

PIERRE-GILLES DE GENNES

Je me suis intéressé aux polymères, aux cristaux liquides, aux colloïdes, etc. Aujourd'hui, je me préoccupe aussi d'éducation ; je ne suis pas content de notre système éducatif, de ses filières de formation et de ses critères.

Les enfants du XIX^e siècle appartenaient en majorité à une civilisation agricole : élevés dans la nature, ils apprenaient à travailler de leurs mains, à observer, à développer leur sens pratique. L'école de Jules Ferry apportait un complément abstrait mais utile. Les enfants de la fin du XX^e siècle vivent en majorité dans des villes ; ils ont perdu le contact avec la nature. La télévision diminue leur potentiel d'observation, et ils n'ont plus l'occasion de travailler de leurs mains. Pourtant l'école reste aussi abstraite que du temps de Ferry. Il faut corriger le déséquilibre.

Les systèmes informels d'éducation, musées, télévision éducative, etc. ne pallient pas les insuffisances, car la visite d'un musée, par exemple, surprend plus qu'elle ne fait comprendre. Elle éveille la curiosité, mais appelle un autre travail, sans guide, autonome. Je ne crois pas à l'éducation par la télévision, et je pense même que la télévision éducative a des effets pervers : le spectateur est dans une position passive, on ne le fait pas chercher. Pour bien comprendre le monde, il faut un investissement personnel.

Il n'est pas besoin de moyens matériels pour éveiller le sens de l'observation, du concret, de la recherche. Au lieu d'utiliser l'argent à visiter des villes – encore des villes! –, on pourrait l'employer pour organiser des promenades naturalistes, chasser des fossiles, collectionner des insectes ou des plantes, etc.

Ce premier problème va de pair avec un rejet de l'édu-

cation scientifique par les jeunes de 14 ou de 15 ans. On pense, en France, que ce rejet est en partie dû à l'utilisation des sciences, notamment des mathématiques, comme outil de sélection. Doit-on supprimer les examens? Non : je suis fermement en faveur des examens, même dans les classes du creux adolescent. Je crois qu'on a été trop laxiste et que l'exemple des pays nordiques est dangereux. Je souhaite des examens aussi bien en français, en histoire, qu'en mathématiques ou en physique. Ces examens ne doivent pas nécessairement faire le lit de la sélection, mais ils s'imposent pour beaucoup de raisons et, notamment, pour que le travail fait en classe soit pris au sérieux : on ne peut cautionner une sorte de folklore où tout le monde est accepté, où tout le monde est bon et génial. Si un dessin n'a pas été réalisé avec soin, on ne doit pas l'afficher à côté de ceux qui ont été soignés. Les professeurs et les enfants doivent avoir la liberté de s'organiser, mais je crois qu'il faut aux élèves des clignotants qui les avertissent de leurs insuffisances ou de leurs incompréhensions. C'est vrai à tous les niveaux, de l'école à l'université.

Qu'enseigner? Un groupe de pression puissant, au sein de l'Éducation nationale, pense que l'école doit expliquer les techniques modernes. Le programme de physique, en Seconde, présente les amplificateurs opérationnels, les haut-parleurs, un certain nombre d'appareils de ce genre. C'est, à mon avis, une catastrophe, car on parle de joules et de watts sans savoir ce qu'est une énergie, une force, un travail : on met la charrue avant les bœufs. On lutte contre le trop abstrait en enseignant les amplificateurs : quelle vision restreinte du sens pratique! Ce qui est aujourd'hui proposé confond la technique et la science. Je ne fais pas de hiérarchie entre les deux, car elles sont également indispensables, mais on ne peut former à l'esprit scientifique en enseignant seulement la technique (l'inverse est également vrai).

D'autre part, il faut trouver un juste milieu entre un enseignement trop qualitatif et un enseignement excessivement formel. Je peux faire une leçon d'une heure, très qualitative, sur les polymères d'usage courant, à des étudiants de troisième cycle d'université, mais j'essaie de ne pas le faire ainsi : les étudiants pensent, à tort, que ce n'est pas sur du qualitatif qu'ils seront interrogés à l'examen ; ils écouteront d'une oreille passive, sans mémoriser, sans comprendre que, plus tard, quand ils arriveront dans l'industrie des polymères, ils feront de graves erreurs s'ils ne savent pas distinguer un polymère cristallisable d'un polymère non cristallisable, un polymère utilisable pour du textile d'un polymère inutilisable... En pratique, j'alterne des moments formels et des moments qualitatifs, afin que l'attention soit soutenue. Je pense que le professeur de lycée doit avoir un peu la même stratégie, mais je crains qu'il ne soit accablé par la sélection, les programmes et l'anxiété des parents, de sorte que les parties abstraites occupent une majorité du temps. Je conçois que ces parties soient plus faciles à contrôler, mais l'accumulation des abstractions est dangereuse.

J'AI DEMANDÉ
DU MATÉRIEL
PÉDAGOGIQUE
POUR ÉTUDIER LA GRAVITÉ
TERRESTRE ET LE RECTORAT
M'ENVOIE DES PÔMES!



Revenons positivement à la question : qu'enseigner? J'ai sur mon bureau un petit système composé de deux plaques de plexiglas parallèles et dont les côtés sont fermés par du ruban adhésif, sauf dans un des coins supérieurs ; en introduisant un mélange de sucre blanc et de sucre roux, des physiciens observent des avalanches, voient des stratifications blanc/roux se produire et explorent une physique inconnue. Ce système (qui coûte moins de cent francs) serait excellent pour une option expérimentale en Première S. Naturellement on ne demandera pas à des élèves de lycée de faire un travail de recherche sur ces systèmes, mais ils pourraient découvrir quelques faits simples.

On ne pourra modifier le système existant que si l'on agit simultanément sur plusieurs communautés : les professeurs, les fonctionnaires de l'Éducation nationale, les créateurs des programmes, les associations de parents d'élèves... Très souvent, un de ces milieux est prêt à une

réforme tandis que les autres ne le sont pas, et le projet échoue. La sensibilisation des élèves et des parents est fondamentale. Certains enseignants ont accueilli avec réticence l'option sciences expérimentales, installée en Première, mais les parents me semblent constituer l'obstacle le plus puissant au changement : ils craignent que leurs enfants ne «perdent leur temps» avec cette option.

Aujourd'hui je suis frappé de voir que l'angoisse remonte vers les plus jeunes, peut-être en raison de l'augmentation du chômage. Dans certaines classes poussées, les élèves de Terminales en arrivent à se comporter comme des élèves de classes préparatoires! Un fossé se creuse entre des lycées passifs et des lycées de bachotage. Ce n'est pas bon.

Pierre-Gilles de Gennes, prix Nobel de physique, est directeur de l'École supérieure de physique et de chimie industrielles.

JEAN-MARIE LEHN

Faut-il enseigner la chimie au collège et au lycée? Bien sûr! Le monde où nous vivons est composé de molécules et d'atomes. Nous n'avons quelque espoir de comprendre le monde que si nous explorons le monde moléculaire : c'est l'objet de la chimie. Faudrait-il enseigner cette discipline de préférence aux arts ou aux lettres? Les arts expriment l'un des aspects de la créativité humaine, les sciences un autre ; elles sont donc indispensables ; la culture sans science serait obscurantiste, régressive.

Les écoles, collèges et lycées doivent faire un choix difficile, car le nombre d'heures d'enseignement est limité. Naturellement l'art stimule la créativité, mais la créativité scientifique doit être d'autant plus encouragée qu'elle est fondée sur la curiosité naturelle des enfants. Si vous donnez une montre à un enfant, il la démontrera pour essayer de comprendre son fonctionnement. Pourquoi ne pas utiliser ce penchant spontané de notre espèce pour enseigner les sciences?

Dans la même veine, je regrette que les appareils scientifiques périmés soient jetés à la casse : pourquoi ne pas les confier aux écoles et aux collèges, afin que les enfants les démontent. Ils y trouveront un prisme? Ils s'en serviront, aidés par leur professeur, pour explorer les lois de Descartes, pour refaire les expériences de Newton. Ils y trouveront des piles? Ils les utiliseront pour récupérer le bioxyde de manganèse à partir duquel ils prépareront de l'oxygène. Ainsi répondra-t-on doublement à la question «comment ça marche?» : en montrant la constitution des appareils et en faisant marcher la tête avec les mains.

Quelle dose de chimie administrer? La chimie doit-elle avoir une place égale à celle de la physique ou des mathématiques? Je ne veux pas faire de comptes d'apothicaires, mais je constate que la chimie, aujourd'hui, a une portion excessivement congrue alors qu'elle intervient dans l'essentiel des activités humaines, indus-

trielles en particulier : le textile, la pharmacie, l'électronique, etc. Tout est chimie, puisque tout est matière.

À partir de quel âge les enfants doivent-ils apprendre la chimie? Je n'ai moi-même découvert la chimie qu'en classe de Terminale, mais la présentation des transformations moléculaires à de très jeunes enfants peut leur donner une sensation nouvelle : en faisant réagir deux poudres de couleurs différentes pour obtenir une troisième couleur, on opère une transformation intrinsèque de la matière.

Que présenter à ces jeunes? Le programme actuel me semble aberrant de formalisme. On devra commencer par la pratique de la discipline, présenter des transformations spectaculaires, sensibles : changements de couleur, changement d'odeur, changement de saveur. Puis, en utilisant la curiosité spontanée des élèves, on leur présentera plus en détail les objets chimiques. On insistera sur la chimie, science architecturale : les molécules sont de petites constructions que l'on édifie à l'aide de briques, comme un jeu de construction.

À quelles molécules s'intéressera-t-on? Se limitera-t-on à la chimie inorganique, dans les petites classes, et réservera-t-on la chimie organique pour les classes supérieures? Cette distinction devient inutile si l'on considère la chimie sous l'angle de la construction architecturale. La possibilité, pour les atomes de carbone, d'établir quatre liaisons avec des atomes voisins fait de la chimie organique un champ qui peut être présenté de façon simple. Je n'exclus pas que l'on présente également des molécules inorganiques : pourquoi se priver d'évoquer le





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.