

*Chapitre deux*  
CHOISIR LES NOTIONS-CLÉS  
DE LA SCIENCE

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.

### **Les notions-clés de la science et celles de l'éducation à la science sont-elles les mêmes ?**

Nous venons d'exprimer le désir de donner à tous des notions qui leur permettent, dans leur vie quotidienne, d'aborder utilement des questions et des décisions ayant un contenu scientifique : cela classe clairement la discussion dans le domaine de l'éducation à la science. Néanmoins, la question demeure ouverte de savoir si les notions-clés acquises par l'étude des phénomènes de la nature à l'école doivent être identiques à celles qui résultent de l'activité des scientifiques.

Jusqu'à un certain point au moins, il est évident qu'elles doivent l'être. Si ce n'était pas le cas, un fossé désastreux s'ouvrirait entre la science de l'école et la science des chercheurs, le genre de fossé qui a été si présent en

Occident pendant et immédiatement après la Seconde Guerre mondiale. Mais qu'en est-il des progrès faits par les scientifiques lorsqu'ils travaillent aux frontières de la connaissance dans pratiquement tous les domaines de la science – par exemple, lorsqu'ils utilisent le collisionneur du CERN pour explorer les conditions physiques à l'époque du big-bang ou lorsqu'ils décodent le génome des organismes –, cela dépendant de connaissances complexes qui dépassent de très loin les élèves ? Il est bien possible que ces recherches conduisent à de nouvelles notions portant sur l'origine de l'univers ou sur ce qui détermine la différence entre organismes vivants. Mais, bien que le parcours conduisant à créer puis à mettre à l'épreuve de nouvelles notions puisse mettre en jeu des technologies extraordinairement complexes pour obtenir les informations utiles, les notions sous-jacentes ne sont pas nécessairement trop compliquées pour des élèves. Comme cela se produit souvent, une fois identifiées et explicitées, certaines notions-clés apparaissent tout à fait évidentes. On raconte que Thomas Huxley, après la lecture de *L'Origine des espèces* de Darwin, aurait dit : « Quelle stupidité de ma part de n'y avoir pas pensé ! » Même les phénomènes étudiés avec le collisionneur LHC ou dans la génomique sont accessibles jusqu'à un certain point par quelqu'un qui a compris que toute matière est faite de minuscules particules et que les cellules de tous les organismes contiennent un matériau génétique qui contribue à déterminer leurs caractéristiques. Cet

argument conduit à la conclusion que les notions-clés enseignées par une éducation à la science doivent être le reflet des notions-clés de la science, exprimées de manière appropriée à des élèves dont le développement cognitif est parvenu à tel ou tel stade.

Un programme scolaire exprimé à partir de ces notions-clés devrait avoir une durée de vie beaucoup plus longue que les dix ou quinze années que durent bien des programmes nationaux. Certainement, la façon dont les notions-clés de la science sont présentées avec des exemples et étudiées changera au gré des progrès de la connaissance scientifique et du contexte de développement de ces notions. Mais les objectifs de l'apprentissage, énoncés dans les programmes en termes de notions-clés, ont une durée de vie beaucoup plus grandes que les aspects particuliers étudiés à un moment donné.

### **Quelle amplitude pour les notions-clés ?**

Nous définissons les notions-clés comme des notions, des idées, qui peuvent être utilisées pour expliquer et faire des prédictions sur un ensemble de phénomènes du monde naturel liés les uns aux autres. Néanmoins, ces notions peuvent avoir des amplitudes différentes : il y a des notions d'amplitude modérée qui peuvent être reliées entre elles, formant des notions plus amples, puis certaines d'entre elles peuvent être rassemblées

en des notions encore plus amples et plus puissantes.

Les notions les plus limitées peuvent être sans difficulté identifiées comme tombant à l'intérieur des domaines familiers que marquent les différentes disciplines scientifiques. Lorsque de tout petits enfants commencent à construire leurs idées, celles-ci sont clairement reliées à certains événements ou phénomènes très spécifiques au monde limité qu'ils explorent. Mais, très rapidement, ils commencent à identifier des structures dans les objets ou les phénomènes qu'ils observent ; des structures qui correspondent à ce que nous désignons comme appartenant à différents domaines de la science. Par exemple, durant les premières années de la vie, ils font une distinction entre les objets animés et les objets inanimés ; ils ont certaines attentes sur la trajectoire des objets en mouvement ; et ils reconnaissent les différences entre certaines substances. Ces mêmes structures sont rencontrées, lorsqu'on examine le développement de la compréhension chez les enfants, dans un grand nombre de pays où ces études ont été conduites, et ces structures semblent à la racine de notions qui se placeront en biologie, physique ou chimie. Il n'est donc pas surprenant que les notions-clés que nous avons identifiées aient tendance à se retrouver dans ces domaines de la science. Néanmoins, exprimer des objectifs dans des termes reliés à ces domaines ne signifie pas que l'apprentissage doit se centrer sur le contenu de ce domaine ou même se

fonder sur des sujets directement reliés à ces domaines. Car ceci entrerait en conflit avec les autres principes énoncés dans le chapitre premier.

Mais il existe également des concepts qui traversent l'ensemble des domaines de ces notions scientifiques élémentaires. Ils se situent à un niveau très élevé d'abstraction et sont en petit nombre. On peut les classer selon deux catégories – des notions portant sur le monde qui nous entoure (telles que les échelles, la symétrie, la causalité, les formes et les fonctions) et des notions portant sur la manière selon laquelle les idées scientifiques sont produites par une activité humaine.

Les notions de la première catégorie ne peuvent être atteintes que lorsque que les notions propres à chacun des domaines sont fermement établies. Elles comprennent, par exemple, le concept de système, c'est-à-dire un ensemble de parties reliées dont l'étude globale est intéressante. Ainsi, on trouve de tels systèmes en étudiant les organismes vivants, les machines, les sociétés ou les galaxies. Souvent, dans un système, on peut observer que telle ou telle propriété ou quantité est conservée au cours du temps, telle que la masse, la charge électrique, l'énergie, le moment angulaire, ou les gènes lors de la division cellulaire. Une autre notion transversale est celle-ci : le comportement des objets et des systèmes peut présenter une certaine régularité, qui permette d'étudier les relations et qui puisse être utilisée pour prédire l'issue probable d'un processus.

Toutefois, il n'est jamais possible d'être absolument certain d'une observation ou d'une mesure ; il demeure toujours une incertitude sur ce qui va se produire, bien que telle issue apparaisse plus probable que telle autre.

La seconde catégorie de notions transversales concerne la manière dont les concepts scientifiques sont produits et se transforment. On trouve là des notions sur la nature de l'évidence, sur les différents types et niveaux d'explication, sur la puissance mais aussi les limitations de la modélisation de systèmes complexes.

Après avoir pesé les choix, nous sommes parvenus à la conclusion que, pour un élève donné qui choisira ou non ultérieurement un métier à contenu scientifique, ce sont les notions un peu moins générales et reliées aux domaines de la science qui semblent les plus utiles. Ce sont des notions-clés de ce niveau dont une éducation à la science doit rechercher le développement chez tous les élèves, sans jamais oublier la remarque faite dans le principe 5 sur la différence importante entre les objectifs du programme et les expériences d'apprentissage. Bien sûr on pourrait découper encore ces notions en un ensemble de notions, mais on risquerait alors de perdre les connexions entre les petites idées, ces connexions qui leur ont permis de se rassembler en une notion plus ample et plus cohérente. Exprimer la signification de ces notions-clés de façon narrative plutôt que comme une liste de sujets isolés va également dans le sens d'en préserver la cohérence.

## Quels sont les critères de choix dans la sélection des notions-clés ?

On ne doit pas seulement considérer l'amplitude de ces notions. Ce qui rend si difficile l'identification des notions-clés est qu'elle dépend de jugements portés sur leur pertinence et leur importance dans l'éducation de toute une population. Il est impossible d'inclure la totalité des sciences dans les objectifs du programme, il est donc nécessaire de considérer ce qui peut en être exclu. Se pourrait-il, en particulier, que les exemples mentionnés plus haut – le collisionneur de particules LHC et la génomique – ne soient pas considérés comme prioritaires dans ce contexte ? Bien des efforts pour établir une liste de ces notions débutent par l'intention de n'en conserver qu'un petit nombre et s'achèvent sur une énumération parfois considérable de notions familières. Car il est très difficile d'affirmer que certains faits, certaines notions ne sont pas nécessaires. C'est pourquoi nous ne considérons pas utile d'identifier dans le détail ce qui doit être appris mais plutôt de nous en tenir à quelques règles, à savoir que les notions doivent :

- posséder une application aussi universelle que possible,
- pouvoir être développées par une variété de contenus et d'exemples, choisis comme pertinents, intéressants et motivants,
- pouvoir s'appliquer à des contenus nouveaux et

permettre aux élèves de comprendre des situations ou des phénomènes qu'ils ne connaissaient pas jusque-là et qu'ils pourraient rencontrer au cours de leur vie.

Cela met l'accent sur les processus d'apprentissage et sur l'application des connaissances de façon à ce que les outils puissants que fournissent ces notions-clés soient d'un usage effectif dans l'interprétation et la compréhension d'un monde changeant.

De telles considérations influencent les critères de sélection des notions-clés. En combinant les propositions variées qui ont été mises en avant, nous sommes parvenus à la conclusion que les notions-clés doivent :

- avoir une puissance explicative s'appliquant à un grand nombre d'objets, d'événements et de phénomènes rencontrés par les élèves au cours de leur vie tant à l'école qu'ultérieurement,
- leur permettre de comprendre ce qui est en jeu lorsqu'ils prennent des décisions qui peuvent affecter leur santé, leur bien-être ou celui des autres, l'environnement et la façon dont ils utilisent l'énergie,
- leur donner du plaisir et la satisfaction d'être devenus capables de répondre ou de trouver des réponses au genre de questions que l'on se pose sur soi-même ou sur le monde naturel,
- posséder une signification culturelle – par exemple en contribuant à la perception de la condition humaine – par une réflexion sur l'histoire de la science, sur

l'inspiration que fournit l'étude de la nature et sur les impacts de l'activité humaine sur l'environnement.

Ces critères ainsi rassemblés suggèrent que les notions-clés ne soient pas choisies simplement dans un but utilitaire immédiat mais contribuent au plaisir de comprendre la nature de l'activité scientifique et de ce qu'elle permet de révéler sur le monde. Cela conduit à une question nouvelle, l'introduction, au côté de notions DE sciences, de notions SUR la science et la façon dont elle fonctionne.

### **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.

### **Un résumé des notions-clés choisies**

La discussion des points qui précèdent nous a conduits à choisir la liste suivante de notions-clés comme celles devant être acquises à l'issue de la scolarité obligatoire. Le bref commentaire qui suit ici chacune d'entre elles ne prétend pas en être une présentation globale mais

simplement indiquer ce qu'elles veulent couvrir. Au chapitre 3, nous développons ces notions de façon narrative, une manière plus appropriée pour marquer les étapes d'une progression.

### **Dix notions-clés de science**

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

Les atomes sont les constituants élémentaires de toute matière vivante ou non vivante. Le comportement des atomes, souvent organisés en molécules, explique les propriétés des différentes sortes de matière. Les réactions chimiques correspondent à des réarrangements des atomes entre substances pour en former de nouvelles. Chaque atome possède un noyau contenant des neutrons et des protons, entourés d'électrons. Les charges électriques opposées des protons et des électrons s'attirent mutuellement, donnant aux atomes leur stabilité et permettant la formation de molécules et de substances variées.

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

Certains objets agissent à distance sur d'autres objets. Dans certains cas, comme le son et la lumière, l'effet résulte d'un rayonnement qui se déplace depuis la source jusqu'au récepteur. Dans d'autres, l'action à distance s'explique par

l'existence d'un champ de force entre les objets, un champ magnétique ou un champ gravitationnel, par exemple.

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

Un objet en mouvement ne change sa vitesse que lorsqu'une force agit sur lui. La gravitation est une force universelle d'attraction qui s'exerce entre tous les objets, des plus grands aux plus petits. Elle maintient les planètes en orbite autour du Soleil et elle cause la chute des objets qui nous entourent vers le centre de la Terre.

### **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.**

Bien des processus ou des événements consistent en des changements au cours du temps, et cela requiert de l'énergie pour se produire. L'énergie peut être transférée d'un corps à un autre de bien des manières. Dans de tels processus, une partie de l'énergie est transformée en une forme moins facile à utiliser. L'énergie ne peut être ni créée ni détruite. L'énergie obtenue à partir des combustibles fossiles se dégrade en une forme plus difficile à utiliser.

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

La surface de la Terre s'échauffe par le rayonnement

solaire, cela crée des courants de convection dans l'air et dans les océans et est à l'origine des climats. Sous la surface, la chaleur provenant de l'intérieur de la Terre produit des mouvements des roches fondues. La surface solide change constamment par la formation et l'érosion des roches.

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

Autour du Soleil tournent en orbite huit planètes et d'autres objets plus petits, l'ensemble formant le système solaire. Le jour, la nuit et les saisons s'expliquent par l'orientation et la rotation de la Terre dans son mouvement sur elle-même et autour du Soleil. Le système solaire fait partie d'une galaxie d'étoiles, une parmi des milliards présentes dans l'univers, à des distances considérables les unes des autres. Un grand nombre d'étoiles possèdent des planètes.

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

Tous les organismes vivants sont constitués d'une ou plusieurs cellules. Les organismes multicellulaires possèdent des cellules différenciées selon leur fonction. Toutes les fonctions de base de la vie résultent de ce qui se produit à l'intérieur des cellules dont l'ensemble constitue un organisme. La croissance résulte généralement de multiples divisions cellulaires.



**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.**

La nourriture fournit aux organismes matière et énergie, maintenant ainsi les fonctions de base de la vie et permettant la croissance. Certaines plantes et bactéries peuvent utiliser directement l'énergie du Soleil pour produire des molécules complexes. Les animaux se fournissent en énergie en dissociant les molécules complexes de leur nourriture et dépendent en fin de compte des plantes vertes pour ce faire. Dans un écosystème il peut y avoir compétition pour l'énergie et la matière nécessaires à la vie et à la reproduction.

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

L'information génétique au sein d'une cellule est contenue dans la molécule d'ADN sous forme d'un code à quatre lettres. Les gènes déterminent le développement et la structure des organismes. Dans la reproduction asexuée, tous les gènes du descendant viennent d'un parent unique. Dans la reproduction sexuée, chaque parent apporte la moitié des gènes.

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

Toute vie aujourd'hui sur Terre descend directement

d'un ancêtre commun universel qui était un organisme simple à cellule unique. Des modifications génétiques, survenues au cours d'une quantité immense de générations successives, ont abouti à la biodiversité. Les organismes incapables de s'adapter suffisamment aux changements de leur environnement ont disparu.

### **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.