

Chapitre trois

LA PROGRESSION VERS D'AMPLES NOTIONS-CLÉS DE SCIENCE

Il est clair que les notions-clés que nous avons identifiées précédemment sont complexes et mettent souvent en jeu des abstractions situées bien au-delà de la capacité de jeunes enfants. Elles ne peuvent donc pas être enseignées sous cette forme ; tenter de le faire ne pourrait que produire l'apprentissage par cœur de mots n'ayant que très peu de signification et de relation avec les phénomènes du monde naturel qu'observent ces enfants. Nous devons donc nous demander par quel chemin les enfants peuvent développer ces notions-clés DE science et SUR la science : est-ce à partir de leurs premières explorations des objets et des phénomènes autour d'eux ?

Les premières idées des enfants sur le monde qui les entoure

L'une des découvertes, résultant de l'étude des bébés dès leur naissance par l'observation des mouvements de leur tête et de leurs yeux, est qu'ils regardent tout particulièrement les lignes droites et les contrastes – ils aiment les grilles faites de traits, les angles – et que leurs yeux vont suivre le périmètre des objets qui leur sont montrés, séparant ainsi ces objets de ce qui les environne. Ils sont également fascinés par le mouvement et, en suivant le mouvement des objets qu'ils voient autour d'eux, ils deviennent rapidement capables de prédire où se trouvera un certain objet en mouvement, même si une fraction de son parcours leur est cachée : si une bille qui roule passe derrière un écran, l'enfant regarde le point où elle va réapparaître. Avec de telles méthodes, les chercheurs ont pu déduire que, dans leur première année de vie, ces tout petits enfants comprennent que les objets inanimés ne peuvent pas se mouvoir par eux-mêmes tandis que les objets animés le peuvent.

Deux idées sont particulièrement importantes pour comprendre le monde autour de soi : la permanence des objets et la causalité. La notion que des objets apparemment disparus doivent continuer à exister quelque part met un certain temps à se développer. Si la balle n'apparaît pas de derrière l'écran, le tout petit bébé manifeste son étonnement mais ne semble pas

considérer qu'elle est encore présente quelque part. La causalité résulte de l'observation qu'un certain effet suit invariablement une certaine action. Les tout petits découvrent très rapidement qu'ils peuvent produire un effet et à l'âge d'un an semblent capables de distinguer entre une causalité psychologique (par exemple, obtenir une réponse de leur parents en souriant ou en pleurant) et la causalité physique (les choses que l'on lâche tombent vers le bas). Bien entendu, comme nous l'avons noté dans le chapitre deux, les jeunes enfants semblent réagir aux événements et aux phénomènes d'une manière qui traduit des différences entre domaines, entre mouvements, choses vivantes, substances différentes. Il existe une quantité considérable de recherches portant sur les idées des enfants, montrant qu'à l'âge où ils arrivent à l'école ils ont déjà construit des idées déjà sur bien des aspects du monde, et notamment des idées scientifiques. Comme ce sont des idées que les enfants ont élaborées tout seuls et qui font donc sens pour eux, il ne sera pas facile de les modifier, particulièrement en introduisant des idées scientifiques qui sont souvent contre-intuitives (comme le fait qu'un mouvement puisse se poursuivre sans l'action d'une force). Les idées élaborées par les enfants doivent être prises comme un point de départ pour progresser vers des notions plus scientifiques qui seront en accord avec un champ plus vaste de leur expérience.

Quelques modèles de progression

La façon dont il est possible d'aider les enfants à faire de tels changements dépend du regard porté sur le processus du développement des notions. Considérons par exemple trois façons différentes d'envisager ce processus :

- Une première façon est de comparer la progression à la montée d'une échelle. Chaque barreau doit être gravi avant d'aborder le suivant. C'est une analogie séduisante, quelquefois utilisée dans la création d'un ensemble d'activités d'apprentissage soigneusement construites et qui se suivent l'une l'autre de façon invariable. Cela repose sur l'hypothèse que la logique à partir de laquelle la séquence des barreaux est construite est en accord avec la façon dont les enfants donnent sens à chacune de leurs expériences. Les échelles qui ont été proposés – par exemple par l'American Association for the Advancement of Science (AAAS), dans son *Atlas of Science Literacy*, vol. 2 – prennent bien en compte ce qui est connu sur la façon dont les enfants apprennent, mais elles font l'hypothèse que cela est identique chez tous les enfants et que tous les enfants vont se sentir à l'aise en grim pant la même échelle. De même, comme nous l'avons suggéré dans la discussion du principe 5, les raisons de grimper tel barreau de l'échelle peuvent ne pas être apparentes pour l'élève, qui ne va pas éprouver du plaisir avant d'atteindre le sommet de l'échelle.

- Une deuxième option est de considérer une progression latérale plutôt que verticale, les notions plus amples se diffusant à partir de notions plus modestes, cela ne se faisant pas nécessairement dans une progression marche après marche. Une partie de ce processus peut être imaginée comme les étapes d'un jeu de puzzle. Bien que les morceaux du puzzle puissent être assemblés de n'importe quelle manière, cela aide de commencer par l'assemblage de quelques pièces aisément reliées pour former des parties plus grandes, reconnaissables à leur tour plus facilement comme éléments de l'ensemble. Les morceaux ainsi créés facilitent la vision des pièces complémentaires qui peuvent s'ajuster pour agrandir encore ces morceaux. Néanmoins, tout le monde ne travaille pas de cette manière ; certains amateurs de puzzle préfèrent trier les morceaux et rassembler ceux qui ont des côtés rectilignes pour pouvoir débiter par les bords. Cette analogie attire l'attention sur le fait qu'il est beaucoup plus facile de résoudre le problème (apprendre) quand on a sous les yeux une image du puzzle à compléter (la notion-clé) que l'on peut regarder pour se guider, par comparaison avec une situation où l'on ne sait rien sur la figure que les morceaux du puzzle peuvent construire lorsqu'ils sont assemblés. Cette analogie trouve ses limites, toutefois, lorsque nous prenons en compte le fait que les enfants font sans arrêt de nouvelles expériences, résultant aussi bien de leur éducation scolaire que de leur vie

quotidienne, et que celles-ci doivent être incorporées dans la représentation, qu'ils élaborent, de la façon dont les choses sont faites si bien qu'alors, en poursuivant l'analogie, le nombre de morceaux du puzzle change au cours du temps. Mais l'image de la recherche des éléments significatifs et de la relation des morceaux apparentés demeure pertinente.

■ Un autre modèle proposé est celui de l'entraînement, dans lequel l'apprentissage est comparé à l'entraînement en vue d'un marathon. La capacité à parcourir une grande distance est progressivement construite en courant d'abord de petites distances, puis de plus grandes : un programme scolaire construit comme une spirale serait de ce type. Les notions appartenant à tel ou tel domaine sont revisitées régulièrement et l'on espère qu'elles deviennent ainsi de plus en plus puissantes. Idéalement, cela permet de décider jusqu'où aller au cours de chaque séance (sujets reliés à une idée en développement) à partir de ce qui a été acquis auparavant, mais en pratique chaque étape est prédéterminée, et ce modèle a donc les mêmes défauts que le modèle de l'échelle.

Il est probablement nécessaire d'utiliser des éléments de chacun de ces modèles, parce que les manières de s'adresser aux idées propres des enfants et à progresser des plus élémentaires vers les plus amples

peuvent varier selon la nature même de la notion et les expériences qui la soutiennent. Par exemple, dans certains cas les enfants ont des idées différentes sur un même phénomène rencontré dans deux contextes différents, ils ont besoin d'aide pour les relier et pour comprendre qu'une idée plus scientifique s'applique aux deux (modèle puzzle). Souvent leurs idées sont fondées sur une expérience limitée et celle-ci doit être étendue pour conduire à une notion plus largement applicable (modèle entraînement). Ici encore, le raisonnement des enfants sera vraisemblablement limité, ceux-ci ne retenant que les évidences confirmant leurs idées, ou encore ne retenant pas une idée malgré des évidences la contrariant parce qu'ils n'ont pas d'autre option qui fasse sens. Il faudra alors l'introduire (modèle échelle).

En tentant de donner un sens à une expérience nouvelle, qu'elle se produise dans la classe ou à l'extérieur, les élèves partent des idées qu'ils ont déjà ; les scientifiques font de même lorsqu'ils essaient d'expliquer les phénomènes et d'enrichir leur compréhension. Les idées se développent en étant reliées à une nouvelle expérience puis testées pour voir si elles aident à donner sens à cette nouvelle expérience. Si une idée potentiellement utile conduit à une prédiction en accord avec l'évidence qui surgit de cette nouvelle expérience, alors cette idée devient simplement un peu plus ample puisqu'elle explique

un domaine plus étendu de phénomènes. Même si cela n'a pas fonctionné – et alors une autre idée doit être essayée –, l'expérience a contribué à affiner l'idée. Lors de tels processus, ce n'est pas seulement le nombre des idées et des événements rendus compréhensibles qui change, les notions elles-mêmes subissent également un changement qualitatif. Les idées et notions scientifiques qui sont applicables de façon étendue doivent nécessairement être indépendantes du contexte ; par exemple, une idée sur ce qui fait que les objets flottent doit pouvoir être utilisée pour tous les objets et pour tous les fluides : passer d'une idée expliquant pourquoi un objet particulier flotte sur l'eau à une notion-clé de flottaison est une étape importante qui implique d'avoir perçu ce qui se produit dans un ensemble de situations très différentes.

Si nous considérons la progression des idées comme le passage graduel d'idées applicables à des phénomènes ou objets particuliers vers des notions qui soient puissantes pour expliquer un grand nombre d'expériences, nous devons convenir que ceci possède d'évidentes implications pour la pédagogie. Nous reviendrons sur ces implications au chapitre 4 et nous nous limitons ici simplement à cette remarque : nous ne supposons pas que les élèves parviennent à leurs idées individuellement et indépendamment, mais plutôt par un processus d'investigation, d'interaction et de partage avec les autres.

La progression vers les notions-clés de science

Notre but est ici d'établir pour chacune des notions-clés DE science, brièvement identifiées dans la section précédente, les idées plus modestes avec lesquelles commencer, suivies par des notions plus amples que l'on puisse développer afin de saisir un ensemble plus large d'expériences, pour conduire finalement à des notions-clés plus larges encore et plus abstraites qui permettent la compréhension des objets, des phénomènes et des relations au sein du monde de la nature. Nous tenterons le même genre de description sur la façon dont la compréhension peut être acquise à propos des notions SUR la science.

Au niveau de généralité auquel nous avons choisi d'identifier des notions-clés, à la suite de la discussion en page 66 et suivantes, il est inévitable que certaines idées modestes contribuent à plusieurs notions-clés. Par exemple, les idées sur la pesanteur sont nécessaires pour construire des idées plus amples sur les forces qui s'exercent à distance, sur l'effet des forces ou sur le système solaire. De même, l'impact de l'activité humaine sur les organismes et sur l'environnement fait partie du récit de la compétition entre espèces, de la diversité des organismes ainsi que des applications de la science.

Sous chaque intitulé d'une notion-clé nous commençons par les idées contextuelles simples que les enfants sont capables de saisir à l'école primaire, à partir d'activités appropriées et avec le soutien du

maître. Nous les faisons suivre par des idées que les élèves du collège peuvent développer, puisqu'ils ont une aptitude croissante à la pensée abstraite et qu'ils peuvent alors percevoir le rapport entre des événements ou des observations (par exemple, le fait que certains changements peuvent être expliqués en termes de transfert d'énergie, ou que les propriétés des matériaux peuvent être expliquées lorsqu'on réalise que la matière est faite de particules). Lorsque l'exploration du monde naturel se prolonge au lycée, la poursuite de cette création de liens et de relations rend les élèves capables de comprendre des modèles qui peuvent alors servir à donner sens à un ensemble plus étendu encore d'expériences présentes ou antérieures.

En décrivant ces progressions*, nous n'avons pas tenté d'établir des limites entre ce qui peut être appris au cours des années 1 à 3, 4 à 6, etc. Nous ne sommes pas même convaincus que ce soit possible ou même utile d'établir des frontières bien marquées, étant donné la diversité qui existe dans le développement cognitif des enfants. Ce qui est plus important est la direction générale de la progression vers un cadre explicatif utile. Déterminer jusqu'où les enfants peuvent aller dans cette direction à un instant donné dépend d'un

* La description des progressions demande une analyse plus fine et détaillée que ne le font les dix paragraphes qui suivent. Ceux-ci détaillent davantage le contenu de chaque notion-clé que les étapes de la progression : un travail ultérieur devra le faire (N. d. T.).

ensemble de variables du contexte scolaire, dont la pédagogie mise en œuvre n'est pas la moindre, comme nous le discutons dans le chapitre suivant.

1. Toute la matière du monde est constituée de particules de taille minuscule.

On appelle matière toutes les « choses » rencontrées dans la vie quotidienne, par exemple l'air, l'eau ou différentes espèces de substances solides, parce que ces choses ont une masse et occupent de l'espace. Les différents matériaux sont reconnaissables à leurs propriétés, certaines d'entre elles servent à les classer en solides, liquides ou gaz.

Lorsque que certains matériaux sont combinés, il arrive qu'ils forment un nouveau matériau dont les propriétés diffèrent de celles du matériau original ; d'autres matériaux se mélangent simplement sans changement permanent et peuvent être à nouveau séparés. Les matériaux peuvent également être transformés par chauffage ou refroidissement. La quantité de matière ne change pas lorsqu'un solide fond ou qu'un liquide s'évapore.

Si un matériau pouvait être divisé en morceaux de plus en plus petits, on trouverait que ceux-ci sont faits de particules de taille si petite qu'elles ne peuvent pas même être vues avec un microscope. Ces particules ne sont pas contenues *dans* le matériau, elles *sont* le matériau. Toutes les particules d'un matériau

donné et homogène sont identiques et elles diffèrent généralement de celles d'un autre matériau. Ces particules ne sont pas immobiles mais se déplacent au hasard dans des directions variées au sein du matériau. La vitesse à laquelle elles se déplacent se traduit par la température du matériau. Ces particules peuvent s'attirer ou se repousser les unes les autres. La différence entre solide, liquide et gaz peut s'expliquer selon cette séparation plus ou moins grande et par la force de l'attraction entre particules voisines. Plus cette force d'attraction entre particules est intense, plus il faut d'énergie pour les séparer, par exemple en passant de la forme solide à la forme liquide ou d'un liquide à un gaz. Cela explique pourquoi les matériaux ont différents points de fusion et d'ébullition.

Le plus petit morceau d'un matériau est appelé atome. Toute matière, où que ce soit dans l'univers, vivante ou non vivante, est faite d'un très grand nombre de ces blocs de base, les atomes, dont il existe environ cent espèces différentes. Les substances faites d'une seule espèce d'atomes sont appelées éléments. Les atomes de différents éléments peuvent être combinés pour former un très grand nombre de composés. Une réaction chimique implique le réarrangement des atomes dans les substances réagissant entre elles pour former de nouvelles substances, tandis que la quantité totale de matière demeure la même. Les propriétés des différents matériaux peuvent être expliquées à partir

du comportement et des propriétés des atomes ou des groupes d'atomes dont ils sont constitués.

Les atomes eux-mêmes possèdent une structure interne, formée d'un noyau comprenant des protons et des neutrons, entouré d'électrons. Les électrons et les protons possèdent une charge électrique – celle d'un électron étant dite négative et celle d'un proton positive. Les atomes sont neutres, ces charges se compensant exactement. Les électrons se déplacent rapidement dans la matière, formant des courants électriques et causant des forces magnétiques. L'effet global est une force d'attraction qui tient ensemble les atomes ou les molécules dans les corps. Lorsque certains électrons sont supprimés ou ajoutés à un atome, celui-ci possède alors une charge positive ou négative et il est appelé ion.

Dans certains atomes, le noyau est instable et peut émettre une particule, processus appelé radioactivité. Ce processus conduit à l'émission de rayonnements et d'une quantité d'énergie bien supérieure à l'énergie échangée lors d'une réaction entre atomes.

2. Certains objets peuvent avoir un effet sur d'autres objets situés à distance des premiers.

Certains objets peuvent agir sur d'autres objets même lorsqu'ils ne sont pas en contact avec eux. Par exemple, la lumière est perçue à la fois lorsqu'elle est émise par des sources proches comme une ampoule électrique

ou une flamme, ou par le Soleil et les étoiles qui sont très éloignés. Cela tient à ce que ces objets produisent tous de la lumière qui, à partir d'eux, voyage dans des directions différentes et qui est détectée lorsqu'elle atteint l'œil et y pénètre. Les choses que l'on voit soit produisent, soit réfléchissent de la lumière que l'œil humain peut alors détecter. Le son est produit par des objets qui vibrent et il peut être détecté loin de sa source parce que celle-ci crée des vibrations de l'air ou d'autres matières qui l'entourent. Nous entendons des sons lorsque que les vibrations produites dans l'air parviennent à nos oreilles.

D'autres exemples existent de cette action à distance, sans contact entre objets : la force de gravitation qui provoque la chute des corps vers la Terre, ou les forces entre aimants ou entre corps électriquement chargés. Lorsque des objets que rien ne soutient tombent vers le bas, ils sont mis en mouvement par l'attraction de la Terre, attraction qui maintient tous les objets à sa surface. Les aimants attirent des objets faits de fer, et attirent ou repoussent d'autres aimants sans les toucher. Il y a également attraction ou répulsion entre des objets qui sont chargés électriquement.

La lumière visible est un exemple de rayonnement qui se répand dans l'espace d'une façon qui ressemble à la manière dont les vagues se répandent à la surface de l'eau. D'autres sortes de lumières ne sont pas visibles pour l'œil humain, comme les ondes radio, les micro-

ondes, l'infrarouge, l'ultraviolet, les rayonnements X et gamma, qui diffèrent les unes des autres par leur longueur d'onde. Tous ces rayonnements peuvent voyager dans l'espace vide. Concevoir les rayonnements comme des ondes aide à comprendre la façon dont ils se comportent. Bien que le son se répande comme des ondes, il ne peut pas voyager dans l'espace vide ; il faut qu'il y ait de la matière présente de façon continue entre la source du son et le récepteur pour permettre aux vibrations de se propager.

Quand le rayonnement frappe un autre objet, il peut être réfléchi par celui-ci, absorbé ou diffusé par lui, le traverser ou encore une combinaison de ces effets peut se produire. Lorsqu'il est réfléchi par un miroir ou transmis au travers d'un matériau transparent, le rayonnement demeure le même, mais lorsqu'il est absorbé par un objet il est modifié et cela cause généralement une augmentation de la température de l'objet.

Certains cas d'action à distance ne peuvent pas s'expliquer en termes de rayonnement issu d'une source et se propageant jusqu'au récepteur. Un aimant, par exemple, peut attirer ou repousser un autre aimant et les deux aimants jouent un rôle égal ; de même, l'attraction ou la répulsion entre des charges électriques est réciproque. L'entraînement vers le bas qui provoque la chute d'un objet lorsqu'on le lâche est également le résultat d'une attraction à distance – entre l'objet et la

Terre. Il existe une force gravitationnelle entre tous les objets qui dépend de leur masse et de la distance qui les sépare. Elle n'est perceptible que lorsque l'un au moins de ces objets possède une masse très importante, comme c'est le cas de la Terre, qui les attire. Le concept de champ est utile pour se représenter de telles situations. Un champ est la région dans laquelle un objet exerce une influence, la force du champ décroissant avec la distance à cet objet. Lorsqu'un autre objet pénètre ce champ, il subit un effet d'attraction ou de répulsion.

3. Pour modifier le mouvement d'un objet, il faut qu'une force agisse sur lui.

Les forces peuvent pousser, tirer ou tordre les objets, changer leur forme ou leur mouvement. Les objets ne changent leur mouvement que sous l'effet d'une force.

La vitesse à laquelle le mouvement d'un objet change dépend à la fois de la force agissante et de la masse de l'objet. Plus grande est la masse, plus il faut de temps à la vitesse pour augmenter ou décroître, et cette propriété de la masse est appelée inertie.

La gravitation est une force universelle d'attraction entre tous les objets, aussi grands ou aussi petits soient-ils, et son résultat est que chaque objet sur la Terre est attiré vers le centre de celle-ci. Nous identifions cette force dirigée vers le bas comme le poids d'un objet. Un objet attire la Terre autant que la Terre attire l'objet, mais la masse de la Terre étant beaucoup plus importante,

nous observons le mouvement résultant de l'objet, non celui de la Terre. La force de gravité attirant vers le bas un objet sur la Lune est inférieure à ce qu'elle est sur la Terre parce que la masse de la Lune est inférieure à la masse de la Terre, si bien qu'une personne sur la Lune pèse moins que sur la Terre alors que sa masse demeure la même. L'attraction que la Terre exerce sur la Lune maintient celle-ci en orbite autour de la Terre tandis que l'attraction de la Lune sur la Terre provoque les marées.

Un objet demeurant au repos à la surface de la Terre subit une ou plusieurs forces qui contrebalancent la force de gravité. Un livre posé sur une table ne tombe pas parce que les atomes de la table le poussent vers le haut avec une force égale à la force de gravité dirigée vers le bas.

Lorsque plusieurs forces agissent sur un objet et ne sont pas égales et opposées en direction, l'effet résultant est de modifier le mouvement de l'objet, de l'accélérer ou de le ralentir. Symétriquement, le mouvement d'un objet ne change pas sauf lorsqu'une force résultante agit sur lui. Souvent cette force agissante n'est pas reconnue comme une force, et un objet en mouvement, par exemple une bille qui roule, est supposé ralentir automatiquement. En fait, son mouvement est progressivement ralenti par une force de frottement. Dans tous les cas, un changement du mouvement est causé par un déséquilibre des forces. Si aucune force résultante ne s'applique, le mouvement ne change pas ; l'objet demeure immobile ou, s'il est en mouvement, poursuit celui-ci pour toujours en

ligne droite, comme le font les étoiles dans le ciel. Le changement du mouvement se fait dans la direction de la force résultante; le mouvement à angle droit de cette force n'est pas affecté. Les satellites demeurent en orbite autour de la Terre parce qu'ils ont été lancés depuis celle-ci avec une force suffisante pour atteindre une altitude où leur mouvement se fait selon une courbe autour de la Terre, résultant d'une force de gravitation dont la direction change constamment alors qu'il n'existe pas de résistance de l'air pour les ralentir.

Lorsque des forces opposées agissent sur un objet solide et ne sont pas de même direction, elles mettent l'objet en rotation ou le tordent. L'effet d'une telle force dépend de sa distance à l'axe autour duquel l'objet peut tourner. Ce phénomène possède un grand nombre d'applications dans les outils et les machines.

La pression mesure l'impact d'une force agissant sur une surface donnée. Une force répartie sur une surface plus grande produit moins de pression que lorsqu'elle est répartie sur une petite surface, une relation qui a beaucoup d'applications, depuis les skis jusqu'aux pointes de stylobille.

4. L'énergie est transformée lors de certains changements ou événements, mais la quantité totale d'énergie présente dans l'univers demeure toujours la même.

Il existe bien des façons par lesquelles un événement peut être provoqué ou des choses transformées.

On peut modifier le mouvement d'un objet en le poussant ou en le tirant. Chauffer de la matière peut la transformer comme dans la cuisson, dans la fusion de solides ou dans la transformation d'eau liquide en vapeur. L'électricité peut faire briller une ampoule.

Dans tous ces cas, ce qui est nécessaire pour produire un changement est appelé énergie et, au cours de ce changement, l'énergie est transformée d'une forme en une autre. Un objet capable de fournir de l'énergie à quelque autre objet est appelé une source d'énergie bien qu'il ne crée pas de l'énergie mais doive l'obtenir soit de lui-même soit d'ailleurs.

Les objets possèdent de l'énergie soit à cause de leur composition chimique (comme dans les combustibles et les batteries), soit grâce à leur mouvement, leur température, leur position dans un champ de gravitation ou d'une autre nature, ou encore à partir de la compression ou de la distorsion d'un matériau élastique. De l'énergie peut être emmagasinée en élevant un objet au-dessus du sol de la Terre, si bien que lorsqu'il est lâché et tombe cette énergie emmagasinée peut produire un changement. Lorsqu'un objet est chauffé, il possède davantage d'énergie que lorsqu'il est froid. La chaleur peut se déplacer d'un objet à une température plus élevée, mis en contact avec un autre d'une température plus basse, jusqu'à ce que les deux objets soient à la même température. La vitesse à laquelle cela se produit dépend de la nature du matériau au travers duquel la chaleur se

déplace. Les composants chimiques contenus dans une batterie stockent de l'énergie qui est libérée lorsque la batterie est connectée à un circuit, si bien qu'un courant électrique, transportant de l'énergie, y circule. L'énergie peut être transportée par le rayonnement, comme par le son dans l'air ou par la lumière dans l'air ou le vide.

Bien des processus et des phénomènes sont expliqués en termes d'échanges d'énergie, depuis la croissance des plantes jusqu'au temps qu'il fait. Le transfert d'énergie qui provoque tel ou tel résultat produit également et presque toujours une chaleur qui n'est pas recherchée, dissipée par conduction ou par rayonnement. La chaleur correspond à un mouvement aléatoire des atomes et des molécules ; l'énergie sous cette forme ne peut pas être aussi facilement utilisée que sous d'autres formes.

L'énergie ne peut être ni créée ni détruite. Lorsque de l'énergie est transférée d'un objet à d'autres, la quantité totale d'énergie dans l'univers demeure la même ; la quantité que perd un objet est la même que celle que gagnent les autres objets. Lorsque le Soleil chauffe la Terre, le Soleil perd progressivement de l'énergie par la lumière qu'il émet. La masse des atomes représente une forme d'énergie stockée, appelée énergie nucléaire. Les atomes radioactifs peuvent libérer cette énergie et la rendre disponible sous forme de chaleur.

Dans le monde entier, les besoins en énergie augmentent parce que, d'une part, la population humaine s'accroît et, d'autre part, le genre de vie

contemporain demande plus d'énergie, particulièrement sous la forme commode de l'énergie électrique. Puisque les combustibles fossiles, fréquemment utilisés dans les centrales électriques et dans les générateurs, sont une ressource limitée, d'autres façons de produire l'électricité sont étudiées, tout en cherchant à réduire la demande par l'amélioration de l'efficacité des processus par lesquels nous utilisons l'énergie.

5. La composition de la Terre et de son atmosphère détermine sa surface et son climat.

Le surface de la Terre baigne dans l'air, mais plus on s'élève au-dessus d'elle moins il y a d'air. Le temps qu'il fait est déterminé par les conditions de l'air. La température, la pression, la direction et la vitesse du mouvement de l'air, la quantité de vapeur d'eau qu'il contient se combinent pour produire le temps qu'il fait. La mesure de ces différentes propriétés jour après jour permet de découvrir des structures qui peuvent être alors utilisées pour prévoir la probabilité de différents types de temps.

La plus grande partie de la surface solide de la Terre est couverte de sol, lequel est un mélange de roches de tailles variées et de résidus d'organismes vivants. Un sol fertile contient également de l'air, de l'eau, certaines espèces chimiques résultant de la décomposition de la matière vivante, particulièrement de plantes, et certaines espèces vivantes telles que des insectes, des vers de terre et des bactéries. Le matériau solide qui se trouve sous le

sol est rocheux. Il existe de nombreuses sortes différentes de roches, possédant une composition variable et des propriétés multiples. L'action du vent et de l'eau érode progressivement les roches en morceaux de plus en plus petits – le sable est fait de petits morceaux de roche et l'argile de morceaux plus minuscules encore.

La couche d'air qui se trouve au-dessus de la surface terrestre est transparente à la plus grande partie des rayonnements provenant du Soleil, qui la traversent donc. Ce rayonnement, absorbé par la surface terrestre, est la source externe d'énergie fournie à la Terre. La décroissance radioactive des matériaux présents à l'intérieur de la Terre depuis sa formation est la source interne d'énergie. Le rayonnement issu du Soleil fournit l'énergie aux plantes qui contiennent de la chlorophylle, leur permettant de fabriquer du glucose grâce à la photosynthèse. Le rayonnement solaire absorbé par la Terre chauffe sa surface qui alors émet un rayonnement de longueur d'onde plus grande (infrarouge) lequel ne peut passer au travers de l'atmosphère mais est absorbé par elle et maintient la Terre chaude. Cela est appelé l'effet de serre parce que ressemblant à ce qui se produit dans une serre lorsqu'elle est chauffée par le soleil.

L'oxygène de l'atmosphère, produit par les plantes grâce à la photosynthèse, protège indirectement la Terre de la partie à courte longueur d'onde (ultraviolet) du rayonnement solaire, dangereux pour nombre d'organismes vivants. L'action du rayonne-

ment ultraviolet sur l'oxygène présent dans la haute atmosphère fabrique de l'ozone qui absorbe ce rayonnement dangereux. L'ozone atmosphérique peut être dissocié par certaines espèces chimiques produites à la surface de la Terre par l'action humaine.

Sous la surface solide de la Terre se trouve une couche très chaude appelée le manteau. Le manteau est solide quand il est sous pression mais il fond (il est alors appelé magma) lorsque la pression diminue. Aux endroits où existent des fissures (ou de mince épaisseur) de la croûte, le magma peut monter jusqu'à la surface, par exemple lors des éruptions volcaniques. La surface terrestre est constituée d'un certain nombre de plaques solides en mouvement les unes par rapport aux autres et déplacées par les mouvements du manteau. Lorsque ces plaques entrent en collision, les chaînes de montagnes sont formées et il existe une ligne de faille le long de la frontière de la plaque ; là, les tremblements de terre sont plus probables ainsi qu'une activité volcanique. La surface de la Terre change lentement au cours du temps, les montagnes subissant l'érosion par les précipitations et le vent, tandis que de nouvelles sont formées lorsque la croûte est poussée vers le haut.

6. Le système solaire représente une minuscule partie d'un univers formé de milliards de galaxies.

Notre Soleil est l'une des innombrables étoiles présentes dans l'univers. La Terre se déplace autour du Soleil,

prenant environ une année pour parcourir son orbite. La Lune est en orbite autour de la Terre, prenant environ quatre semaines pour en faire le tour. Le Soleil, situé au centre du système solaire, est le seul objet de celui-ci qui soit une source de lumière visible. La Lune réfléchit la lumière du Soleil et, lorsqu'elle se déplace autour de la Terre, la partie illuminée par le Soleil et vue depuis la Terre se modifie, ce qui explique les changements de l'apparence de la Lune observée à différents moments. La Terre tourne sur elle-même autour d'un axe nord-sud et cette rotation crée l'apparence d'une rotation du Soleil, de la Lune et des étoiles autour de la Terre. Cette rotation est également la source du jour et de la nuit, lorsque différentes parties de la surface terrestre sont dirigées vers le Soleil ou à l'opposé de celui-ci.

Il faut une année à la Terre pour compléter un tour autour du Soleil. L'axe de la Terre est incliné par rapport au plan de son orbite autour du Soleil, si bien que la longueur du jour varie avec la position d'un observateur à la surface de la Terre et le moment de l'année. Cette inclinaison de l'axe de la Terre est à l'origine des saisons.

La Terre est l'une des huit planètes de notre système solaire lesquelles, avec beaucoup d'autres corps plus petits, sont en orbite autour du Soleil sur des trajectoires approximativement circulaires, à différentes distances du Soleil et donc faisant le tour avec des durées différentes. Les distances entre ces corps sont considérables – Neptune est à 4,5 milliards

de kilomètres du Soleil, 30 fois plus loin que ne l'est la Terre. Vues de la Terre, les planètes se déplacent par rapport aux étoiles.

Il arrive qu'un bloc de roche de taille importante, en orbite autour du Soleil, se rapproche suffisamment de la Terre pour tomber sur elle à cause de son attraction gravitationnelle. Le frottement de cette roche avec l'air de l'atmosphère la chauffe et la rend lumineuse; elle est alors perçue comme une étoile filante. Néanmoins, le mouvement de la plupart des objets contenus dans le système solaire est régulier et parfaitement prévisible. Les mêmes lois scientifiques qui établissent de façon générale comment les objets se comportent s'appliquent à la Terre, mais aussi partout dans l'univers. L'exploration spatiale a montré que la surface des autres planètes a également changé depuis leur formation.

L'étoile la plus proche du Soleil en est éloignée d'une distance beaucoup plus importante que celle du Soleil à la planète la plus éloignée, Neptune. Notre Soleil est une étoile parmi des milliards qui, rassemblées, forment une galaxie appelée la Voie lactée. Il y a des milliards de galaxies dans l'univers, à des distances extraordinairement grandes les unes des autres – et toutes s'éloignent rapidement les unes des autres. Ce mouvement des galaxies indique que l'univers est en expansion depuis un état passé appelé le big-bang en direction d'un état futur largement indéterminé.

7. Les organismes vivants sont tous organisés à partir de cellules.

Les « choses » vivantes, appelées organismes vivants, se distinguent des « choses » non vivantes par leur capacité à se déplacer, à se reproduire et à réagir à certains stimuli. Pour survivre, les organismes ont besoin d'eau, d'air, de nourriture, d'une méthode pour se débarrasser de leurs résidus et d'un environnement qui demeure dans un domaine de température convenable. Tous les organismes vivants sont faits d'au moins une ou de plusieurs cellules que l'on ne distingue qu'au microscope.

Toutes les fonctions de base de la vie résultent de ce qui se produit à l'intérieur des cellules. Les cellules se divisent en augmentant leur nombre, ou parfois leur taille, lors de la croissance et de la reproduction ; de leur nourriture elles extraient de l'énergie pour satisfaire à cette fonction comme aux autres. Certains organismes sont multicellulaires. Certaines cellules des organismes multicellulaires, outre qu'elles effectuent les fonctions de toutes les cellules, sont spécialisées ; par exemple, les cellules des muscles, du sang ou des nerfs ont des fonctions spécifiques à l'intérieur de l'organisme. Les cellules se rassemblent souvent en tissus, les tissus en organes, et les organes en systèmes d'organes. Dans le corps humain, ces systèmes exercent les fonctions vitales de respiration, de digestion, d'élimination des déchets et de contrôle de la température. Le système circulatoire apporte à toutes les parties du corps ce qui

est nécessaire aux cellules et élimine les résidus solubles par le système urinaire.

À l'intérieur des cellules, il existe de nombreuses molécules de différentes espèces qui interagissent pour réaliser les fonctions de la cellule. Dans les organismes multicellulaires, les cellules communiquent entre elles en échangeant des substances afin de coordonner leur activité. La membrane qui entoure chaque cellule joue un rôle important en régulant ce qui peut entrer ou sortir d'une cellule. L'activité au sein des différents types de cellules est régulée par des enzymes. Les hormones, produites par des tissus et des organes spécialisés, régulent l'activité d'autres organes ou de tissus assurant le fonctionnement global de l'organisme. Chez les humains, la plupart des hormones sont transportées par le sang. La maladie est souvent le résultat d'un mauvais fonctionnement des cellules ; bien des médicaments fonctionnent en accélérant ou ralentissant le mécanisme régulateur des enzymes ou des hormones. Le cerveau et la moelle épinière contribuent également à la régulation de l'activité cellulaire, en envoyant des messages *via* les cellules nerveuses sous la forme d'un signal électrique, qui voyage rapidement entre cellules.

Les cellules fonctionnent au mieux dans certaines conditions, particulièrement de température et d'acidité. Les organismes mono- ou multicellulaires ont des mécanismes maintenant la température et l'acidité dans certaines limites qui permettent à l'organisme de survivre.

8. Pour subsister, les organismes vivants ont besoin d'énergie et de matière, pour lesquelles ils sont souvent en compétition avec ou en dépendance d'autres organismes.

Tout ce qui est vivant a besoin d'énergie et de nourriture ainsi que généralement d'air, d'eau et de certaines conditions de température. Les plantes qui contiennent de la chlorophylle peuvent utiliser la lumière solaire pour fabriquer la nourriture dont elles ont besoin et pour stocker celle qu'elles n'utilisent pas immédiatement. Les animaux ont besoin de substances nutritives qu'ils transforment; ils les obtiennent soit directement en se nourrissant de plantes (herbivores), soit indirectement à partir d'animaux (carnivores) qui eux-mêmes ont mangé des plantes ou d'autres animaux. Finalement, les animaux dépendent des plantes pour leur survie. Les relations entre organismes vivants peuvent être représentées par des chaînes ou des réseaux alimentaires.

Certains animaux dépendent également des plantes d'autres manières: notamment pour leur habitat et, dans le cas des êtres humains, pour l'habillement ou pour l'obtention des combustibles. Les plantes dépendent également des animaux selon différents modes. Par exemple, les plantes à fleurs peuvent dépendre des insectes pour leur pollinisation ou d'autres animaux pour disperser leurs graines.

Des organismes interdépendants vivant ensemble dans des conditions particulières d'environnement

forment un écosystème. Dans un écosystème stable, il y a des producteurs de nourriture (plantes), des consommateurs (animaux) et des décomposeurs, qui sont les bactéries et les champignons se nourrissant des produits de décomposition et des organismes morts. Les décomposeurs produisent des matériaux qui aident les plantes à croître, si bien que les molécules présentes dans les organismes sont constamment réutilisées. Simultanément, de l'énergie traverse l'écosystème. Lorsque de la nourriture est utilisée par les organismes pour maintenir la vie, une certaine énergie est dissipée sous forme de chaleur, mais elle est remplacée dans l'écosystème par de l'énergie issue du Soleil et utilisée pour produire la nourriture sous forme de plantes.

Dans tout écosystème, il y a compétition entre espèces pour l'énergie et les matériaux dont ils ont besoin pour vivre. Cette compétition s'atténue ou disparaît dans un écosystème stable. La persistance d'un écosystème dépend de la disponibilité permanente de ces ressources dans l'environnement. Les espèces de plantes se sont adaptées afin d'obtenir l'eau, la lumière, les minéraux et l'espace dont elles ont besoin pour grandir et se reproduire dans des environnements particuliers caractérisés par des conditions climatiques, géologiques et hydrologiques. Si ces conditions varient, la population de plantes peut changer, produisant une modification dans les populations animales.

9. L'information génétique est transmise d'une génération d'organismes vivants à la suivante.

Les « choses » vivantes produisent une descendance de même espèce, mais dans bien des cas tous les descendants ne sont pas identiques aux parents ou entre eux. Les plantes et les animaux, humains inclus, ont nombre de caractères ressemblant à ceux de leurs parents parce que l'information est transmise d'une génération à la suivante. D'autres caractéristiques, telles que les compétences ou le comportement, ne sont pas transmises de la même façon et doivent être apprises.

L'information qui est transmise entre générations se présente sous la forme d'un code inscrit dans l'organisation d'une très grosse molécule appelée ADN. Un gène est un morceau de cet ADN, d'une certaine longueur ; des centaines ou des milliers de gènes sont présents sur un seul chromosome. Dans le corps humain, la plupart des cellules contiennent 23 paires de chromosomes avec un total d'environ 25 000 gènes. Ceux-ci contiennent et fournissent l'information nécessaire à la croissance des cellules et à leur reproduction.

Lorsqu'une cellule se divise dans le processus de croissance ou de remplacement de cellules mortes, cette information génétique est copiée, si bien que chaque nouvelle cellule contient une réplique de la cellule parente. Parfois, une erreur se produit dans la répllication et est alors source d'une mutation, qui peut ou non conduire à

un dommage pour l'organisme. Des changements dans les gènes peuvent résulter des conditions d'environnement, telles que le rayonnement ou des produits chimiques. Ces modifications peuvent affecter l'individu mais n'affectent sa descendance que lorsqu'ils se produisent dans les cellules sexuelles (sperme ou ovule).

Dans la reproduction sexuée, une cellule de sperme issu d'un mâle s'unit à une cellule ovule issue d'une femelle. Les cellules de sperme et les ovules sont des cellules spécialisées, chacune d'entre elles possédant soit le gène paternel soit le gène maternel, cette répartition étant faite au hasard. Lorsqu'une cellule de sperme et un ovule se combinent, la moitié du matériau génétique dans l'œuf fertilisé est issue de la cellule de sperme et la moitié de la cellule ovule. Lorsque l'œuf fertilisé se divise de façon répétée, ce matériau génétique est alors dupliqué dans chaque nouvelle cellule. Le tirage au sort et la recombinaison du matériau génétique lorsque les ovules et les cellules de sperme se forment et puis se combinent produit une immense variété de combinaisons possibles de gènes, et donc des différences qui peuvent être transmises d'une génération à la suivante. Cela fournit les éléments d'une sélection naturelle, laquelle résulte de variations rendant certains organismes mieux adaptés à certaines conditions d'environnement.

La reproduction asexuée, qui se produit naturellement dans une grande variété d'organismes depuis

les bactéries et les insectes jusqu'aux plantes, conduit à des populations possédant un matériau génétique identique. Les biotechnologies ont rendu possible la production d'organismes génétiquement identiques par le clonage artificiel dans un certain nombre d'espèces, incluant des mammifères.

La recherche conduit à accroître sans cesse les connaissances sur l'information génétique en traçant la carte des génomes de différentes espèces d'organismes. Lorsque les séquences de gènes sont connues, le matériau génétique peut être artificiellement transformé pour conduire à des organismes possédant certaines caractéristiques. Dans la thérapie génique, des techniques particulières sont utilisées pour fournir à des cellules humaines certains gènes qui pourraient le cas échéant guérir des maladies.

10. La diversité des espèces, vivantes ou éteintes, est le résultat d'une évolution.

Il existe un grand nombre d'espèces différentes de plantes et d'animaux dans le monde aujourd'hui. Beaucoup d'espèces ont vécu autrefois mais sont maintenant disparues. Nous les désignons comme fossiles. Les animaux et les plantes sont classés en groupes et sous-groupes selon leur ressemblance. Par exemple, au sein du groupe d'animaux appelés oiseaux, il existe des familles d'oiseaux, comme les mésanges, et, à l'intérieur d'une famille différentes espèces, comme

les mésanges bleues, les mésanges à longue queue... Les organismes appartenant à la même espèce ont une descendance de cette espèce. En général, des espèces différentes ne peuvent pas être fécondes entre elles.

Bien que les organismes d'une même espèce soient très semblables, ils diffèrent néanmoins légèrement. Les espèces que l'on trouve dans un certain environnement y demeurent parce que leurs caractéristiques les rendent capables d'y survivre. Cette adaptation à l'environnement a résulté des petites différences qui se produisent pendant la reproduction, conduisant à ce que certains individus soient mieux adaptés à l'environnement que d'autres. Dans la compétition pour les matériaux, la nourriture et l'énergie, ceux qui sont les mieux adaptés survivront et transmettront leurs caractères adaptés à leur descendance. Ceux qui sont moins adaptés à un environnement particulier ont plus de risques de mourir avant de se reproduire, si bien que les générations à venir contiendront un plus grand nombre d'individus mieux adaptés. Cela ne se produit que si les changements résultent de mutations dans les cellules reproductives. Les mutations se produisant dans les autres cellules ne sont pas transmises.

La sélection naturelle des organismes présentant des caractéristiques adaptées à la survie dans des conditions particulières d'environnement se produit depuis que les premières formes de vie sont apparues sur Terre, il y a environ 3,5 milliards d'années au

moins. Des organismes simples monocellulaires sont apparus tôt dans l'histoire de la vie. Il y a environ 2 milliards d'années, certains d'entre eux évoluèrent en organismes pluricellulaires, desquels sont issus les animaux de grande taille, les plantes et les champignons d'aujourd'hui. D'autres formes de vie demeurèrent unicellulaires.

Lorsque des changements climatiques, géologiques ou de population se produisent, le bénéfice apporté par certains traits hérités peut être accru ou diminué. L'activité humaine peut produire des effets à long terme sur l'environnement; elle a déjà provoqué des changements dommageables à bien des organismes. Le taux actuel d'extinction des espèces résultant des activités humaines est des centaines de fois supérieur à ce qu'il serait en leur absence. Maintenir la biodiversité est important. Une réduction dans la diversité du vivant peut conduire à une dégradation significative des écosystèmes et à une perte de leur capacité à répondre à des changements de l'environnement.

11. La science présume que chaque effet observé possède une ou plusieurs causes.

La science consiste à trouver des explications aux phénomènes qui se produisent ou à la façon dont ils se produisent, en supposant que chaque effet possède une ou plusieurs causes et qu'il existe une raison pour ce qui se produit. Une explication n'est pas une hypothèse mais

doit résulter d'un raisonnement. Il y a bien des façons de découvrir ce qui est la cause des phénomènes ou de leur occurrence. Une observation attentive, associant des mesures lorsque c'est réalisable, peut suggérer une explication. Dans d'autres cas, on peut envisager d'agir afin de provoquer un changement et d'observer alors ce qui se produit. Quand on procède ainsi, il est important de vérifier si possible que l'on ne change qu'une chose (variable, facteur ou paramètre) à la fois, de sorte que le résultat puisse être attribué à cette chose-là.

Toute affirmation sur l'explication d'un phénomène particulier doit reposer sur des évidences qui la confortent. Les observations soigneuses et systématiques, ainsi qu'une description précise de ce qui est observé sont le fondement même de l'investigation scientifique. Il est important de réaliser que s'attendre à un certain résultat peut parfois influencer l'observation, si bien qu'il est de bonne pratique que les observations soient faites indépendamment par différentes personnes.

Il peut exister des idées différentes sur l'explication de tel fait, de sorte qu'il faut rassembler des évidences pour décider quelle est celle qui est la plus adéquate. Une explication possible (hypothèse) propose le ou les facteurs que l'on pense capables d'expliquer un phénomène. Pour tester sa validité, cette hypothèse est utilisée afin de prédire ce qui se produirait si un tel facteur était changé; des observations sont alors conduites pour voir si le résultat constaté est en accord

avec la prédiction. Si c'est le cas et qu'aucun autre des facteurs ne conduit au même résultat, alors ce premier facteur est accepté comme la meilleure explication dont on dispose pour expliquer le phénomène. Néanmoins, il existe bien souvent plusieurs facteurs qui interagissent, et le rôle de chacun d'entre eux peut demeurer incertain.

Dans les cas où les facteurs ne peuvent pas être manipulés expérimentalement, comme c'est le cas par exemple du mouvement des planètes dans le système solaire, le phénomène peut être étudié par l'observation systématique, en de nombreuses occasions et sur une durée longue. En recherchant des structures dans les données, on peut découvrir qu'il existe une corrélation entre facteurs – chaque fois que tel facteur change, tel autre change également. Une corrélation peut s'utiliser pour proposer un modèle sous-jacent, lequel peut être à son tour employé pour faire des prédictions, même s'il contient des aspects qui ne peuvent être directement observés ou modifiés. Néanmoins, une simple corrélation ne peut généralement pas être prise comme une évidence permettant de conclure que ce facteur est la cause du changement. En outre, découvrir que tel facteur est la cause de tel effet ne suffit pas à fournir l'explication du mécanisme par lequel l'effet se produit. Pour y parvenir, un modèle des relations entre facteurs, fondées sur des principes scientifiques, est nécessaire.

Les phénomènes qui se sont produits dans le passé, tels que le changement des roches ou l'évolution des

espèces, peuvent également être soumis à ce processus de tests d'hypothèse. Dans ces cas, c'est la cohérence que présentent les hypothèses avec tous les faits connus et les principes scientifiques acceptés qui fait retenir ces hypothèses comme source de la meilleure explication possible.

12. Les explications scientifiques, les théories et les modèles acceptés constituent la meilleure représentation possible des faits qui sont connus à un moment donné.

Chacun peut poser des questions sur les objets et les phénomènes du monde naturel ; il peut agir pour trouver des réponses qui l'aident à comprendre ce qu'il observe. La science fait cela à l'aide d'une investigation systématique qui met en jeu la collecte de données par l'observation ou par la mesure de certaines caractéristiques des objets étudiés, ou encore à partir d'autres sources. Le fait de produire ou non une bonne explication dépend du genre de données qui ont été rassemblées, et le travail est habituellement facilité lorsqu'on dispose d'une théorie ou d'hypothèses sur ce qui pourrait se produire.

Pour faciliter ce processus d'explication des observations et de la cause des phénomènes, les scientifiques créent des modèles pour se représenter ce qu'ils pensent observer. Il s'agit parfois de modèles physiques, comme un modèle du système solaire où différents objets sont utilisés pour représenter le Soleil, la Lune, la Terre et les

autres planètes, ou bien un modèle de la façon dont on se représente l'arrangement des atomes dans un corps particulier. D'autres modèles sont théoriques, comme la représentation de la lumière comme une onde, et ces modèles représentent souvent les relations par des formules mathématiques. Certains d'entre eux sont solidement établis dans des théories dont la justesse a été montrée sans qu'apparaisse jamais de contradiction, quel que soit le contexte rencontré jusqu'ici. D'autres sont plus provisoires et seront vraisemblablement modifiés à l'avenir. Il existe parfois plus d'un modèle possible et il n'est pas toujours simple de choisir celui qui est le plus efficace. Il y a encore d'autres cas où nous n'avons aucun modèle explicatif satisfaisant.

Pour créer un modèle de l'un de ces types, il faut une capacité à imaginer la façon dont les choses peuvent être en relation les unes avec les autres tout autant qu'à utiliser ce qui est déjà connu. Ces modèles permettent d'expliquer les phénomènes à partir de relations entre les éléments d'un système. Raisonner sur la base de modèles signifie que l'on va au-delà de ce qui est directement observé, tout en conservant le lien avec l'évidence par la comparaison de la prédiction d'un modèle avec l'observation.

Les théories et les modèles sont testés en les mettant à l'œuvre afin de faire des prédictions sur l'effet que produira tel ou tel changement, puis en regardant si les prédictions sont confirmées grâce à la collecte de

nouvelles données. Une fois ces données collectées, il faut encore les interpréter. Les explications n'émergent pas de façon évidente à partir des données mais sont élaborées dans un processus qui met souvent en jeu l'intuition, l'imagination et des hypothèses raisonnées.

Si de nouvelles données ne sont pas en accord avec les idées admises, alors ces idées doivent changer. Bien que l'on ait davantage confiance dans une théorie ou un modèle qui conduisent à des prédictions dont on constate l'accord avec les observations, une explication ou une théorie ne peuvent jamais être démontrées comme étant parfaitement correctes, parce qu'il existe toujours la possibilité que de nouvelles données entrent en conflit avec elles. Si bien que certaines idées scientifiques acceptées aujourd'hui pour expliquer que nous observons différent de celles qui était acceptées dans le passé, et certaines d'entre elles pourront à nouveau évoluer à l'avenir.

13. Les connaissances produites par la science sont utilisées dans les technologies afin de créer des produits qui servent des buts définis par l'homme.

La technologie contribue à fournir aux hommes des objets dont ils ont besoin et qu'ils peuvent utiliser, comme la nourriture, les outils, les vêtements ou une habitation. Fabriquer ces objets implique de choisir les matériaux ayant les meilleures propriétés pour un usage donné. Des matériaux provenant des plantes, des animaux ou de la surface de la Terre ont été utilisés

pendant des milliers d'années, tandis que les matériaux manufacturés, comme les matières plastiques, sont produits depuis le début du xx^e siècle. Ces matériaux artificiels peuvent être conçus pour avoir les propriétés recherchées et permettent l'élaboration de nouveaux produits.

L'application de la science à l'élaboration de nouveaux matériaux est un exemple de la façon dont la connaissance scientifique a conduit à des progrès dans les technologies. L'application de principes scientifiques à la fabrication de nouveaux outils ou machines a également rendu possible la production de masse, si bien que davantage d'hommes ont accès à tout un ensemble de produits utiles. Simultanément, les progrès technologiques ont contribué au développement scientifique en améliorant les instruments d'observation et de mesure, en rendant automatiques des processus qui auraient été trop dangereux ou consommeraient trop de temps, tout particulièrement grâce à l'apport des ordinateurs.

L'usage de la technologie sert les progrès scientifiques, lesquels à leur tour peuvent être utilisés pour concevoir et réaliser des objets utilisables par les hommes. Dans certains cas, les produits de la technologie ont devancé les concepts scientifiques, tandis que dans d'autres cas c'est la compréhension par la science qui a précédé.

Les produits de la technologie présentent des inconvénients aussi bien que des avantages. Bien que l'utili-

sation de certains matériaux artificiels puisse consommer moins de matériaux naturels rares, nombre de ces matériaux artificiels ne se dégradent pas comme le font les matériaux naturels. Il se présente donc un problème de déchets lorsqu'on les jette. D'autres produits de la technologie, tels que les téléphones mobiles et les ordinateurs, utilisent des métaux qui n'existent sur Terre qu'en petites quantités et qui pourraient s'épuiser rapidement. De tels exemples manifestent un problème plus large : la nécessité de recycler les matériaux pour les économiser et pour réduire la pollution. Lorsque existent des effets fâcheux sur l'environnement ayant un impact sur la vie des hommes, les scientifiques et les technologues doivent collaborer pour comprendre le problème et trouver des solutions.

14. Les applications de la science ont, bien souvent, des implications éthiques, sociales, économiques et politiques.

La compréhension que développe la science permet d'expliquer le fonctionnement et les phénomènes du monde naturel. Cette compréhension a souvent été appliquée pour aider à résoudre des problèmes de l'humanité*. De telles solutions technologiques ont amélioré la vie et la santé d'un grand nombre d'hommes dans bien des pays lors des décennies écoulées. Une eau

*. Les connaissances scientifiques ont aussi contribué de façon redoutable aux guerres. [NdT]

propre, une nourriture adéquate et des médicaments améliorés ont accru l'espérance de vie. Simultanément, la croissance de population qui en a résulté a augmenté la demande portant sur les ressources et sur l'espace à la surface de la Terre afin de produire davantage de nourriture, des logements et traiter des déchets. Cela a souvent eu des conséquences négatives dans les pays en développement et a détruit les habitats d'autres êtres vivants, produisant l'extinction de certaines espèces.

Il existe de nombreux exemples du fait que des progrès technologiques ont des conséquences inattendues. Une facilité plus grande à se déplacer plus vite, particulièrement dans les airs, brûle du pétrole, ce qui produit du dioxyde de carbone, l'un des gaz de l'atmosphère qui maintient chaude la surface de la Terre par l'effet de serre. Une augmentation de ces gaz dans l'atmosphère accroît la température de la Terre. Même une légère augmentation de celle-ci peut avoir des effets considérables sur les glaces polaires, le niveau de la mer et les climats. Dans tous ces cas où les effets négatifs sont connus, la transaction entre les avantages et les désavantages des utilisations de la science doit être soigneusement pesée.

La science peut aider à comprendre les implications de certains de ses usages mais les décisions les concernant demandent un jugement éthique ou moral que la science ne fournit pas. Il faut également considérer l'usage des ressources rares. Toutes les innovations consomment

des ressources d'une espèce ou d'une autre, y compris des ressources financières, si bien que des décisions doivent être prises lorsque plusieurs demandes sont en compétition. Ces décisions, qu'elles se prennent à un niveau gouvernemental, local ou individuel, doivent faire appel à une compréhension des concepts scientifiques et des principes technologiques qu'elles mettent en jeu.