

## 4 idées SUR la science

(Extraits du Livre *Harlen, W. (dir.) (2011). 10 Notions clé pour enseigner la science. Paris: Le Pommier.* Version PDF du livre dans son intégralité disponible <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11926/notions-cl-s-pour-enseigner-la-science>)

(Chapitre 1, pp. 38 à 41)

1. La science présume que chaque effet observé possède une ou plusieurs causes.
2. Les explications scientifiques, les théories et les modèles acceptés constituent la meilleure représentation possible des faits qui sont connus à un moment donné.
3. Les connaissances produites par la science sont utilisées dans les technologies afin de créer des produits qui servent des buts définis par l'homme.
4. Les applications de la science ont, bien souvent, des implications éthiques, sociales, économiques et politiques.

**L'éducation à la science a des objectifs multiples. Elle doit viser à développer : la compréhension d'un ensemble de notions-clés de science incluant des idées DE science et des idées SUR la science et son rôle dans la société ; des compétences scientifiques permettant de rassembler et d'utiliser des évidences, des attitudes scientifiques.**

Nous utilisons ici l'expression notion-clé pour signifier un énoncé abstrait, expliquant des relations observées entre phénomènes ou des propriétés. Cela diffère de l'usage quotidien du terme idée désignant une pensée qui n'est pas nécessairement liée à l'usage des évidences. Une notion-clé que nous considérons comme importante en sciences est une notion qui s'applique à tout un ensemble d'objets ou de phénomènes, alors que ce que nous pourrions appeler petite idée ne s'applique qu'à une observation particulière ou à une simple expérience. Par exemple, le fait que les vers de terre soient bien adaptés à vivre dans le sol est une petite idée ; une notion-clé plus ample est que les êtres vivants ont évolué sur de très longues périodes de temps pour pouvoir vivre dans certaines conditions. Par une éducation à la science, les élèves développent leur compréhension de notions-clés sur les objets, les phénomènes, les matériaux et les relations dans le monde naturel (par exemple, que toute matière est faite de particules microscopiques ; que certains objets sont capables d'en affecter d'autres à distance). Non seulement ces notions-clés fournissent des explications aux observations et répondent aux questions qui surgissent dans la vie quotidienne, mais elles permettent des prédictions sur des phénomènes n'ayant pas été observés jusqu'ici. Une éducation à la science doit également développer des notions-clés traitant de l'investigation scientifique, du raisonnement et des méthodes de travail (par exemple, le fait que la méthode scientifique permet de faire des prédictions basées sur des explications possibles ou qu'elle permet de tester la valeur de différentes idées par rapport à leur capacité de preuve), ainsi que des idées sur les relations entre science, technologie, société et environnement (par exemple, que les applications de la science peuvent avoir des effets sociaux, économiques et environnementaux positifs ou négatifs). Bien que ces notions-clés de science soient l'objet principal de ce petit ouvrage, il est important

de souligner que les buts de l'éducation à la science incluent également le développement d'attitudes et de compétences scientifiques. La compréhension de la façon dont la connaissance scientifique s'est développée doit, au moins en partie, résulter de la mise en œuvre d'investigations scientifiques de différentes sortes. Par une telle activité, les élèves apprennent à formuler des questions et à trouver des méthodes de collecte des données par l'observation et la mesure, afin de répondre aux questions, d'analyser et d'interpréter ces données, et de s'engager dans des discussions sur leurs résultats et la façon de les obtenir. Une attitude fondamentale est la volonté de participer aux activités scientifiques, c'est-à-dire de poursuivre une investigation sur le mode scientifique. Les objectifs de l'éducation à la science doivent donc comprendre la volonté de recueillir des données de façon contrôlée et systématique, d'être ouvert dans leur interprétation, de travailler en collaboration avec les autres, d'être ouvert au questionnement et, quand il le faut, critique sur les affirmations et explications proposées ainsi que de se comporter, au fur et à mesure de l'investigation, de manière responsable par rapport à l'environnement, à sa propre sécurité et à celle des autres. Ces objectifs divers ne sont pas atteints indépendamment les uns des autres. Dans l'apprentissage, il existe une interaction essentielle entre eux : une véritable compréhension demande des compétences telles que celles qu'impliquent l'usage des évidences et le raisonnement et des attitudes telles que la curiosité, le respect des faits et l'ouverture d'esprit. Les mener à terme entraîne l'utilisation de la langue, écrite ou orale, et éventuellement des mathématiques afin de décrire les propriétés et les relations des objets et des phénomènes, afin de reconnaître la signification scientifique de mots qui peuvent en avoir une différente ou plus étendue dans leur usage quotidien.

---

*(Chapitre 1, pp. 46 à 47)*

Les expériences d'apprentissage doivent faire appel à une vision de la connaissance scientifique et de l'investigation scientifique qui est rendue explicite et qui est en accord avec une vision scientifique et éducative actualisée. La science est souvent présentée comme une collection de faits et de théorèmes dont la justesse a été démontrée. Le mot objectivité est fréquemment utilisé pour décrire la méthode scientifique, impliquant qu'il n'existe qu'une façon de voir et que celle-ci est d'une certaine manière indépendante du jugement humain et des valeurs. La vision actuelle de la science est plus dynamique : les théories dépendent des évidences disponibles et, en conséquence, elles peuvent changer lorsque de nouvelles évidences surgissent. La science est vue comme le résultat d'une aventure humaine, mettant en jeu la créativité et l'imagination autant que la collecte soignée de données et leur interprétation pour produire évidences et preuves. L'histoire des sciences contient beaucoup d'exemples de modifications dans la façon dont certains phénomènes ou objets du monde, par exemple le système solaire, sont compris. Avec du recul, en connaissant les évidences qui à une certaine époque ont soutenu les nouvelles idées, celles-ci peuvent paraître évidentes mais, au moment où elles ont émergé, elles ont souvent requis un saut de pensée créative qui a conduit à la collecte de toutes sortes d'évidences plutôt que ces dernières n'en ont été le point de départ : un mélange de raisonnement inductif et déductif. Les idées, les notions qui sont confirmées de façon répétée par l'évidence finissent par acquérir un statut de fait mais

leur stabilité dépend de l'amplitude de ces évidences. Voir la science comme un processus de compréhension du monde a plus de chances de séduire les élèves que de la voir comme une série de procédures mécaniques et de réponses justes établies une fois pour toutes. L'activité scientifique et la pensée, qu'il s'agisse d'élèves ou de scientifiques, visent à comprendre. En cela, elles diffèrent de la technologie, qui vise à résoudre des problèmes par la conception et la fabrication de produits. Dans ce processus de compréhension, le jugement ultime de la validité d'un énoncé scientifique est l'évidence apportée par l'observation du monde physique. C'est ici que les sciences de la nature diffèrent des mathématiques, où la logique forme la base du raisonnement. Il y a de nombreuses raisons pour combiner les sciences de la nature, les mathématiques et la technologie dans l'enseignement et dans l'apprentissage, mais il demeure important de reconnaître qu'elles se situent différemment dans la production de connaissances et de compréhension. Les mathématiques sont attirantes par leur précision et les réponses claires qu'elles fournissent. En comparaison, les sciences de la nature peuvent paraître imprécises, mais cela découle de leur dépendance d'évidences qui peuvent être incertaines ou ouvertes à nombre d'interprétations différentes, mais non parce qu'il s'agirait simplement d'une question d'opinion ou de croyances.

---

*(Chapitre 2, pp. 57 à 58)*

Nous discutons maintenant les réponses possibles à quelques questions que nous avons soulevées lors de la sélection des notions-clés et des étapes de leur identification. Les questions principales sont :

- Devons-nous nous soucier des notions-clés de la science ou des notions-clés de l'éducation à la science, ou s'agit-il des mêmes ?
- Quelle doit être l'ampleur des notions-clés ?
- Quels sont les critères qui doivent guider la sélection ?
- Devons-nous limiter ces notions à celles qui résultent de l'activité scientifique, des idées sur le monde naturel, ou inclure des idées sur l'activité scientifique et sur l'usage des notions scientifiques ?

Une question qui ne figure pas dans cette liste se rapporte à ceux qui apprennent, pour lesquels ces notions sont choisies. Cela tient à ce que, depuis le début, notre objectif principal a été de considérer des notions-clés devant faire partie des objectifs d'une éducation à la science pour tous les élèves. Que ces élèves poursuivent ultérieurement ou non des études en sciences, ces idées sont celles dont ils auront besoin pour donner un sens à ce qu'ils observent dans le monde naturel et pour participer à des décisions sur des sujets à fondement scientifique qui pourront affecter leur bien-être et celui des autres.

---

*(Chapitre 2, pp. 66 à 68).*

Les notions-clés doivent-elles inclure des notions sur la science et la façon dont elle fonctionne ?

Faut-il limiter la discussion aux notions-clés de la science – ces théories, principes et modèles qui expliquent les phénomènes du monde naturel – ou bien faut-il inclure des notions portant sur les processus qui permettent de construire ces théories, principes et modèles ?

Cette question renvoie au débat philosophique sur la nature de la science. Jusqu'à un certain point, nous avons évité cette alternative en affirmant notre vision que la science a de multiples facettes comprenant à la fois la connaissance du monde et les processus d'acquisition de cette connaissance. Dans une éducation à la science, ces deux aspects sont associés, car nous souhaitons que les élèves comprennent à la fois les processus de l'activité scientifique et les notions auxquelles celle-ci a conduit. De fait, il serait bien difficile de séparer les deux aspects dans l'éducation à la science puisque ignorer la façon dont les notions se sont développées conduirait à un apprentissage de la science qui accepte de façon aveugle bien des notions sur le monde naturel, notions qui sont contraires aux évidences du bon sens. Mais par ailleurs, et d'un point de vue épistémologique, la relation entre le contenu et le processus de la science n'est pas aussi évidente. D'un côté, c'est le comportement des objets, des organismes vivants, des phénomènes du monde naturel qui fournit la base de ces notions-clés de science. De l'autre, les notions portant sur les processus de la science résultent de l'observation de l'activité de personnes ou de groupes – ces hommes et femmes de science qui ont construit ces notions. L'un ou l'autre type de notions est ainsi construit à partir d'une élaboration humaine, mais les notions relatives au processus de la science sont plus facilement critiquables que les autres. Néanmoins, ce sont les raisons mêmes énoncées au bénéfice des notions-clés scientifiques qui fournissent des arguments forts pour inclure également des notions sur l'activité scientifique. Dans un monde qui dépend de façon croissante des applications de la science, les jeunes peuvent se sentir impuissants s'ils n'ont pas une certaine compréhension non seulement de la façon dont les choses du monde sont expliquées, mais également de quelle manière évaluer la qualité de l'information sur laquelle ces explications sont fondées. En science, cette évaluation dépend des méthodes utilisées dans la collecte, l'analyse et l'interprétation des données. Lorsque nous pouvons interroger le fondement des idées, chacun de nous devient capable de rejeter des affirmations fondées sur de fausses évidences ou de reconnaître les situations dans lesquelles l'évidence est utilisée de façon sélective et arbitraire pour soutenir une certaine affirmation ou action. Ceci est un élément essentiel lorsque l'on utilise la connaissance scientifique pour évaluer des évidences, afin de prendre des décisions portant, par exemple, sur l'utilisation des ressources naturelles. Ces compétences sont fréquemment décrites comme constitutives de l'esprit scientifique ou leur manque comme caractérisant un illétrisme scientifique. Néanmoins, le sens de cette dernière expression est devenu si vague que nous avons préféré ne pas l'utiliser.

---

(Chapitre 2, pp. 73 à 75)

## Notions-clés sur la science

1. La science présume que chaque effet observé possède une ou plusieurs causes. La science veut expliquer et comprendre les phénomènes du monde naturel en termes de leurs causes. Les explications proposées doivent être fondées sur des évidences résultant d'observations et d'expériences. Il n'existe pas une méthode scientifique unique permettant de produire une explication scientifique et d'en tester la validité.

2. Les explications scientifiques, les théories et les modèles acceptés constituent la meilleure représentation possible des faits qui sont connus à un moment donné. Une théorie scientifique ou un modèle décrivant les relations entre des variables ou des composants d'un système doivent être en accord avec les observations disponibles à un moment donné et conduire à des prédictions pouvant être testées. Toute théorie, tout modèle sont donc provisoires, susceptibles de révision à la lumière de nouvelles données, même si précédemment ils ont pu conduire à des prévisions en accord avec les données alors disponibles. Chaque modèle possède ses points forts et ses limitations lorsqu'il rend compte des observations.

3. Les connaissances produites par la science sont utilisées dans les technologies afin de créer des produits qui servent des buts définis par l'homme. L'application de notions scientifiques par les techniques a conduit à de profonds changements dans bien des aspects de l'activité humaine. Les progrès des technologies ont permis de nouvelles avancées scientifiques ; cela, à son tour, permet d'accroître les connaissances, et de satisfaire la curiosité des hommes sur le monde naturel. Dans certains domaines, les technologies précèdent les notions scientifiques, mais dans d'autres ces notions précèdent les technologies.

4. Les applications de la science ont, bien souvent, des implications éthiques, sociales, économiques et politiques. L'usage des connaissances scientifiques par les technologies a rendu possibles de très nombreuses innovations. Décider du caractère souhaitable ou non de telle ou telle application particulière de la science ne relève pas du seul jugement scientifique. Des jugements éthiques et moraux peuvent alors intervenir, fondés par exemple sur des considérations de protection de l'être humain ou d'impact sur la société et son environnement.

---

(Chapitre 3, pp. 77 à 79, puis 85)

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.

### *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.

---

(Chapitre 3, pp. 110 à 119)

**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.

**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 ce que nous observons diffèrent de celles qui étaient acceptées dans le passé, et certaines d'entre elles pourront à nouveau évoluer à l'avenir.

**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 siècle. Ces matériaux artificiels peuvent être conçus pour avoir les propriétés recherchées et permettant 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'utilisation 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.

**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 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.