



Pourquoi faire confiance à la science ?

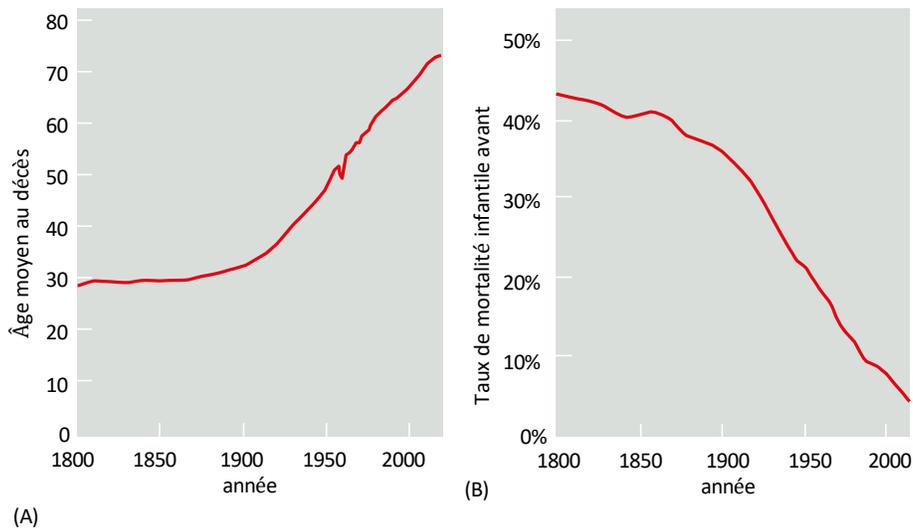
Un bref essai pour aider à faire comprendre comment la connaissance scientifique est produite, tout en suggérant une nouvelle orientation pour l'enseignement des sciences à tous les niveaux.

Les produits de la science et les efforts des scientifiques enrichissent notre vie quotidienne. Peut-être êtes-vous tombé sur cet essai en cherchant sur Internet un devoir de classe ou quelque chose d'intéressant à lire. Avant 1990, Internet n'existait même pas. Pourtant, aujourd'hui, nous l'utilisons pour tout, 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 quelques centaines d'années.

La plupart d'entre nous ne passons pas beaucoup de temps à réfléchir à ces choses, parce que nous n'avons pas vraiment à le faire. Nous sommes convaincus que les technologies travaillent. Nous sommes convaincus que lorsque nous branchons notre

téléphone, la batterie se chargera. Nous sommes convaincus que lorsque nous montons dans la voiture, le moteur convertit l'énergie chimique contenue dans l'essence ou une batterie en énergie cinétique du mouvement.



Une science solide et fiable a amélioré la santé humaine. L'espérance de vie 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'assainissement, les vaccins, les antibiotiques et les traitements contre les maladies, sont à l'origine de la plupart de ces améliorations. (Extrait de Notre monde en data.org).

Mais pourquoi faisons-nous confiance en ces technologies que, pour être honnête, la plupart d'entre nous ne peuvent même pas commencer à comprendre pleinement? Combien d'entre nous savent comment fonctionnent un téléphone, un moteur de voiture ou une batterie rechargeable ? Avez-vous déjà fini de regarder la vidéo de sécurité à bord d'un avion et vous êtes-vous demandé comment un gros porteur 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 pourrions recharger nos téléphones à la fin de la journée et que les avions ne tombent pas inexplicablement du ciel. Nous sommes convaincus que ces choses fonctionneront parce que nous pouvons faire confiance à l'ingénierie qui les a produits : les avancées technologiques qui ont été rendues possibles par des principes issus d'une observation et d'une expérimentation approfondies. En d'autres termes, nous faisons

... Les affirmations scientifiques que nous lisons sont-elles toujours exactes et vraies ?

confiance à la science sous-jacente.

Mais toute science est-elle également digne de confiance ? Beaucoup d'histoires que nous entendons aux nouvelles ou que nous rencontrons sur Internet commencent par l'expression : « une nouvelle l'étude montre... » Mais 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 fictifs, surtout lorsque nous n'avons pas l'expertise nécessaire pour analyser nous-mêmes l'expérience et les données ?

Dans cet essai, nous abordons la question de savoir pourquoi nous pouvons faire confiance à la science et comment nous pouvons identifier les affirmations scientifiques auxquelles nous pouvons faire confiance. Nous commençons par expliquer comment les scientifiques travaillent ensemble, dans le cadre d'une communauté scientifique plus large, pour générer des connaissances fiables. Nous décrivons comment le processus scientifique construit un consensus, et comment de nouvelles preuves 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 « étrangers compétents » qui sont équipés pour évaluer les affirmations scientifiques et sont capables de séparer les faits scientifiques de la science-fiction.

La science crée des connaissances grâce à un effort communautaire

Quand vous imaginez un scientifique, qu'est-ce qui vous vient à l'esprit ? Peut-être imaginez-vous un chimiste travaillant de longues heures solitaire sur une paillasse de laboratoire, un tableau blanc couvert d'équations et des béchers bouillant 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 sélectionnés.

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.



Avec l'aimable autorisation de Lizzy Mwamburi

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

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. Ceux-ci les chercheurs partagent leurs données dans des publications et débattent de leurs résultats lors de conférences. Ils rédigent des propositions de recherche qui sont examinées par leurs pairs scientifiques. Ils donnent des conférences où d'autres examinent et évaluent tout à partir de leurs méthodes jusqu'à la façon dont ils interprètent leurs résultats. Ils collaborent avec des collègues et interagissent avec des concurrents, qui font tous partie d'un vaste réseau de scientifiques basés dans des institutions du monde entier, dont beaucoup dans les pays du Sud et dans les pays en développement. Comme Ludwik Fleck, un microbiologiste polonais qui a étudié la sociologie des sciences – a dit : « Un enquêteur vraiment isolé est impossible... La pensée est une activité collective. »

En réponse à ces critiques collectives, les chercheurs élaborent des stratégies encore plus rigoureuses pour tester leurs théories et leurs concepts. Les scientifiques, qu'il s'agisse des découvreurs originaux ou de ceux qui ne font pas partie du groupe, ajustent ensuite leurs hypothèses en fonction de la meilleure façon de prendre en charge toutes les données disponibles. Si deux têtes valent mieux qu'une, en science, des centaines et peut-être même des milliers de chercheurs se réunissent souvent pour réfléchir à un problème et tester expérimentalement – et retester – la solution 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, 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 devrions valoriser 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 nos vols 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

Lorsque nous apprenons pour la première fois « 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 sorte d'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, les hypothèses sont des propositions qui sont formulées pour être réfutées. 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 modèles initiaux peuvent nécessiter 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 irreproductibles et les interprétations incorrectes. Parce que la science progresse grâce à une vérification rigoureuse des hypothèses au niveau communautaire, elle corrige ses propres erreurs. Un système rigoureux de freins et 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.

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

Une saine application du scepticisme permet à la science de progresser. Mais il ne le fait que parce que, en tant que communauté, les scientifiques partagent un ensemble similaire de valeurs. Dans son livre *Science* Jacob Bronowski, physicien et philosophe, a noté : « La science confronte le travail d'un [chercheur] à celui d'un autre et greffés chacun sur chacun ; Il 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. »



Avec l'aimable autorisation de Ashrafi Hossain

Les pratiques partagées augmentent la précision des résultats scientifiques

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

Les valeurs partagées ne suffisent pas à elles seules à rendre la science autocorrectrice. Au fil du temps, la communauté scientifique a développé un ensemble de pratiques critiques qui facilitent la vérification constante des connaissances nécessaires au progrès de la science. Ces pratiques permettent aux chercheurs de « vérifier leur travail » en identifiant les problèmes potentiels dans leurs théories et expériences, ce qui leur permet de poursuivre les corrections nécessaires.

1. **Réplication indépendante.** Lorsque les chercheurs publient leurs travaux, ils fournissent des descriptions complètes des procédures expérimentales qu'ils ont suivies. De nombreuses 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 le côté de la bouteille ! 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 facilement corroborer ou compléter les résultats des autres, ou identifier un problème avec l'étude originale.

2. **Essais contrôlés randomisés.** Pour déterminer si un 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 le fait pas. Pour s'assurer que ces deux groupes ne diffèrent pas par des (par exemple, l'une contenant des personnes qui ont toutes des décennies de plus que l'autre), ces études répartissent au hasard les participants dans chaque groupe : certains pour recevoir le traitement expérimental et d'autres pour recevoir soit le traitement conventionnel actuel, soit un placebo – une substance inactive ou un traitement fictif (ou « factice »). Ces essais contrôlés randomisés représentent l'approche de référence pour déterminer, avec certitude, si 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 (délibérément ou non) de manière sélective les données qui soutiennent leurs hypothèses ? Pour éviter qu'un tel biais ne s'infilte, 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, ce qui fait en 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 bons scientifiques conçoivent leurs expériences avec tous les contrôles appropriés, des échantillons répétés et une taille d'échantillon totale suffisamment grande pour leur assurer que leurs résultats sont significatifs et ne sont pas simplement dus à la chance.

5. **Évaluation par les pairs.** Tout ce que font les scientifiques est soumis à l'examen de leurs collègues. Avant même de commencer leurs recherches, les chercheurs soumettent généralement des demandes de financement pour payer leurs expériences,

expliquant ce qu'ils ont l'intention de faire et comment ils ont l'intention de le faire. 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 sont évalués de la même manière avant d'être publiés dans des revues à comité de lecture. Dans ce processus, les scientifiques ayant l'expertise requise (dont l'identité n'est généralement pas révélée aux auteurs de l'étude) donnent leur avis sur l'article avant qu'il ne soit accepté pour publication. Enfin, une fois les articles de recherche publiés, toutes les informations

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

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 analyses à un examen critique, les scientifiques facilitent l'échange d'idées, remettre en question les hypothèses et les 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 communautaires permettent au domaine de progresser vers une compréhension toujours plus grande.

Seules les affirmations qui ont passé le test rigoureux de l'expérimentation et de la critique à l'échelle de la communauté sont acceptées comme provisoirement valides, nous amenant ainsi vers un consensus fiable et dans lequel nous pouvons avoir confiance. Comme le dit la scientifique et historienne Naomi Oreskes dans son livre *Why Trust Science* : « ... La base de notre confiance n'est pas dans les scientifiques – en tant qu'individus sages ou intègres – mais dans la science en tant que processus social qui examine rigoureusement les affirmations.

La science est un système de compréhension du monde qui génère des prédictions vérifiables

La science ne progresse pas en se contentant de confirmer la même information, dans les mêmes circonstances, encore et encore. La beauté de l'entreprise scientifique est qu'elle utilise des observations et des expériences passées pour prédire comment le système se comportera à l'avenir. Pour ce faire, il produit des modèles : des cadres conceptuels sur la façon dont les choses fonctionnent. Ces modèles sont ensuite testés à plusieurs reprises par des chercheurs d'autres laboratoires, et même

d'autres domaines scientifiques, pour déterminer s'ils sont toujours vrais. De nouvelles expériences peuvent confirmer un modèle, conduire à sa modification de petites ou de grandes façons, ou inciter à son rejet et à son remplacement par un autre qui tient mieux compte de toutes les données.



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 et dans 100 ans. À la fin des années 1600, Sir Isaac Newton a mis au point ses lois du mouvement pour expliquer comment les forces physiques affectent le mouvement d'objets. Ces lois sont toujours en vigueur aujourd'hui.

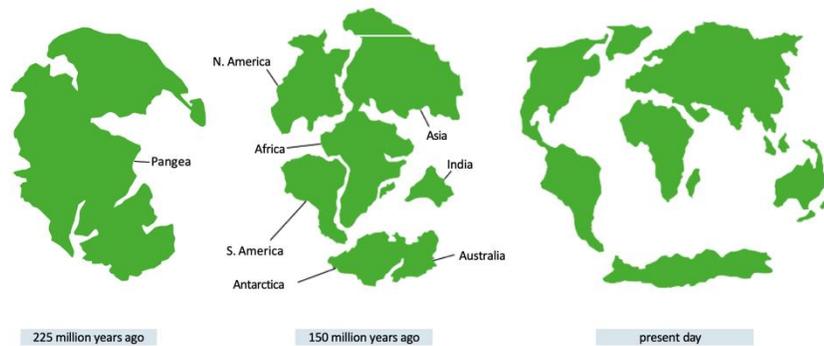
N'importe où sur la planète, nous pouvons les utiliser pour évaluer la vitesse à laquelle courir pour intercepter une passe, ou comment réussir un kickflip sur une planche à roulettes. Mais les mêmes lois s'appliquent également dans l'espace, où ils peuvent prédire, avec une précision presque étonnante, quand la prochaine éclipse solaire aura lieu, la quantité de carburant qu'une fusée doit utiliser pour aller vers Mars, ou si une explosion ciblée avec précision fournira suffisamment de force pour modifier la trajectoire d'un astéroïde qui pourrait autrement 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 clair que la science est un processus itératif et sans fin d'exploration et d'analyse dans lequel même les idées populaires sont continuellement réévalué au fur et à mesure que les scientifiques font de nouvelles observations et rassemblent de nouvelles preuves. À mesure que les méthodes disponibles pour rendre ces observations de plus en plus puissantes, elles alimentent non seulement de nouvelles découvertes, mais permettent également de revisiter des idées plus anciennes avec un regard neuf. Dans certains cas, les nouvelles preuves peuvent totalement bouleverser la façon dont nous voyons le monde.

Au début du XXe siècle, par exemple, les scientifiques avaient une poignée de théories concernant le mouvement des continents sur terre. L'un d'eux soutenait qu'ils s'étaient formés tôt dans l'histoire géologique et qu'ils étaient restés là où ils étaient apparus. Un autre a suggéré que la jeune terre s'était contractée en se refroidissant, provoquant la déformation et le pliage de sa surface comme la peau d'un raisin sec desséché. Ces rides, pensait-on, provoquaient le déplacement de la terre vers le haut ou vers le bas, formant les crêtes des chaînes de montagnes et les

profondeurs englouties des fonds océaniques.



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

Puis, au début des années 1900, un météorologue allemand, Alfred Wegener, contemplait comment, 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 a fait la proposition stupéfiante que tous les continents de la Terre se déplaçaient latéralement à sa surface et qu'ils avaient autrefois fait partie d'une seule grande masse, appelée Pangée, qui s'est progressivement séparée sur des centaines de millions d'années.

Mais des preuves solides 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 de la 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 étudier le fond de l'océan, étudiant la façon dont les matériaux magnétiques s'alignaient lors de la formation d'anciennes roches. Les données qu'ils ont recueillies ont montré que non seulement les continents se sont déplacés les uns par rapport aux autres, mais il en va de même pour d'énormes plaques de la croûte terrestre – les soi-disant « plaques tectoniques » sur lesquelles surfent tous les continents et les océans de la planète. Ce déplacement, à peu près aussi rapide que vos ongles poussent, peut maintenant être mesurée directement à l'aide du système de positionnement global (GPS). Et l'observation et l'étude continues de ce

phénomène sont essentielles : c'est le mouvement des plaques tectoniques qui donne naissance aux volcans et aux tremblements de terre.

La plupart des connaissances scientifiques se construisent progressivement vers un consensus fiable



Avec l'aimable autorisation de Tom Mumford, Univ. Washington Friday Harbor Labs

Bien que le processus de recherche scientifique conduise 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 changements des connaissances scientifiques sont beaucoup plus progressifs. Au fur et à mesure que de plus en plus d'études sont menées, la communauté s'oriente vers une compréhension plus profonde d'un problème ou d'une question, un petit pas à la fois.

Considérez l'idée que les maladies peuvent être causées par des micro-organismes. Aux 18e et 19e siècles, des médecins et des scientifiques curieux ayant accès à un microscope ont rapporté avoir détecté des germes (alors appelés animalcules ou « petits animaux ») dans les 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 spécifique. Il a commencé ses travaux sur l'anthrax, 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 bâtons ou fils. Les mêmes petits bâtons 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 découverte qu'un type particulier de microbe en forme de bâtonnet provoque l'anthrax. Cette photographie, prise au microscope par Robert Koch, a été publiée en 1877.

l'anthrax, Koch a découvert que son sang regorgeait également de bâtons suspects. Même à ce moment-là, Koch ne pouvait pas 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 microbes 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 microbe spécifique, qu'il a collecté puis cultivé en laboratoire, pouvait provoquer une maladie spécifique et mortelle.

En utilisant une approche similaire, Koch a découvert le microbe qui cause la tuberculose (TB) – un microbe distinct des petits bâtonnets qui causent l'anthrax. 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 écouvillons nasaux de personnes atteintes de la grippe, ils n'ont pas pu voir de coupable évident. Mais en 1933, des chercheurs au Royaume-Uni ont pris des « lavages de gorge » en se gargarisant par leur collègue malade et l'a fait passer à travers un filtre fin qui éliminerait les objets plus gros, y compris 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, y compris 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 propager 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 d'ADN pour les dépister rapidement à la recherche de gènes associés à 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 rapidement 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 rapidement confirmés par plusieurs laboratoires à travers le monde.

Cette compréhension a 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 d'une découverte fondamentale à un bénéfice clinique montrent que, même avec des freins et des contrepoids en place (y compris 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 la science 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, ainsi qu'à la désinformation. 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 personnes ayant un grand nombre d'abonnés en ligne, mais peu de connaissances scientifiques, peuvent publier des études douteuses ou non confirmées – ou même les fabriquer à partir de rien. 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, les fausses affirmations deviennent souvent rapidement sensationnalisées et 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, étant donné que nous ne pouvons pas être des experts dans la plupart des domaines de la science, comment pouvons-nous déterminer si une étude ou

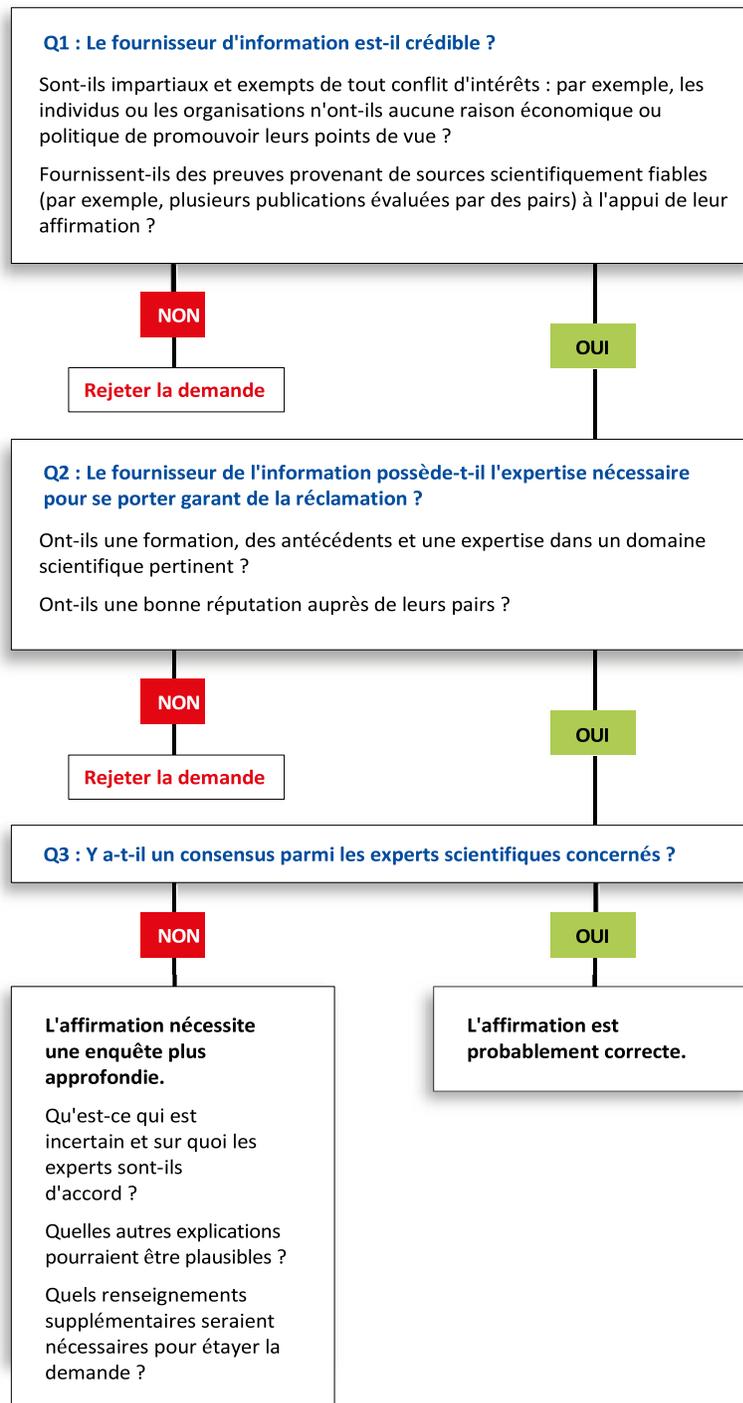
Étant donné que nous ne pouvons pas être experts dans la plupart des domaines scientifiques, comment pouvons-nous déterminer si une étude ou une histoire particulière est digne de confiance ?

une histoire particulière est digne de confiance ? Comment pouvons-nous nous immuniser contre le fait 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.

La première étape, et peut-être la plus critique, consiste à évaluer la source de la réclamation. Qui fournit ou promeut l'information ? Ont-ils des raisons économiques ou politiques de diffuser ces opinions ? Qu'est-ce qu'ils pourraient 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 lorsqu'ils s'aventurent trop loin de leurs domaines d'expertise. Il n'y a pas si longtemps, de petits groupes d'éminents physiciens insistent 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 nécessairement une garantie que quelqu'un agira de manière éthique. Les physiciens que nous venons de citer ont été fortement soutenus par le soutien financier des industries qui ont bénéficié de leurs témoignages d'« experts ». Par conséquent, 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 pour chevaux) 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 connaître leurs affirmations non étayées, qui ont ensuite été amplifiées par des influenceurs sans aucune formation scientifique ou médicale.



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).

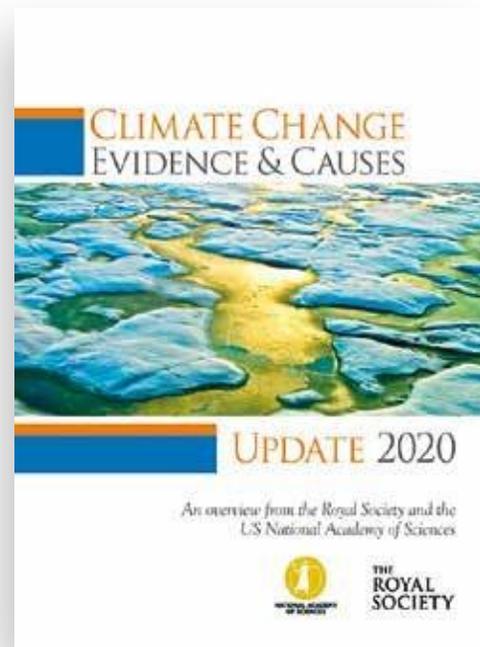
Mais que se passe-t-il si la source de l'histoire semble crédible ? À ce stade, il est temps d'évaluer s'il existe un consensus scientifique. Cela peut parfois être plus difficile à discerner. Un bon point de départ pourrait être le site Web d'une organisation

fiable, telle qu'un organe de presse respecté ou le National Academy of Sciences (aux États-Unis) ou à la Royal Society (au Royaume-Uni). Dans le cas du changement climatique, par exemple, la communauté des climatologues s'exprime avec un large consensus lorsqu'il s'agit d'il conclut que l'activité humaine contribue au réchauffement climatique.

Des allégations fausses ou exagérées sont souvent faites sur les 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 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 peuvent être méticuleusement surveillés pendant des années, voire des décennies. Mais d'énormes profits peuvent être réalisés en vendant des suppléments qui sont censés être « soutenus par la science ». Les soi-disant experts qui font la promotion de ces produits pourraient même insister sur le fait qu'ils ont été « prouvés à 100% efficaces ». Bien sûr, toute affirmation qui offre une certitude absolue doit toujours être considérée avec suspicion. Il n'est pas nécessaire d'être un expert dans n'importe quel 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 si essentielle à la science qu'Albert Einstein a dit un jour : « La plupart des gens disent que c'est l'intellect qui fait un grand scientifique. Ils ont tort : c'est le caractère. Les scientifiques se font confiance les uns les autres pour adhérer aux normes et aux pratiques que la communauté a établies pour permettre à tous chercheurs sur



Un consensus scientifique sur le changement climatique induit par l'homme. 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 ont tort : c'est le caractère.

lesquels ils peuvent s'appuyer et s'appuyer sur chacun d'entre eux les conclusions des autres. 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.

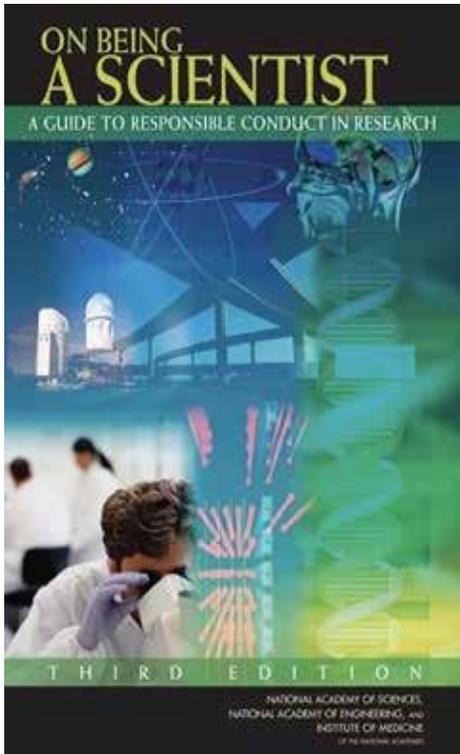
En même temps, les scientifiques ont l'obligation d'être ouverts et honnêtes avec nous tous. Une grande partie des recherches faisant autorité que nous rencontrons dans les nouvelles sont soutenues par nos impôts. Et des vies peuvent dépendre de la rigueur et de la précision des études scientifiques. 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 d'établir un système de valeurs et d'incitations encourageant vivement les chercheurs à être méticuleux dans leur méthodologie et scrupuleux lorsqu'il s'agit de partager leurs résultats. Ainsi, la communauté scientifique décourage activement diverses formes de « mauvais comportement », y compris la publication de données frauduleuses ou trompeuses et la promotion de recherches non vérifiées. Une telle inconduite peut gaspiller des ressources précieuses et un financement limité, 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. Directeur il existe de vénérables académies scientifiques, 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 mondiale des sciences basée à Trieste, en Italie, qui travaille à faire progresser la science et

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

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 saine.



Les académies scientifiques éduquent les jeunes scientifiques sur les bonnes pratiques scientifiques et s'efforcent également de protéger l'entreprise scientifique.

Les académies nationales des États-Unis ont produit ce guide, qui peut être téléchargé gratuitement, pour décrire ce que une conduite responsable dans le domaine scientifique consiste à encourager les bonnes pratiques pour les scientifiques en formation.

En décrivant clairement comment les chercheurs peuvent agir de manière responsable et éthique, et en soulignant certains des pièges auxquels les scientifiques en formation peuvent être confrontés, ces institutions encouragent la pratique de science solide et aider 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 questions qui sont essentielles au maintien des normes et des pratiques de la profession scientifique.

Mais la lecture de rapports exhaustifs et détaillés sur l'intégrité scientifique ne suffit pas. Les élèves apprennent à faire de la bonne science par l'exemple. 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 stagiaires. Toute la formation formelle en éthique dans le monde ne peut pas compenser un mentor non éthique. Les scientifiques chevronnés doivent donc pratiquer le type de comportement intègre qu'ils souhaitent propager.

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

Dans un monde idéal, aucun scientifique ne s'écarterait jamais

d'une recherche vertueuse de la vérité. Malheureusement, les scientifiques, comme tous les professionnels, ne sont pas seulement humains, mais ils sont soumis à une pression intense pour réussir. Ils doivent constamment rivaliser pour obtenir la reconnaissance, les subventions de recherche et les stagiaires dont ils ont besoin pour les aider à réaliser leurs travaux. Ils doivent souvent travailler rapidement pour ne pas être « scoopés », et ils cherchent à présenter leurs résultats dans les revues les plus lues (un phénomène parfois appelé « publier ou périr »). Cette pression omniprésente peut conduire à des raccourcis dans le processus scientifique qui ne sont pas détectés par l'examen par les pairs, tels que la manipulation de données ou d'images par un membre de l'équipe de recherche afin de créer 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.

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'entreprise scientifique, des scientifiques individuels à leurs institutions et bailleurs de fonds. En même temps, tous ces participants doivent rester prêts à identifier les allégations d'inconduite et à enquêter sur celles-ci. La technologie peut aider : les logiciels, par exemple, peuvent faciliter la détection de figures manipulées ou de textes plagiés.

Les transgressions, lorsqu'elles sont prises, doivent conduire à des sanctions formelles. 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, et de la révocation 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 génomique pour modifier de manière irréversible des embryons humains, une pratique non seulement contraire à l'éthique, mais – sur la base du consensus actuel de la communauté scientifique – illégale en Chine et dans le monde entier.

En fin de compte, la responsabilité d'améliorer l'image publique de la science incombe en grande partie aux scientifiques eux-mêmes. Uniquement en identifiant et en punissant énergiquement les « mauvais acteurs », tout en soutenant et en récompensant ceux qui jouent franc jeu et agissent avec ouverture et honnêteté, l'entreprise scientifique mondiale peut garantir que nous pouvons continuer à faire confiance 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 du monde naturel qu'elle permet non seulement à l'humanité de prévoir les catastrophes futures probables - telles que le changement climatique ou une collision catastrophique avec un astéroïde lointain - mais aussi de prendre des mesures aujourd'hui pour les prévenir. En produisant des prédictions fiables sur les événements futurs, la science rend nos vies à tous plus sûres.

Dans le même temps, la science devient de plus en plus centrale dans de nombreuses préoccupations auxquelles nous sommes actuellement confrontés, des dangers des pandémies aux préoccupations éthiques soulevées par le développement de techniques de plus en plus puissantes pour modifier les gènes, y compris les nôtres. Nous devons savoir identifier les bonnes sciences pour être en mesure de rendre intelligents, bien-des décisions raisonnées sur ces questions qui affectent nos vies personnelles - et 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 du processus scientifique et de la façon dont les scientifiques, en tant que communauté, s'efforcent de découvrir la vérité sur le monde dans lequel nous vivons. Apprécier comment la pratique de la science mène à de nouvelles connaissances peut nous aider tous à devenir des consommateurs plus critiques de contenu scientifique et des penseurs et citoyens mieux informés et plus confiants.

Principaux points à retenir

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

Les valeurs scientifiques critiques comprennent l'insistance sur les preuves, l'honnêteté, une bonne dose de scepticisme et une ouverture à de nouvelles interprétations et idées.

Les normes qui soutiennent ces valeurs comprennent la publication des détails expérimentaux nécessaires pour que d'autres puissent reproduire ou réfuter les résultats d'une personne, de manière aléatoire essais contrôlés, analyses à l'insu, validations statistiques et examen par les pairs.

Un consensus scientifique représente la meilleure approche de l'humanité à la vérité, mais il ne peut jamais être certain à 100%, car il doit être maintenu ouvert au changement basé sur de nouvelles preuves et idées.

Une bonne explication scientifique fait des prédictions logiques et vérifiables sur le système étudié.

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

L'omniprésence des médias sociaux a considérablement étendu l'influence de la fausse science, nous exposant tous à des quantités massives de désinformation aux effets tragiques.

Une solide compréhension de la science en tant que processus communautaire peut nous permettre à tous de discerner la vérité et de devenir des « étrangers compétents ».

Liens vers une sélection de ressources gratuites

La science, la désinformation et le rôle de l'éducation : des « étrangers compétents » doivent être capables d'évaluer la crédibilité des arguments scientifiques. J. Osborne et 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

Sur le fait d'être un scientifique : un guide pour une conduite responsable en recherche, The National Academies Press, 2009. <https://doi.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, évolution et créationnisme. The National Academies Press, 2008. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/11876/science-évolutionnisme-et-crétionnisme>.

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.

Ensembles de leçons sur la nature de la science. Centre national pour l'enseignement des sciences. <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.

Ressources pédagogiques du partenariat InterAcademy.
<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 de la chaire de leadership du chancelier en biochimie et en biophysique pour la science et l'éducation, émérite, 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'examen. D'autres 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 solide 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.