

# Eclairage scientifique

## Qu'est-ce que l'esprit scientifique

Cycles 2, 3, 4 et  
seconde

### Résumé

L'esprit critique est au cœur des attitudes et des compétences propres à la culture scientifique et technologique du socle commun de connaissances, de compétences et de culture, qui le définit comme « la distinction entre le prouvé, le probable ou l'incertain, la prédiction et la prévision d'un résultat, ou d'une information dans son contexte ». Ce socle appelle à développer chez les élèves « le sens de l'observation, la curiosité pour la découverte des causes des phénomènes, l'imagination raisonnée associée à l'ouverture d'esprit et la créativité ».

Ces attitudes sont en effet au cœur de la pratique des sciences, dès le plus jeune âge, ces dernières s'étant dotées au fil des siècles d'outils et de méthodes pour approcher le monde de façon rigoureuse. De ces savoir-faire, il y a beaucoup à apprendre. Pour pratiquer les sciences de façon honnête et pertinente, sans conteste, mais également bien au-delà : ces postures, nous pouvons en imprégner nos pratiques dans toutes les disciplines, et notre vie de tous les jours, pour nous forger un avis le plus juste possible sur notre monde, au quotidien.

# Éclairage scientifique

## Qu'est-ce que l'esprit scientifique ?

### Les enfants sont des scientifiques en herbe

Depuis notre naissance, **observer** nous permet de découvrir le monde autour de nous. Dotés d'une curiosité naturelle, nous sommes servis dans notre démarche de découverte de la réalité par une variété de capacités et de modalités : de l'exploration, plus ou moins raisonnée et planifiée, au tâtonnement et à l'essai-erreur, jusqu'à des formes élémentaires d'expérimentation. Spontanément, nous cherchons à relier les phénomènes que nous observons. Nous comprenons que les uns permettent d'**expliquer** les autres : nous raisonnons en termes de causes et d'effets. Dans notre vie quotidienne, nous apprenons à identifier des problèmes, à **inventer des solutions**, qu'elles soient d'ordre technique ou conceptuel.

La démarche de découverte et d'explication n'est pas une entreprise solitaire que l'enfant (et l'adulte) conduit isolé des autres individus. Bien au contraire, son entourage constitue une source



d'information et de connaissance, que l'enfant sollicite sans cesse pour répondre à ses questions.

Les membres de l'entourage représentent aussi des partenaires de discussion avec lesquels il peut échanger des **arguments**.

L'enfant est ainsi préparé à **évaluer ses sources**, d'abord par leur familiarité, puis sur la base de leur cohérence et du consensus qu'elles obtiennent par le groupe. Il fait donc confiance, mais exerce aussi sa vigilance par rapport aux arguments qui lui sont donnés.

Il exploite ensuite les connaissances obtenues pour construire ses opinions et se prépare à argumenter pour les défendre.

### Des difficultés naturelles

Pour autant, l'ensemble de ces pratiques n'est pas exempt d'erreurs. De l'enfance à l'âge adulte, nous partageons les mêmes difficultés : nos observations sont subjectives et nos intuitions peuvent être trompeuses.

Combien de fois avons-nous tiré des explications fermes à partir d'observations sommaires? Combien de fois avons-nous imaginé détenir une conclusion définitive à partir de quelques faits? Combien de fois encore avons-nous pensé posséder une preuve solidement établie, pourtant appuyée par des anecdotes uniquement?

Notre vigilance « naturelle » n'est pas suffisante pour nous protéger, enfants et adultes, des pièges du raisonnement – de celui des autres comme du nôtre. Elle n'est pas suffisante non plus pour créer un filtre toujours efficace face à l'information qui parvient à nos oreilles. Campagnes publicitaires convaincantes, arguments fallacieux séduisants... qui peut prétendre ne s'être jamais « fait avoir »? D'autant plus que, dans un monde hautement connecté où l'information circule dans toutes les directions, nos mécanismes de vigilance sont mis à rude épreuve...

Si nous partageons tous les mêmes étonnantes capacités de raisonnement et de connaissance, nous partageons donc aussi les mêmes limites.

## Bâtir sur des bases naturelles pour les dépasser

Au cours de son histoire, l'Homme s'est doté de méthodes, d'outils et d'institutions permettant de dépasser – du moins en partie – les limites de nos raisonnements et d'atteindre un degré de plus en plus important d'objectivité, de précision, de capacité à séparer le bon grain de l'ivraie: il a développé des pratiques scientifiques. Au cours des siècles, les sciences sont devenues hautement spécialisées, constituées d'un ensemble de disciplines et de professions différentes et complémentaires. Leurs outils leur sont propres, loin de notre quotidien. Leur raisonnement nous échappe souvent. Certaines des connaissances et concepts sont à la portée des experts seulement...

Ce serait pourtant une erreur de penser que les compétences de base des sciences sont réservées à une élite d'experts. Bien au contraire, c'est à la portée de chacun et dans l'intérêt de tous de les acquérir, de se forger un « esprit scientifique ». Il sera alors possible de les mettre en œuvre dans notre quotidien, favorisant un meilleur vivre-ensemble grâce à des échanges d'opinions et de connaissances plus clairs, fondés et raisonnés.

### Les sciences ont toutes quelque chose de commun

De par leur origine commune, les disciplines scientifiques fonctionnent toutes sur les mêmes principes. Même si chaque discipline possède son vocabulaire, ses outils et ses concepts, toutes reposent sur les mêmes objectifs et tentent de contourner les mêmes écueils. Le biologiste devant sa cellule et le physicien devant sa particule adoptent les mêmes attitudes et une méthodologie fondamentalement similaire pour percer les mystères des systèmes qu'ils étudient.

La pratique des sciences consiste à mettre en œuvre de façon **volontaire** nos capacités de raisonnement et à rechercher de manière méthodique des **faits** à l'appui de ce raisonnement (les faits peuvent être soit des observations, soit des résultats d'expérience, soit les deux). Ceci rend la démarche scientifique « **lente** » par rapport aux outils que l'on mobilise au quotidien. Les sciences prennent leur temps. La patience nécessaire pour mener des observations et parvenir jusqu'aux conclusions en est donc une composante fondamentale. L'exercice volontaire du raisonnement scientifique représente un réel **effort** qui – guidé par le recours à des méthodes standardisées et des instruments rigoureux – permet aux sciences de dépasser les limites de notre raisonnement quotidien et de se contraindre à s'appuyer sur les **faits**.

De plus, les scientifiques sont contraints de rendre publiques leurs analyses et de faire valider leurs conclusions **par des pairs**, en les soumettant à l'analyse d'autres scientifiques.

Il est ainsi possible de mettre en avant la méthode scientifique, quelle que soit la discipline utilisée. Ses caractéristiques l'éloignent de notre fonctionnement au quotidien mais c'est précisément en cela qu'elles nous permettent de dépasser nos limites naturelles.

## Qu'est-ce que l'esprit critique ?

### De l'esprit scientifique à l'esprit critique

Cultiver l'esprit scientifique dans la vie de tous les jours signifie acquérir des compétences et des outils qui permettent d'aiguiser et de structurer les capacités naturelles d'observation, d'explication, de tri des informations, d'argumentation et de résolution de problèmes.

Savoir appliquer ces compétences et outils au moment opportun, dans le cadre de la vie de tous les jours, à soi-même ou à des sources d'information, revient à faire preuve d'esprit critique.

### Du bon usage de l'esprit critique

L'exercice de l'esprit critique a pour but de nous rendre plus efficaces dans notre capacité à faire face aux défis du quotidien, et non pas de nous rendre plus « négatifs », plus enclins à nous focaliser sur les failles d'un système ou à tout critiquer ! Il s'agit au contraire de chercher à mieux comprendre notre monde, à éviter de nous précipiter vers des conclusions hâtives ou de rester enfermés dans nos opinions : somme toute, il s'agit de chercher à agir avec discernement.

La capacité à exercer son esprit critique est d'autant plus souhaitable que les nouvelles générations sont confrontées à une profusion d'informations, souvent en lien avec des enjeux relatifs aux sciences, et doivent les démêler pour asseoir leurs décisions. Que faire face à ce déluge de données ? L'esprit critique est une boussole nous permettant de les utiliser à bon escient, et il peut se nourrir de la compréhension du raisonnement scientifique, de la façon dont les sciences établissent et affinent les connaissances.



### De l'esprit critique au vivre ensemble et au vivre en société

Le passage irréfléchi à l'action a des conséquences importantes non seulement envers notre environnement physique, mais aussi social. Fonder ses relations sur le respect des arguments, des faits, permet de ne pas céder aux stéréotypes, aux catégorisations hâtives, aux sentiments d'appartenance exclusive et donc à l'exclusion.

### De l'esprit critique à la formation citoyenne

Agir, prendre des décisions, se forger des opinions éclairées... les enjeux sont majeurs et nécessitent plus que jamais l'encouragement de l'esprit critique. Ainsi, se familiariser avec les méthodes des sciences

prépare les élèves à devenir les citoyens de demain : en leur permettant de comprendre ses spécificités et ses apports, notamment face aux grands défis du développement durable et du vivre-ensemble. Néanmoins, ceci n'implique pas qu'à elles seules, les sciences puissent dicter la totalité de nos conduites : des jugements éthiques, par exemple, vont également inspirer nos actions.

## De l'esprit scientifique à l'esprit critique, au fil de 5 blocs thématiques

### OBSERVER

A la base de toute compréhension se place l'observation. C'est un processus actif, motivé par la curiosité et lui-même moteur de notre volonté d'explorer le monde.

#### Une tendance naturelle à l'observation

Dans la vie de tous les jours nous observons le monde à l'aide de nos sens. Les observations ainsi collectées servent de base à nos raisonnements et connaissances. Elles sont continuellement renouvelées et nous permettent de mettre à jour nos idées. Leur fonction est de guider nos actions dans un monde complexe et changeant.



Lorsque l'on observe quelque chose, on ne se limite que rarement à « voir », c'est-à-dire à constater les formes, couleurs, etc. des objets. En l'espace de quelques millisecondes, et sans que nous nous en rendions compte, notre cerveau analyse les informations fournies par les sens et en donne une interprétation cohérente : il intègre différentes sources d'information, fait des suppositions sur leur origine, résout plusieurs problèmes, comme calibrer les informations provenant de chacun des deux yeux.

Si cette image ne nous laisse pas indifférents, c'est parce que notre cerveau propose en permanence des interprétations pour les informations qu'il reçoit ! Peu de traits sur une page sont suffisants pour « voir un visage » et même pour lui prêter des émotions, des intentions...



Devant une fleur, nous ne nous contentons pas de détecter un objet rond et jaune, entouré de nombreux autres de forme oblongue et de couleur blanche. Si on nous demande alors ce que l'on voit, nous répondons spontanément : « une fleur ! ».

En se réveillant au matin, on pourra constater que le terrain en face de notre fenêtre est mouillé, que des gouttes d'eau coulent de la gouttière. Maintenant le soleil brille. Nous n'observons donc pas directement la pluie mais nos observations combinées ensemble nous mènent à interpréter ce que nous voyons : il a plu cette nuit. Nous avons utilisé nos observations pour en faire une inférence, pour aller au-delà de ce que nous pouvons directement observer.

Assez spontanément, nous identifions des régularités dans notre environnement. Très vite nous en retirons des connaissances : identification d'objets ou de situation, interprétations... A partir des seuls éléments observables dont nous disposons, nous pouvons donc retracer, de façon plus ou moins certaine, des événements du passé, ou anticiper des événements à venir.

### De l'observation aux inférences : dans la peau de Sherlock Holmes

*Sherlock Holmes est passé chez nous l'autre soir. Il a remarqué que nous avons des bonbons dans l'entrée, du chocolat dans la cuisine, des gâteaux dans le salon. Comme d'habitude, après avoir attentivement observé son entourage, il en a tiré une inférence. Il s'est exclamé : « Vous êtes des gourmands, mes chers amis ! »*

Une inférence est un processus qui mène à une conclusion, à une interprétation ou à une explication des faits observés. Il existe deux types fondamentaux d'inférence : les **inductions** et les **déductions**. Les **inférences inductives** partent de faits observés pour en tirer des conclusions d'ordre général, des règles ou des lois qui s'appliquent à d'autres cas semblables. Les **inférences déductives** partent de connaissances préalables, de règles générales, et les appliquent pour interpréter les données observées. La technique utilisée par Sherlock Holmes est donc l'induction, et non la déduction, comme beaucoup le pensent.

L'induction est considérée comme une pierre angulaire des sciences, mais celle-ci ne peut pas s'y limiter, pas plus que nous ne devrions le faire dans nos observations quotidiennes. La méthode scientifique pousse les chercheurs à orienter leurs observations par rapport à leur problématique, à sélectionner les observations pertinentes, à identifier les interprétations plus correctes. Dans ce processus, ils mobilisent des connaissances préalables voire des théories. En sciences comme dans l'observation quotidienne, donc, l'induction s'accompagne toujours de la déduction ! Élémentaire !

### Les limites de l'observation naturelle

L'observation naturelle est cependant limitée. Les caractéristiques de nos organes sensoriels conditionnent ce que nous pouvons capter. Dans le cas de la perception visuelle, par exemple, nos yeux ne sont pas sensibles à la gamme complète des longueurs d'onde présentes dans un faisceau lumineux, mais seulement à une toute petite partie d'entre elles.

Les interprétations que notre cerveau donne des stimuli véhiculés par les organes de sens peuvent diverger de la réalité physique. La perception ne se limitant pas à enregistrer des états du monde, des illusions peuvent s'y insérer.

Cette divergence entre réalité et observation n'est pas nécessairement problématique, et nos sens nous servent généralement bien dans la vie de tous les jours. L'observation naturelle reste cependant insuffisante pour permettre d'appréhender la réalité de manière objective et peut nous induire en erreur dans nos choix et décisions du quotidien.

### Quand la réalité et la perception n'arrivent pas à se mettre d'accord

Sur l'image ci-contre, les deux cercles jaunes ont la même taille (la même propriété physique) mais nous percevons l'un plus grand que l'autre ?? (propriétés perceptives sont différentes). Nous sommes face à une illusion perceptive. Les illusions sont des phénomènes dont nous sommes tous « victimes », car ils ne dépendent pas du mauvais



fonctionnement de nos organes de sens (comme c'est le cas pour les erreurs de perception à distance dues à la myopie par exemple). Dans l'illusion présentée ici, tout le monde a tendance à voir un cercle comme étant plus grand que l'autre ! Les illusions sont aussi « résistantes » à la connaissance ; elles fonctionnent même si on sait que ce sont des illusions. Ces caractéristiques font des illusions des phénomènes surprenants mais utiles pour les scientifiques, qui les voient comme des fenêtres ouvertes sur notre cerveau, révélatrices de son fonctionnement.

### ***Observations non méthodiques***

En plus de ces imprécisions ou erreurs induites par nos « outils naturels » d'observation, nous avons rarement recours à des stratégies d'observation méthodiques et rigoureuses. Nos observations sont le plus souvent « improvisées » et peu structurées : nous ne nous donnons pas la peine d'être attentifs aux détails des objets ou de notre environnement. Nous pouvons – par ailleurs – manquer du vocabulaire nécessaire pour communiquer ces mêmes détails. Enfin, il est difficile de distinguer ce que nous avons réellement « vu » de ce que nous avons pu interpréter.

En prenant conscience de ceci, nous pouvons préparer nos observations, focaliser notre attention et bien définir ce que nous souhaitons observer. Malgré tout, la plupart du temps, nos observations ne seront pas répétées, ni stratégiquement confrontées avec celles menées dans d'autres situations. En somme : nos observations du quotidien ne sont pas naturellement « expertes ».

Si on nous demandait de dire ce qui se trouve autour de nous en ce moment, ou quelle est la couleur de la cravate de l'homme que nous venons de croiser dans le couloir, nous aurions du mal à fournir une description détaillée. L'attention est nécessaire pour percevoir, mais souvent nous ne prêtons pas assez d'attention aux détails, et en tout cas nous ne pourrions pas prêter attention, en une seule fois, à tous les détails...

## **L'observation scientifique est une forme experte d'observation**

Rien n'est plus omniprésent – en sciences – que l'observation. Les sciences ont fait de l'observation naturelle une activité rigoureuse et l'ont déclinée sous plusieurs modalités : en laboratoire ou en milieu naturel, avec ou sans expérimentation...

Quand le scientifique mène des observations, il ne se limite pas à enregistrer l'un ou l'autre des aspects du monde qui l'entoure. Il éduque en même temps ses sens, en étend les capacités grâce à une pratique rigoureuse, aiguise ses capacités de tri et d'identification, décrit ses observations de façon détaillée, adopte un langage précis et non ambigu : il transforme une capacité naturelle en une expertise technique hautement développée.

### ***Adopter une méthodologie rigoureuse***

Le passage des observations aux inférences, en sciences, s'accompagne d'une méthodologie rigoureuse. Premièrement, les scientifiques veillent à séparer ces deux étapes intellectuelles : dans un cahier de laboratoire, par exemple, le scientifique consigne ses observations séparément de ses interprétations. Deuxièmement, avant de fournir une interprétation, les scientifiques s'efforcent de répéter plusieurs fois la même observation, voire de mener des observations complémentaires pour s'assurer de la fiabilité des données.

## Outiller l'observation

Fréquemment, les scientifiques étudient des objets et des phénomènes qui ne peuvent pas être observés directement, des objets « invisibles ». C'est le cas des objets trop petits (les quarks), trop anciens (les premières formes de vie ou les premiers instants de l'univers), trop lointains (certaines planètes ou étoiles) ou encore immatériels (les rumeurs, les croyances, les idées)... Les scientifiques se sont dotés d'instruments qui permettent de dépasser les limites de nos sens et aussi de notre raisonnement : certains outils d'observation élargissent les limites du visible (microscopes, télescopes...); d'autres outils nous permettent d'accéder à des mesures quantifiées (thermomètres, pH-mètres, baromètres, etc...); d'autres encore nous permettent de classer les observations qui s'accumulent de façon confuse et ainsi de repérer plus facilement des structures (grilles, graphiques, cartes)... Ainsi, chaque observation méthodique ouvre à la possibilité d'une découverte.



### Qu'est-ce qu'observer en sciences ? Regardez bien la Lune...

1609 : Galileo Galilei construit sa première lunette pour observer le ciel. La pointant sur la Lune, il décrit avec précision les « mers » et les « vallées » déjà révélées par l'observation à l'œil nu, ainsi que d'autres, plus petites, que seul le télescope permet d'observer en détail.

Il observe notamment que ces irrégularités de la surface lunaire changent d'aspect avec les phases de la Lune, donc en raison de la hauteur du Soleil sur l'horizon. Sur la base de ses connaissances, sur la lumière et les ombres, il déduit que la Lune a – comme la Terre – des cratères et des reliefs, et que les zones sombres de sa surface ne sont que des ombres projetées par ceux-ci. La Lune n'est pas lisse : elle est rugueuse, inégale, pleine de cavités et de reliefs, comme la Terre.

La conception aristotélicienne, qui voulait des corps célestes parfaits, des sphères sans aspérités, vient se heurter à l'observation augmentée par l'instrumentation et le raisonnement... Et Galileo ne s'arrête pas là. Grâce à sa lunette et à de plus puissants télescopes, il observe Jupiter, ses satellites (qui ne s'appellent pas encore ainsi), le Soleil, avec ses taches, et il apporte des preuves d'observation à l'une des théories les plus contre-intuitives des sciences : la théorie héliocentrique, selon laquelle la Terre tourne autour du Soleil, contrairement à ce que nos yeux nous disent tous les jours.

En observant Vénus, il s'aperçoit que celle-ci a des phases en tout point pareilles à celles de la Lune, y compris une phase pendant laquelle Vénus offre toute sa face éclairée à la Terre. Or cette observation n'est pas compatible avec le modèle dominant à l'époque, celui de Ptolémée, selon lequel Vénus est en orbite autour du Soleil. En revanche, elle est compatible avec le modèle de Copernic, selon lequel Vénus orbite autour du Soleil.

Si ces éléments n'apportent pas encore une preuve irréfutable de la justesse du système copernicien, Galileo a contribué à son succès grâce à des observations rigoureuses, minutieuses, instrumentées. Ainsi fonctionnent aujourd'hui les sciences, en privilégiant par rapport à toute observation singulière, la multiplication des observations et la convergence des preuves dans un ensemble cohérent.

## Des nombres, de la géométrie et des mesures

Galilée, à la suite de ses observations sur la chute des corps et les oscillations d'un pendule, affirma : « *Ce livre de l'Univers est écrit en langue mathématique.* » Quel est donc ce langage ? Observer le monde conduit à comparer divers résultats, puis bien vite à vouloir les mettre en ordre. Ainsi, la régularité constatée de la durée qui sépare deux pleines Lunes aboutit à la création d'un calendrier fiable. Seule la mesure permet une comparaison solide des observations, et la confrontation quantitative entre différents observateurs permet de se convaincre de la véracité de leurs affirmations, et d'approcher ainsi cette objectivité qui est le propre des sciences.

L'un des langages mathématiques élémentaires est celui des nombres, c'est-à-dire celui de l'arithmétique puis de l'algèbre : par exemple ces nombres qui, à l'occasion d'une mesure, expriment une durée, une longueur, une masse, une vitesse, autrement dit une grandeur physique. Il devient alors intéressant de rechercher des relations entre ces mesures : ainsi une vitesse ( $v$ ) est le résultat d'une longueur ( $L$ ) parcourue en une certaine durée ( $t$ ). Ceci peut se dire en langue courante, mais il est plus économique de l'exprimer par une formule symbolique, ici très simple, soit  $v = L / t$ . Notons au passage que, pour



entrer dans ce langage symbolique des grandeurs mesurables, il est nécessaire de disposer d'unités de mesure – ici le m/s, le mètre et la seconde. Ces unités sont fabriquées par l'être humain, et nous pourrions aussi bien, au prix d'une légère complication de la formule, utiliser ici le nœud, la minute-lumière et le siècle. Derrière ces formules, exprimées en langue mathématique – les plus élaborées deviennent presque impossibles à exprimer par des phrases écrites en langue courante – se disent les lois du monde, celles que nous connaissons déjà et celles qui demeurent à découvrir.

Un second langage élémentaire des mathématiques est celui des formes, c'est-à-dire celui de la géométrie, qui permet de décrire l'espace ainsi que les formes qu'il contient. L'observation de la trajectoire d'une balle, de la forme d'un cristal, du parcours d'un rayon lumineux conduit à les représenter par des objets abstraits de la géométrie : droite, parabole, sphère, rhomboèdre. Grâce à cette abstraction géométrique

du monde, il devient possible d'effectuer des mesures et de les comparer : le cadran solaire permit à Eratosthène de conclure à la sphéricité de la Terre et d'en mesurer le périmètre.

Les nombres entiers et les objets de la géométrie élémentaire sont des abstractions construites sur l'expérience sensible : compter sur ses doigts, trouver le plus court chemin d'un point à un autre par exemple. Toutefois, les mathématiciens construisent des abstractions extraordinairement complexes, de façon tout à fait libre et comme un jeu, indépendamment du monde sensible. Et, fait étonnant, l'histoire des sciences montre que ces abstractions finissent souvent, un jour ou l'autre, par se révéler d'un grand secours pour lire le *langage de la nature*, et découvrir de nouvelles lois.

Aujourd'hui, l'avènement de l'informatique permet de manipuler en des temps très courts, d'immenses quantités de nombres ou de formes. Ce fait nouveau fait profondément évoluer le rapport des sciences aux mathématiques.

## EXPLIQUER

Pour comprendre le monde qui nous entoure, ses phénomènes et événements, observer ne suffit pas. Spontanément nous identifions des relations régulières entre ces événements, des relations de cause-effet entre phénomènes. Ces capacités sont essentielles pour s'expliquer ce qui se passe dans notre environnement, prévoir, anticiper. Mais il peut aussi nous arriver de se nous tromper...



### Une tendance naturelle à chercher des explications

Dans la vie quotidienne, nous mobilisons en permanence des relations de causalité pour évoluer dans notre environnement. Par exemple, nous avons appris à relier l'utilisation d'un interrupteur à l'éclairage d'une pièce: sans nous l'expliquer, nous exploitons notre « connaissance » du fait que la manipulation de l'interrupteur est la cause de l'illumination de la lampe. En plus de ces relations causales ordinaires, nous sommes naturellement amenés à rechercher « la cause » lorsque nous sommes confrontés à des phénomènes ou à des événements inhabituels. La panne d'un appareil nous amène naturellement à nous interroger sur ce qui l'a provoquée. Nous mobilisons alors nos connaissances et nous cherchons à mettre en relation

« Laquelle de ces séquences de lettres vous semble-t-elle la moins aléatoire ? »

1. F-P-F-P-F-P

2. F-F-F-F-P-F

3. F-P-F-P-P-P

Ces séquences sont, en réalité, toutes trois complètement aléatoires. Pourtant, nous avons tendance à « préférer » la première, parce que nous croyons y voir « de l'ordre », nous cherchons malgré nous « une raison d'être », pour un état des choses qui n'est dû qu'au hasard !

l'événement à expliquer avec d'autres faits: que s'est-il passé juste avant que l'objet ne fonctionne plus? Les événements pour lesquels nous n'avons pas d'explication nous déstabilisent, les événements indésirables nous poussent encore plus à chercher une explication satisfaisante.

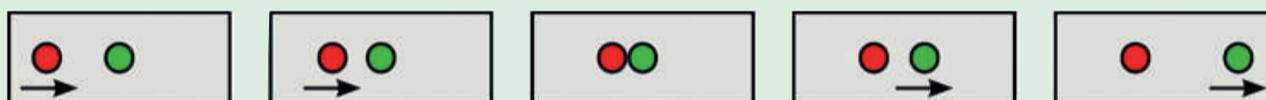


## Une « perception » de la causalité

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, le philosophe anglais David Hume propose que nous identifions les relations de cause à effet grâce à des principes simples : un événement précède toujours l'autre (ordre temporel); on ne peut pas avoir l'un sans l'autre (association); et les deux événements sont du même genre (contiguité).

Dans les années 1940, le psychologue belge Albert Michotte confirme ceci et montre que – si ces critères existent – nous pouvons même voir une causalité... là où il n'en existe pas. Il met en scène deux balles : l'une bleue, l'autre rouge. Lorsque la balle rouge s'approche de la bleue et que celle-ci se met en mouvement à la suite, la plupart des personnes invitées à décrire ce qu'ils observent tendent à percevoir une causalité : « la balle rouge a poussé la balle bleue », « la balle bleue bouge parce que la balle rouge l'a poussée ». Il s'agit d'une illusion de causalité, qui est en réalité le reflet du fait que nous possédons une forme de « perception » de la causalité, spontanée et directe.

Comme la perception d'une couleur ou d'un son, cette perception de la causalité se met en place dès la prime enfance : les bébés de moins d'un an sont déjà sensibles à des indices de causalité, comme l'ordre temporel entre deux événements ou l'action d'un objet sur un autre.



## Les limites de la recherche naturelle d'explications

Les capacités de raisonnement causal évoluent avec l'âge... mais ce fonctionnement naturel a des limites qu'il n'est pas facile de dépasser. Identifier clairement des relations de cause-effet dans des systèmes ou chaînes d'événements n'est pas facile. La procédure qui nous permet de discriminer les variables impliquées dans un certain effet observé est coûteuse, peu naturelle, et nous la mettons rarement en pratique dans notre quotidien. Face à des situations complexes, nous pouvons ainsi être tentés de réduire un phénomène complexe à une seule cause évidente.

Mais comment identifions-nous cette cause ? Souvent, nous repérons des relations de causalité par le fait que deux phénomènes arrivent en léger décalé (à chaque fois que je tourne l'interrupteur, l'ampoule s'allume) ou que deux paramètres varient ensemble. Cependant, conclure à l'existence d'une relation de causalité à partir d'indices temporels ou d'une corrélation peut être trompeur.

Nous pouvons aussi confondre la recherche de la cause d'un événement et sa « raison d'être ». Cette difficulté est par exemple particulièrement aiguë lorsqu'il s'agit d'expliquer en termes de mécanismes physiques ou chimiques les causes d'un comportement ou d'un trait propre à un organisme vivant.

Dans ces cas, nous avons plutôt tendance à adopter une vision finaliste : tel organe « sert à » quelque chose, par exemple, ou « on le possède pour tel but ». Le langage courant rend cette distinction d'autant plus confuse que cause et raison peuvent toutes deux être introduites par un « parce que ».

Si nous observons une rue, un jour de pluie, nous nous apercevons que nous rencontrons plus de personnes portant un parapluie qu'un jour de soleil... mais aussi qu'il y a plus de personnes qui portent des bottes de pluie. Il n'y a pourtant pas de lien causal entre le fait de porter des bottes et celui de prendre son parapluie !

## **Paul le poulpe a-t-il des pouvoirs extraordinaires? – ou pourquoi il est important de ne pas se laisser tromper par de fausses impressions...**

La confusion entre corrélation et causalité est très répandue, chez les enfants comme chez les adultes. Elle a des conséquences sur nos choix et décisions, donc sur notre vie de tous les jours.

Par exemple : certains produits ou pratiques (un régime par exemple) peuvent être annoncés comme bénéfiques pour la santé car les personnes qui les adoptent sont en meilleure santé. Mais a-t-on bien pris le temps de vérifier que ces personnes ne sont pas – par exemple – plus riches (si le régime est coûteux), et donc plus à même de se soigner ou de pratiquer du sport ? Des causes cachées pourraient ainsi nous tromper sur la cause réelle...

La confusion entre corrélation et causalité est aussi à l'origine de superstitions et de croyances en des phénomènes extraordinaires. A l'occasion de la Coupe du monde 2010 de football, « Paul le poulpe » a été traité comme un oracle, car il a su prédire correctement tous les résultats des matchs sur lesquels il a été « interrogé ». Possédait-il des pouvoirs extraordinaires ? Outre le fait que ce genre de « prédiction » ne se déroule pas dans des conditions propres à l'expérimentation, on ignore combien de poulpes et d'autres animaux, dans le monde entier, ont été soumis aux mêmes épreuves,



sans obtenir ce résultat. Paul a réussi, certes, mais il fait en réalité partie d'un échantillon beaucoup plus large, où certains animaux – par chance – réussissent, et d'autres (sans doute beaucoup plus nombreux) ne réussissent pas. Comme ce ne sont que ceux qui réussissent (Paul, dans ce cas) qui font la une des journaux, nous pouvons nous faire tromper par l'illusion et conclure que Paul a des pouvoirs magiques, alors que son succès n'est dû qu'au hasard.

## **L'explication scientifique se base sur l'utilisation de critères**

Identifier correctement les causes d'un phénomène est d'une grande importance, non seulement théorique ou explicative, mais également pratique : par exemple lorsque l'on veut décider de façon rationnelle une stratégie à suivre (on veut prédire les conséquences des différentes stratégies et choisir la meilleure) ou lorsqu'on cherche à limiter des facteurs de risque (à connaître les causes du danger pour les supprimer).



### ***Avoir recours à des critères***

Les scientifiques se sont ainsi efforcés de définir des critères permettant d'identifier une relation comme étant de cause-effet. Pour dépasser les limites précédemment évoquées, ils se contraignent : à multiplier les observations permettant de renforcer le constat de corrélation et de caractériser cette corrélation ; à mener des expérimentations contrôlées permettant de manipuler l'une des variables dans la situation observée et donc d'établir que le comportement de la variable modifie l'effet observé ; à identifier un

mécanisme permettant de rendre compte du lien entre la variable et l'effet, donc de préciser le lien causal de façon de plus en plus précise et non ambiguë.

### **La preuve empirique**

Généralement, on considère la preuve empirique (obtenue par le recours à des expériences contrôlées ou à des observations rigoureuses) comme étant la plus à même de prouver l'existence d'un lien causal entre deux événements. On peut soumettre une hypothèse à un test expérimental parce qu'une hypothèse implique des conséquences observables, ou permet de faire des prévisions. Si celles-ci se réalisent, alors on considère avoir un argument en faveur de l'hypothèse. Si elles ne se réalisent pas alors on a des raisons de penser que l'hypothèse est fausse.



On entend souvent que – en sciences – on ne peut que réfuter des hypothèses et pas les prouver.

Dans le cas suivant, il semble effectivement possible d'invalider l'hypothèse mais pas de la prouver positivement: « *Nous pensons que tous les cygnes sont blancs. Tant que nous voyons des cygnes blancs nous ne pouvons pas être sûrs qu'il n'existe pas, quelque part, un cygne noir.*

*Nos observations devraient couvrir tous les cygnes de la Terre. Mais dès que le cygne noir se présente, nous sommes sûrs que notre première idée était fausse ».*

En réalité et dans la pratique, les choses sont plus complexes. Les scientifiques prennent toujours en considération plusieurs facteurs avant d'accepter ou de réfuter une hypothèse. Ils valorisent l'accumulation des preuves, ainsi que la cohérence et la convergence entre théories et hypothèses.

### **Expliquer un phénomène inaccessible à la « manipulation » directe**

En sciences, il n'est pas toujours possible de manipuler directement les phénomènes qu'on étudie. Les scientifiques peuvent alors avoir recours à des modèles.

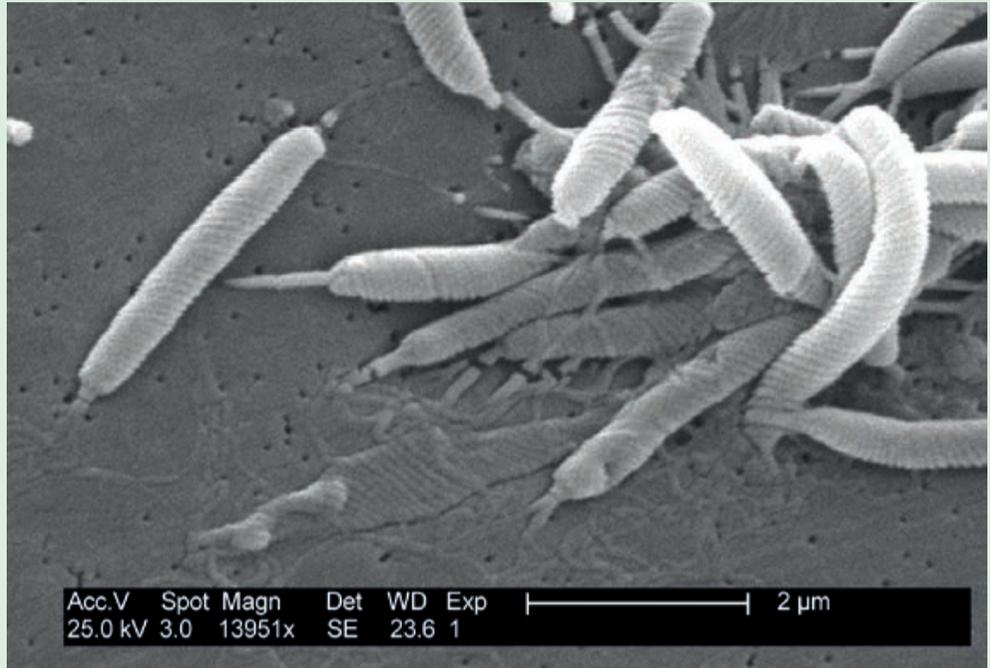
Le mot « modèle » est ambigu. On l'utilise aussi bien pour désigner une théorie (par exemple le modèle standard en physique des particules, ou le modèle cosmologique) que pour décrire un outil permettant de mettre à l'épreuve des hypothèses, quand l'observation directe est difficile voire impossible. Un modèle est alors une simulation (physique, numérique, mathématique) d'une situation ou d'un aspect du monde. Le modèle peut être modifié à notre guise, et ses réactions confrontées à ce qui est connu de la réalité. Les modèles permettent ainsi de tester des explications et des prédictions impossibles ou difficiles à mettre directement à l'épreuve de la réalité.

#### **Qu'est-ce qu'expliquer en sciences ? Aller au-delà des apparences.**

C'est grâce à ce genre de procédure que – en 2005 – Barry Marshall et Robin Warren, deux médecins australiens, obtiennent le prix Nobel pour avoir montré qu'une bactérie (*Helicobacter pylori*) est la principale cause des ulcères gastriques. Ils ont remarqué que, dans la moitié des biopsies de patients souffrant de ces maladies, la bactérie est présente dans la partie inférieure de l'estomac et que – autour de la bactérie – on peut remarquer la présence d'une inflammation des tissus. Bientôt, ils réussissent à cultiver la bactérie et à observer sa présence chez la plupart des patients souffrant d'ulcères: ils ont constaté une corrélation!

Ils proposent alors que la bactérie joue un rôle causal dans l'étiologie de ces maladies, mais se heurtent à un dogme médical: celui selon lequel l'acidité et le stress seraient à l'origine de la maladie,

alors même que les médicaments censés lutter contre acidité et stress ne se révèlent pas efficaces sur le long terme (on sait maintenant que c'est dû au fait que les bactéries ne sont pas éliminées). Marshall décide alors de tester la théorie de Warren sur son propre estomac : il se prête à des biopsies pour s'assurer que son estomac est sain, puis ingurgite une culture d'*Helicobacter pylori*. Les symptômes de la gastrite apparaissent bientôt et – avec des antibiotiques – ils disparaissent avant que l'ulcère se déclare. Pendant plus de dix ans, Marshall et Warren se sont heurtés à l'existence d'une ou plusieurs théories établies et les ont défiées en produisant, année après année, de nouvelles études expérimentales. En parallèle, ils se sont appuyés sur les recherches d'autres chercheurs, afin de prouver l'existence d'une relation entre la bactérie et la maladie, et ainsi identifier un mécanisme causal plausible et exclure d'autres causes.



Après avoir testé leur hypothèse sur l'Homme (« un » homme), ils l'ont répliquée sur de larges échantillons selon les règles en vigueur pour les tests médicaux, fondés sur la preuve : le test en double aveugle avec randomisation ; puis l'ont vue répliquer par d'autres laboratoires autour du monde.

Ces deux chercheurs ont eu une idée suffisamment originale pour s'opposer à la théorie alors en vigueur, l'ont considérée comme plus plausible et l'ont défendue mais – *in fine* – l'ont soumise à des méthodes expérimentales rigoureuses, les seules permettant de prouver l'existence d'un lien causal. Au bout de cette longue chaîne de preuves, et de la construction de leur théorie, fut le Prix Nobel.

## ÉVALUER

La construction de connaissances par l'observation et l'explication est un processus coûteux et souvent complexe, mettant en jeu un grand nombre de personnes. Notre compréhension du monde repose donc sur le partage de connaissances et d'informations, dans la mesure où l'on dispose de moyens pour évaluer la qualité et la fiabilité des sources d'information.

### Des capacités naturelles de vigilance face aux sources d'information

La compréhension de notre environnement, complexe, ne pourrait se faire uniquement au travers de nos propres observations ou expériences. Au contraire, les informations que nous obtenons par l'apprentissage (de nos parents, de nos enseignants) ou par l'échange nous aident à comprendre plus rapidement et plus efficacement notre monde.

Parmi les informations que nous recevons, certaines sont destinées à nous apporter des connaissances, d'autres sont fictives et n'ont pas ce rôle. Un livre de médiation scientifique et un documentaire partagent

des similitudes avec un roman ou un film de science-fiction, mais leur rôle dans la construction de connaissances concernant le monde qui nous entoure n'est pas le même. Les enfants en âge scolaire savent distinguer la réalité de la fiction, et ils se réfèrent – pour cela – à des indices.

Cependant cette distinction n'est pas toujours facile à faire, et peut être volontairement brouillée par la source elle-même, comme dans les romans basés sur des faits scientifiques ou historiques, ou dans le cas des canulars. L'individu doit alors apprendre à utiliser des indices de plus en plus sophistiqués pour distinguer les différents types d'informations. Cet apprentissage est lié à l'acquisition progressive de nouvelles connaissances, de la part de l'enfant (mais aussi de l'adulte). Acquérir des connaissances factuelles sur le monde qui nous entoure aide à distinguer réalité et invention, et permet ainsi d'éviter des erreurs dans le choix des sources d'informations.

L'enfant en âge préscolaire manipule avec une certaine sophistication la distinction entre événements réels et événements fantastiques, personnages réels et personnages imaginaires : il détermine ce qui est réel ou non en attribuant certaines propriétés psychologiques, biologiques, physiques aux entités réelles, et uniquement à celles-ci. Par exemple, les organismes vivants occupent de l'espace, grandissent et ont éventuellement des pensées, mais ne peuvent pas faire des choses comme voyager instantanément à travers l'espace. L'enfant peut ainsi distinguer entre des sources d'information qui lui parlent éléments réels ou fantastiques.



### **Des stratégies de vigilance**

Le fait de dépendre des informations fournies par autrui implique que l'enfant ait la capacité d'évaluer les conseils des autres individus, notamment des adultes. Des stratégies de vigilance se développent avec l'âge et l'apprentissage : puisqu'il est difficile de distinguer les informations vraies des fausses, l'enfant se tourne spontanément vers une forme intuitive d'analyse des sources. Il privilégie très tôt des sources d'information par rapport à d'autres, il évalue leur fiabilité en se basant sur des critères qui sont à sa portée. L'enfant privilégie une source qui lui est familière (son enseignant par rapport à un autre enseignant de son école, par exemple), une source qu'il a identifiée comme compétente (un individu qu'il reconnaît comme expert, par exemple le médecin quand il a mal, le garagiste quand la voiture est en panne...), ou une information partagée par un grand nombre d'individus.

### **Les limites de la vigilance naturelle**

Nos mécanismes de vigilance sont souvent efficaces, mais ils présentent des limites évidentes et peuvent générer des stratégies inappropriées d'évaluation des sources d'information. La multiplicité de ces dernières caractérise notre société, et met nos compétences de vigilance particulièrement à l'épreuve. Autre biais dans notre vigilance naturelle : notre familiarité ou notre sentiment de compétence vis-à-vis d'un sujet peuvent engendrer en nous un excès de confiance conduisant à un biais d'évaluation

## Confiance et vigilance à l'ère d'Internet

Nous avons besoin de nous fier aux autres. Cela est d'autant plus vrai lorsque nous avons besoin d'utiliser des connaissances qu'il serait coûteux d'acquérir, ou qui ne sont pas à notre portée. Comment réparer un robinet? Nous avons le choix entre – d'un côté – utiliser notre intuition et nous lancer dans beaucoup d'essais (et d'erreurs), et – de l'autre – chercher l'aide d'une « expertise ». Ces « expertises » sont de plus en plus présentes sur la Toile (par exemple sous forme de tutoriels en vidéo concernant la réparation des robinets), avec des informations potentiellement utiles. Internet représente donc une opportunité inédite d'accès à des informations, mais cette opportunité n'est réelle que si nous sommes capables de faire confiance aux autres de façon rationnelle, sans tomber dans la crédulité.

Les deux stratégies principales à notre disposition consistent: 1) à juger l'information elle-même; et 2) à juger la source de cette information. Juger de la fiabilité d'une information sur la base de son contenu n'est pas facile, notamment lorsqu'on manque de connaissances à ce sujet. Posséder un bagage de connaissances préalables aide donc à évaluer la qualité d'une information, jusqu'à un certain point. Au-delà de ce point, nous pouvons analyser la structure de l'information fournie, la manière dont elle est présentée, et la croiser avec d'autres informations issues de sources différentes.



Une stratégie complémentaire consiste à juger la source de l'information même: l'auteur, son niveau d'expertise dans le domaine de l'information recherchée.

À l'ère d'Internet, se pose un problème relativement nouveau pour notre cerveau: pouvons-nous faire confiance à des inconnus, le plus souvent anonymes? Quelles sont les conditions, en tout cas, pour leur faire confiance? Un premier pas est donc celui d'identifier correctement la source d'une information (par exemple

par l'URL de son site Web), ce qui ne nous garantit cependant pas d'être en présence de la source la plus fiable. Certaines sources sont réputées plus fiables que d'autres, notamment dans certains domaines spécialisés de connaissance: sources universitaires, organismes nationaux ou internationaux de santé, etc.

Internet est un vaste réseau d'êtres humains en société, pas un simple lieu de stockage d'information: la bonne ou mauvaise réputation d'une source est susceptible d'être influencée par cette nature sociale. En les citant, en apposant des « Like », en fréquentant des sites et en les relayant via Twitter, Facebook et les autres réseaux sociaux, nous faisons la réputation des sources d'information.

Sur Internet, à la télévision, la source d'une information n'est que rarement fournie, rendant difficile l'évaluation des compétences des pourvoyeurs de l'information. Plus généralement, nous sommes saturés d'information, ce qui empêche notre système de vigilance d'être un filtre suffisant face au flux interrompu qui lui parvient.

des sources: nous pouvons être tentés de donner en priorité crédit aux informations et sources qui confortent notre point de vue.

Enfin, nous pouvons avoir tendance à donner plus de crédit à une information largement partagée, au détriment d'une opinion minoritaire (dans un effet de « conformisme »: « *puisque tout le monde partage une opinion, c'est donc qu'elle est vraie* »), ou céder à des biais comme ceux liés au prestige de la source (« *une célébrité de cinéma ou un prix Nobel de littérature soutient telle idée, c'est donc qu'elle doit*

être vraie»)... voire, par proximité et presque par « contagion », à toute personne proche de l'entité prestigieuse.

A ceci s'ajoutent les nombreuses formes de manipulation de l'information dont nous pouvons faire l'objet : images truquées ou simplement habilement agencées, présentées de manière suggestive ; utilisation d'idées attrayantes, présentées de manière à dépasser les limites de notre vigilance, à exploiter nos biais de raisonnement ; appels à l'autorité, etc.

### Les rumeurs se propagent

Même sans mettre en cause des formes volontaires de manipulation de l'opinion, il existe de nombreuses manières dont des idées fausses peuvent être mises et maintenues en circulation.

Les idées circulent et – ce faisant – elles se modifient, s'adaptent. Certaines idées sont plus attrayantes que d'autres pour notre cerveau, elles trompent donc plus facilement notre vigilance. C'est le cas des idées qui nous fournissent des explications simples et satisfaisantes (du moins d'un point de vue émotionnel) pour des mystères, pour des événements difficiles à comprendre ou inquiétants. Notamment, quand elles permettent de relier plusieurs éléments disparates dans un même et unique cadre (et d'éliminer ainsi le rôle du hasard).

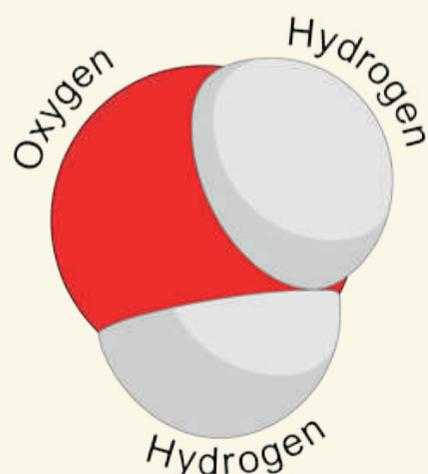
Enfin, une idée n'est pas seulement un contenu qui circule mais aussi un « objet » que nous partageons et qui nous rend semblables, pouvant ainsi devenir une part importante de l'identité d'un groupe

de personnes. Dans le cas inverse, une idée peut aussi devenir un motif d'exclusion : ceux qui n'adhèrent pas à l'idée se désolidarisent du groupe. Un groupe soudé par une idée tend donc à se renfermer sur lui-même, à renforcer progressivement cette dernière jusqu'à la rendre plus extrême, plus difficile à partager par d'autres, plus exclusive. Evaluer de façon objective l'idée devient alors de plus en plus difficile pour le groupe.

Ces ingrédients, et d'autres encore, font le succès des canulars, des théories du complot, des légendes urbaines...



### Canulars et autres formes de désinformation



Un **canular** est une « fausse nouvelle », une mystification, une blague, qui suscite la crédulité. L'origine du mot remonte aux élèves de l'ENS de la rue d'Ulm à Paris, pour indiquer une farce faite aux dépens de quelqu'un. Certains canulars sont plus neutres en termes de message, et constituent plutôt un divertissement (comme les « poissons d'avril »). Mais il existe aussi de nombreux canulars qui ont pour but d'alerter le public sur sa crédulité, et donc de le pousser à être plus vigilant par rapport aux médias et à l'information.

C'est par exemple le cas du canular « du DHMO », qui cherche à faire croire à la dangerosité d'un produit dénommé *monoxyde de dihydrogène*, qui n'est en réalité rien d'autre que... de l'eau. Ce

canular, d'abord diffusé par des journaux locaux américains à l'occasion du 1<sup>er</sup> avril puis remanié par des étudiants universitaires, a enfin été utilisé par un élève de collège de 14 ans, dans le cadre d'un projet scolaire sur l'esprit critique. Cette version fut largement diffusée sur Internet. L'auteur y joue sur le fait qu'un terme scientifique peut être ignoré par le grand public et montre que – sur la base de cette ignorance et en exploitant des peurs et des préoccupations diffusées – il est facile de monter des « contre-informations » crédibles.

De nombreux canulars « pédagogiques » exploitent cette idée du (faux) complot, de vérités cachées au grand public, dont la connaissance secrète est protégée par une puissance ou un organisme politiques.

D'autres exemples de mystification existent, et leur but n'est pas – cette fois – d'alerter sur les risques d'une désinformation. Il s'agit des **théories du complot** et des mystifications **pseudo-scientifiques**, qui propagent des affirmations erronées souvent séduisantes en apparence. Elles emploient les mêmes ressorts que les canulars, et peuvent être déconstruites en partie à l'aide des mêmes outils.

## Évaluer de façon experte, à la manière d'un scientifique

Prendre conscience des limites de notre vigilance et des pièges de notre fonctionnement cognitif est un pas nécessaire pour comprendre le besoin de bonnes stratégies de vérification de l'information. Même si elle n'est bien sûr pas la seule à en mettre en œuvre, la pratique des sciences inclut plusieurs stratégies de vérification des sources d'information.

L'historien, l'inspecteur de police, le scientifique doivent en permanence être capables d'évaluer la qualité des sources d'information dont ils disposent. Leur travail les amène à remonter à la source d'une information et à en évaluer la fiabilité. Ils ont appris à distinguer les sources d'information primaires de celles qui sont secondaires et donc moins fiables. Ils ont appris à recouper les informations recueillies, et à multiplier leurs sources. Enfin ils ont appris à connaître les mécanismes de manipulation de l'information et savent que des intérêts « privés » peuvent conduire autrui à fausser des faits.

## Les sciences : une modalité contrôlée et publique de production des connaissances

Les chercheurs de profession ont mis en place un système pour augmenter la fiabilité de leurs connaissances et les mettre à l'abri, autant que possible, de certaines tendances naturelles de notre esprit. L'application d'une méthode rigoureusement scientifique permet de garantir que les connaissances produites



sont le résultat d'un processus contrôlé, ayant fait ses preuves. La nature publique de la recherche scientifique fait qu'une connaissance scientifique est le fruit d'un effort collectif, où la tendance à confirmer ses propres idées est contrebalancée par la « compétition » des idées de différents chercheurs. La publication des résultats de recherche dans des revues spécialisées où des pairs vérifient (autant que possible) les

contenus proposés, permet de garantir le fait que l'information qui circule a été passée au crible d'experts indépendants, dans le même domaine.

### **Une confiance nécessaire et justifiée**

Il était peut-être encore possible, à l'époque de Newton, que des citoyens éclairés possèdent une vision détaillée de l'ensemble des sciences et des connaissances en vigueur. De nos jours, cette entreprise est impossible pour quiconque, la recherche scientifique ayant accumulé, au cours des siècles, une masse gigantesque de connaissances. Ces connaissances ont atteint un niveau de spécialisation tel que leur maîtrise nécessite de disposer d'outils (mathématiques, méthodologiques...) et de nombreuses connaissances annexes. L'effet quelque peu paradoxal de cette montée en puissance est que nous sommes obligés, bien souvent, de nous fier aux sciences et aux scientifiques, car on ne peut pas tout vérifier par nous-mêmes, tout le temps. Se fier aux sciences ne revient pas, cependant, à croire aveuglement en son autorité. On peut raisonnablement se fier aux sciences parce que la connaissance scientifique est le résultat d'une méthodologie. C'est cela qui fait la différence entre une confiance raisonnée et le simple attachement à une croyance.

Il en est d'ailleurs de même entre scientifiques. Lors de la publication d'un travail, de recherche, il arrive souvent qu'on le lise puis qu'on le cite sans vérifier la totalité de ce qui est affirmé. La solidité du travail dépend alors de la confiance que chacun estime pouvoir donner aux autres auteurs et aux méthodes qu'ils ont employées.

Les sciences ne sont pas à l'abri d'erreurs involontaires ou de fraudes sciemment perpétrées. Toutefois, le double mécanisme de la méthode rigoureuse et du contrôle par les pairs justifie que l'on compte principalement sur elles pour élargir notre connaissance, du monde et de nous-mêmes.

### **Les sciences face aux enjeux vitaux de la désinformation**

En 1998, le prestigieux journal de recherche médicale *The Lancet* publie un article qui soutient que les troubles autistes sont liés à la vaccination rougeole-oreillons-rubéole. Depuis, son auteur, Andrew Wakefield, a été renvoyé de l'ordre des médecins pour fraude, l'article a été rétracté par le journal et la communauté scientifique s'accorde sur le fait qu'aucun lien n'existe entre vaccination et autisme.

Cependant, une partie du grand public continue à penser que ce lien est réel, et donc à contester les campagnes de vaccination des enfants contre des maladies comme les oreillons, l'une des causes principales de mortalité des enfants dans le monde (représentant 1 34 200 morts en 2015). A l'époque, on crie au complot soutenu par les intérêts des grandes compagnies pharmaceutiques (Big Pharma) et ces dernières jouent très bien le rôle de « méchants », avec leur habitude avérée de ne pas



diffuser les résultats qui ne les arrangent pas. Andrew Wakefield défend sa position et se fait passer pour une victime. Le Premier ministre britannique de l'époque, Tony Blair, refuse de dire s'il accepte ou non de faire vacciner son fils, alimentant la confusion. Toutes ces informations sont facilement accessibles via Internet, de même que d'autres : les unes condamnant Wakefield, les autres les vaccins. Comment départager les informations vraies des fausses ? Comment identifier les sources fiables ?

Bien que nous ayons l'impression de nous trouver face à une controverse, ce n'est pas le cas. La publication de l'article de Wakefield en 1998 a suscité, bien à propos, une foule d'études

épidémiologiques. Ces études visent à contrôler si les affirmations du médecin anglais sont confirmées, sur des nombres plus grands d'enfants (l'article original ne comporte qu'une poignée de cas). Les études ont été regroupées en une méta-analyse, un dispositif permettant de réunir toutes les études qui répondent à certains critères de qualité, à en combiner les résultats comme s'il s'agissait d'une méga-expérience. La méta-analyse présente – en plus – l'avantage d'exploiter des résultats qui ne proviennent pas tous du même laboratoire, mais de chercheurs indépendants. Une méta-analyse d'une combinaison d'études de qualité constitue donc le sommet de la « pyramide des preuves », car il est plus probable qu'elle reflète correctement la réalité que dans le cas d'une étude isolée. Bien sûr, une bonne étude reste plus probante qu'une connaissance théorique, qui n'est pas confrontée à des données réelles, et – a fortiori – qu'une anecdote, qui n'a aucune valeur de preuve. C'est cette pyramide de preuves qui doit guider notre confiance en des faits, et nous permettre de faire la lumière face à de telles controverses.

Les autorités de santé fondent leur réputation sur le fait qu'elles exploitent des preuves de qualité comme base pour leurs campagnes d'information, ou leur prise de position.

## ARGUMENTER

Les observations, les explications et les informations que nous récoltons nous fournissent une connaissance. Nous sommes capables d'exploiter et d'associer les éléments appris, dans le but de concevoir des arguments sur lesquels fonder nos prises de position et de décision.

### Une tendance naturelle à l'argumentation

Dans la vie quotidienne, nous sommes amenés à faire des choix et à nous forger des opinions. Nous cherchons alors – de façon spontanée – des arguments en faveur de ces choix et de ces opinions.

Par exemple, lorsque nous envisageons d'acheter un congélateur, nous voulons faire le bon choix. Pour cela, nous utilisons : 1) des paramètres personnels d'une part (l'utilisation que nous voulons faire du congélateur, des critères pratiques, des goûts esthétiques, le prix que nous jugeons adéquat...) auxquels nous sommes capables d'attribuer un poids ; et 2) des informations issues de sources plus ou moins fiables (« conseils d'experts » sur Internet ou en magasin, avis d'acheteurs, avis d'amis...) que nous nous efforçons de trier.

Une fois que nous avons acheté le congélateur, nous nous forçons une opinion concrète à son sujet. Cette opinion, nous la jugeons fondée et raisonnée, et nous pouvons être amenés à la diffuser à notre tour auprès d'autres personnes, qu'elle soit positive ou négative. Nous réutilisons alors nos arguments, dans le but de convaincre autrui du bien-fondé de notre position sur cet objet : nous argumentons.

Il existe un bénéfice direct à ce processus d'argumentation : en prévision du fait que nos arguments seront évalués par d'autres, nous cherchons à les concevoir comme les plus convaincants possibles. Argumenter à plusieurs est donc un exercice qui nous aide à développer nos facultés de raisonnement.

En retour, ces échanges nous mènent à adopter une attitude vigilante face aux opinions que nous recevons des autres, car nous savons qu'elles peuvent être erronées voire trompeuses. Notre envie de défendre nos opinions aiguise nos facultés à repérer les failles dans les argumentaires adverses. Nous disposons pour cela de stratégies intuitives et spontanées d'évaluation des arguments reçus.



### « Voir la paille dans l'œil de son voisin »

Il est souvent difficile de trouver des failles dans notre raisonnement. Un biais de raisonnement puissant, le biais de confirmation, nous pousse à privilégier les arguments allant en faveur de nos propres positions : nous avons spontanément tendance à rechercher des informations « *plutôt en accord avec ce que nous pensons déjà* », qu'à nous laisser déstabiliser par « *du nouveau* ». De même, nous avons tendance à juger plus favorablement les opinions qui s'accordent bien aux nôtres, et à trouver plus convaincants des arguments qui vont dans la même direction. Ce biais est difficile à contrer : il nous est d'ailleurs très utile, lorsqu'il s'agit de poursuivre une idée jusqu'au bout ou de convaincre d'autres personnes de son bien-fondé.

L'activité scientifique est structurée pour contrôler les effets de ce biais de confirmation : les résultats des recherches sont rendus publics au terme d'un processus de publication et d'évaluation par les pairs qui encourage la répétition des observations et des expériences par des laboratoires et scientifiques indépendants. Même si cela peut prendre du temps, les scientifiques parviennent à corriger des « erreurs » résultant de la recherche inconsciente de « confirmer les résultats » (de leur groupe ou d'une « autorité » scientifique). La solution trouvée par les sciences pour se prémunir du biais de confirmation est donc fondée sur l'échange d'arguments, et sur la comparaison des idées à grande échelle.

Cette leçon peut être étendue à notre vie quotidienne. Quand chercher des failles dans ses arguments devient difficile, il faut avoir recours aux autres : très souvent, il sera plus facile pour quelqu'un qui ne partage pas nos idées de nous mettre face aux limites de notre raisonnement. Ainsi, nous pouvons obtenir des clés pour les dépasser.

## Les limites de l'argumentation naturelle

Les méthodes et outils que nous utilisons spontanément dans le quotidien nous permettent de fonder nos opinions de façon pertinente dans une grande majorité de cas mais elles présentent néanmoins des limites qui peuvent devenir préjudiciables. Que l'on soit en train de se forger seul une opinion, ou que l'on soit en train de débattre en exposant ses arguments, de mêmes limites rendent difficiles nos raisonnements.

### Bons et mauvais arguments

Les bons arguments sont ceux fondés sur « de bonnes raisons ». Une « bonne raison » est un fait, une preuve qui est le résultat de processus d'observation, d'explication, de recherche et d'évaluation d'informations bien menés. La méthode scientifique, par exemple, produit de bons arguments car elle impose qu'ils soient justifiés par des faits obtenus avec rigueur.

Un bon argument doit aussi être un argument pertinent au regard de la conclusion qu'il cherche à appuyer, et il doit être rigoureusement construit. Les faits justes mais qui n'appuient pas réellement la problématique abordée, et ceux qui sont cohérents en apparence mais en fait mal construits, doivent être écartés.

Nos mécanismes de vigilance face à l'information, cités précédemment, se mettent en marche lorsque nous sommes soumis à un argumentaire, mais nous devons rester attentifs.

Notre interlocuteur peut sciemment chercher à aveugler notre système de vigilance, par exemple en nous fournissant des théories sensationnalistes, contre-intuitives, fournissant des explications faciles pour des phénomènes complexes, ou encore séduisantes par leurs aspects moraux.

Toutefois, lors d'un débat, de nombreux arguments peuvent se révéler spécieux sans toutefois que leur auteur ait eu la volonté consciente de tromper son auditoire.



Pour qu'un argumentaire soit pertinent, il faut que les arguments qui le composent soient correctement agencés entre eux, sous la forme d'un déroulement logique et percutant. Cette construction de l'argumentaire, cette rhétorique, est cruciale, au point qu'un argumentaire fallacieux mais intelligemment construit pourrait convaincre.

Par exemple : la tendance à plaider la qualité d'un élément en discréditant un autre élément existe, et ne constitue pas un bon argument. L'affirmation « *le produit B est défaillant* » n'est pas équivalente à « *le produit A est performant* », même si nous pouvons être tentés d'y être sensibles : cet argumentaire a l'air bien construit, mais la conclusion à en tirer n'est pas nécessairement pertinente.

En somme, la connaissance de l'ensemble de ces pièges argumentatifs et une vigilance accrue peuvent s'avérer nécessaires à nous protéger, face à des personnes et à des pensées éventuellement délétères. Se fier à un avis partagé ou a priori éclairé peut être pertinent, mais il faut s'assurer que les motivations des autres coïncident avec les nôtres, et sont fondées pour nous.

### Repérer les arguments fallacieux

Un argument mal construit est souvent appelé « sophisme » ou « argument fallacieux » (*fallere*, en latin, signifie « tromper »). Bien qu'il n'existe pas de définition ou de classification partagée de « sophisme », tout le monde semble d'accord sur leurs formes les plus répandues comme : la généralisation abusive (« *Lundi, j'ai perdu mes clés ; le lundi d'avant, j'avais raté un contrôle. Les lundis sont mauvais pour moi.* »), la pente glissante (« *Si vous rétablissez la pêche de cette espèce de poisson, la tendance se généralisera bientôt aux autres variétés protégées, puis aux tortues, et par la suite aux grands mammifères marins, et la biodiversité de nos océans sera à nouveau en danger* »), l'argument contre la personne (« *Comment peut-on écouter quelqu'un qui n'a même pas de doctorat ?* »), l'appel au peuple (« *Tout le monde sait que si on prend froid, on tombe malade* »), l'ambiguïté (« *L'oracle a prédit que après une période troublée viendra la paix* »).

Attention ! S'il est possible d'utiliser des sophismes pour tromper sciemment nos interlocuteurs, tomber dans un sophisme sans le vouloir est également possible, tout comme se convaincre ou chercher à convaincre à partir d'arguments fallacieux, bien malgré nous.

## L'argumentation fondée sur des preuves et la méthode scientifique

Pour convaincre la communauté scientifique du bien-fondé d'une nouvelle théorie, ses promoteurs doivent se soumettre à des standards extrêmement exigeants : ceux de la méthode scientifique. Cette dernière permet d'écarter – autant que possible – les biais du raisonnement, et de produire des preuves solides à l'appui des hypothèses proposées.

La méthode scientifique permet aussi de créer un système de partage et de contrôle réciproque sur la qualité des preuves et du raisonnement employé, car toute étape du raisonnement est rendue explicite et publique. Les erreurs des uns peuvent ainsi être corrigées par les autres dans un dialogue continu qui a lieu dans l'espace et dans le temps.

### *Au-delà des sciences*

Les scientifiques ne sont certainement pas les seuls professionnels à faire une utilisation experte de l'argumentation. Les médecins, les juges, les ingénieurs, les stratèges, les décideurs... Dans leurs activités professionnelles, tous sont amenés à prendre des décisions sur la base de preuves solides et d'arguments rigoureux. Ces « experts » connaissent les limites d'une prise de décision spontanée : ils savent reconnaître les situations dans lesquelles les intuitions ne sont pas suffisantes pour prendre une bonne décision, opérer un choix fondé, ou arriver à une conclusion solide. Ils ont appris à mettre en place un processus coûteux, difficile et non spontané de vigilance accrue face à leurs propres limites et face aux dangers qui guettent ceux qui n'évaluent pas les opinions de sources externes. Ils savent recourir, lorsque la situation l'exige, à des méthodes et à des connaissances qui les aident à ne pas tomber dans les pièges de l'argumentation, à s'appuyer sur des preuves solides et pertinentes et à construire un bon argumentaire. Bien qu'il ne s'agisse pas de scientifiques de profession, ils connaissent la valeur de la connaissance obtenue par les méthodes rigoureuses adoptées par les sciences. Plus généralement, tout citoyen a un intérêt à être capable – au sein d'un débat de société – de reconnaître les rouages d'une argumentation rigoureuse et à savoir distinguer des preuves de nature scientifique (ou du moins rigoureuse) parmi l'ensemble des arguments auxquels il est confronté.

### *Intégrer l'incertitude de manière raisonnée*

La méthode scientifique nous permet de faire place à l'incertitude. Les scientifiques doivent parfois se satisfaire d'observations indirectes, voire limitées.

Même à l'aide de l'instrument de mesure le plus précis du monde, il n'est pas possible de connaître la valeur rigoureusement exacte d'une grandeur. Pour la même mesure d'un même phénomène, les résultats produits par plusieurs personnes connaîtront de légers écarts. De même, de tels écarts existeront si une même personne reproduit sa mesure plusieurs fois. Ces écarts, appelés « erreurs de mesure », peuvent être liés à la façon dont l'opérateur place son instrument ou aux qualités de celui-ci, à la façon dont il positionne son œil, à sa lecture du résultat...

#### **Hypothèses, théories, faits, lois, modèles: ne faisons pas de confusion!**

##### **Les sciences ont leur vocabulaire**

Un **fait** est une propriété d'un phénomène naturel qui a été mise en évidence par un corpus d'observations ou d'expériences. Par exemple, dans le cadre de la théorie de l'évolution, la divergence des formes du bec entre les différentes espèces de pinsons de Darwin.

En sciences, il n'est pas toujours possible de manipuler directement les phénomènes qu'on étudie. Les scientifiques peuvent alors avoir recours à des **modèles** (voir chapitre « Expliquer »).

Une **hypothèse** est une explication proposée, pour un fait observé. Par exemple, la pression de sélection évolutive relative à la prise alimentaire est une hypothèse expliquant le fait précédemment énoncé. Pour pouvoir être légitime, une hypothèse doit donc être cohérente avec les observations courantes et passées et elle doit pouvoir être soumise à des observations ou tests dans le futur.

Ainsi, l'hypothèse formulée est cohérente avec de nombreuses observations et tests réalisées sur les pinsons ou d'autres espèces.

Les hypothèses qui reçoivent un appui fort de la part des tests empiriques, et qui sont cohérentes avec d'autres hypothèses qui ont le même statut, deviennent des théories, comme la théorie de l'évolution. En sciences, le mot **théorie** ne recouvre pas le même sens que dans la vie quotidienne: une théorie scientifique n'est pas ce qui relève du spéculatif. C'est au contraire un cadre fondé sur l'accumulation d'observations et d'expériences. On ne peut donc dire de la théorie de l'évolution ou de celle de la relativité que ce ne sont « *que des théories* »!

Les théories qui permettent d'expliquer un grand nombre de faits sont dites « robustes »; celles qui se voient progressivement confirmées par de nombreuses observations et expériences sont dites « fiables ». La réalité du monde n'est jamais « épuisée » par la meilleure théorie disponible à un instant donné: les sciences font toujours progresser une théorie, sans pourtant jeter aux oubliettes la précédente.

Une **loi** n'est pas une théorie particulièrement certaine, mais la description d'un phénomène régulièrement observé, sans valeur explicative. La loi de la gravitation décrit un phénomène universel, sans l'expliquer. Les théories ne se transforment pas en lois quand elles sont mûres!

La valeur exacte est donc impossible à obtenir, et on œuvre donc à obtenir une valeur approchée qui soit la plus précise possible, en réduisant au maximum l'amplitude de ces erreurs: l'on peut alors affirmer qu'il demeure une incertitude sur la mesure, et même estimer une probabilité de validité de cette mesure.

Parfois encore (pour des raisons éthiques ou pratiques) les scientifiques ne peuvent pas mettre en place les démarches expérimentales les plus à même d'expliquer un phénomène. Ceci ne les empêche pas de faire des hypothèses à son sujet. Cependant, il serait irresponsable et irraisonnable de mettre sur le même plan connaissances scientifiques – obtenues méthodiquement, comportant un degré d'incertitude évalué et compris – et opinions, intuitions, spéculations ou affirmations arbitraires.

## INVENTER

Apprendre à bien observer, à rechercher des explications, à évaluer la qualité des informations et des connaissances produites par d'autres permet de s'appuyer sur des arguments solides pour raisonner. L'ensemble de ces outils peut être mobilisé face à un nouveau problème pour rechercher une solution adaptée.

### La résolution de problèmes dans la vie de tous les jours

Dans notre vie, quotidienne comme professionnelle, nous sommes régulièrement confrontés à des problèmes à résoudre. Les médecins aux prises avec le diagnostic d'une maladie, les maîtres d'échecs face à une nouvelle passe, les scientifiques dans leur activité de recherche et de découverte, les ingénieurs confrontés à l'invention de nouveaux dispositifs, ou tout artisan qui se trouve dans la situation de créer un objet nouveau ou de résoudre une panne, s'engagent dans un processus de résolution de problèmes.

Il existe également des « problèmes » de logique, qui sont utilisés comme tests des capacités de résolution de problèmes, mais également comme jeux : résoudre un problème nous procure en effet du plaisir, et la solution à un problème est vécue comme une récompense.

Imaginons d'avoir à choisir le moyen de transport le mieux adapté pour nous rendre à un rendez-vous. Nous prenons en compte l'objectif principal : arriver au lieu du rendez-vous et à l'heure souhaitée. Nous analysons la distance qui nous sépare du lieu, le temps à notre disposition. Sur la base de l'objectif et de notre position par rapport à l'objectif, nous recherchons dans notre mémoire des connaissances préalables. Nous « savons » (même sans y penser) que certaines solutions ne seraient pas pertinentes (utiliser l'avion ou y aller à pied). En revanche, nous ignorerons le temps que cela prendrait d'utiliser le métro ou le bus ; nous consultons donc un support comme un site d'information sur les transports de la ville par exemple. La réflexion sur la nature du problème, les connaissances et informations collectées peuvent être utilisées pour guider notre choix et donc nous donner une solution au problème. Une fois arrivés à notre rendez-vous, nous pourrions évaluer si la solution donnée était effectivement efficace. Nous garderons en mémoire cette évaluation et elle pourra nous servir dans une situation similaire.

### La résolution des problèmes

Nous « avons un problème » lorsqu'un objectif que nous voulons atteindre n'est pas immédiatement disponible. Résoudre le problème signifie donc se rapprocher de l'objectif, à partir d'un certain état initial, grâce au choix sélectif de solutions. Cela peut consister à mieux cerner le problème pour entrevoir une solution, à dépasser astucieusement les limites naturelles et les biais jusque-là rencontrés, à mobiliser des connaissances préalables ou à acquérir.

Il est difficile de trouver des règles universelles dans la résolution de problèmes. Cependant, les experts d'un domaine sont normalement plus performants que les non-experts dans la résolution des problèmes qui concernent leur domaine d'expertise. Ceci signifie qu'il existe des moyens pour améliorer notre capacité à résoudre un certain type de problèmes.

### Créativité

La résolution de problèmes demande un certain degré de créativité, et certaines solutions nous apparaissent plus créatives que d'autres. Cependant, la créativité est difficile à définir. On l'a rapprochée de la capacité à produire beaucoup de solutions diverses pour un même problème, à utiliser des solutions ou des idées inhabituelles, mais précises, détaillées. On considère souvent que les personnes créatives sont ouvertes, indépendantes, qu'elles aiment les défis,...

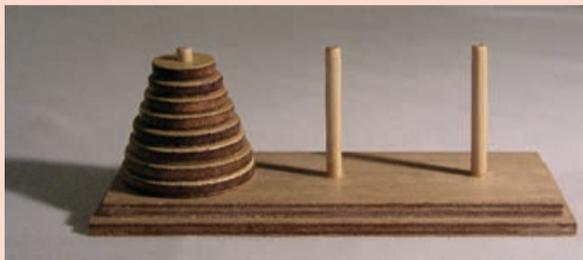
La créativité demande aussi des connaissances, et pas seulement des connaissances décousues. Même si la créativité ne se résume pas à l'expertise, cette dernière – acquise au prix d'efforts et de temps de pratique – et couplée à des connaissances profondes et bien structurées, tend à produire des solutions plus efficaces et plus créatives. Résolution de problèmes, créativité, expertise, connaissances et rigueur sont donc des conditions fortement liées entre elles.



### Problèmes: bien et mal définis

Des problèmes comme « être heureux » ou « entretenir de bonnes relations avec les voisins », sont des problèmes mal définis ou mal structurés: ils n'ont pas de solution claire, ni certaine.

Les problèmes bien définis, à l'inverse, sont ceux qui ont des objectifs et un état initial clairs. La recherche d'une solution peut être rationnelle ou relever du tâtonnement. Une modalité rationnelle de recherche de solution consiste à identifier l'état initial et celui qui est final, à subdiviser le problème en composantes avec des objectifs partiels, et à identifier toutes les opérations qu'on peut accomplir pour se rapprocher du but (espace du problème).



Dans le problème dit de la Tour de Hanoi, par exemple, on se trouve confronté à des disques de dimension décroissante posés l'un sur l'autre. L'objectif est de les déplacer en formant une nouvelle tour, sans enfreindre une règle: ne jamais poser un disque plus grand sur un disque plus petit. Les états de la tour, initial comme final, sont bien définis. Toutes les

opérations susceptibles de se rapprocher de l'objectif et qui ne comportent pas le fait de placer un disque plus grand sur un petit constituent l'espace du problème. La solution du problème, une fois trouvée, ne fait pas de doute, même s'il peut exister plusieurs solutions pour y arriver.

## Les limites de la résolution « naturelle » de problèmes

Pour résoudre un problème, plusieurs types de stratégies existent.

Parfois, il suffit de reproduire une séquence d'opérations, par exemple dans le cas de la résolution d'un problème mathématique simple, où on se limite à appliquer une opération, apprise par ailleurs.

D'autres fois, nous avons déjà rencontré le même problème mais sous une autre forme. Nous avons l'impression de nous trouver face à un problème nouveau, alors que la solution à ce type de problèmes

nous est connue. La difficulté provient du fait que le contexte dans lequel le problème est posé nous empêche de percevoir sa structure et de la reconnaître dans une situation nouvelle. C'est aussi le cas de nombreux problèmes présentés aux élèves, que ce soit dans les disciplines scientifiques, en mathématiques, en histoire...

Remobiliser des outils exige donc que nous soyons capables de reconnaître la similitude entre la situation dans laquelle on les a appris et la nouvelle situation. Or, même dans des problèmes de mathématiques, la formulation du problème, le contexte rendent difficile tout travail d'identification de la structure profonde du problème et perturbent donc notre capacité à transférer nos compétences acquises.



Imaginez que vous ayez à disposition une bougie, une boîte d'allumettes, une boîte de punaises et à résoudre le problème suivant: attacher la bougie au mur de manière que la cire ne coule pas sur la table au-dessous.

C'est le problème de la bougie de Duncker, inventé par le psychologue homonyme en 1945. La capacité à résoudre ce problème passe par la capacité à ne pas se figer sur la fonction « normale » des objets fournis, et à les voir sous un autre jour: la boîte d'allumettes comme une étagère qu'on peut fixer au mur à l'aide d'une punaise, par exemple, pour servir de base à la bougie.

Un enjeu important dans la résolution de problèmes réside donc dans notre capacité à expliciter le problème auquel nous faisons face, pour identifier sa structure et rechercher des solutions dans des configurations analogues précédemment rencontrées.

Imaginez que vous ayez à résoudre le problème suivant : vous devez mesurer une certaine quantité d'eau ; vous avez à disposition plusieurs carafes de dimension différente. Par exemple, vous avez à mesurer 100 m d'eau et vous disposez d'une carafe qui peut contenir 21 ml, une carafe à 127 ml et une à 3 ml. Que faire ? Puis, vous devez mesurer 99 ml avec 14 ml, 63 ml, 125 ml. Puis 5 ml avec 18 ml, 43 ml, 10 ml. Puis 12 ml avec 9 ml, 42 ml, 6 ml. Puis 31 ml avec 20 ml, 59 ml, 4 ml. Puis 20 ml, avec 23 ml, 49 ml, 3 ml. Puis 18 ml avec 15 ml, 39 ml, 3 ml. Puis vous devez mesurer 25 ml et vous avez des carafes de 28 ml, 76 ml et 3 ml à disposition. Les personnes qui ont résolu tous les problèmes en série ont des difficultés avec le dernier. Celui-ci ne pose pas de problèmes si on le présente isolé. Cela signifie que les solutions données au préalable influencent notre capacité à chercher une solution dans une direction nouvelle.

D'autres fois encore, il est nécessaire de changer de point de vue ou de voir le problème et ses éléments sous un jour différent de celui habituel pour arriver à une solution. Ceci nous demande un effort supplémentaire, qui consiste à bloquer des intuitions, des idées que l'aspect du problème fait surgir en nous presque automatiquement. Même certaines expériences préalables peuvent nous bloquer dans une interprétation.

### Faire attention à la nature du problème

Pour résoudre un problème, nous avons souvent du mal à réutiliser la solution apportée par un précédent problème. Prenons par exemple le cas suivant :

- **Problème 1.** Un général doit gérer l'attaque d'une forteresse dont les voies d'accès directes sont parsemées de mines. Ces dernières sont disposées de sorte que le passage du régiment entier les ferait exploser. Le général résout le problème en divisant le régiment : de petits groupes vont passer, de façon simultanée mais selon des trajectoires différentes entre les mines, pour se retrouver au dernier moment et donner l'assaut final ensemble.

- **Problème 2.** Un médecin doit combattre une tumeur profonde au moyen de radiations, sachant que celles-ci sont efficaces à haute dose mais – dans ce cas – destructrices pour les tissus sains localisés sur le trajet d'accès à la tumeur. Comment s'y prendre ?

Lorsque ces deux problèmes sont présentés successivement sans autre indication, la plupart des sujets n'utilisent pas spontanément la solution du général pour aider le médecin. Il suffit en revanche de suggérer que les deux situations sont semblables pour que ce transfert se fasse. L'analyse des principes sous-jacents aux problèmes et l'établissement de leur analogie semblent donc des conditions nécessaires pour parvenir à un tel transfert de solution.

### Tirer profit d'une règle générale

Dans d'autres cas, c'est l'accès à une règle générale qui permet de trouver une solution.

Dans une expérience réalisée en 1908, la capacité de deux groupes d'enfants à lancer des flèches sur des cibles placées sous l'eau est testée. Les deux groupes ont le droit de s'entraîner sur une cible placée à une même distance. Un seul des deux groupes, en revanche, reçoit des connaissances concernant la vision sous l'eau (la réfraction de l'eau, la manière dont celle-ci affecte la perception de la cible et donc les performances...). Les deux groupes sont mis à l'épreuve. Lorsque la cible est placée à une distance semblable à celle de l'entraînement, les prestations des deux groupes

sont identiques. En revanche, si cette distance est modifiée, le groupe ayant reçu les informations théoriques obtient de meilleurs résultats que l'autre. Posséder la règle générale est crucial, pour transférer les solutions entre des situations semblables mais pas identiques. Les ferait exploser. Le général résout le problème en divisant le régiment: de petits groupes vont passer, de façon simultanée mais selon des trajectoires différentes entre les mines, pour se retrouver au dernier moment et donner l'assaut final ensemble.

• **Problème 2.** Un médecin doit combattre une tumeur profonde au moyen de radiations, sachant que celles-ci sont efficaces à haute dose mais – dans ce cas – destructrices pour les tissus sains localisés sur le trajet d'accès à la tumeur. Comment s'y prendre?

Lorsque ces deux problèmes sont présentés successivement sans autre indication, la plupart des sujets n'utilisent pas spontanément la solution du général pour aider le médecin. Il suffit en revanche de suggérer que les deux situations sont semblables pour que ce transfert se fasse. L'analyse des principes sous-jacents aux problèmes et l'établissement de leur analogie semble donc une condition nécessaire pour parvenir à un tel transfert de solution.

## Les experts

Qu'est-ce que le maître d'échecs fait que le joueur moins expérimenté ne fait pas? Quel est le secret de l'expertise dans la résolution de problèmes? Peut-on s'améliorer dans cette expertise? L'observation attentive et rigoureuse des professionnels experts, aux prises avec la résolution de problèmes dans leur domaine, a permis de mettre en évidence certains aspects communs et certaines « lois » de la résolution « experte » de problèmes.

### *Ce que les experts font et que les novices ne font pas nécessairement*

Les experts remarquent des régularités, des aspects significatifs de la situation que les novices peuvent manquer d'observer. Ils possèdent une base de connaissances large et interconnectée. Ils ont une compréhension profonde du problème et de la situation. Leurs connaissances ne forment pas une liste mais sont organisées autour de grands concepts, de lois et de principes qui structurent la recherche de solutions. Une différence importante entre experts et novices peut être révélée en leur demandant de classer plusieurs items appartenant à un domaine de connaissances, par exemple en physique ou en biologie. Les experts organisent ces items sur la base des principes structurants de leur discipline, qu'ils parviennent ensuite à relier alors que les novices se laissent guider par des aspects perceptifs et superficiels. Par ailleurs, les experts utilisent les connaissances stockées en mémoire de façon efficace; cette recherche en mémoire leur demande moins d'efforts qu'à un novice, notamment en termes d'attention: la familiarité avec le domaine fait en sorte que les souvenirs et les connaissances soient plus facilement disponibles et puissent jaillir au moment opportun. Cela offre également aux experts la possibilité d'une approche plus flexible, ce qui leur permet d'explorer des voies originales et innovantes.

Le maître d'échecs qui doit réagir à une passe de l'adversaire peut choisir parmi une multiplicité d'actions possibles. Il n'a cependant ni le temps ni la possibilité de les essayer toutes l'une après l'autre, et de choisir la meilleure par un processus d'essai-erreur...

Son choix se base sur le fait qu'il sait analyser la situation présente, en identifier des éléments caractéristiques et – grâce à ça – retrouver dans sa mémoire le souvenir d'autres matches où il s'est



trouvé confronté à des situations semblables, les solutions qu'il a données, le résultat qu'il a obtenu. Avoir vécu un grand nombre de situations du même type et en avoir conservé le souvenir en mémoire sont importants, à la fois pour savoir reconnaître l'analogie avec la situation nouvelle et pour accéder à des solutions. Ce genre de connaissances

« immédiatement disponibles » peut donner l'impression d'une intuition soudaine, alors que la solution trouvée est le fruit de nombreuses heures de pratique bien réfléchie !

On pourra aussi penser au médecin, ou au radiologue, qui – grâce à leur expertise – sont capables de voir dans un ensemble de symptômes ou dans une image floue un ensemble de traits réguliers et significatifs pour le diagnostic. Les mathématiciens experts, eux, reconnaissent dans un nouveau problème la structure d'un problème plus général, et donc d'une classe de solutions. On dit qu'ils ont développé des schémas, des structures conceptuelles bien organisées, qui les aident à « voir » ce que d'autres ne voient pas.

### ***L'importance d'une analyse posée***

Notre capacité à résoudre des problèmes s'améliore au fur et à mesure de notre exposition à une diversité de situations. Elle est également meilleure lorsque nous prenons le temps de bien analyser le problème et d'en identifier les caractéristiques. C'est un processus long, difficile à mettre en œuvre et coûteux. Il n'est pas naturel mais il permet de progresser efficacement dans la résolution de problèmes et l'acquisition d'une forme d'expertise.

### ***La pratique rend experts... mais pas n'importe quelle pratique***

Le développement d'une véritable maîtrise nécessite beaucoup d'heures de pratique. Pensez à l'utilisation d'un clavier d'ordinateur : au début, on n'utilise qu'un ou deux doigts. Si l'on continue à pratiquer de cette façon, on se bloque à ce stade. Faire le choix d'utiliser de nouveaux doigts impose un coût et un effort non négligeables, et on atteint ainsi un nouveau palier, par exemple huit doigts. Pour beaucoup d'entre nous, les efforts s'arrêtent là. Seule la présence d'un enseignant qui nous « force », nous motive à aller au-delà de notre zone de confort et à nous exercer sur ce que nous ne savons pas encore, nous permettant d'arriver au niveau suivant : l'utilisation des dix doigts. Ceci nécessite de nouveaux efforts orientés et une réflexion sur la stratégie à mener : on parle donc de pratique délibérée, volontaire, réfléchie. Les experts, dans un domaine, ne se limitent en effet pas à pratiquer mais réfléchissent à leur pratique et acquièrent des connaissances théoriques qui vont au-delà de la pratique elle-même.

Des études d'experts dans différents domaines tels que le golf, l'athlétisme, les échecs, la pratique d'instruments de musique indiquent que le processus est non seulement épuisant, mais long. On a parlé de 10 000 heures, de cinq à dix ans, pour devenir de véritables et « parfaits » experts dans un domaine ! La pratique seule n'explique qu'une partie des différences entre les individus et le fait que certains types d'activités sont plus influencés par la pratique que d'autres. Cependant, une chose est sûre : la pratique est une condition nécessaire pour apprendre.

### ***Houston, we've had a problem.***



En 1970, NASA lançait sa mission Apollo 13 vers la Lune. Les astronautes de la mission Apollo 13 auraient dû être les troisièmes à marcher sur le sol lunaire, cela n'arriva jamais. En revanche, ils arrivèrent à rentrer tous sur Terre, sains et saufs.

Environ 50 heures de vol se sont écoulées sans accident majeur, lorsque le capitaine Jim Lovell et ses coéquipiers entendent une explosion : un toit s'effondre, les deux tanks d'oxygène sont touchés, il n'y a plus d'électricité, de lumière ou d'eau. Surtout : il y a de moins en moins

d'oxygène, qui s'échappe dans l'espace, alors que le véhicule est proche de la Lune. « *Houston, we've had a problem here.* » Le problème n'est plus comment descendre sur la Lune mais comment rentrer sur Terre.

Un travail de groupe commence, qui voit les équipes d'ingénieurs de la NASA de Houston et celle dans le vaisseau travailler de concert. L'équipage abandonne le vaisseau pour adapter le module lunaire à la descente sur Terre. Les ressources et les capacités du module sont comptées pour deux personnes pour deux jours. Trois astronautes auront à y vivre, en se rationnant, pendant les 4 jours du retour. Le problème principal étant représenté par leurs déchets : à trois, le CO<sub>2</sub> s'accumule dangereusement dans le module. Le temps est de plus compté avant que l'environnement devienne mortel : 24 heures.

A Terre, on s'efforce de trouver une solution pour les astronautes : les ingénieurs passent en revue le matériel présent sur le module, et tentent d'imaginer comment ils pourraient être utilisés pour sauver la situation. Ils doivent donc penser ces objets sous une optique différente de celle habituelle, éventuellement en leur trouvant un usage qui n'était pas prévu.

Sur les indications des ingénieurs à Terre, un système permettant d'adapter les filtres d'air du vaisseau principal au nouvel environnement est produit par les astronautes. Il est fabriqué à l'aide de sacs en plastique, du carton en provenance des cahiers de bord, du scotch, des tubes des combinaisons des astronautes... Le problème est résolu, et même si d'autres se poseront avant le retour sur Terre, l'équipage d'Apollo 13 rentrera saint et sauf.

Cette mission est considérée comme un cas exemplaire de la façon dont l'expertise – distribuée sur une équipe entière – permet de surmonter des problèmes en temps réel : en réenvisageant l'existant de manière inhabituelle et en mobilisant de nombreuses connaissances interconnectées.

---

## Auteurs

Mathieu FARINA, Elena PASQUINELLI, Gabrielle ZIMMERMANN

**Cette ressource a été produite avec le soutien des Editions Le Pommier**

## Date de publication

2018

## Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



*Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.*

## Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes  
75 006 Paris  
01 85 08 71 79  
contact@fondation-lamap.org

Site : [www.fondation-lamap.org](http://www.fondation-lamap.org)

