avoir une idée du consensus scientifique dans un domaine. Lisez des ouvrages de vulgarisation dans des domaines autres que le vôtre pour élargir votre bagage de connaissances (et pour vous donner de nouvelles idées que vous pourrez peut-être appliquer avec succès à votre propre champ d'étude). Lisez Wikipedia, mais autrement faites attention à l'internet en général : il y a beaucoup de faussetés sur l'internet; choisissez vos ressources internet avec soin (il y en a des bonnes, il s'agit seulement de les trouver). Lisez des romans de temps en temps, ça change les idées!

10) **Pratiquez-vous à communiquer, par écrit et à l'oral.** Apprenez à bien écrire des articles scientifiques, de façon claire et complète, pour que les arbitres puissent détecter les erreurs que vous avez faites dans vos études (si vous en avez faites); et aussi pour que d'autres chercheurs puissent facilement utiliser vos études comme fondation pour bâtir leurs propres études. Apprenez à bien écrire des articles de vulgarisation scientifique, et soumettez des tels articles à des journaux ou des magazines ou à un site internet (commencez votre propre blog, peut-être) pour diluer la fausse information qui circule dans les médias. Apprenez à vous exprimer avec aisance devant une foule, pour bien paraitre dans les congrès, pour bien paraitre lors de votre entrevue d'emploi pour devenir prof universitaire (si c'est ce que vous visez), pour bien paraitre devant vos classes, pour bien paraitre dans des conférences publiques, pour bien paraitre dans des vidéos sur YouTube; et par « bien paraitre » je veux dire donner clairement de la bonne information.

LIVRES :

Evans, Teresa M. 2017. **Research: A Career Guide for Scientists**. Academic Press, London. Disponible en ligne au travers de la Bibliothèque Champlain.

Loehle, Craig. 2010. **Becoming a Successful Scientist: Strategic Thinking for Scientific Discovery**. Cambridge Univ. Press, Cambridge. Disponible en ligne au travers de la Bibliothèque Champlain.

Rothwell, Nancy. 2002. **Who Wants to Be a Scientist?: Choosing Science as a Career**. Cambridge Univ. Press, Cambridge. Disponible en ligne au travers de la Bibliothèque Champlain.

Schmidt, Michael H. 2020. **Being a Scientist: Tools for Science Students**. University of Toronto Press, Toronto. Disponible en ligne au travers de la Bibliothèque Champlain.

CHAPITRE 20

Réponses aux questions

Q1 Il serait impossible de créer des technologies fiables si les lois de la nature pouvaient changer soudainement de façon arbitraire. Qui accepterait de prendre l'avion si les lois de la gravité et de l'aérodynamique pouvaient changer à tout moment? Qui pourrait de se fier au GPS si les lois de la relativité et les lois de l'électro-magnétique variaient aléatoirement d'un jour à l'autre? Et non seulement la technologie serait impossible, mais la science aussi : comment pourrait-on faire des prédictions pour tester les hypothèses si les lois causales qui nous permettent de faire ces prédictions n'étaient pas constantes et pouvaient changer sans raison?

Q2 La science est une méthode pour obtenir des connaissances valides. Les ouvrages de « science-fiction » ne décrivent jamais des études en train d'être faites pour obtenir de nouvelles connaissances. Ils décrivent plutôt des technologies futuristes (ou fantaisistes), comme le voyage spatial ou des ordinateurs surpuissants. Donc oui, vraiment c'est de la technologie-fiction, pas de la science-fiction. Pour ce qui est des reportages scientifiques, ils parlent de science s'ils rapportent de nouvelles connaissances acquises par une recherche méthodique. Mais s'ils parlent de transferts technologiques ou d'innovations technologiques ou de nouveaux gadgets technologiques, alors ils ne traitent pas de la science comme telle. (Mais ils en traitent indirectement, puisque la technologie est une application de découvertes scientifiques.)

Science et technologie sont facilement confondues parce que (1) beaucoup d'études scientifiques sont motivées par un désir d'obtenir des connaissances utiles; (2) beaucoup de connaissances acquises par la science sont effectivement utilisées pour développer des technologies; et (3) beaucoup d'études scientifiques utilisent de la haute technologie (sous forme d'instrumentation), ou ne sont rendues possibles que par le développement de nouvelles technologies.

Q3 Répétons-le : la science est une méthode pour obtenir des connaissances valides. Elle a tellement de succès à obtenir des connaissances bel et bien valides que ces connaissances peuvent servir à développer des technologies qui fonctionnent. Bien entendu, ces technologies peuvent être utilisées à bon ou à mauvais escient. Pour avoir une idée du bilan, on peut comparer notre qualité de vie actuelle avec celle de nos ancêtres qui vivaient avant le 17^{e} siècle (je prends le 17^{e} siècle comme référence parce que Galilée, surnommé le « père de la science moderne », a vécu de 1564 à 1642; on peut donc dire que la science moderne a vu le jour environ au 17^{e} siècle – amusez-vous aussi à lire sur Francis Bacon, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Christiaan Huygens, et Isaac Newton pour un aperçu des développements intellectuels de la science au 17^{e} siècle). Personnellement, je préfère vivre avec les technologies actuelles, en profitant des bonnes et en essayant de mitiger les mauvaises.

Si on demeure inconfortable avec les mauvaises applications des connaissances obtenues par la science, on peut toujours se rabattre sur la notion que la science, contrairement à tout autre façon de penser (religion, philosophie, idéologie, fantaisie, etc.), nous a permis de mieux comprendre comment la Nature est faite et comment les choses fonctionnent. Connaissance et compréhension sont préférables à ignorance et illusion, non? L'ignorance peut nous apporter un certain réconfort (« *ignorance is bliss* »), et une diminution de nos responsabilités dans la vie, mais elle augmente aussi le nombre de fois où on a besoin de réconfort parce qu'elle nous empêche de trouver des

solutions à nos problèmes. Au final, il me semble que faire reculer l'ignorance nous apporte plus de bien que de mal.

Q4 Cette belle citation fait évidemment référence au postulat de base de la science qui dit que la nature obéit à des lois causales qui sont constantes dans le temps et dans l'espace.

Q5 Commençons par dire qu'il faudrait d'abord s'entendre sur ce que l'on veut dire par « pousse moins bien ». Il faudrait mesurer la biomasse de l'herbe par m^2, et/ou mesurer le taux de croissance de l'herbe dans un intervalle de temps donné. Il faudrait aussi s'entendre sur « en dessous (ou non) des arbres », par exemple en adoptant un critère de distance à partir de tronc. Il faudrait aussi déterminer si « les arbres » veut dire n'importe quelle espèce d'arbre, ou seulement quelques espèces en particulier. En science il faut bien définir les variables avec lesquelles on travaille. Puis il faudrait prendre ces mesures de façon systématique (plusieurs années, plusieurs endroits) et rigoureuse (mesures bien faites) pour s'assurer qu'on a raison de dire que « le gazon pousse moins bien sous les arbres ».

S'il est confirmé que le gazon pousse moins bien sous les arbres (ou peut-être sous certaines espèces d'arbres en particulier), on passe aux hypothèses : (1) peut-être que le gazon sous les arbres reçoit moins de lumière et donc fait moins de photosynthèse; (2) peut-être que le gazon sous les arbres reçoit moins d'eau de pluie et donc pousse moins bien; (3) peut-être que les racines des arbres sont près de la surface et volent l'eau souterraine dont le gazon a besoin; (4) peut-être que les racines des arbres relâchent dans le sol des substances toxiques pour le gazon.

On pourrait ensuite mesurer soigneusement et systématiquement si les prédictions suivantes se réalisent. Hypothèse 1 : Donner de la lumière artificielle sous l'arbre, à un niveau et durée similaire à ce qu'on mesure loin de l'arbre, devrait mener à une croissance normale du gazon; et mettre le gazon loin de l'arbre sous une ombre artificielle devrait imiter le taux de croissance mesuré sous l'arbre. Hypothèse 2 : similaire aux prédictions pour 1, mais en donnant ou en coupant l'apport d'eau. Hypothèse 3 : Le gazon pousserait mieux sous les espèces d'arbres dont les racines sont profondes plutôt que près de la surface; et donner de l'eau au gazon sous l'arbre devrait ramener son taux de croissance à la normale. Hypothèse 4 : une analyse chimique du sol devrait indiquer des différences entre le sol sous l'arbre et celui loin de l'arbre, et on devrait être capable d'imputer les différences à des substances relâchées par les racines, substances que l'on sait être nocives pour le gazon; aussi, du gazon planté dans un pot avec un sol « normal » placé sous l'arbre devrait pousser normalement.

Après avoir vérifié si ces prédictions se réalisent, on discute de nos résultats avec des collègues, on en arrive finalement à notre conclusion à savoir laquelle ou lesquelles de nos hypothèses est/sont supportées, et on publie le tout sous forme d'un article dans une revue scientifique spécialisée en botanique.

Q6 (A) Il est impossible de faire des expériences en paléontologie; la paléontologie fait avancer les connaissances en découvrant et décrivant de nouveaux fossiles, ou en découvrant dans le présent des traces laissés par le passé, comme la couche d'iridium et le cratère formé par le météore qui, il y a 65 millions d'années, a grandement contribué à exterminer les dinosaures. (B) La volcanologie fait très peu d'expériences; elle fait avancer les connaissances en documentant très attentivement et en analysant très minutieusement les éruptions volcaniques et les tremblements de terre qui surviennent spontanément. (C) La partie de la biologie évolutive qui étudie l'arbre

généalogique des espèces ne fait pas d'expériences; elle compare plutôt les espèces entre elles. (À noter que la biologie évolutive n'étudie pas seulement le passé : on peut faire des hypothèses sur les avantages actuels de posséder tel ou tel trait, et faire des expériences pour voir si ces avantages existent vraiment présentement). (D) Les sciences sociales ou humaines souvent ne peuvent pas faire d'expériences pour des raisons éthiques; leurs hypothèses ne sont testées qu'en observant des événements sociaux qui arrivent spontanément, sans manipulations. Rappelez-vous que les hypothèses sont testées en observant si leurs prédictions se réalisent, mais ces observations ne sont pas obligées d'être faites dans le cadre d'expériences contrôlées.

Q7 À strictement parler, les physiciens qui travaillent sur la théorie des cordes ne font pas de la science, puisque la possibilité de tester des hypothèses est centrale à la science et que la théorie des cordes ne peut pas être testée avec la technologie que l'on possède actuellement. Ils font plutôt de la mathématique, ou de la philosophie. Mais rien n'empêche la philosophie (les idées) de préparer le terrain pour la vraie science. Peut-être qu'un jour les idées développées par ces mathématiciens-philosophes pourront être testées. La morale de l'histoire ici est que les frontières peuvent être floues entre science, philosophie, et mathématique. En fait, la frontière entre la philosophie et la science est très floue, étant donné que les scientifiques passent une bonne partie de leur temps à jouer mentalement avec des idées (la définition stricte de la philosophie) pour tenter d'interpréter le sens et l'importance des choses qu'ils observent. À chaque fois qu'on entend parler du développement d'un « cadre théorique » pour un champ d'étude scientifique (mettre les faits en ordre et essayer d'en « faire du sens »), on a affaire à une activité essentiellement philosophique, mais quand même indispensable au déroulement de la science.

Q8 À chaque fois qu'une scientifique se pose une question et émet une hypothèse (les étapes 2 et 3 de la méthode scientifique), elle joue avec des idées de façon rationnelle, et donc, par définition, elle fait de la philosophie. À chaque fois qu'une scientifique développe ou modifie une théorie, elle fait un travail purement mental qui correspond à de la philosophie. De la façon dont je les ai définies, et tout comme on l'a déjà entrevu dans la question précédente, la science et la philosophie ne sont pas complètement exclusives l'une de l'autre.

Q9 Les connaissances scientifiques sont des connaissances établies comme vraies après avoir été obtenues par la science, c'est-à-dire par une méthode particulière, celle qui consiste à tester les prédictions faites à partir d'hypothèses, et/ou à faire des observations systématiques et non-biaisées du monde réel.

Q10 L'internet diffuse de l'information, bonne et mauvaise. Certaines pages donneront l'impression qu'il existe un consensus scientifique, mais d'autres diront exactement le contraire. Pour avoir une bonne idée de la présence d'un consensus scientifique, recherchez spécifiquement les pages d'associations scientifiques reconnues, de grandes académies, de sociétés sceptiques, et de revues scientifiques de renom.

Q11 Ça ne veut pas dire grand-chose. Il n'y a pas de garantie que ces études ont été bien faites. Il n'y a pas de garantie que ces études ont été faites par des investigateurs impartiaux. Il n'y a pas de garantie que ces études ont été publiées dans des revues de qualité suite à un strict processus d'arbitrage. Il n'y a pas de garantie que ces études ne sont pas contrebalancées par un nombre encore plus grand d'études ayant trouvé le contraire.

Q12 L'opinion d'un seul docteur ne vaut pas grand-chose. Il y a toujours des docteurs ou des scientifiques qui sont prêts à dire n'importe quoi si on les paie suffisamment ou s'ils sont convaincus par des raisons idéologiques plutôt que scientifiques. L'opinion d'une majorité de docteurs serait beaucoup plus impressionnante.

Q13 La personne a ajouté « MD » à sa signature pour se donner un air d'autorité, mais il n'y a pas de raison de penser que l'opinion d'un médecin est meilleure que celle de n'importe qui d'autre en ce qui concerne la moralité. (À noter que l'opinion d'un prêtre n'aurait pas plus de poids non plus. Un prêtre peut parler de moralité dans le contexte de sa religion, mais pas dans le contexte des autres religions, et pas mieux que bien d'autres personnes dans le contexte de ce que la société actuelle est prête à accepter comme comportement.) (À noter aussi qu'un expert comme un médecin peut nous donner de l'information qui nous aiderait à décider si tel ou tel comportement est acceptable, mais une fois que cette information est connue et que tout le monde en tient compte à sa façon, l'opinion d'un médecin ne compte pas plus que celle de n'importe quel autre individu de la société.)

Q14 Une seule personne, même un prix Nobel, n'est pas suffisante pour nous convaincre. Une seule anecdote n'est pas suffisante pour nous convaincre – la longévité de Pauling n'est peut-être qu'un heureux hasard. (En fait, beaucoup d'études scientifiques ont été effectuées pour tester l'effet possible de la vitamine C comme traitement du rhume et du cancer, et aucune preuve convaincante n'a été obtenue; il est généralement reconnu par la communauté scientifique que les mégadoses de vitamine C n'ont pas d'effet anti-cancer – la vitamine C est bonne pour la santé, oui, mais en prendre en mégadoses n'est pas nécessaire et ne fonctionne pas contre le cancer.)

Q15 Si vous savez qu'il y a consensus scientifique (ce qui est le cas pour les trois exemples de cette question), ou à tout le moins une très grande majorité d'opinion parmi les scientifiques, et que votre interlocuteur soutient une position qui va à l'encontre de ce consensus ou de cette majorité, vous n'avez qu'à mentionner que la personne va à l'encontre de la communauté scientifique. Pour votre part, vous admettez que vous ne connaissez pas suffisamment les faits dans ce domaine, qu'en une telle absence d'expertise de votre part vous préférez suivre une autorité fiable, et que vous estimez que l'autorité la plus fiable (pas parfaite, mais quand même la meilleure) est le consensus scientifique (ou les conclusions partagées par la grande majorité des scientifiques).

Q16 (a) Les arguments du peuple sont invalides en ce sens qu'ils ne garantissent pas la vérité, mais ça ne veut pas dire qu'ils sont nécessairement faux. Une majorité de personnes peut avoir tort, mais elle peut aussi avoir raison. Le truc est donc de bien choisir les majorités qu'on décide de suivre. C'est une question d'estimer la probabilité que cette majorité a raison. À cet égard je trouve que les regroupements d'experts scientifiques (experts dans le domaine sous considération) sont les plus dignes de confiance.

(b) Penser par soi-même est très bien, mais il faut réaliser que la qualité de cette pensée dépend de la qualité de l'information qui l'alimente. Penser par soi-même mène facilement à des conclusions invalides si on a seulement accès à de l'information fausse (*garbage in, garbage out*). Et il faut réaliser ceci : quand on cherche de l'information, on a grandement tendance à ne considérer que l'information qui concorde avec les croyances que l'on chérit déjà pour des raisons idéologiques ou religieuses; on a tendance à rejeter ou oublier l'information qui va à

l'encontre de nos idées préconçues. Bref, on a tendance à être victime du biais de confirmation. On se pense bon, on se dit qu'on a cherché des preuves comme l'exige la pensée critique, qu'on a pensé par soi-même plutôt que de tout prendre pour de l'argent comptant, mais en fait tout ce qu'on a fait est de tomber dans le panneau du biais de confirmation (voir le chapitre 6). Il faut vraiment chercher et considérer toute l'information, et essayer de l'évaluer le plus objectivement possible. Si on n'est pas prêt à faire ce travail, alors la meilleure option est de se rabattre sur une autorité en qui on a confiance, comme le consensus scientifique.

(c) Cette tactique de semer le doute en disant que les connaissances sont encore trop incomplètes a été utilisée avec succès par des négationnistes lors de débats du passé sur les effets de la cigarette sur la santé, les causes humaines des pluies acides, et les effets des CFCs sur la couche d'ozone. Cette tactique n'a pas empêché la vérité d'être éventuellement dévoilée, mais elle a beaucoup retardé les efforts de remédiation face à ces enjeux (comme elle continue de le faire dans le cas des causes humaines du réchauffement de la planète). C'est une bonne tactique car elle s'attaque à un jugement, celui des scientifiques qui décident qu'une connaissance est maintenant établie hors de tout doute raisonnable. Un jugement peut être éclairé, bien informé lorsque produit par des experts du domaine, mais en tant que jugement il demeure forcément subjectif jusqu'à un certain point, et toute subjectivité peut être contestée.[13]

(d) (Pour plus de détails sur le biais de confirmation, voir le chapitre 6.) Les scientifiques sont formés à essayer d'éviter les biais. Ils n'y parviennent pas toujours, mais quand ils se trompent ils se font rapidement corriger par leurs collègues (répétons-le : les scientifiques adorent corriger les erreurs des autres). La science se corrige elle-même de cette façon.

(e) Même argument que le point précédent : la science s'auto-corrige de par sa nature collective.

(f) Avec les centaines de milliers de scientifiques qui existent dans le monde, c'est certain que si on cherche assez longtemps on peut trouver quelques esprits contrariants qui s'opposent à l'opinion scientifique établie. En ce sens, on ne peut pas parler d'un vrai consensus, d'un consensus à 100%. Peut-être qu'on devrait utiliser l'expression « vaste majorité » plutôt. Une vaste majorité d'experts demeure convaincante.

(g) Si le sujet de discussion porte sur le monde réel, la science n'a pas besoin d'avoir recours au surnaturel. Le surnaturel n'est pas une explication; ce n'est qu'une réponse facile qui n'explique rien. On ne peut pas savoir si l'explication surnaturelle est bonne car elle est invérifiable, intestable. En effet, aucune prédiction ne peut être faite à partir d'une entité surnaturelle dont on ne connait pas la limite des pouvoirs.

Q17 Les complots sont comme Dieu. Ils sont surpuissants (c'est incroyable comment ils peuvent accomplir tout plein de choses) et on ne peut jamais trouver de preuves directes de leur existence. De par leur irréfutabilité, les complots (tels qu'imaginés par les complotistes) et Dieu ne peuvent pas

[13] Il est commun d'avoir beaucoup de petites preuves indirectes, mais bien rare de détenir une preuve en or. En réclamant une telle preuve en or, on sait qu'on pourra toujours contester le consensus. On se comporte ainsi comme le conte russe qui, selon la fable, soupçonnait que sa femme le trompait et pour le tester lui annonça qu'il partait en voyage pour 48 h : il se mit plutôt à espionner sa maison depuis celle du voisin, vit un beau jeune homme cogner à la porte, le vit se faire saluer et laisser entrer par sa femme, les vit par la fenêtre en train de s'embrasser et puis disparaître, avant de finalement voir le lieutenant ressortir deux heures plus tard tout échevelé; « Ah, si seulement j'avais une preuve », dit le conte.

être étudiés par la science (mais leur probabilité d'existence peut quand même être évaluée par la raison et le bon jugement). Pour plus de réflexions sur la science et la religion, voir le chapitre 17.

Q18 Les gens qui disent « L'évolution, c'est juste une théorie » confondent les usages vulgaire et scientifique du mot « théorie ». Ils utilisent le mot « théorie » dans son sens vulgaire (= du parler de tous les jours) comme voulant dire « hypothèse non-prouvée ». Mais en science personne n'interprète le mot « théorie » dans ce sens. Au contraire, en science, une théorie, c'est habituellement une explication de grande portée, bien soutenue, qu'on accepte comme véridique. En science la théorie de l'évolution est acceptée comme explication valide au même titre que la théorie de la relativité générale d'Einstein, la théorie de la composition atomique de la matière, la théorie de la tectonique des plaques, ou la théorie de la transmission microbienne des maladies infectieuses.

Q19 Ah, ici on tombe sur un des gros « défauts » de la science : elle n'est pas facile. La science est basée sur la raison et la pensée critique, et ce ne sont pas là des facultés qui nous sont faciles. La science est aussi basée sur l'observation systématique, et c'est quelque chose qui prend beaucoup de temps. La science demande de la créativité et de l'imagination, et ce n'est pas donné à tout le monde. La science exige d'aller plus loin que les premières impressions et l'intuition, et cela exige de la discipline mentale. Vraiment, faire de la science ce n'est pas facile! C'est d'ailleurs pourquoi le métier de scientifique demande plusieurs années de formation. Cela parait beaucoup dans les débats entre évolutionnistes et créationnistes : en cinq minutes le créationniste peut rapidement énumérer toute une série d'objections simplistes qui semblent faire du bon sens, alors que dans son cinq minutes l'évolutionniste n'a le temps de répondre qu'à une seule de ces objections. Par exemple, ça prend du temps pour expliquer clairement comment on sait que la terre est vieille de millions d'années, une durée suffisamment longue pour qu'on puisse concevoir que les petits changements qu'on peut déjà observer à l'échelle d'une vie humaine (comme la sélection artificielle pratiquée par les éleveurs d'animaux) pourrait très bien à la longue mener à l'apparition de nouvelles espèces.

Q20 Dans un article scientifique, les chances sont que la phrase serait plutôt écrite de la façon suivante : « La hauteur moyenne des plantes dans le champ expérimental était 28.3 cm (± 2.7, n = 150) alors qu'elle n'était que de 26.8 cm (±3.9, n = 150) dans le champ témoin. » Le « ± » donne une valeur de variation autour de la moyenne, et la section « Matériel et méthodes » de l'article aurait déjà spécifié s'il s'agit là de l'écart-type, ou erreur-type, ou intervalle de confiance de 95%, ou autre mesure de dispersion. Quant au « n », c'est l'abréviation de « taille d'échantillonnage », le nombre de plantes mesurées pour calculer la moyenne.

Il est aussi possible de voir des formules du genre : « les plantes mesuraient, en hauteur, 28.3 ± 2.7 cm (moyenne ± écart-type, n = 150) » ou bien « les plantes mesuraient, en hauteur, 26.4 cm (médiane; intervalle interquartile : 22.7 – 29.8, n = 150) ».

Q21 Ce serait une erreur. Vous n'avez pas pris la peine de regarder quelles sont les universités qui ont aussi les plus petits profs en moyenne : ce sont aussi les petites universités! Les petites universités n'ont pas plus tendance que d'autres à engager de grandes ou de petites personnes; elles ont juste plus de chance statistique de montrer une moyenne extrême de taille corporelle de leurs employés, que ce soit grand ou petit, de par leur plus petit nombre d'employés qui n'est pas suffisant pour bien diluer les quelques cas extrêmes qui s'adonneraient à être présents.

Q22 1) Mesurer quantitativement.
2) Définir le mieux possible les paramètres mesurés.
3) Prêter attention aux variables confondantes qui pourraient introduire un biais systématique dans la validité du paramètre mesuré (= comment bien il représente le phénomène étudié).
4) Éviter le biais de confirmation qui pourrait inconsciemment introduire un biais de mesure.
5) Utiliser des protocoles à simple ou double-insu pour éviter les biais de l'observateur et des sujets humains ou animaux sur lesquels s'effectuent les mesures.
6) Calibrer ses instruments de mesure.
7) Vérifier la qualité du matériel utilisé.
8) Écrire immédiatement les mesures (ne pas faire confiance à sa mémoire) et en sauvegarder régulièrement des copies reproduites fidèlement.
9) Ne pas prendre un résultat très précis comme étant nécessairement un résultat exact.
10) Vérifier la fiabilité intra- et inter-observateur.
11) Toujours rapporter les moyennes avec leurs mesures attenantes de dispersion et avec la taille d'échantillonnage qui a servi au calcul de la moyenne.
12) Se demander si la médiane ou le mode serait un résultat plus informatif que la moyenne.

Q23 Ici la valeur moyenne nous induit en erreur sur le succès de la majorité des applis. Presque toutes les nouvelles applis rapportent très peu, voire même rien. Mais les quelques-unes qui rapportent bien, elles, rapportent énormément. Ce sont ces valeurs extrêmes qui font monter la moyenne. Mais ce qui vous intéresse en tant que nouvel inventeur, c'est la probabilité de bien rapporter. Ici, le mode ou la médiane (probablement 0 dans les deux cas) nous aurait donné une vision plus juste de la situation. (La proportion des nouvelles applis rapportant plus qu'un certain montant que l'on considère comme étant bon aurait été encore mieux.)

Q24 Dissimuler l'observateur derrière une toile est un bon effort. Il est peu probable qu'un œil devant le petit trou dérange les poissons, surtout s'il y a une bonne distance entre la toile et l'aquarium. Ce qui est plus problématique est que l'étude veut vérifier si les poissons peuvent apprendre le temps journalier d'arrivée de nourriture en ne servant que de leur horloge interne plutôt que de signaux externes. Or, en entrant dans la pièce à tous les jours une demi-heure avant l'arrivée de nourriture, il est possible que l'observateur donne un signal externe (par exemple, sous forme de vibrations transmises du sol aux étagères et à l'aquarium) qui annonce l'arrivée de nourriture. Les poissons apprendraient alors à associer vibrations avec arrivée prochaine de nourriture plutôt qu'à utiliser une horloge interne. En voyant les poissons anticiper l'arrivée de nourriture, l'observateur conclurait à tort que les poissons possèdent et utilisent une horloge interne. Il vaudrait mieux faire les observations avec des caméras installées en permanence et allumées à partir de l'extérieur de la pièce.

Q25 On peut tout simplement comparer les scores moyens, toutes stations confondues, entre les deux circuits. S'il n'y a pas d'effet de l'observateur, on s'attendrait à ce que les scores moyens soient similaires (ce qui est le cas, soit dit en passant). De façon préventive, on pourrait aussi faire bouger les évaluateurs au hasard d'un circuit à l'autre, pour éviter que tout débalancement (par exemple, tous les évaluateurs sévères sont dans un même circuit) ne dure pas longtemps.

Q26 L'hypothèse « les propriétaires de camion ont tendance à avoir des chiens » est plutôt vague. Comme telle, sans faire de comparaison avec d'autres groupes, cette hypothèse n'est pas très intéressante. Il serait plus intéressant de parler de « plus tendance à avoir des chiens que des chats », ou « plus tendance à avoir des chiens que les non-propriétaires de camion ». Mais quoi qu'il en soit, dans les deux cas l'hypothèse semble dire qu'il y a association entre aimer les

camions et aimer les chiens. Observer que plus de la moitié des propriétaires de camion ont des chiens semblent confirmer l'hypothèse, mais si les propriétaires de camion n'avaient pas plus tendance à posséder des chiens que les non-propriétaires de camions, alors cela réfuterait l'hypothèse. Il faut donc non seulement considérer les propriétaires de camion, mais aussi les non-propriétaires, et comparer le pourcentage d'entre eux possédant des chiens. Il faut essayer de réfuter l'hypothèse d'une association hors de l'ordinaire entre camions et chiens.

Q27 Il se pourrait que les coassements plus fréquents soient corrélés avec d'autres facteurs, comme la force des coassements, la grosseur du mâle, ou la qualité du territoire occupé par le mâle. Il ne suffit pas de confirmer une association entre fréquence de coassements et attirance aux yeux des femelles; il faut aussi éliminer les hypothèses alternatives. Un premier pas serait de placer des haut-parleurs dans deux endroits similaires, faire jouer des enregistrements de différentes fréquences de coassements, et voir combien de femelles s'approchent de chaque haut-parleur. L'absence physique de mâles éliminerait alors les variables confondantes reliées aux mâles, et la similarité des sites éliminerait les variables confondantes reliées aux territoires occupés par les mâles.

Q28 L'internet donne plus accès à toutes les informations, les bonnes aussi bien que les mauvaises, celles qui confirment aussi bien que celles qui infirment l'opinion préconçue. Par biais de confirmation, les gens continuent de rejeter ou oublier les informations inconvénientes, même si elles sont plus abondantes, et ils renforcissent leur opinion préconçue avec les informations confirmatrices qui sont elles-aussi maintenant plus abondantes.

Q29 Le biais du survivant. Le livre ne parle que des personnes qui ont réussi et passe sous silence celles qui n'ont pas réussi malgré leur dévotion de 10,000 h ou plus à la pratique. (Soit dit en passant, les données objectives montrent que la pratique continue n'est pas garante de succès; le succès est fonction à la fois de la dévotion à la pratique ET à la présence d'un talent naturel en partant.)

Q30 Les gens qui croient en l'astrologie se souviennent des fois où une prévision astrologique s'est réalisée (ce qui n'est pas nécessairement rare, les prédictions astrologiques étant habituellement assez vagues) et oublient toutes les fois où les prédictions ne se sont pas réalisées.

Q31 Hypothèse *ad hoc*. Ou, dans le parler de tous les jours : donner des excuses (*special pleading*). Soit dit en passant, argumenter que le doute empêche le phénomène psychique de se manifester revient à dire que le phénomène psychique ne pourra jamais être testé par la science, puisque le doute (= la nécessité de tester) est fondamental à la science.

Q32 « Basez vos décisions ou vos opinions sur un examen objectif du plus grand nombre d'informations possible. (Si vous n'avez pas accès à beaucoup d'informations, alors calquez vos décisions ou opinions sur celles d'une autorité fiable, comme le consensus scientifique.) »

Q33 Il faudrait (idéalement) forcer un groupe de personnes à prendre régulièrement des aliments édulcorés au Nutrasweet, et un autre groupe de personnes à éviter totalement le Nutrasweet, et voir si le taux de cancer du cerveau dans ces deux groupes diffère au fil du temps. Comme il est difficile de forcer les gens à faire quoi que ce soit, on peut aussi faire l'expérience avec des animaux de laboratoire (eux, on peut les forcer, à l'intérieur de certaines limites contrôlées par les comités de bons soins aux animaux, qui veillent à ce que les animaux d'expérience ne souffrent pas indûment), mais on ne peut pas être certain que leur réponse physiologique au Nutrasweet est la même que pour l'être humain. Ou bien, on peut chercher les gens qui évitent volontairement et systématiquement le Nutrasweet, et voir si leur taux de cancer du cerveau est moindre que dans la

population en général, mais on se heurte alors au risque d'avoir des variables confondantes : les gens qui évitent le Nutrasweet sont probablement très conscients de ce qu'ils mangent et ils évitent probablement beaucoup d'autres choses aussi, et donc on ne pourra pas savoir exactement quel aspect de leur nutrition mène à un plus faible taux de cancer, si effectivement on observe moins de cancer chez eux.

Q34 Ce n'est pas un support très fort. Peut-être que ces poissons se reproduisent tout le temps, pleine lune ou pas. Peut-être que ces poissons se sont adonnés à se reproduire le jour de la pleine lune ce mois-là, seulement par hasard; donc ce ne serait pas la norme. Il faut faire des observations pendant plusieurs jours du mois, et pendant plusieurs mois en ligne, ou même plusieurs années en ligne, pour s'assurer que ces poissons se reproduisent seulement le jour de la pleine lune.

Q35 Les chances sont bonnes que la récession serait survenue peu importe quel parti avait été élu. Une preuve de cela est que les récessions ont tendance à survenir dans plusieurs pays en même temps, peu importe que ces pays aient eu des élections récemment ou non. Qu'un parti soit élu avant une récession n'est pas une preuve que le parti a causé la récession. La juxtaposition temporelle pourrait fort bien n'être qu'une coïncidence.

Q36 Les gens ne réalisent pas que ça prend 1-2 semaines suivant l'inoculation avant qu'un vaccin ne devienne efficace. Pendant ce temps, la personne peut attraper la grippe au hasard de son exposition à des personnes ou surfaces infectées. Il y a bien plus de chances que la personne ait attrapé la grippé dans son environnement plutôt que d'avoir été inoculé avec un vaccin défectueux. (De toute façon, la plupart des vaccins de nos jours ne contiennent que des morceaux d'agents pathogènes et donc ils ne peuvent pas déclencher la maladie.)

Q37 Il faudrait prendre un groupe de personnes qui ont mal au genou, donner le traitement à l'essai à la moitié de ce groupe, donner un placebo (un faux médicament – mais les gens ne savent pas que ce médicament est inefficace) à l'autre moitié, et voir si le traitement donne de meilleurs résultats que le placebo. Si les maux de genou ont tendance à guérir d'eux-mêmes, les deux groupes auront les mêmes résultats (la guérison surviendra au bout du même intervalle de temps, en moyenne), démontrant ainsi que le traitement à l'essai n'a pas vraiment d'effet.

Q38 Il se pourrait que le retour à la normale des profits de la compagnie soit seulement ça, une régression vers la moyenne, et que le consultant n'a rien contribué de très important. Une façon d'en avoir une idée est de regarder les profits de la compagnie au cours des dernières années : si les profits annuels montaient et descendaient apparemment au hasard, alors le retour à la normale que vous venez de vivre peut très bien avoir été dû au hasard à nouveau. Mais si ça faisait plusieurs années que les choses allaient mal, et que c'est immédiatement après l'intervention du consultant que les choses ont soudainement tourné au mieux, alors il y a des chances raisonnables que ce soit le consultant qui ait eu un effet réel.

Q39 La variable confondante pourrait être l'ouverture d'esprit. Les gens avec une plus grande ouverture d'esprit auraient plus de chance de prendre des cours en dehors de leur discipline, comme des cours d'appréciation de l'art, et ils auraient aussi plus de chance de penser en dehors de l'enveloppe et ainsi mieux diagnostiquer les maladies mystérieuses. Donc, ça ne donnerait pas

grand-chose de forcer les futurs médecins à prendre des cours d'art; il faudrait plutôt leur inculquer l'ouverture d'esprit.

Q40 L'état de santé général pourrait très bien être une variable confondante ici. Moins on est en santé, moins on est heureux. Et moins on est en santé, moins on a tendance à vivre longtemps. Des études qui ont tenu compte de variables confondantes possibles comme l'état de santé, l'état financier, et la présence d'un support familial, n'ont pas trouvé de relation significative entre le fait de penser positivement et la longévité.

Q41 Peut-être que les gens qui fument sont par nature moins soucieux des conséquences de leurs actes (ils continuent de fumer même s'ils savent très bien que la cigarette est très mauvaise pour la santé à long terme). S'ils sont moins soucieux à ce niveau-là, les chances sont bonnes que beaucoup d'entre eux sont aussi moins soucieux de leurs résultats scolaires, et donc ils se forcent moins à l'école. Ce ne serait donc pas le fait de fumer qui cause les moins bons résultats scolaires; les deux paramètres seraient plutôt la conséquence commune de l'insouciance.

Q42 Peut-être que les femmes à caractère plus indépendant aiment plus l'idée de vivre seules, et aiment plus l'idée d'aller à l'université pour apprendre comment se débrouiller par elles-mêmes. La variable confondante serait l'indépendance. Ce ne serait pas l'université qui cause le célibat.

Q43 Ici il faut savoir qu'aux États-Unis les frais de scolarité sont beaucoup plus élevés dans les plus grosses universités. Ce sont les jeunes qui viennent de familles riches qui ont plus de chances d'aller dans une grosse université (parce qu'ils peuvent plus se le permettre), et ce sont eux aussi qui ont le plus de chances d'avoir de bons emplois payants par la suite à cause des « connections » de leurs parents riches. La variable confondante pourrait être les circonstances socio-économiques de la famille. Je ne dis pas que c'est forcément le cas, mais c'est une possibilité qui vaut la peine d'être considérée.

Q44 Les gens qui mangent des céréales régulièrement le matin ont probablement plus tendance à faire attention à leur santé en général, et c'est probablement cette grande tendance, plutôt que le seul fait de manger des céréales, qui explique pourquoi ces gens ont moins de troubles cardiovasculaires.

Q45 La variable confondante est la population totale de la ville. Plus une ville est grande, plus il y a de sans-abris qui y vivent, et plus il y a d'incendies peu importe leur cause. La variable « sans-abris » n'est pas la cause de la variable « incendies ». Les deux variables sont plutôt la conséquence d'une même variable confondante : le nombre total d'individus par ville.

Q46 La variable confondante est la chaleur. Plus un été a de journées chaudes, plus les gens achètent de la crème glacée, et plus ils vont à la plage. Plus ils vont à la plage, plus ils ont d'occasions de se noyer. Cette explication semble bien plus probable que celle qui dirait que le fait de manger de la crème glacée augmente les chances de se noyer (il est difficile d'imaginer un mécanisme qui sous-tendrait une telle relation de cause à effet).

Q47 $r = 0.269$, donc $r^2 = 0.072$, ce qui veut dire que la variation du facteur A explique seulement 7.2 % de la variation dans l'incidence de la maladie. De toute évidence, il y a beaucoup d'autres facteurs qui contribuent à l'incidence de la maladie. C'est une question de jugement si une influence aussi faible que 7 % justifiera l'argent et les moyens que vous voudrez consacrer à combattre le facteur A.

Q48 Ceci est un exemple de relation qui ne va pas dans le sens qu'on pense : ce n'est pas le fait de faire des passes en fin de partie qui nous fait perdre; c'est le fait d'être en train de perdre qui nous force à faire plus de passes. Faire plus de passes augmente un peu les chances de revenir de l'arrière, mais ces chances demeurent faibles, de telle sorte que la corrélation demeure : les équipes qui perdent font plus de passes en fin de match.

Q49 L'énoncé interprète la corrélation dans le sens que la variable « programmes sociaux » cause la variable « pauvreté », mais il se pourrait fort bien que la causation aille dans l'autre sens : c'est dans les états où il y a le plus de pauvreté (pour quelque raison que ce soit) qu'il devient nécessaire d'instaurer le plus de programmes sociaux.

Q50 La convention de mettre la variable « dépendante » sur l'axe des Y fait penser que la variable placée sur l'axe des Y dans le cas d'une corrélation est forcément causée par celle qui a été placée sur l'axe des X. Or, on a vu que parfois il n'y a pas de causation, ou qu'on ne sait pas dans quel sens la causation s'effectue. Quand on regarde le graphique d'une corrélation, il ne faut pas prendre pour acquis que la variable Y a forcément été causée par la variable X.

Q51 (1) La corrélation est-elle positive (plus de gras, plus de risque) ou négative (plus de gras, moins de risque)? (2) La corrélation est-elle statistiquement significative (ou n'est-elle due qu'au hasard)? (3) La consommation d'aliments gras est-elle vraiment en cause, ou se pourrait-il que ce soit une variable confondante corrélée avec la consommation d'aliments gras, comme de mauvaises habitudes alimentaires en général par exemple, qui soit en cause? (4) S'il y a effet de la consommation d'aliments gras sur le risque de subir une crise cardiaque, cet effet est-il fort ou est-il faible (le risque est-il augmenté de beaucoup ou seulement de peu)? (5) Quel est le pourcentage de variation expliquée (la consommation d'aliments gras n'est-elle qu'un joueur parmi tant d'autres, peut-être même seulement un joueur avec un rôle mineur)?

Q52 Les finissants qui travaillent dans des domaines non-reliés à leur champ d'études (et ces domaines payent peut-être moins bien) sont peut-être plus durs à rejoindre et ont donc tendance à être exclus du calcul de la moyenne. De plus, les gens qui font de petits salaires pourraient avoir honte et refuser de participer au sondage. Il y a donc des chances que le salaire moyen rapporté soit plus élevé que la valeur réelle.

Q53 Ce ne sont pas tous les syndiqués qui se présentent aux réunions syndicales quand les votes de grève sont pris. En général, les militants ont plus tendance à se présenter, et donc le résultat des votes tend à surestimer le pourcentage réel de syndiqués qui veulent faire la grève.

Q54 Premièrement, le mot « répondants » laisse entendre que ce ne sont pas tous les 150,000 personnes invitées qui ont répondu, donc on a affaire à un échantillonnage qui n'est pas aussi élevé que le beau gros chiffre le laisse penser. Et quand vient le temps de parler de boire et d'activités sexuelles, on peut facilement penser que des personnes seraient gênées d'en parler et choisiraient de ne pas répondre. C'est donc dire que l'échantillonnage n'est pas aléatoire (et on ne sait pas dans quel sens : peut-être que ce sont les gens qui ne socialisent pas et qui n'ont pas de vie sexuelle qui ne veulent pas en parler, ou peut-être que ce sont les gens très actifs sexuellement qui sont gênés d'en parler). Les résultats ne sont pas probablement pas représentatifs de toute la population étudiante.

Q55 Oui, le fait de payer les participantes, même si c'est seulement pour participer, introduit en elles un sens de la redevance qui peut facilement s'exprimer par une opinion favorable du produit, plus favorable en tout cas que si les participantes n'avaient pas été payées pour participer.

Q56 Les nasses à menés ont plus tendance à capturer les individus déjà curieux ou téméraires (car il ne faut pas avoir peur pour entrer volontairement dans une nasse) tandis que les filets tendent plutôt à capturer tous les individus sans discrimination. La méthode de capture a donc biaisé notre échantillon des adultes en faveur d'individus téméraires. Pas surprenant que les adultes aient donné des indications d'être moins peureux! Si les adultes et les juvéniles avaient été capturés de la même façon, peut-être que leurs niveaux de témérité révélés dans l'expérience auraient été similaires.

Q57 Il est toujours difficile de capturer des poissons rapides avec une épuisette. Choisir les poissons expérimentaux avec une épuisette revient à biaiser notre échantillon en faveur des individus plus lents. Notre échantillonnage n'est donc pas au hasard. Notre mesure de performance musculaire lors de la nage dans notre expérience ne représentera pas les vraies capacités de l'espèce en général : elle va sous-estimer les vraies capacités.

Q58 Le protocole expérimental a un défaut : les enseignantes assignées aux classes expérimentales n'ont pas été choisies au hasard. Il s'agit de volontaires, ce qui peut introduire un biais. Il est raisonnablement possible que les très bonnes enseignantes soient plus curieuses d'apprendre et essayer de nouvelles techniques, et donc plus prêtes à se porter volontaires pour enseigner aux classes expérimentales. Donc, si jamais les classes expérimentales finissent par mieux faire que les classes témoins, on ne saura pas vraiment si c'est à cause de la nouvelle méthode ou à cause qu'elles avaient de meilleures enseignantes en général.

Q59 La façon la plus simple est de voir si le même phénomène est survenu lors des autres Olympiques. (Il ne l'est pas, donc ce n'était qu'une coïncidence en 2004.)

Q60 Surtout n'allez pas publier l'étude en ne parlant que du paramètre qui vous a donné un résultat significatif. Présentez tous les paramètres que vous avez considérés. Et dans le cas du paramètre qui s'est avéré significatif, mentionnez qu'il est important de faire des études supplémentaires pour voir si l'effet de ce paramètre se maintient. S'il se maintient, il faudra alors expliquer pourquoi il est significatif mais pas les autres. (En passant : vos cours de statistiques vont vous enseigner que dans des études où on considère plusieurs paramètres pour évaluer un effet, le seuil de significance n'est pas $P = 0.05$. Plutôt, il faut diviser ce seuil classique par le nombre de

paramètres considérés. Si, par exemple, votre expédition de pêche regarde 5 paramètres différents comme indicateurs de santé, alors le seuil de significance devient 0.05 / 5 = 0.01. Chaque paramètre ne sera considéré significatif que si $P < 0.01$.)

Q61 Non. Puisque vous avez regardé un grand nombre de facteurs, votre analyse n'était qu'une expédition de pêche et il se pourrait fort bien que la différence observée ne soit due qu'au hasard. Il faudrait voir si cette différence se maintient pour d'autres périodes de temps (les 20 dernières années plutôt que 15, par exemple), ou pour d'autres provinces, ou dans le futur quand un vieil entraineur se fera remplacer par un plus jeune.

Q62 En passant de 1 analyse à 16 analyses séparées, vous avez augmenté les chances de trouver un résultat « significatif » juste par hasard. Vous avez transformé votre étude en une expédition de pêche. Pour confirmer votre résultat « significatif », vous devriez répéter l'étude en Allemagne pour un autre 30 jours.

Q63 On ne peut pas comparer les dollars d'aujourd'hui avec ceux d'il y a cinq ans. Trois millions de dollars aujourd'hui valent moins que 3 millions de dollars il y a 5 ans. La rehausse d'aujourd'hui est donc moins grande que la coupure d'il y a 5 ans. On s'est fait avoir!

Q64 La population de la marine n'est pas comparable à celle de la ville, car elles ne sont pas composées de personnes du même âge. En ville, il y a beaucoup de personnes âgées qui meurent de vieillesse, ce qui n'est pas le cas de la marine. Il faudrait comparer le taux de mortalité dans la marine avec le taux de mortalité de personnes de la ville qui appartiennent à la même tranche d'âge que les gens de la marine. Il semble assez probable qu'un marin militaire en temps de guerre a plus de chance de mourir qu'un citadin du même âge.

Q65 Il y a plus de personnes qui conduisent le matin, donc c'est certain qu'il y aura plus d'accidents au total, ce qui ne veut pas dire qu'il y aura plus d'accident par conducteur présent sur la route. Pour standardiser la comparaison, il faut exprimer la variable en termes de nombre d'accidents par conducteur présent. On s'apercevrait alors que le risque pour chaque conducteur n'est pas différent entre le matin et l'après-midi (ou est moindre par temps ensoleillé que par temps brumeux).

Q66 Il y a plus de diagnostics en nombre absolu maintenant simplement parce qu'il y a plus de personnes dans le pays (la population a augmenté au fil des ans; ici encore, il faudra standardiser en comptant le nombre de diagnostics par tranche de 1000 personnes) et aussi probablement parce que les techniques de détection du cancer du pancréas se sont améliorées au fil des années.

Q67 On ne peut pas comparer une population humaine qui, grâce au progrès de la médecine moderne et à la technologie, peut vivre assez vieux pour se retrouver avec le cancer, avec une population d'animaux sauvages qui n'ont jamais la chance de vivre assez vieux pour avoir le cancer étant donné qu'ils sont plus souvent que nous victimes de prédateurs, parasites, ou accidents. Si les requins ont moins de cancer, ce n'est pas à cause de leur cartilage, mais plutôt dû au fait qu'ils meurent de prédation ou de maladies avant d'avoir eu la « chance » de développer le cancer.

Q68 Six mois pour un animal qui vit seulement 2-3 ans, c'est beaucoup. La deuxième fois, les animaux étaient bien plus âgés, relativement parlant, et on sait déjà que le durcissement des artères qui survient naturellement avec l'âge cause de l'hypertension. Donc la plus haute pression artérielle observée dans l'étude était peut-être due à l'âge plutôt qu'au régime alimentaire.

Q69 La deuxième fois, vous avez probablement profité de la pratique obtenue la première fois. Il faudrait continuer le test <u>après</u> l'équinoxe, pour voir si les succès disparaissent (confirmant l'effet de l'équinoxe) ou demeurent (confirmant l'hypothèse alternative d'un effet de la pratique).

Q70 Prenez une vingtaine de vos amis et divisez-les aléatoirement en deux groupes (A et B). À un des groupes faites-leur boire la boisson énergisante, et à l'autre groupe faites-leur boire la même quantité d'eau, avec une saveur artificielle pour ne pas qu'ils sachent que c'est seulement de l'eau (un premier insu). Après 30 minutes pour s'assurer que la boisson a été absorbée par le système digestif, mélangez les deux groupes et faites courir un 100 m à chaque personne individuelle. Faites en sorte que la mesure de vitesse (le déclenchement manuel d'un chronomètre au début de la course et son arrêt au moment où le coureur franchit la ligne d'arrivée, quelque chose qui pourrait être influencé par une attente de certains résultats) soit faite par quelqu'un qui ne sait pas quelle boisson a été consommée par quel coureur (le deuxième insu du double insu). Le lendemain (pour tenir compte d'un possible effet d'ordre), refaites l'expérience, mais cette fois-ci en faisant boire la boisson énergisante à ceux qui avaient bu l'eau, et vice-versa. Pour chacun de vos 20 amis, vous aurez une valeur avec boisson énergisante et une sans. Vous pourrez comparer ces valeurs avec un test statistique, dit « pairé » parce que vous aurez 20 paires de données.

Q71 Aucun des énoncés n'est strictement correct. Le seul énoncé correct aurait été de dire qu'on est confiant à 95% que la différence n'est pas due au hasard. L'énoncé A n'est correct que si on peut être certain qu'il n'y a pas de facteurs autres que ma manipulation expérimentale qui puissent expliquer la différence observée (ex. : un biais dans la prise de données, un biais dans la constitution des groupes, des variables confondantes non-contrôlées, des hypothèses alternatives auxquelles on n'a pas pensé). La même objection s'applique à l'énoncé B, en rajoutant en plus qu'on ne devrait pas utiliser le mot « prouvé », mais plutôt le mot « supporté » (une seule étude ne peut pas vraiment prouver quelque chose hors de tout doute raisonnable; pour ce faire ça prend plusieurs études qui se confirment les unes les autres et qui apportent du support à partir de plusieurs approches différentes – ce qu'on appelle la « convergence des preuves ».) L'énoncé C n'est vrai que si le hasard est la seule alternative à mon hypothèse de travail. Et D est faux parce l'expression P = 0.05 ne nous dit rien sur l'ampleur de la différence, seulement sur sa probabilité d'être due au hasard.

Q72 Non. Faites les calculs, et vous verrez que pour compenser une réduction de 20%, ça prend une augmentation de 25%.

Q73 Premier semestre : augmentation relative = 9.6%; augmentation absolue = 6%. Deuxième semestre : augmentation relative = 9.0%; augmentation absolue = 7%. La réponse dépend donc de votre intérêt envers les augmentations relatives par rapport aux augmentations absolues. Peu importe laquelle vous choisissez, il serait bon, dans votre réponse, d'ajouter un commentaire qui attirerait l'attention sur le fait que la condition de base (la moyenne du premier examen) n'est pas la même entre les deux semestres.

Q74 La publicité utilise le changement relatif ((7% - 2%) / 7% = 0.71 = 71%) parce que parler du changement absolu (7% - 2% = 5%) serait beaucoup moins impressionnant. Mais je pense que le changement absolu (5%), ou encore mieux les valeurs d'origine (7% vs 2%), donnerait une information plus juste. Encore pire, la publicité fait équivaloir une diminution du % de gouttelettes contenant des virus à un « traitement » de la maladie. C'est trompeur car dans la tête des gens, traiter un rhume veut dire faire disparaitre tous ses symptômes, pas quelque chose qu'on ne ressent pas comme le contenu en virus des gouttelettes qu'on tousse. Il aurait fallu utiliser des paramètres plus près de ce qu'une personne ressent pour dire si le rhume a été bien traité.

Q75 Vous devriez commencer par vous demander si l'on parle d'augmentation absolue ou relative. L'absence du terme « points de pourcentage » et la valeur plutôt élevée laissent penser qu'il s'agit d'une augmentation relative, mais on ne peut pas en être certain avec aussi peu d'information. Ensuite, si c'est une augmentation relative, il faut se demander quelle était la valeur originale. Si la valeur originale était seulement 1%, une augmentation de 55% veut dire que le nouveau pourcentage était 1.55%. Passer de 1% à 1.55%, ce n'est pas une grosse augmentation, certainement pas aussi grosse que le seul chiffre 55% nous laisse penser. Il faut aussi se demander quelle était la taille d'échantillonnage : l'étude a-t-elle été faite sur des échantillons de seulement 50 personnes plutôt que sur des milliers de personnes? Les plus grands groupes nous donnent beaucoup plus de confiance dans la validité de l'augmentation rapportée. Finalement, en lien avec le chapitre 10, il faudrait se demander si les points choisis pour représenter la « période de 10 ans » représentent bien la tendance générale observée pendant cette période.

Q76 (1) Quelle est la taille de l'échantillonnage; a-t-on consulté seulement 10 dentistes, ou 100, ou combien? (2) Les dentistes ont-elles été consultées d'une façon qui aurait pu les biaiser, comme par exemple en les payant pour participer, ou en leur donnant au préalable de la marchandise gratuitement? (3) Quelle question se sont-elles fait poser, exactement : recommander Crest spécifiquement plus qu'une autre marque, ou juste recommander Crest? (Quelle dentiste dirait non à recommander un dentifrice, peu importe sa marque?)

Q77 Les biscuits secs contiennent déjà peu de gras; une réduction de 50% ne représente pas une grosse diminution en termes absolus. C'est probablement insignifiant en fait. C'est juste un effort publicitaire pour bien faire paraitre la compagnie et son produit.

INDEX

Ampleur de l'effet 70, 71, 88-89, 91, 120
Appel à la tradition 15, 100
Arbitres 6, 18, 54, 104, 116
Argument *ad hominem* 17, 53
Argument d'autorité 15, 100
Argument d'ignorance 57, 61, 100, 105
Argument du génie incompris 23
Argument du peuple 15, 100
Argument *post hoc* 62, 100
Argument *tu quoque* 17
Auto-correction de la science 8, 18, 54, 116

Biais de confirmation 37, 39, 46-51, 54-55, 82, 101, 105, 120, 121
Biais de disponibilité 47, 53, 73
Biais d'échantillonnage 76-78, 105
Biais du survivant 48, 101
Biais rétrospectif 82

Calibration 39
Causation 68-70
Climatonégationnisme 20, 54
Coïncidence (voir Effet du hasard)
Communauté scientifique 18, 32, 104, 124
Comparaisons 7, 84-86, 117
Complotisme 22, 25
Conditions de départ 66
Consensus scientifique 18-19, 25, 59, 98, 116, 121
Convergence des preuves 8, 18, 19, 24, 92, 104
Corrélation 67-72, 79
Credo de la science 4, 10, 115
Créationnisme 21, 25, 59, 108
Critique 19, 28, 32, 104, 105, 116, 124
Curiosité 2, 27, 61, 124
Cynisme 12, 122

Déduction 8
Définition des variables 7, 36, 116
Déisme 110, 122
Différence significative 88-92
Dilemme de l'œuf et de la poule 69
Dilemme moral 28
Dissonance cognitive 53
Dogme 31, 53, 109, 116
Double insu (double aveugle) 39, 49, 50, 101, 105
Dualisme 122

Effet de l'observateur 38
Effet d'ordre 86-87
Effet du hasard 13, 21, 37, 47, 50, 63, 66, 68-69, 71, 75, 79-82, 88-91, 95, 120
Effet Dunning-Kruger 53
Effet Hawthorne 38
Empirisme 35, 122
Études descriptives 8, 118
Études prospectives 66, 101, 117
Études théoriques 8, 118
Erreur aléatoire 37
Erreur systématique 37
Erreurs d'interprétation 30, 119
Erreurs méthodologiques 30, 119
Erreurs techniques 119
Exactitude 39-41
Expériences naturelles 3, 5, 117
Extrapolation 72

Fardeau de la preuve 31, 59, 100, 105
Faux dilemme 58, 90, 100
Fiabilité inter-observateur 41
Fiabilité intra-observateur 41
Forage de données (*data mining*) 79-81, 120
Fraude 29, 92, 120

Généralisation hâtive 73
Groupe témoin (contrôle) 7, 84-86, 101, 117

Hasard (voir Effet du hasard)
Humanisme 123
Humilité 30, 105, 124
Hypothèse *a posteriori* 80, 82
Hypothèse *ad hoc* 51, 82, 105
Hypothèses alternatives 3, 51, 58, 105, 116

Induction 8, 35
Inférence 7

Lecture 31, 54, 125

Matérialisme 122
Mathématique 1, 2, 8, 75
Médecine 39, 66, 81, 97-102, 108
Médiane 43-44
Mémoire 13, 40, 47, 120, 121
Mesure subjective 41
Méthode scientifique 1, 4-7, 80, 117
Missions de la science 8, 115
Mode 43
Moyenne 40, 43-44

Naturalisme méthodologique 106, 110, 122
Naturalisme philosophique 122
Noir et blanc 42, 58

Observation qualitative 35
Observation quantitative 35, 121
Observations systématiques 4, 7-9, 30, 62, 115, 116

Parcimonie 24
Pensée critique 12-13
P-hacking 92
Philosophie 1, 8, 10, 103
Picorage (*cherry-picking*) 20, 46, 81, 92
Placebo 39, 99
Postulats de base de la science 4, 10, 115
Pourcentages 94-96
Précision 40
Preuves 8, 35
Preuve d'absence 60, 97, 111-112

Pseudoscience 53, 60, 81, 103-106

Qualité du matériel 40

Rasoir d'Ockham 24, 106
Rationalisation motivée 53
Rationalisme 122
Réductionnisme 122
Régression vers la moyenne 64
Religion 21, 108-112
Réplication 8, 36, 45, 49, 50, 55, 92, 101, 104
Revue systématique 52, 118

Savoir provisoire 8, 30, 116
Scepticisme scientifique 12, 19, 120-121, 122
Science participative (citoyenne) 9
Sciences appliquées 2, 10
Sciences expérimentales 3
Sciences pures 2
Scientisme 30, 123
Simple insu (simple aveugle) 38, 39, 49, 50, 105
Sondages 76-77, 89
Sophisme 23, 123
Sophisme par association 23
Succès de la science 4, 10
Surnaturel 9, 61, 106, 108-112, 115
Syndrome de Galilée 23
Syndrome par association 23

Taille d'échantillonnage 44, 50, 73-76, 90, 95
Technologie 2, 4, 10, 19, 24, 27, 54, 103, 115, 116, 118
Théisme 122
Théories 24, 31, 105

Universalité de la science 19

Valeur de P 90-92
Validité 36
Variables confondantes 3, 37, 62, 65, 68
Variation 42, 71
Vérifiabilité 1, 5, 59, 109, 116
Vulgarisation scientifique 2, 6, 32, 125