



sel de cuisine ou d'autres molécules de notre environnement : celles qui font le parfum des oranges ou des roses, celles qui font le goût des pommes vertes. Ou même certaines molécules telles que l'aspirine, qui permettent de jeter des ponts entre plusieurs disciplines.

L'approche architecturale devra être complétée par une présentation des propriétés macroscopiques des objets microscopiques que sont les molécules. L'expérience du lait de chaux qui se trouble quand on souffle dedans est pleine d'enseignements : il faudrait un acte de foi extraordinaire pour croire que les molécules sont responsables du trouble, car que voit-on ? Au mieux, si l'on a la patience de laisser sédimenter le précipité, on récupère une poudre blanche qui, au microscope, se révèle constituée de petits grains blancs : que sont ces grains et quel est leur rapport avec les molécules dont on parle ? À l'école, l'instituteur pourrait utiliser cette expérience comme thème, autour duquel il broderait : il serait amené à évoquer la solubilité des corps (un phénomène qui suscite toujours des questions), il parlerait de gaz comme le dioxyde de carbone, il parlerait de la craie, il régénérerait le dioxyde de carbone en attaquant cette dernière par du vinaigre... Les enfants n'admettront l'idée des molécules que si

l'on cerne celle-ci progressivement. On ira inductivement du gros vers le petit, en refaisant des expériences de l'histoire de la chimie. Je ne suis pas seul à penser que les leçons de choses contenaient dans leur esprit beaucoup de ce qu'il convient de refaire.

Quel rôle doit être celui des enseignants ? L'enseignement doit être rénové par l'emploi des ordinateurs et des réseaux. Si l'on admet que les connaissances se transmettent de façon efficace à la manière platonicienne, par des questions qui font dire par l'élève ce que l'on veut lui enseigner, on a un nouvel objectif didactique, qui pourrait se fonder utilement sur l'utilisation d'ordinateurs, de leurs banques d'informations et de leur interactivité.

Enfin l'enseignement actuel est aberrant de formalisme, même pour des élèves des grandes classes du secondaire. Les faits chimiques ne doivent pas être utilisés uniquement pour faire des exercices de mathématiques, jusqu'à ce qu'ennui s'ensuive. Les professeurs de mathématiques peuvent utiliser le formalisme chimique, s'ils en ont envie, comme illustration de leurs cours, et les professeurs de chimie peuvent en montrer le fonctionnement pour enseigner à formaliser un problème, c'est-à-dire, en fait, pour présenter la méthode scientifique. Mais la mise en équations mathématiques de la chimie doit être secondaire à ce stade.

Il y a bien trop à faire pour ne pas se focaliser sur le formalisme : c'est un grand plaisir de comprendre que la chimie révèle des cohérences de la nature, des régularités, des lois. Considérons par exemple la fonction alcool. Chaque alcool est particulier, mais tous les alcools ont quelque chose de commun, un comportement semblable. Et la chimie est avant tout créative dans son essence, permettant de transformer la matière dans son intimité.

Texte établi à partir d'un entretien avec Jean-Marie Lehn, prix Nobel de chimie, professeur au Collège de France et à l'Université de Strasbourg.

L'éducation scientifique renouvelée

CLAUDE ALLÈGRE

L'enseignement peut être, doit être, dès le collège, arrimé au réel.

Toute rénovation de l'enseignement des sciences est prise dans un étau polygonal. Faut-il enseigner toutes les avancées de la Science ou se limiter à quelques méthodes choisies ? Faut-il aborder les sciences dans une vision axiomatique finie ou présenter les

questions dans leur mouvance historique et incertaine ? Faut-il commencer par les mathématiques dans une hiérarchie comtienne pour examiner ensuite comment elles débrouillent l'écheveau des autres disciplines ? Il

ne fait pas de doute que le lecteur devinera, dans ces alternatives, où vont mes préférences, mais je souhaiterais les argumenter, surtout en ce qui concerne le contenu de l'enseignement.

D'abord le contenu est-il si important ? Richard Feynman, citant Gibbons, s'interrogeait : « L'enseignement est rarement très efficace, sauf quand de rares et heureuses dispositions d'esprit des élèves font qu'il est presque superflu. » Cette affirmation, pour provocatrice qu'elle soit, me semble démobilisante et fautive. La crise actuelle de l'enseignement français, car crise il y a, montre que l'importance exagérée, voire la primauté, du raisonnement abstrait oriente mal les jeunes esprits. Tous les exercices intellectuels n'ont pas la même valeur éducative, tous les enseignements n'ont pas la même pertinence. Une abstraction biaisée est pernicieuse : la que-

relle des universaux, philosophiquement importante au Moyen Âge, préparait mal les écoliers à comprendre les enseignements de Bruno ou de Galilée.

Car il faut, en permanence, faire des choix, l'éducation ne pouvant procéder par empilement. C'est un truisme et une triste réalité que de répéter que le nombre d'heures de cours au lycée et au collège, et aussi à l'université, est beaucoup trop élevé. Pourquoi cette inflation ? Parce que les scientifiques, murés dans leurs engouements et la perpétuation des critères passés, ne savent pas préconiser des enseignements plus formateurs et mieux adaptés. Adaptés à quoi, me direz-vous ? À l'étude de la réalité. La géométrie descriptive avait ses beautés, mais les études des réalités architecturales sont mieux appréhendées aujourd'hui par les programmes informatiques. Exit la descriptive, elle n'a plus d'intérêt qu'historique. Nous sommes une des premières générations qui doit éliminer des pans entiers de sciences, en raison de l'augmentation de nos connaissances.

Je prônerai une « remise à zéro » des compteurs et une interrogation détaillée sur les sujets qui sont le mieux à même d'exciter la curiosité de l'enfant. Car la naïveté de l'enfant l'incite à l'optimisme, et c'est très bien ainsi. Le jeune esprit est attiré par le difficile, il attend de l'enseignement une explication du monde. Si l'enseignement ne satisfait pas sa curiosité, il fuira vers un désintérêt, puis vers un irrationnel plein de bruit et de fureur.

Au collège, un enseignant de sciences, de toutes les sciences, et un enseignant de mathématiques différent, seraient mieux à même de suivre le développement des jeunes intellects. En complémentarité mais en distinction.

L'enseignant des sciences montrerait d'abord ce que nous savons des processus de la vie : il exposerait, à travers les fossiles, la diversité du vivant et la théorie de l'évolution telle qu'énoncée par Darwin, aborderait la notion d'espèces par l'interfécondité, les lois de Mendel et les aléas de la reproduction. La montée en puissance du questionnement et la découverte des limites actuelles de la connaissance se feraient naturellement. L'heure n'est plus aux idéologies et aux systèmes complets : la science n'est pas omnipotente. Mais elle n'est pas impuissante.

En quatrième, après l'exposé des lois biologiques, l'introduction de l'ADN en tant que code sera une première synthèse attendue et perçue, car elle succédera à l'analyse de l'évolution.

La description du ciel étoilé, de ses composants (planètes, étoiles, galaxies) et de ses évolutions calendaires illustrerait des idées forces de la mécanique de Newton, la structure et les dimensions du monde. Évidemment sans équations. L'intuition des lois de la mécanique n'est pas innée, il s'en faut, mais la compréhension initiale de ces lois ne passe pas nécessairement par leur écriture mathématique. L'enseignement de la mécanique quotidienne peut être appréhendé par des interrogations et des expériences, par le récit des erreurs aristotéliennes (la force ne crée pas le mouvement), par la déclinaison des intuitions d'Archimède, vérifiables sur des exemples simples (l'avion, le bateau) dont l'interprétation n'est pas immédiate. L'optique pourrait commencer par les interférences pour indiquer très tôt ce qu'est une onde, et la physique par les expériences de Galilée de la tour ou du plan incliné et du pendule.

Dans la même veine de diversité féconde, je souhaiterais que la chimie soit enseignée dès le collège par la manipulation de modèles d'atomes en bois. La chimie est une combinatoire où des éléments simples se combinent à l'infini en des substances variées : les modèles montrent comment la géométrie et la combinaison des atomes engendrent les structures des matériaux qui nous entourent.

L'enseignement des systèmes serait formateur : un organisme vivant, un écosystème, les cycles de l'atmosphère, des eaux et des continents sont des systèmes bouclés dont on peut appréhender l'organisation à travers des lois simples de la mécanique, de la chimie et de la physique. Les phénomènes naturels constituent une bonne approche pour amener les enfants à poser les questions sur le comment et le pourquoi. Et naturellement, tout cela complété par une incitation à l'observation et à l'expérience.

La technologie peut attendre : je ne souhaiterais pas que soient enseignées des notions techniques non étayées par la compréhension préliminaire du fondamental. Un tel enseignement, trop opératoire et algorithmique, habitue les enfants à suivre des recettes plutôt qu'à comprendre un fonctionnement. Avez-vous essayé de régler votre nouveau magnétoscope en suivant le mode d'emploi, sans comprendre la fonctionnalité des opérations ?

En revanche, l'apprentissage de l'observation et de l'expérience devra être enseigné très tôt. La description doit être liée à l'expression écrite et à l'acquisition du vocabulaire précis sur les plantes, les roches, les phénomènes. L'observation devra être appuyée sur un support théorique. L'expérience sur la chute des corps, le principe d'Archimède, devra inculquer la répétitivité et la notion d'erreur.

Et les mathématiques dans tout cela ? Elles ont une place de choix, mais pas la place primordiale. La durée des cours mathématiques serait de moitié inférieure à celle des sciences. Je verrai, dès le collège, un cours de probabilités fondé sur des expériences avec des dés et des cartes qui illustrerait, avec l'enseignement de la biologie, les incertitudes du monde. J'aimerais un enseignement intuitif de la géométrie, un premier examen de la notion de fonction fondé sur des exemples (surtout pas des fonctions linéaires) associés à des commentaires qualitatifs et un début de formalisation algébrique. Au lycée, on introduirait les matrices comme des tableaux de nombres, le calcul différentiel à partir des différences finies, et l'abstraction de l'algèbre serait développée doucement. Sur ces bases, on pourrait enseigner des idées mathématiques-physiques riches, telles que le chaos et les oscillateurs couplés.

Cette description non exhaustive tend à donner l'esprit et la finalité d'un tel programme : ancrer les explications du complexe sur des mécanismes intellectuels et des connaissances maîtrisés. *Pauca sed matura* disait Carl Friedrich Gauss... Serait-il utopique de débattre enfin de ce qui est important en sciences ?

Claude Allègre, Prix Crafoord, est professeur à l'Institut universitaire de France, à l'Université Paris VII.