

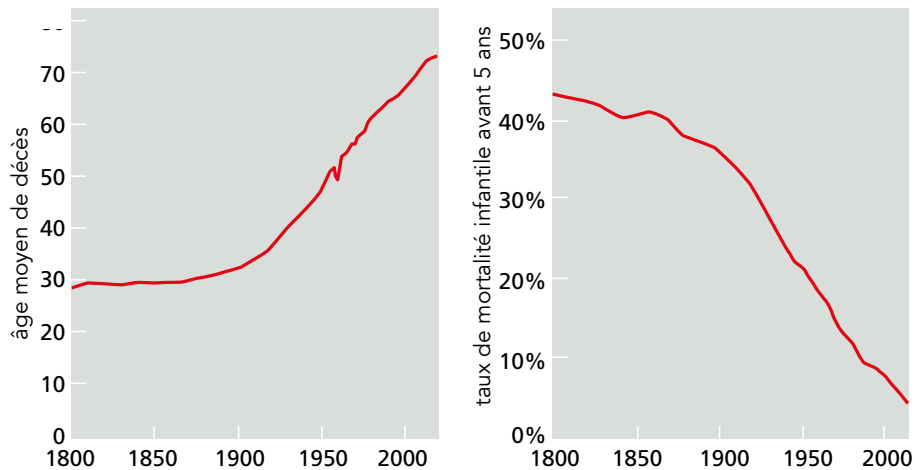


POURQUOI FAIRE CONFIANCE À LA SCIENCE ?

Un bref essai pour mieux comprendre comment les connaissances scientifiques sont générées et pour proposer une nouvelle orientation à l'enseignement des sciences à tous les niveaux.

La production scientifique et les efforts des chercheurs enrichissent notre vie quotidienne. Peut-être êtes-vous tombé sur cet essai au cours d'une recherche sur Internet pour vous aider à rédiger un devoir ou juste en cherchant quelque chose d'intéressant à lire ? Avant 1990, Internet n'existait même pas. Pourtant, aujourd'hui, il fait partie de notre quotidien, qu'il s'agisse de regarder des vidéos, d'écouter de la musique, de commander des repas ou de rester en contact avec notre famille et nos amis.

Internet n'est qu'un exemple de la façon dont la science et la technologie ont changé notre façon de vivre. Pensez à l'électricité, aux voitures et aux ordinateurs, sans parler des progrès médicaux qui nous permettent de vivre deux fois plus longtemps que nos ancêtres il y a juste 200 ans.



Une science solide et fiable a amélioré la santé humaine. L'espérance de vie à la naissance a plus que doublé au cours des 200 dernières années et la mortalité infantile a baissé dramatiquement. Les innovations fondées sur des recherches scientifiques, notamment l'hygiène, les vaccins, les antibiotiques et les traitements contre les maladies sont à l'origine de la plupart de ces améliorations. (Extrait de <https://ourworldindata.org/>).

En général nous ne passons pas beaucoup de temps à réfléchir à ces choses, parce que nous n'avons pas vraiment besoin de le faire. Nous avons confiance dans le fonctionnement des technologies. Nous sommes confiants que lorsque nous branchons notre téléphone, la batterie se chargera. Nous sommes confiants que lorsque nous montons en voiture, le moteur convertit l'énergie chimique contenue dans l'essence ou une batterie en énergie cinétique du mouvement.

Mais pourquoi avons-nous confiance en ces technologies que, pour être honnête, la plupart d'entre nous ne comprennent pas ? Combien d'entre nous savent comment fonctionnent un téléphone, un moteur de voiture ou une batterie rechargeable ? Vous êtes-vous déjà demandé, après avoir regardé la vidéo de sécurité à bord d'un avion, comment un engin pesant des centaines de tonnes peut décoller et prendre son envol ?

Très peu d'entre nous sont des experts dans l'un ou l'autre de ces domaines. Malgré tout, nous sommes convaincus que nous pourrons recharger nos téléphones à la fin de la journée et que les avions ne tomberont pas inexplicablement du ciel. Nous sommes

...les affirmations scientifiques qui nous parviennent sont-elles toujours correctes et précises ?

convaincus que ces choses fonctionneront parce que nous faisons confiance à l'ingénierie qui les a produites : les avancées technologiques qui ont été rendues possibles par des connaissances issues d'une observation et d'une expérimentation approfondies. En d'autres termes, nous faisons confiance à la science sous-jacente.

Mais pouvons-nous accorder notre confiance de la même façon à tout texte qui se réclame de la science ? Beaucoup d'histoires que nous entendons aux informations ou que nous lisons sur Internet commencent par l'expression : « une nouvelle étude montre... ». Les affirmations scientifiques que nous lisons sont-elles toujours exactes et vraies ? Si ce n'est pas le cas, comment savoir quelles études sont robustes et fiables, et lesquelles pourraient être mal conçues ou même entièrement fictives, surtout lorsque nous n'avons pas l'expertise nécessaire pour analyser nous-mêmes l'expérience et les données ?

Dans cet essai, nous discutons pourquoi nous pouvons faire confiance à la science, mais aussi comment identifier les affirmations scientifiques qui méritent notre confiance. Nous commençons par expliquer comment les scientifiques travaillent, dans le cadre d'une large communauté scientifique, pour produire des connaissances fiables. Nous décrivons comment le processus scientifique construit un consensus, et comment de nouvelles découvertes peuvent changer la façon dont les scientifiques – et, en fin de compte, le reste d'entre nous – voient le monde. Enfin, et ce n'est pas le moins important, nous expliquons comment, en tant que citoyens informés, nous pouvons tous devenir des « observateurs compétents », équipés pour évaluer les affirmations scientifiques et donc capables de faire la distinction entre les faits scientifiques et les affabulations.

La science produit des connaissances robustes grâce à un effort collectif

Quand vous imaginez un scientifique, qu'est-ce qui vous vient à l'esprit ? Peut-être



Courtesy of Lizzy Mwamburi

imaginez-vous un chimiste travaillant de longues heures solitaires sur une paillasse de laboratoire, un tableau blanc couvert d'équations et des liquides bouillant dans des béciers en arrière-plan. Ou peut-être pensez-vous à quelqu'un comme Gregor Mendel, le moine autrichien que l'on décrit parfois comme le père de la génétique, seul dans le jardin de son abbaye, examinant méticuleusement, génération après génération, ses plants de pois soigneusement cultivés.

Si c'est le cas, vous serez peut-être surpris d'apprendre que la science, en particulier la science moderne, est un sport d'équipe. Dans tous les domaines de la science, de l'astronomie à la zoologie, les chercheurs travaillent ensemble au sein de la communauté scientifique au sens large. Les chercheurs partagent leurs données dans des publications et débattent de leurs résultats lors de congrès. Ils rédigent des propositions de programmes de recherche, qui sont examinées par d'autres experts de leur domaine avant d'être financées. Ils donnent des conférences où d'autres scientifiques soumettent à une analyse critique tous les aspects de leur travail, en commençant par des méthodes qui ont été employées jusqu'à la façon dont les auteurs ont interprété leurs résultats. Ils collaborent avec des collègues et interagissent avec des concurrents, qui font tous partie d'un vaste réseau de scientifiques travaillant dans des institutions du monde entier, dont beaucoup dans les pays du Sud et dans les pays en voie de développement. Comme l'a dit Ludwik Fleck, un microbiologiste polonais qui a également étudié la sociologie des sciences : « Un enquêteur vraiment isolé est impossible... La pensée est une activité collective ».

La science –
en particulier la
science
moderne –
est un sport
d'équipe :
penser est une
activité
collective

Donc, en réponse aux critiques, les chercheurs élaborent des stratégies encore plus rigoureuses pour tester leurs théories et leurs concepts. Les scientifiques, qu'il s'agisse de ceux qui ont fait une nouvelle découverte ou de leurs collègues qui ne font pas partie du groupe, ajustent ensuite leurs hypothèses en prenant mieux en compte toutes les données disponibles. Si deux têtes valent mieux qu'une, en science, des centaines et peut-être même des milliers de chercheurs assemblent leurs efforts pour réfléchir à un problème et tester expérimentalement – et retester – l'interprétation proposée. De cette manière, la communauté scientifique s'efforce de parvenir à un consensus. Bien sûr, les scientifiques, comme tout le monde,

peuvent faire des erreurs. Mais, individuellement et en tant que groupe, les scientifiques sont des professionnels qui ont consacré leur vie à essayer de comprendre le monde dans lequel nous vivons. Alors nous devons considérer leur formation et leur expertise de la même manière que nous faisons confiance aux mécaniciens, aux pilotes et aux contrôleurs de la circulation aérienne qui travaillent ensemble pour s'assurer que les avions décollent et atterrissent en toute sécurité. Les scientifiques sont formés pour examiner tout ce qu'ils voient avec un œil analytique. Ainsi, lorsque nous avons des questions qui, par nature, nécessitent une enquête méthodique et rigoureuse, il est logique que nous nous tournions vers les scientifiques pour nous aider à trouver les réponses.

La science s'autocorrige parce que les scientifiques sont critiques à l'égard de leur propre travail

Courtesy of Ashraf Hossain



Lorsque nous apprenons pour la première fois ce qu'est « la méthode scientifique », on nous dit qu'un scientifique fait des observations et développe ensuite une hypothèse – une proposition expliquant ces observations – qui peut être testée par une expérience. Si les

résultats soutiennent l'hypothèse, celle-ci est confirmée et l'investigateur peut ensuite, effectuer des recherches supplémentaires pour affiner davantage son modèle.

Mais cette image est largement simplifiée. En réalité, pour tester une hypothèse les chercheurs essaient de la réfuter. Les scientifiques sont entraînés à être sceptiques, même (ou surtout) à l'égard de leurs propres hypothèses. Les bons scientifiques travaillent en sachant que leurs idées ou leurs modèles initiaux nécessiteront peut-être une révision ou même un rejet pur et simple. Certains pourraient même dire qu'un but de la science est d'éliminer les notions erronées, les résultats non reproductibles et les interprétations incorrectes. Parce que la science progresse de manière itérative, grâce à une mise en question rigoureuse des hypothèses par la communauté, elle corrige ses propres erreurs. Un système rigoureux de freins et de

Un système rigoureux de freins et contrepoids est intégré à la méthode scientifique

contrepoids est intégré à la méthode scientifique, nous éloignant de la désinformation et nous orientant vers une méthode de plus en plus précise et une compréhension fiable du monde.

Une saine application du scepticisme permet à la science de progresser. Mais elle ne le fait que parce que les scientifiques, en tant que communauté, partagent un ensemble de valeurs. Dans son livre *Science et valeurs humaines*, Jacob Bronowski, mathématicien et philosophe, a noté : « La science confronte le travail d'un [chercheur] à celui d'un autre et greffe l'un sur l'autre; elle ne peut pas survivre sans justice, honneur et respect. Ce n'est que par ces moyens que la science peut poursuivre son objectif inébranlable, à savoir explorer la vérité ».

Les pratiques partagées augmentent la précision des résultats scientifiques

Les valeurs partagées ne suffisent pas à elles seules à rendre la science auto-correctrice. Au fil du temps, la communauté scientifique a développé un ensemble de pratiques qui facilitent l'évaluation constante des connaissances, indispensable au progrès de la science. Ces pratiques permettent aux chercheurs de « vérifier leur travail » en identifiant les problèmes potentiels dans leurs théories et leurs expériences, et ainsi d'apporter les corrections nécessaires.

La communauté scientifique a développé un ensemble de pratiques nécessaire au progrès de la science

1. Les résultats doivent être reproduits de façon indépendante. Lorsque les chercheurs publient leurs travaux, ils fournissent des descriptions complètes des procédures expérimentales qu'ils ont suivies. Classiquement, les publications incluent une liste de tous les matériaux qui ont été utilisés, ainsi que l'endroit où les ingrédients ont été achetés, comment ils ont été préparés et même les numéros de lot qui apparaissent sur l'étiquette du flacon ! Ce niveau de détail est conçu pour permettre à d'autres membres de la communauté de reproduire l'expérience originale (ou d'en mener une qui est très similaire). De cette façon, les scientifiques peuvent aisément corroborer, ou compléter, les résultats des autres, ou encore identifier un problème dans l'étude originale.

2. Essais contrôlés randomisés. Pour déterminer si une intervention - nouveau médicament ou vaccin ou

même un programme de sciences au secondaire est plus efficace que celui actuellement utilisé, les scientifiques comparent ce qui arrive à un groupe de personnes qui reçoivent la nouvelle intervention à un groupe « témoin » qui ne la reçoit pas. Pour s'assurer que ces deux groupes ne diffèrent pas par des facteurs qui ne sont pas pertinents à l'étude (par exemple, qu'un groupe est composée des personnes beaucoup plus âgées que l'autre), les participants sont répartis au hasard dans chaque groupe : dans l'un ils suivent l'approche expérimentale et dans l'autre l'approche conventionnelle actuelle ou un placebo – une substance inactive ou un traitement factice. Ces essais contrôlés randomisés représentent l'approche de référence pour déterminer qu'un nouveau traitement est à la fois efficace et sûr.

3. Analyse à l'aveugle. Lorsque les scientifiques conçoivent et mènent leurs expériences, qu'est-ce qui les empêche de rapporter de manière sélective (délibérément ou sans faire exprès) les données qui soutiennent leurs hypothèses ? Pour éviter qu'un tel biais ne s'infilte dans l'étude, les scientifiques peuvent utiliser une « analyse à l'aveugle » pour éviter de « voir les réponses » à l'avance. Par exemple, dans un essai clinique visant à tester l'efficacité d'un médicament ou d'un vaccin, les chercheurs qui mènent l'étude ne savent généralement pas quels participants reçoivent le traitement et lesquels reçoivent un placebo. Très souvent, les participants eux-mêmes ne le savent pas non plus (cela s'appelle une étude en double aveugle- quand ni les investigateurs ni les participants ne savent quel traitement est administré à qui dans l'étude), de sorte qu'aucune personne impliquée dans l'étude ne puisse influencer les résultats par inadvertance.

4. Validation statistique. Les données scientifiques présentent toujours un certain degré de variabilité, c'est pourquoi les chercheurs utilisent des analyses statistiques pour évaluer la probabilité qu'un résultat particulier soit « réel », par opposition à quelque chose qui aurait pu se produire par hasard. Pour éviter d'être induits en erreur, les scientifiques sérieux conçoivent leurs expériences avec tous les contrôles appropriés, des répliques

Bien que les scientifiques puissent individuellement se tromper, les corrections apportées par la communauté permettent au domaine de progresser vers une compréhension toujours plus grande.

des échantillons et un nombre d'échantillons suffisamment grand pour s'assurer que leurs résultats sont significatifs et ne sont pas simplement dus au hasard.

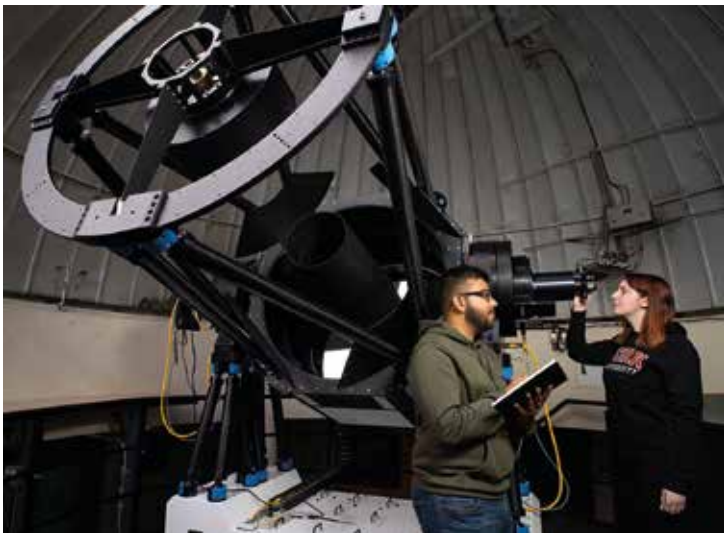
5. Évaluation par les pairs. Tout ce que font les scientifiques est soumis à l'examen par leurs collègues. Avant même de commencer leurs recherches, les chercheurs soumettent généralement des demandes de subventions, nécessaires pour financer leurs expériences. Ils expliquent ce qu'ils proposent de faire et comment ils ont l'intention de s'y prendre. Ces demandes sont évaluées par d'autres chercheurs afin de s'assurer que seuls les projets bien conçus recevront un soutien financier. Les articles que les scientifiques rédigent pour décrire leurs recherches abouties sont évalués de la même manière avant d'être publiés dans des revues scientifiques à comité de lecture. Dans ce processus, des scientifiques ayant l'expertise requise (dont l'identité n'est généralement pas révélée aux auteurs de l'étude) donnent leur avis sur le travail avant que l'article ne soit accepté (ou rejeté) à la publication. Enfin, une fois les articles

de recherche publiés, toutes les informations qu'ils présentent font l'objet de critiques de la part de l'ensemble de la communauté scientifique.

En publiant leurs résultats et en soumettant leurs méthodes et leurs analyses à un examen critique, les scientifiques, facilitent l'échange d'idées, la remise en question des hypothèses

et des interprétations et s'encouragent mutuellement à réévaluer continuellement leurs théories et à affiner leurs conclusions. Ainsi, bien que les scientifiques individuels puissent se tromper, les corrections apportées par la communauté permettent au domaine de progresser vers une compréhension toujours meilleure.

Seules les affirmations qui ont passé le test rigoureux de l'expérimentation et de la critique à l'échelle de la communauté



Courtesy of York University (Toronto, Canada)

sont acceptées comme provisoirement valides, nous amenant ainsi vers un consensus fiable dans lequel nous pouvons avoir confiance. Comme le dit la scientifique et historienne Naomi Oreskes dans son livre *Why Trust Science* : « Nous fondons notre confiance non pas dans les scientifiques – en tant qu’individus sages et intègres – mais dans la science en tant que processus social qui examine et valide rigoureusement les affirmations ».

La science permet de mieux comprendre le monde en engendrant des prédictions qui peuvent être testées

Confirmer la même information, en répétant les observations dans les mêmes conditions, encore et encore, est nécessaire mais non suffisant pour faire progresser la science. La beauté de l’entreprise scientifique est qu’elle utilise des observations et des expériences passées pour prédire comment un système se comportera à l’avenir. Pour ce faire, la science produit des modèles : des cadres conceptuels sur la façon dont les choses fonctionnent. Ces modèles sont ensuite testés à plusieurs reprises par des chercheurs dans d’autres laboratoires (ou sur le terrain), et même dans d’autres domaines scientifiques, pour déterminer s’ils restent toujours vrais. De nouvelles expériences peuvent confirmer un modèle, conduire à sa modification, mineure ou majeure, ou inciter à son rejet et à son remplacement par un autre modèle, qui tient mieux compte de toutes les données disponibles.

De cette façon, la science a produit un vaste réseau de connaissances interconnectées et bien établies, qui nous permettent non seulement de décrire ou d’expliquer les choses que nous observons aujourd’hui, mais aussi de prédire ce qui se passera demain, mardi prochain ou dans 100 ans.

À la fin des années 1600, Sir Isaac Newton a mis au point les lois du mouvement pour expliquer comment les forces physiques affectent la façon dont les objets se déplacent. Ces lois sont toujours en vigueur aujourd’hui.

N’importe où sur la planète, nous pouvons utiliser ces lois pour évaluer la vitesse à laquelle il faut courir pour intercepter une passe de ballon, ou comment réussir un kickflip sur un skateboard. Les mêmes lois s’appliquent également dans l’espace, en prédisant, avec une précision presque étonnante, quand aura lieu la prochaine éclipse solaire, quelle est la quantité de carburant nécessaire pour qu’une fusée puisse aller sur Mars, ou si une explosion ciblée avec précision fournira suffisamment de force pour modifier la trajectoire d’un

d'un astéroïde, qui autrement pourrait entrer en collision avec la Terre dans cinq mois, cinq ans, ou cinq siècles.

La pensée scientifique est continuellement affinée par de nouvelles preuves, et elle peut parfois produire un changement majeur dans la façon dont nous voyons le monde

Il est bien clair que la science est un processus itératif et sans fin d'exploration et d'analyse dans lequel même les idées les plus répandues sont continuellement réévaluées au fur et à mesure que les scientifiques font de nouvelles observations et rassemblent de nouvelles preuves. À mesure que les méthodes disponibles pour



Courtesy of Tom Mumford, Univ. of Washington
Friday Harbor Labs

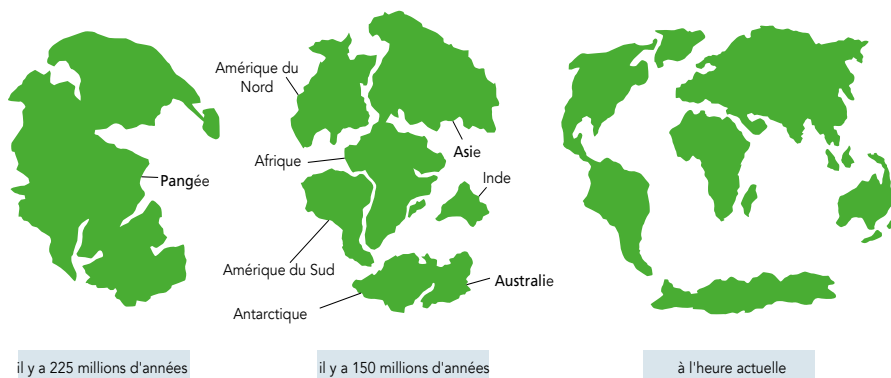
produire des données deviennent de plus en plus puissantes, non seulement elles alimentent de nouvelles découvertes, mais permettent également de revisiter des idées plus anciennes avec un regard neuf. Dans certains cas, les nouvelles données peuvent totalement bouleverser la façon dont nous voyons le monde.

Au début du XXe siècle, par exemple, un certain nombre de théories existaient concernant le mouvement des continents sur Terre. L'une postulait que les continents s'étaient formés tôt dans l'histoire géologique et qu'ils sont restés là où ils étaient apparus. Une autre proposait que la jeune Terre s'était contractée en se refroidissant, provoquant des déformations et des plis à sa surface, comme la peau d'un raisin sec desséché. Ces rides, pensait-on, provoquaient le déplacement de la surface de la Terre vers le haut ou vers le bas, formant les crêtes des chaînes de montagnes et les profondeurs englouties des fonds océaniques.

Puis, au début des années 1900, un météorologue allemand, Alfred Wegener, réfléchissait sur le fait que, sur une carte du monde, les contours de l'Amérique du Sud et de l'Afrique semblaient s'emboîter, comme les pièces d'un puzzle. Il en a tiré une proposition stupéfiante : tous les continents se déplacent latéralement à la surface de la Terre. Ils auraient autrefois fait partie d'une seule grande masse continentale, appelée Pangée, qui s'est progressivement fractionnée sur des centaines de millions d'années.

Mais des données solides, qui soutiennent l'hypothèse que le sol sur lequel nous nous trouvons n'est pas aussi stable qu'il n'y paraît, n'arriveront pas avant les années 1950, lorsque les géologues ont utilisé un sonar pour cartographier le fond de l'océan. Au lieu d'une surface lisse, ils ont découvert des chaînes de montagnes et des tranchées qui se sont formées au fur et à mesure de l'expansion du fond marin. Au cours des années 1960, les scientifiques ont continué à scruter le fond de l'océan, étudiant la façon dont les matériaux magnétiques s'alignaient lors de la formation de roches anciennes. Les données qu'ils ont recueillies ont montré que non seulement les continents se sont déplacés les uns par rapport aux autres, mais qu'il en va de même pour d'énormes plaques de la croûte terrestre – que l'on appelle « plaques tectoniques » - sur lesquelles surfent tous les continents et les océans de la planète. Ce déplacement, à peu près aussi rapide que la vitesse à laquelle poussent vos ongles, peut maintenant être mesurée directement à l'aide du système de positionnement global (GPS). L'observation et l'étude continue de ce phénomène sont essentielles : c'est le mouvement des plaques tectoniques qui donne naissance aux éruptions volcaniques et aux tremblements de terre.

Bien que les résultats de la recherche scientifique conduisent parfois à des changements spectaculaires dans notre compréhension du monde naturel, comme ce fut le cas pour la découverte des plaques tectoniques, la plupart des connaissances scientifiques évoluent beaucoup plus



La théorie de la tectonique des plaques révèle comment les continents se sont déplacés au cours du temps selon la pensée actuelle. Bien que le concept de dérive des continents ait été proposé il y a plus d'un siècle, il a fallu des décennies d'observations et le développement de nouvelles technologies pour amasser les données nécessaires pour confirmer le concept audacieux et surprenant – initialement considéré comme impossible – selon lequel les continents glissent lentement à la surface de la Terre.

progressivement. Au fur et à mesure de l'accumulation de nouvelles études, la communauté s'oriente, pas à pas, vers une compréhension plus profonde et complète d'un problème ou d'une question.

Considérez l'idée que les maladies peuvent être causées par des micro-organismes. Aux 18^{ème} et 19^{ème} siècles, quelques médecins et scientifiques curieux ayant accès à un microscope, ont rapporté avoir détecté des germes (alors appelés animalcules ou « petits animaux ») dans des plaies infectées ou des échantillons de sang prélevés sur des personnes atteintes de la peste et d'autres maladies terribles. Mais ces minuscules créatures étaient-elles la cause de la maladie ?

Le médecin allemand Robert Koch a été le premier à associer un micro-organisme spécifique à une maladie particulière. Il a commencé ses travaux sur la maladie du charbon, une maladie qui touchait le bétail aussi bien que les humains. En examinant le sang noirci de vaches et de moutons malades, Koch a pu voir ce qui semblait être de minuscules bâtonnets ou fils. Les mêmes petits bâtonnets n'ont jamais été trouvés dans le sang d'animaux en bonne santé. Koch a ensuite trempé un petit morceau de bois dans le sang d'un animal malade et l'a utilisé pour inoculer une souris. Lorsque cette souris a succombé à la maladie du charbon, Koch a constaté que son sang regorgeait également de bâtonnets suspects.

Même à ce moment-là, Koch ne pouvait pas encore être sûr qu'il n'y avait pas quelque chose d'autre dans son échantillon qui causait la maladie. Alors il a utilisé une technique de culture de micro-organismes dans une boîte de culture afin qu'ils forment des colonies dont chacune contenait une population pure d'un seul type de germe. Cette approche minutieuse, étape par étape, lui a permis de prouver qu'un micro-organisme spécifique, qu'il a collecté, puis cultivé en laboratoire, provoquait une maladie spécifique et mortelle.



20 µm

Découverte qu'un type particulier de micro-organisme en forme de bâtonnet provoque la maladie du charbon. Cette photographie, prise au microscope par Robert Koch, a été publiée en 1877.

En utilisant une approche similaire, Koch a découvert la bactérie qui cause la tuberculose (TB) – un micro-organisme distinct des petits bâtonnets qui causent la maladie du charbon. Pour ce travail, Koch a reçu un prix Nobel en 1905. Et bien d'autres découvertes ont suivi. Ce n'est que des décennies plus tard que le même type de recherche a conduit à l'isolement du virus qui cause la grippe. Les virus sont encore plus difficiles à étudier que les bactéries car ils sont trop petits pour être vus au microscope optique. Ainsi, lorsque les cliniciens ont examiné les prélèvements nasaux de personnes atteintes de la grippe, ils n'ont pas pu identifier de coupable évident. Mais en 1933, des chercheurs au Royaume-Uni ont collecté des « lavages de gorge » qu'un collègue malade a produit en se gargarisant et les ont fait passer à travers un filtre fin qui éliminait les objets plus gros, comme les cellules. Ce qui restait était un liquide qui contenait quelque chose de si minuscule qu'il était invisible, mais si infectieux que lorsqu'il était versé dans la narine d'un furet, il donnait à l'animal tous les symptômes de la grippe, en particulier le nez bouché, les éternuements et la fièvre. Ces expériences, qui ont montré que les mucosités filtrées d'une personne malade, mais pas d'une personne en bonne santé, pouvaient transmettre la maladie, ont orienté les chercheurs vers le virus responsable des épidémies de grippe répétées, qui avaient tué des millions de personnes à travers le monde.

Aujourd'hui, les cliniciens et les chercheurs peuvent prélever des échantillons sur des personnes atteintes d'une maladie inconnue et utiliser de puissantes technologies de l'ADN pour rapidement passer au crible des centaines de virus, de bactéries, de parasites et de champignons pathogènes connus. Une telle approche a permis d'isoler et d'identifier rapidement le virus responsable de la COVID. Déterminer quel type de germe cause une infection est la première étape vers le développement de vaccins et de traitements qui peuvent ralentir ou prévenir la maladie. Dans le cas de la COVID, la découverte initiale du virus a été immédiatement suivie d'études sur la façon dont il pénètre dans les cellules hôtes et sur la façon dont il se transmet d'une personne à l'autre – des résultats qui ont été vite confirmés par plusieurs laboratoires à travers le monde.

Ces nouvelles connaissances ont conduit à la mise au point et à l'administration d'un nouveau vaccin à des milliards de personnes moins d'un an après les premiers rapports d'infection. Des progrès aussi rapides à partir d'une découverte fondamentale

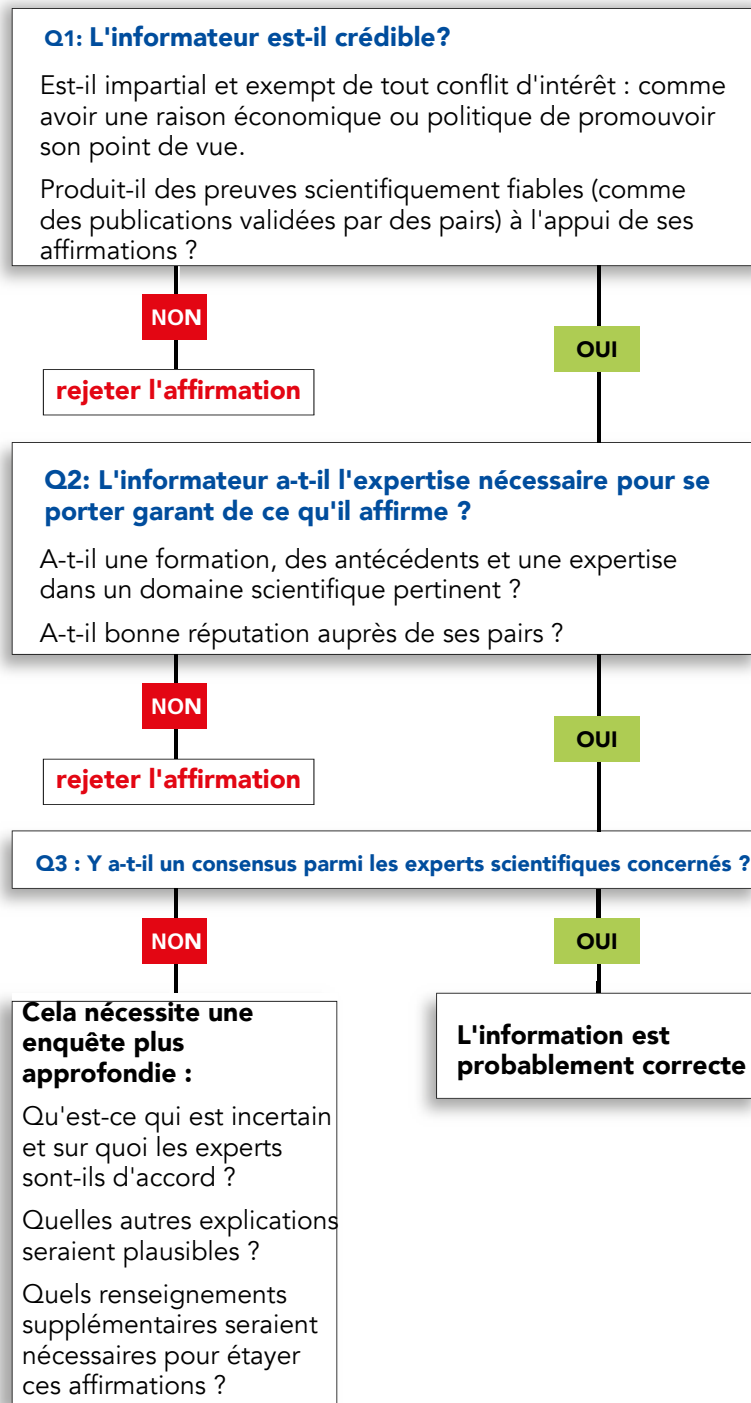
jusqu'à un bénéfice clinique montrent que, même avec des freins et des contrepoids en place (en particulier des essais contrôlés et en aveugle et l'examen par les pairs), la science peut parfois parvenir à un consensus en un temps record.

Comprendre le processus scientifique peut nous aider à faire la différence entre la désinformation et l'information scientifique légitime

Grâce à l'expansion explosive d'Internet et à la propagation inéluctable des médias sociaux, la plupart d'entre nous ont maintenant un accès pratiquement illimité à un raz-de-marée d'informations, dont beaucoup sont fausses ou trompeuses. Aujourd'hui, n'importe qui peut promouvoir des produits ou des idées auprès de centaines, de milliers, voire de millions de personnes en un clic. Malheureusement, une grande partie de ces informations n'est pas exacte. Les internautes suivis par un grand nombre de personnes en ligne, mais n'ayant pas, ou peu, de connaissances scientifiques, peuvent publier des études douteuses ou non confirmées – voire même des inventions de toutes pièces. Certains défendent des croyances sincères, mais non scientifiques ou réfutées, comme le lien entre l'autisme et les vaccins infantiles. D'autres encouragent des mensonges pour gagner de l'argent, comme les lobbyistes des compagnies pétrolières qui nient le rôle que jouent les combustibles fossiles dans le changement climatique mondial. Dans cette mêlée générale d'informations, souvent les fausses affirmations font rapidement sensation et sont diffusées à des millions de personnes.

Nous avons tous besoin de penser de manière critique lorsque nous lisons ou voyons des histoires sur le Web, sur les médias sociaux ou dans la presse populaire. Cependant, puisque nous ne pouvons pas être des experts dans tous les domaines de la science, comment pouvons-nous déterminer si une étude ou une histoire particulière est digne de confiance ? Comment pouvons-nous éviter d'être trompés par des contre-vérités ou des fausses déclarations « scientifiques » ? Des chercheurs qui se consacrent à la promotion de la culture scientifique ont mis au point un processus en trois étapes pour séparer les faits scientifiques de la science-fiction.

Étant donné que nous ne pouvons pas être experts dans la plupart des domaines scientifiques, comment pouvons-nous déterminer si une étude ou une histoire particulière est digne de confiance ?



Un processus simple en trois étapes peut être utilisé pour évaluer les informations scientifiques. Cette méthode « rapide et frugale » utilise trois filtres pour différencier les affirmations qui ne sont pas étayées par la science de celles qui le sont. (Adapté de Jonathan Osborne et Daniel Pimentel, Science 378 : 246-248, 2022).

La première étape, et peut-être la plus critique, consiste à évaluer la source de l'affirmation. Qui fournit ou promeut l'information ? Ont-ils des raisons économiques ou politiques de diffuser ces opinions ? Qu'est-ce qu'ils pourraient essayer de vendre, le cas échéant ?

Ensuite, il est important de se demander si la source de l'information possède l'expertise et les qualifications nécessaires pour valider son affirmation. Ont-ils la formation appropriée (une formation médicale ou un doctorat en science par exemple) et mènent-ils des recherches dans ce domaine particulier ? Même les scientifiques les plus respectés peuvent se tromper, en particulier lorsqu'ils s'aventurent trop loin de leurs domaines d'expertise. Il n'y a pas si longtemps, de petits groupes d'éminents physiciens insistaient sur le fait qu'il n'était pas certain que le tabagisme cause le cancer, mettaient en doute le fait que les pluies acides étaient causées par les émissions des centrales électriques et (jusqu'à leur dernier souffle !) s'opposaient à l'idée que les gaz à effet de serre causent le changement climatique.

Avoir un diplôme d'études supérieures n'est clairement pas une garantie suffisante que quelqu'un agira de manière éthique. Certains physiciens que nous venons de citer ont reçu d'importants soutiens financiers de la part des industries qui ont bénéficié de leurs témoignages d'« experts ».

Un autre point à considérer est de savoir si les experts en question sont généralement respectés par leurs pairs scientifiques. Au début de la pandémie de COVID-19, par exemple, un petit groupe de médecins a préconisé l'utilisation de l'Ivermectine (un vermifuge anti-parasitaire) pour prévenir l'infection, une stratégie qui est non seulement inefficace, mais qui peut être nocive.

Certains de ces cliniciens avaient déjà été critiqués par leurs pairs de la communauté médicale pour avoir promu d'autres traitements non prouvés et inefficaces. Pourtant, ils ont continué à faire circuler leurs affirmations non étayées, qui ont ensuite été amplifiées par des influenceurs sans aucune formation scientifique ou médicale.

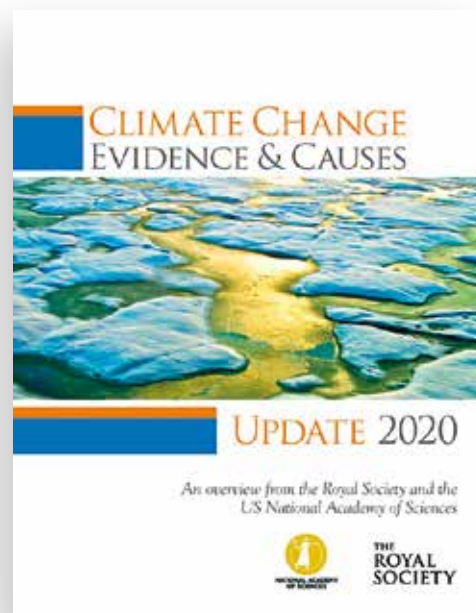
Mais que se passe-t-il si la source de l'histoire semble crédible ? À ce stade, il est temps d'évaluer s'il existe un consensus

scientifique. Cela peut parfois être plus difficile à discerner. Un bon point de départ pourrait être le site Web d'une organisation fiable, telle qu'un organe de presse respecté, la « National Academy of Sciences » (États-Unis) ou encore la « Royal Society » (Royaume-Uni). Dans le cas du changement climatique, par exemple, la communauté des climatologues exprime un large consensus lorsqu'elle conclut que l'activité humaine contribue au réchauffement climatique.

Des allégations fausses ou exagérées sont souvent faites concernant des produits destinés à la santé et au bien-être, voire à la beauté. Des milliards de dollars sont gagnés chaque année grâce à la vente de suppléments alimentaires et de traitements qui, au mieux, ne font rien. Le problème est qu'une étude scientifique rigoureuse de ces produits serait d'un coût prohibitif et presque impossible à mener : les volontaires ne peuvent pas être séquestrés dans un laboratoire où leur régime alimentaire et leurs comportements pourraient être méticuleusement surveillés pendant des années, voire des décennies. Mais d'énormes profits sont réalisés en vendant des suppléments qui sont prétendument « soutenus par la science ». Les soi-disant experts qui font la promotion de ces produits insistent même parfois sur le fait qu'ils ont été « prouvés efficaces à 100% ». Bien sûr, toute affirmation qui offre une certitude absolue doit être considérée comme suspecte. Il n'est pas nécessaire d'être un expert dans un quelconque domaine de la science pour savoir qu'une telle déclaration est, littéralement, trop belle pour être vraie !

Pour s'assurer que la science reste digne de confiance, il faut une vigilance constante

À présent, il devrait être clair que toute l'entreprise scientifique est fondée sur la confiance. L'intégrité est essentielle à la science, ce qu'illustre ce propos d'Albert Einstein : « La plupart des gens disent que c'est l'intellect qui fait un grand scientifique. Ils se



Un consensus scientifique sur le changement climatique induit par l'activité humaine. Ce rapport de synthèse a été produit conjointement par les académies des sciences des États-Unis et du Royaume-Uni.

Albert Einstein a fait remarquer un jour : « La plupart des gens disent que c'est l'intellect qui fait un grand scientifique. Ils se trompent : c'est le caractère »

trompent : c'est le caractère ». Les scientifiques font confiance aux autres chercheurs pour adhérer aux normes et aux pratiques établies par la communauté et qui permettent aux uns de s'appuyer sur le travail des autres et à construire ensemble un corpus de connaissances. Cette confiance est un élément fondamental du processus itératif d'investigation, qui permet aux scientifiques de parvenir à un consensus et de nous fournir des connaissances auxquelles nous pouvons faire confiance.

En même temps, les scientifiques ont des obligations envers la société : ils doivent être ouverts et honnêtes avec tous. Une grande partie des recherches faisant autorité que nous apprenons par les media sont financées par nos impôts. Et des vies peuvent dépendre de la rigueur et de la précision de la présentation des études scientifiques. Les scientifiques ont donc la responsabilité éthique de communiquer leurs résultats de manière claire et directe, d'expliquer honnêtement ce que leurs conclusions signifient (et ce qu'elles ne signifient pas) et de rendre leurs données aussi accessibles que possible à l'examen du public.

Cette politique d'ouverture n'est pas apparue spontanément. L'institution mondiale de la science, dans son ensemble, s'est longtemps efforcée à établir un système de valeurs et d'incitations qui demandent aux chercheurs d'être méticuleux dans leur méthodologie et scrupuleux lorsqu'il s'agit de partager leurs résultats. Ainsi, la communauté scientifique décourage activement diverses formes de « comportements répréhensibles », comme la publication de données frauduleuses ou trompeuses et la promotion de recherches non vérifiées. Une telle mauvaise conduite peut gaspiller des ressources précieuses et des financements qui sont limités, éroder la confiance du public, entraver la découverte et nous éloigner de la vérité, sapant ainsi l'objectif principal de la recherche scientifique.

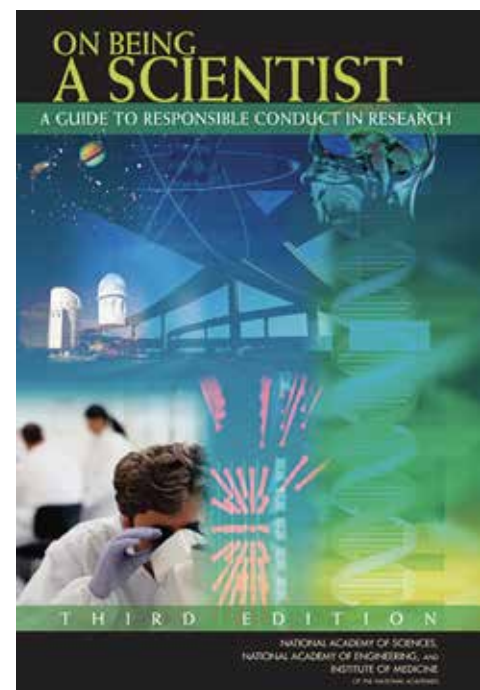
Le maintien des valeurs culturelles de la science exige un apport continu d'énergie et d'attention. De vénérables académies scientifiques y jouent un rôle clé. Ce sont notamment la Royal Society au Royaume-Uni (fondée en 1660), l'Académie nationale des sciences des États-Unis (créée par le président Abraham Lincoln) et l'Académie mondiale des sciences (une

académie des sciences basée à Trieste, en Italie, qui travaille à faire progresser la science et l'ingénierie pour une prospérité durable dans le monde en développement). Des institutions comme celles-ci renforcent les piliers de la science en éduquant les générations futures de scientifiques et en leur inculquant les valeurs et les pratiques communautaires qui sont nécessaires pour que la science reste intègre.

En décrivant clairement comment les chercheurs peuvent agir de manière responsable et éthique, et en identifiant certains pièges auxquels les scientifiques en formation peuvent être confrontés, ces institutions aident à éradiquer les mauvaises pratiques scientifiques. Prenons, par exemple, la publication *On Being a Scientist*. À l'aide d'exemples tirés d'expériences vécues, ce guide permet aux étudiants de réfléchir à des études de cas qui reflètent les dilemmes auxquels ils peuvent être confrontés dans leur propre carrière et les expose à des sujets qui sont essentiels au maintien des normes et des pratiques de la profession scientifique.

Mais il ne suffit pas de lire des rapports exhaustifs et détaillés sur l'intégrité scientifique. Les élèves et les étudiants apprennent à faire de la bonne science en suivant l'exemple de leurs encadrants et mentors. Comme l'écrit le bioéthicien Paul Root Wolpe : « Se comporter de manière éthique est la principale façon dont les mentors transfèrent les normes éthiques de leur profession à leurs élèves. Toute la formation formelle en éthique dans le monde ne peut pas contrebalancer un mentor peu éthique. » Les scientifiques chevronnés doivent donc avoir le comportement intègre qu'ils souhaitent propager.

Le maintien
des valeurs
culturelles de la
science exige
un apport
continu
d'énergie et
d'attention



Les académies des sciences éduquent les jeunes scientifiques aux bonnes pratiques scientifiques et s'efforcent de protéger la démarche scientifique. Plusieurs Académies Nationales des États-Unis ont édité ce guide, téléchargeable gratuitement, pour décrire en quoi consiste une conduite responsable dans le domaine scientifique et pour encourager les scientifiques en formation à suivre les bonnes pratiques.

Pour rester dignes de la confiance du public, les scientifiques doivent surveiller leurs propres rangs pour en éliminer ceux qui se comportent de manière contraire à l'éthique et les punir

Dans un monde idéal, aucun chercheur ne s'écarterait jamais d'une recherche vertueuse de la vérité scientifique. Hélas, les scientifiques, comme tous les professionnels, ne sont pas seulement humains, mais ils subissent une pression intense pour réussir. Ils rivalisent constamment pour obtenir la reconnaissance, les subventions de recherche et aussi pour recruter des étudiants indispensables à la poursuite de leurs travaux. Souvent, les chercheurs doivent travailler rapidement pour ne pas être distancés par leurs concurrents et pour présenter leurs résultats dans les revues les plus prestigieuses (un phénomène parfois appelé « publier ou périr »). Cette pression omniprésente risque de conduire à des raccourcis dans la démarche scientifique, qui ne sont pas toujours détectés par l'examen par les pairs. Il peut s'agir de la manipulation de données ou d'images par un membre de l'équipe de recherche qui essaie de rendre une publication plus convaincante. Dans une analyse réalisée en 2009, environ 2 % des scientifiques interrogés ont admis avoir fabriqué, falsifié ou modifié des données au moins une fois au cours de leur carrière. Comment la communauté scientifique peut-elle prévenir de telles violations éthiques? Les meilleures pratiques et la bonne conduite doivent être décrites, illustrées et mises en pratique à tous les niveaux de l'activité scientifique, des scientifiques individuels à leurs institutions et aux bailleurs de fonds. En même temps, tous les participants doivent rester prêts à identifier les allégations d'inconduite et à enquêter sur celles-ci. La technologie peut aider : il existe par exemple des logiciels qui facilitent la détection de figures manipulées ou de textes plagés.

Les transgressions, lorsqu'elles sont révélées, doivent conduire à des sanctions. Il peut s'agir de la rétractation de publications et de la correction ultérieure du dossier scientifique, de la suspension ou de la destitution des auteurs de leurs fonctions, de la suspension de leur financement, de façon temporaire ou permanente. Dans les cas où la mauvaise conduite équivaut à une violation de la loi, l'individu peut même être condamné à une peine de prison. C'est le cas du chercheur chinois qui a utilisé l'édition du génome pour modifier de manière irréversible

des embryons humains, une pratique non seulement contraire à l'éthique, mais illégale aussi bien en Chine que dans le monde entier sur la base du consensus actuel de la communauté scientifique.

En fin de compte, la responsabilité d'améliorer l'image publique de la science incombe en grande partie aux scientifiques eux-mêmes. En identifiant et en sanctionnant énergiquement ceux qui ne respectent pas les « règles du jeu », tout en soutenant et en récompensant ceux qui y adhèrent en agissant avec franchise et honnêteté, l'œuvre scientifique mondiale promeut la confiance que nous pouvons accorder à la communauté des scientifiques – et à la science qu'ils produisent.

La confiance dans la science est essentielle pour notre avenir en tant que civilisation

La science a produit un tel éventail de connaissances sur le fonctionnement de notre monde qu'elle permet non seulement à l'humanité de prévoir de probables futures catastrophes - telles que les effets du changement climatique ou une collision désastreuse avec un astéroïde lointain - mais aussi de prendre des mesures pour les prévenir. En fournissant des prédictions fiables sur de futurs événements, la science nous aide à prévenir les dangers qui nous menacent.

La science est, de plus, devenue centrale face aux nombreuses préoccupations auxquelles nous sommes actuellement confrontés, comme les pandémies ou les préoccupations éthiques soulevées par le développement de techniques de plus en plus puissantes pour modifier les gènes, y compris les nôtres et ceux de notre descendance. Nous devons être capables d'identifier quelle est la « bonne » science pour être en mesure de prendre les décisions appropriées et bien-réfléchies sur ces questions, pour nous, quand elles nous affectent personnellement, mais aussi pour protéger la santé, l'intégrité et l'avenir de la société dans son ensemble.

Avec cet essai, nous avons essayé de donner un aperçu de la démarche scientifique et de la façon dont les scientifiques, en tant que communauté, s'efforcent de découvrir le fonctionnement du monde dans lequel nous vivons. Apprécier la manière dont la pratique de la science mène à de nouvelles connaissances peut aider chacun d'entre nous à devenir plus critique envers les

publications scientifiques et un citoyen réfléchi, bien informé et plus confiant.

Principaux points à retenir

La science produit des connaissances fiables dans le cadre d'un vaste effort communautaire, guidé par un ensemble rigoureux de normes et de valeurs.

Les valeurs scientifiques fondamentales sont, en particulier, l'exigence de preuves, l'honnêteté, une saine dose de scepticisme et une ouverture à de nouvelles interprétations et des nouvelles idées.

Les normes qui soutiennent ces valeurs sont, en particulier, la publication des détails expérimentaux nécessaires pour la reproduction ou la réfutation des résultats par d'autres chercheurs, des essais contrôlés randomisés, des analyses à l'aveugle, des validations statistiques et l'examen critique par les pairs.

Une bonne explication scientifique permet de formuler des prédictions logiques et testables sur le système étudié.

La plupart des connaissances scientifiques s'améliorent progressivement, avec des affinements qui les rapprochent de plus en plus de la vérité.

L'omniprésence des réseaux sociaux a considérablement amplifié l'influence de la pseudo-science, nous exposant tous à des quantités massives de fausses informations, avec des effets parfois tragiques.

Une compréhension solide de la science en tant que démarche portée par une communauté peut permettre à chacun de discerner le vrai et de devenir un observateur extérieur compétent.

Liens vers une sélection de ressources gratuites

Science, misinformation, and the role of education: "Competent outsiders" must be able to evaluate the credibility of science-based arguments. J. Osborne and D. Pimentel J, *Science* 378: 246-248, 2022 <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abq8093>
Un bref essai proposant un nouveau rôle pour l'enseignement des Sciences.

On Being a Scientist: A Guide to Responsible Conduct in Research, The National Academies Press, 2009. <https://doi.org/10.17232/conduct>

org/10.17226/12192.

Une brochure pour les scientifiques en formation qui met l'accent sur les valeurs et les normes essentielles à l'efficacité de la communauté scientifique.

Science, Evolution, and Creationism. The National Academies Press, 2008. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/11876/science-evolution-and-creationism>.

Une brochure qui souligne que la science et la religion représentent deux façons différentes de connaître le monde, et qu'accepter les preuves de l'évolution peut être compatible avec la foi religieuse.

Nature of Science Lesson Sets. National Center for Science Education. <https://ncse.ngo/nature-science-lesson-sets>. Des ressources pédagogiques axées sur « la science comme mode de connaissance », développées avec l'aide d'enseignants de sciences en exercice.

Teaching Resources from the InterAcademy Partnership. <https://www.interacademies.org/education/teaching-resources>. Cet effort mondial met l'accent sur l'enseignement des sciences basé sur l'enquête, avec des ressources traduites en plusieurs langues.

À propos des auteurs

Bruce Alberts est titulaire émérite de la chaire de leadership en biochimie et en biophysique pour la science et l'éducation, Université de Californie, San Francisco. Il a été rédacteur en chef du magazine *Science* de 2008 à 2013 et président de l'Académie Nationale des Sciences des États-Unis de 1993 à 2005.

Karen Hopkin a obtenu son doctorat en biochimie de l'Albert Einstein College of Medicine et est rédactrice scientifique. Elle est co-auteure du manuel *Essential Cell Biology* et contributrice au podcast quotidien de *Scientific American*, *Science*, *Quickly*.

Keith Roberts a obtenu son doctorat à l'Université de Cambridge et est actuellement professeur émérite à l'Université d'East Anglia. Il est co-auteur du manuel *Molecular Biology of the Cell*.

Remerciements

Cet article, comme les articles scientifiques eux-mêmes, a fait l'objet de plusieurs cycles d'examens. Des scientifiques, éducateurs et lecteurs potentiels ont souligné des erreurs et suggéré des ajouts utiles, ce qui a aidé les auteurs à rédiger un article aussi robuste et digne de confiance que possible. Cette version de « Pourquoi faire confiance à la science ? » a été adaptée d'une fonctionnalité en ligne qui accompagne notre manuel *Essential Cell Biology* (6e édition, W.W. Norton & Company) auquel toute notre équipe d'auteurs a contribué. Pour cette version, moins centrée sur la biologie cellulaire, nous tenons à exprimer des remerciements particuliers à Sandy Johnson et Nigel Orme, qui ont fourni des contributions inestimables dès la première version. Nous sommes reconnaissants à Ula Hibner, Catherine Braun-Breton et Ariane van der Straten de l'association Jeunes Francophones et la Science pour l'édition de la traduction française.