

Transmettre l'art d'inventer

PIERRE BONNEFOY



L'Académie des sciences fondée par Colbert et Huygens nous donne la preuve expérimentale qu'une révolution scientifique est le résultat délibérément provoqué d'un projet collectif. On peut créer un certain contexte de relations sociales dans lequel des découvertes vont avoir lieu. On peut transmettre l'art d'inventer. La question fondamentale que devrait se poser tout dirigeant politique est : « Comment ont-ils fait ? » Nous tentons ici d'en donner une réponse.

L'histoire et la philosophie de la science et la pratique de la science expérimentale constituent, avec l'éducation scientifique, une seule et même discipline ; vouloir les séparer ne peut que conduire à des impasses.

Une telle affirmation ne manquera malheureusement pas de surprendre la plupart de nos contemporains, à commencer par ceux dont la profession est nominalement la recherche scientifique, et le but – espérons-le – d'effectuer des découvertes. Interrogez cependant un chercheur respectable, non pas sur ses idées, mais sur la *manière dont il pense*. Essayez de lui faire remonter la chaîne de ses raisonnements jusqu'à atteindre ses axiomes et ses préjugés, et il y a fort à parier que ce dernier vous étonnera en se mettant en colère, à moins que par sa manie à éluder vos questions et vous abreuver d'un long discours inintelligible, il ne vous semblera souffrir d'une curieuse forme d'autisme. Il s'agit là d'une tendance que nous avons vérifiée expérimentalement sur un très grand nombre de cas individuels, dans des sciences très différentes, et pendant de nombreuses années. Ne faites pas de recherches dans la pensée d'un chercheur, c'est son jardin le plus secret.

Comment, dans ce cas, enseigner l'*art d'inventer* si cher à Leibniz ? Hors sujet ! Mysticisme ! vous répondra-t-on, agacé. Tout au plus, certains retraités de la science constateront-ils avec tristesse que les générations qui suivent n'ont pas cet esprit de découverte qu'ils avaient observé dans les générations précédentes. Autant donc regarder la vérité en face : la science est en crise ; en France, comme en Allemagne, les filières scientifiques commencent à signaler des difficultés à recruter de nouveaux élèves. A force de voir enseigner la science comme une série de règles mortes à réciter par cœur, beaucoup préfèrent chercher ailleurs quelque chose de plus enthousiasmant.

Bien entendu, nous ne sommes pas les seuls à établir ce constat. Marie Curie, par exemple, signalait déjà quelque chose de pourri dans l'enseignement scolaire de son époque : « *J'ai parfois l'impression qu'il vaudrait mieux noyer les enfants que de les enfermer dans les écoles actuelles.* » Elle décida donc de con-

duire une expérience pédagogique très intéressante pendant plusieurs mois, en confrontant des enfants à des paradoxes physiques élémentaires, leur demandant d'émettre des hypothèses pour les résoudre : les enfants devenaient ainsi eux-mêmes de véritables chercheurs ! Depuis, de nombreuses expériences du même genre, réconciliant recherche et éducation ont été tentées avec succès. Cependant, il est nécessaire de porter ces efforts louables à un niveau encore supérieur, en leur donnant une profondeur épistémologique. C'est ici notre but. La science n'est pas une chose morte et objective, son histoire est celle de l'esprit humain. C'est donc cette histoire qu'il nous faut redécouvrir, pour former les chercheurs de demain.

Mais, diront peut-être certains, pourquoi vouloir former des chercheurs ? Parce que ceux qui ont fait des découvertes savaient que l'univers est constitué de telle sorte que l'intelligence humaine puisse en découvrir les lois et le dominer. Notre véritable condition humaine, c'est de découvrir. Claude Bernard n'affirme rien d'autre lorsqu'il écrit : « *Celui qui ne connaît pas les tourments de l'inconnu doit ignorer les joies de la découverte qui sont les plus vives que l'esprit de l'homme puisse jamais ressentir.* » Si l'on admet que le but d'une république c'est la recherche du bonheur de ses citoyens, on comprend donc l'enjeu que représente l'enseignement.

1. QUEL TYPE D'INSTRUCTION PUBLIQUE ?

Le contexte révolutionnaire

Vers 1750, il était évident pour n'importe quel observateur politique lucide, que la tentative des oligarchies européennes, en particulier de l'Empire britannique, d'empêcher l'avènement de la révolution industrielle, se soldait déjà par un échec. A titre d'exemple, il faut rappeler que Denis Papin avait construit en 1690 une machine à vapeur capable de naviguer, mais que l'inventeur

avait disparu en Angleterre et que l'invention avait été escamotée par la Royal Society dirigée alors par sir Isaac Newton. Pourquoi cela ? Comme le savaient les amis de Papin sur le continent, comme Leibniz et Huygens, les machines thermiques allaient remplacer l'homme dans ses tâches manuelles répétitives, et lui donner davantage de temps pour penser et s'éduquer. Il devenait donc raisonnable d'imaginer que dans un avenir relativement proche la société donnerait une éducation publique à tous ses enfants, une perspective politique horrible pour les représentants de l'Empire britannique, dont Voltaire fut un porte-parole fidèle : « *Je crois convenable que quelques enfants apprennent à lire, à écrire, à chiffrer ; mais que le grand nombre, surtout les enfants des manœuvres ne sachent que cultiver. [...]* » L'apôtre de la « tolérance » s'est enrichi par l'esclavage et ne voulait pas que la « canaille » soit éduquée...

Cependant, dès 1630, de nombreux intellectuels européens parmi lesquels John Winthrop, avaient émigré dans les colonies d'Amérique du Nord, tout en gardant des liens avec les réseaux républicains restés sur place. Aspirant à un développement légitime, ils furent rapidement en conflit avec l'Empire britannique qui leur interdisait d'avoir des manufactures, exigeant qu'ils limitent leur activité à l'exportation de matières premières. La pression exercée par ces colonies pour s'industrialiser – qui aboutit à la Révolution américaine – conjuguée avec les efforts des réseaux républicains pour répandre les découvertes scientifiques, rendirent ainsi la révolution industrielle inévitable.

Sachant qu'elle ne pourrait plus très longtemps empêcher la population de s'éduquer, l'oligarchie européenne changea de stratégie : elle décida de prendre le contrôle de cette éducation de manière à la rendre stérile. Ainsi, il serait possible d'assurer un contrôle politique efficace si, par exemple, on limitait l'éducation du bas peuple à un savoir compartimenté et aseptisé, à un certain nombre de règles fixes et ennuyeuses, comme savoir utiliser une machine pour exercer un métier sans savoir comment la machine a été inventée, ou savoir manipuler à la perfection les procédures du calcul différentiel sans savoir ce

qu'est *réellement* le calcul différentiel. Ce contrôle serait d'autant plus efficace que l'on diffuserait une culture encourageant la population à ne pas trop se poser de questions métaphysiques, à « ne pas se prendre la tête ». La paresse intellectuelle permettrait ainsi à l'esclavage de se maintenir sous d'autres formes.

C'est dans cette perspective que fut lancé en France le projet de l'*Encyclopédie* de Diderot et de d'Alembert. Bien que l'on prenne encore aujourd'hui l'*Encyclopédie* pour un projet révolutionnaire destiné à répandre les lumières de la science, il est assez aisé de voir que la découverte scientifique en est délibérément exclue ; seuls subsistent les résultats des découvertes, classifiés en catégories arbitraires. Dans le *Discours préliminaire*, d'Alembert explique d'ailleurs sans ambiguïté que sa référence, c'est l'empirisme de Francis Bacon, John Locke et Isaac Newton, c'est-à-dire la « non-méthode » de l'Empire.

Un projet d'une telle ampleur implique en général un objectif commun de la part des gens qui y participent. Cependant, les « profils » hétéroclites des personnalités impliquées devraient ici nous poser des questions. Par exemple, Diderot affirme avec force dans l'*Encyclopé-*

die son amitié pour Rousseau alors que ce dernier considère la science et les arts comme des ennemis. Le physiocrate Quesnay est un défenseur de la société agraire contre l'industrie. Le « bon » Condorcet (c'est-à-dire l'homme de l'instruction publique, de l'abolition de l'esclavage, de l'égalité entre les sexes, de l'abolition de la peine de mort, etc.) témoigne d'une admiration sans borne à l'égard du « méchant » Voltaire. Pour bien comprendre le rôle réactionnaire de l'*Encyclopédie*, il faut voir à quoi elle s'oppose *réellement*.

Etant donné que c'est aux fruits que l'on reconnaît l'arbre, il est intéressant ici de comparer deux visions de l'instruction publique qui coexistent au moment de la Révolution française.

Le projet de l'*Encyclopédie* pour l'instruction publique

Condorcet est considéré, à juste titre, comme le dernier des encyclopédistes. Dirigeant le Comité d'instruction publique de l'Assemblée législative, il a publié *Cinq mémoires sur l'instruction publique* en

1791 et un *Rapport sur l'instruction publique* en 1792. Aujourd'hui, on retient surtout qu'il a été le premier à proposer une instruction publique pour tous et qu'il a été l'inspirateur des réformes effectuées un siècle plus tard sous Jules Ferry, qui rendirent l'école « gratuite, obligatoire et laïque ». Autant dire que son héritage a perduré jusqu'à nos jours. Quel est le problème ?

Certes, beaucoup de propositions présentées dans les *Cinq mémoires* semblent relever du bon sens, ou alors semblent animées d'une bonne intention mais rattachées à une époque révolue. Cependant, à y regarder de plus près, on y trouve certains indices misanthropes typiques de l'esprit des Lumières françaises. Le premier mémoire donne d'emblée une justification *négative* de l'instruction publique. Le premier rôle de l'instruction publique serait de réduire les inégalités : « *Celui qui n'est pas instruit des premières lois qui règlent le droit de propriété ne jouit pas de ce droit de la même manière que celui qui les connaît ; dans les discussions qui s'élèvent entre eux, ils ne combattent point à armes égales.* » Condorcet adopte donc dès le début le point de vue que les rapports humains sont conflictuels et compétitifs, et que la première raison d'être de l'instruction, c'est de *limiter* le mal qu'autrui peut me faire. On se rappellera ici que Voltaire prêchait la « tolérance » et non pas la « bienveillance ».

Ceci est à rapprocher du fait que l'instruction prévue par Condorcet pour les enfants, ne prévoit pas d'éducation esthétique, dessin ou musique. En effet, l'art n'apparaît que dans l'instruction des adultes, et sa présence se justifie de manière tout aussi négative. On lit ainsi dans le quatrième mémoire : « *Enfin, son influence [de la musique] est plus forte sur les hommes rassemblés ; elle les oblige à sentir de la même manière, à partager les mêmes impressions. Elle est donc au nombre des arts sur lesquels la puissance publique doit étendre l'instruction, et il ne faut pas négliger ce moyen d'adoucir les mœurs, de tempérer les passions sombres et haineuses, de rapprocher les hommes en les réunissant dans des plaisirs communs.* » C'est le même point de vue pessimiste de l'homme : la musique n'a pas pour but d'ennoblir le caractère, en

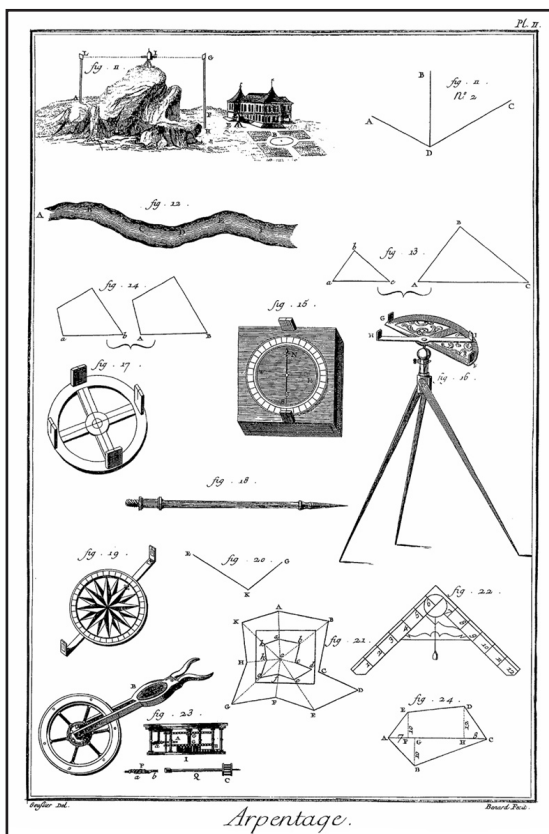


Planche de l'*Encyclopédie* décrivant l'arpentage. Bien que l'on prenne encore aujourd'hui l'*Encyclopédie* pour un projet révolutionnaire destiné à répandre les lumières de la science, il est assez aisé de voir que la découverte scientifique en est délibérément exclue ; seuls subsistent les résultats des découvertes, classifiés en catégories arbitraires.

permettant à la raison de guider le sentiment, comme le voulait Schiller dans ses *Lettres sur l'éducation esthétique de l'homme*, mais elle limite la méchanceté des hommes entre eux. C'est encore dans la même perspective que Condorcet témoigne à plusieurs reprises de sa haine du mot « enthousiasme ». L'enthousiasme, selon l'ami de Voltaire, engendre le fanatisme ; il est donc proscrit. Il écrit ainsi dans la Note E de son *Rapport sur l'instruction publique* : « Une fois excité, il [l'enthousiasme] sert l'erreur comme la vérité ; et dès lors il ne sert réellement que l'erreur, parce que, sans lui, la vérité triompherait encore par ses propres forces. Il faut donc qu'un examen froid et sévère, où la raison seule soit écoutée, précède le moment de l'enthousiasme. Ainsi, former d'abord la raison, instruire à n'écouter qu'elle, à se défendre de l'enthousiasme qui pourrait l'égarer ou l'obscurcir, et se laisser entraîner ensuite à celui qu'elle approuve ; telle est la marche que prescrit l'intérêt de l'humanité, et le principe sur lequel l'instruction publique doit être combinée. »

Et dans le cinquième mémoire : « Il faut encore chercher à réduire ces sciences à des vérités positives, appuyées, comme celles de la physique, sur des faits généraux et sur des raisonnements rigoureux ; écarter tout ce qui, en parlant à l'âme ou à l'imagination, séduit ou égare la raison, et prouver les vérités avant de prétendre à les faire aimer. » Bref, on ne s'amuse pas à l'école de Condorcet !

On l'aura compris, ce qui manque dans ces propositions a plus de poids que ce qui y figure. Ce qui manque, c'est l'idée selon laquelle l'instruction permet aux citoyens de rechercher ce bonheur que procure la découverte ; bonheur d'autant plus intense qu'il est socialisé. Sur la question de la découverte, Condorcet est catégorique : l'instruction doit se limiter à enseigner des « vérités positives » établies, utiles, par opposition à ce qu'il appelle des « opinions ». Qu'est-ce qui permet de décider si une vérité est établie ? Eh bien une association de savants qui auront délibéré entre eux ! Condorcet semble oublier que toute découverte scientifique va précisément à l'encontre du consensus des savants de l'époque correspondante...

C'est ici que le projet de l'*Encyclopédie* apparaît le plus clairement.

Dans le second mémoire, Condorcet sépare les enseignants des savants : « Le talent d'instruire n'est pas le même que celui qui contribue au progrès des sciences [...]. » Plus loin, au cinquième mémoire : « Il ne faudrait pas avoir la prétention de s'astreindre à suivre la marche des inventeurs. Cette marche historique est dépendante de celle que suit la science entière à chaque époque, de l'état des opinions, des goûts, des be-

« Il ne faudrait pas avoir la prétention de s'astreindre à suivre la marche des inventeurs. Cette marche historique est dépendante de celle que suit la science entière à chaque époque, de l'état des opinions, des goûts, des besoins de chaque siècle ; elle n'est pas assez méthodique, assez régulière pour servir de base à l'instruction. »

Condorcet

soins de chaque siècle ; elle n'est pas assez méthodique, assez régulière pour servir de base à l'instruction. Souvent la première solution a été indirecte ou incomplète ; souvent une question qui appartient à une science est devenue l'occasion de découvertes importantes faites dans une autre ; quelquefois même on y a été conduit par des principes d'une science étrangère. D'ailleurs, ce qui importe véritablement, ce n'est pas de montrer l'art d'inventer dans ceux qui, séparés de nous par un long espace de temps, ignoraient et les méthodes actuelles et les nombreux résultats qui en sont le fruit ; c'est dans ces méthodes nouvelles qu'il faut surtout faire observer les procédés du génie. » Voilà comment on réécrit l'histoire...

Cependant, Condorcet déclare que la société progresse sans arrêt. Il dit qu'il faut simplement donner la plus grande éducation possible (c'est-à-dire, en fait, le plus grand

nombre de connaissances « positives ») aux élèves, et que plus on aura de savants, plus on aura de découvertes : le progrès de la science est donc essentiellement *mécanique*. La raison d'être de ce mécanisme reste enveloppée de mystère, le génie ne s'enseigne pas.

« Elever à la dignité d'homme tous les individus de l'espèce humaine »

Il est intéressant d'opposer à l'*Encyclopédie*, une certaine tradition humaniste associée en particulier à l'ordre religieux de l'Oratoire. C'est de cette école de pensée que sont issus les fondateurs de ces deux piliers de l'éducation française que furent l'Ecole Polytechnique et le Conservatoire des Arts et Métiers. Parmi ces hommes, les plus notables sont Gaspard Monge, Lazare Carnot et l'abbé Grégoire. Bien que Carnot et Condorcet aient collaboré au sein du Comité d'instruction publique, force est de constater que leurs perspectives sont radicalement différentes.

Dans l'esprit de Monge et de Carnot, Polytechnique n'était pas destinée à former la caste régnant dans sa tour d'ivoire qu'elle est devenue à partir de Laplace et Cauchy et dont un Jean-Marie Messier personnifie aujourd'hui l'état d'esprit de la manière la plus explicite. Il s'agissait en fait de former de véritables citoyens incarnant les principes républicains. Il faut rappeler qu'en 1794, la France était attaquée de toutes parts, et qu'elle avait besoin de toute urgence d'ingénieurs et de savants pour pouvoir organiser à la fois sa défense et son développement économique.

Polytechnique devait ainsi fournir le plus rapidement possible l'éducation la plus complète aux citoyens les plus doués, dont la mission principale serait, à leur tour, d'éduquer l'ensemble du pays. Le mode d'enseignement mis alors en œuvre s'est avéré d'une remarquable efficacité. Dans un premier temps, de petits groupes, appelés brigades et constitués d'une vingtaine d'élèves, allaient recevoir un enseignement intensif, sous la di-



Comme vous le savez peut-être, *Fusion* avait publié en 1997 une entrevue avec l'un des initiateurs du projet « La main à la pâte », qui en était alors à ses débuts. Quel bilan faites-vous aujourd'hui de ce programme ?

Yves Quéré : Il y a deux champs différents, le national et l'international.

Dans notre pays, on peut dire que le verre est à moitié plein et à moitié vide. Il est à *moitié plein* parce s'est opéré, depuis 1996, un net changement de mentalité. La plupart des professeurs et des parents d'élèves ne pensaient, alors, plus aux sciences, alors que le concept de « La main à la pâte » est aujourd'hui bien connu. L'idée de *faire des sciences* à l'école primaire est maintenant une chose admise. Encore qu'il soit difficile d'avoir des évaluations précises, divers sondages montrent que de 15 à 20 % d'instituteurs font maintenant des sciences à l'école, la plupart selon les idées « main à la pâte » (questionnement, observation, hypothèses, expérimentation, expression écrite) alors que nous étions partis d'environ 3 % selon les mêmes sondages.

Il est à *moitié vide* si vraiment de 80 à 85 % des classes ne font toujours pas de science. Nous commençons à connaître les raisons de ce déficit, Georges Charpak, Pierre Léna et moi-même ayant rencontré ces dernières années les instituteurs d'une bonne centaine de circonscriptions (une circonscription est constituée de 350 ins-

« La main à la pâte a changé les mentalités »

Entretien avec Yves Quéré, membre de l'Académie des sciences et co-initiateur de « La main à la pâte »

tituteurs environ). La raison principale tient dans la formation non scientifique de la majorité des instituteurs, mais littéraire au sens large (droit, langues, histoire, etc.). Mises à part les quelques notions de science datant du secondaire, ils n'ont pas de formation scientifique. Et ils en déduisent, probablement à tort, qu'ils ne peuvent pas enseigner les sciences à l'école. Je dis *probablement à tort* parce qu'il faut d'abord bien resituer le niveau, très élémentaire et expérimental, des sciences au primaire. Nous avons remarqué que beaucoup des meilleures classes de science sont faites par des instituteurs de formation littéraire, ce qui n'est pas tellement étonnant, un littéraire pouvant compenser par la finesse, l'intuition, la curiosité et le travail son déficit en connaissances scientifiques.

Il faut signaler ici le succès de notre Site internet (www.inrp.fr/lamap) qui est submergé de visites. Un réseau d'instituteurs s'est formé l'utilisant même en dehors des sciences, pour poser des questions d'ordre pédagogique, auquel s'ajoute un deuxième réseau qui met en présence les mondes de l'enseignement et de la recherche, ce qui est complètement nouveau. Un instituteur qui n'a pas trouvé de réponse à ses questions peut s'adresser à un groupe d'une centaine de scientifiques de haut niveau que nous avons rassemblés et qui sont prêts à répondre aux questions dans les quarante-huit heures et sous une forme très simple.

La progression de l'ensemble peut sembler lente, mais nous nous étions fixé au départ un délai de quinze ans pour stimuler un changement de mentalité, de perspective, ainsi que de méthodes dans la formation des maîtres. Nous sommes donc peut-être au milieu du gué.

S'agissant de l'international, nous sommes confrontés, en France, à une

demande extérieure très inattendue dans son amplitude et sa variété. En fait, se présentent essentiellement dans le monde deux modèles : l'Américain, de très bonne qualité, lui aussi lancé par la National Academy of Sciences, qui propose aux enseignants des « mallettes » (appareillage et brochures), *clé en main* comme on le dit maintenant ; et le Français qui offre plutôt un partenariat fondé sur l'utilisation internationale de notre Site et sur des échanges de professeurs (ainsi en va-t-il, par exemple, avec la Chine, le Brésil, la Malaisie, la Colombie, l'Égypte, etc.). Notons que nous nous entendons très bien avec nos collègues américains, qu'il n'y a aucune concurrence, mais au contraire de fructueuses collaborations.

Nos partenariats supposent une période de formation, avec des professeurs qui viennent chez nous puis retournent dans leur pays, disséminant là-bas les principes de « La main à la pâte ». Nous avons ainsi des demandes en provenance d'Amérique latine, d'Afrique, d'Asie du Sud-Est et de pays comme la Biélorussie, la Hongrie, etc. C'est là un aspect passionnant de l'aventure, chacun de ces pays ayant des tas de choses à nous apprendre, à tous.

Estimez-vous être à l'origine de la récente réforme de l'Éducation nationale dans l'enseignement de la science, et en quoi consiste par ailleurs cette réforme ?

Non. Les réformes de l'enseignement émanent du ministère de l'Éducation nationale. Par contre, ce qui est vrai, c'est que le Ministère, en promulguant en juin 2000 son plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie (PREST), pour le cycle 3 de l'école primaire, s'est explicitement référé à « La main à la pâte ». Nous sommes donc très intéressés par ces réformes

et, dans le même temps, très conscients d'avoir fort peu innové sur le plan pédagogique. Ainsi, Marie Curie enseignait des enfants selon les mêmes idées (voir : Marie Curie, *Leçons de science*, Editions de Physique, 2003) ainsi que bien des instituteurs d'avant 1996. Nous avons ajouté le Site ainsi que le poids de l'Académie des sciences qui a été déterminant.

Avez-vous des échos des premiers élèves à avoir bénéficié du programme en 1996 ? Et quelle a été la réaction des enseignants ?

Vous avez raison de poser cette question car certains des premiers à en avoir bénéficié ont aujourd'hui, sept ans plus tard, atteint le bac. Comment ont-ils progressé dans les sciences (voire dans les autres disciplines), nous ne le savons pas. Il faudrait lancer une étude, avec des chercheurs qui puissent suivre individuellement ce que sont devenus ces élèves, voir comment ils ont réagi aux sciences et aux autres matières. Nous n'avons pas la possibilité de le faire nous-mêmes.

Nous avons eu, en revanche, bien des échos ponctuels en 1997, 1998, d'enfants qui, entrant dans le secondaire après avoir vécu « La main à la pâte », se sont trouvés fort décontenancés, car la science qu'ils apprenaient n'avait parfois que peu de rapports avec celle qu'ils avaient côtoyée dans le primaire.

Ce qui nous amène à se demander comment on peut étendre le programme au secondaire.

En effet, c'est une question qui nous est posée de plus en plus. L'Académie des sciences va sans doute lancer une étude à ce sujet. C'est extrêmement difficile. En particulier, l'enfant se trouve face, contrairement au primaire, à plusieurs professeurs différents. Il va découvrir une science « en morceaux » ce qui, à un certain niveau est évidemment impossible à éviter. Au moins pourrait-on tenter de procéder, en 6^e et en 5^e, à une sorte d'« adaptation d'impédance ». Cela pourrait sans doute être réalisé à l'aide de quelques thèmes transversaux comme *l'eau* par exemple. L'eau est un objet de chimie, de physique, de mécanique, de technologie,

de science de la vie, de géologie, de géographie, d'économie, de sport, de littérature (combien de poèmes sur l'eau !), et donc un magnifique sujet d'études. Pourquoi ne pas tenter quelques expériences dans cette direction ?

On connaît bien les vertus de la méthode expérimentale, mais n'y a-t-il pas un danger d'utilitarisme, avec l'idée de faire des élèves des supertekiciens ?

Ce n'est évidemment pas notre idée. Nous n'avons nullement l'intention de faire, des élèves du primaire, des techniciens ni des scientifiques. Il n'y aura probablement parmi eux pas un sur cent qui fera des sciences. Il s'agit donc ici beaucoup plus de formation de l'esprit que de préparation à des carrières techniques.

L'idée principale est en fait de donner aux enfants une très belle image des sciences et de les former à l'esprit scientifique, c'est-à-dire à un esprit de rigueur, de curiosité, d'imagination, d'émerveillement, d'enquête, de doute, de modestie, la modestie qu'annonce en principe la phrase « je ne sais pas, mais je voudrais savoir » qui est la pierre de fondation de toute science.

Que dire par contre de la prédominance, en France, de la pensée déductive, celle fondée sur les postulats, et dans laquelle l'expérience n'a pas sa place ?

La pensée déductive a une force irremplaçable et « La main à la pâte » ne s'en écarte pas. Les enfants y sont appelés à faire à tout moment appel à leurs capacités à raisonner et invités à enchaîner les pensées les unes aux autres de façon logique. En revanche, il est vrai que l'on y parle peu de postulats. Cela, pour eux, viendra plus tard. Ajoutons que les postulats donnent forcément la parole aux expériences car, sans elles, ils ne seraient que fumée légère.

D'où vient ce dogmatisme, si ancré dans notre culture ?

Ce qui précède – la pensée déductive – n'est pas du ressort de la dogmatique. Les postulats, répétons-le, ne sont pas des dogmes mais des énoncés (possiblement provisoires)

à qui seule l'expérience donne droit à la vie. Il reste vrai qu'une pensée majoritairement déductive peut s'opposer, ici ou là, à une vision plus pragmatique, ou intuitive, ou simplement expérimentale, des choses. On le voit, par exemple, dans l'histoire de l'Ecole polytechnique, fondée par Monge, un géomètre, qui construisait des fortifications et qui prétendait apprendre aux jeunes polytechniciens, par la géométrie, le sens de l'espace. Puis réformée par Laplace, qui trouvait scandaleux que les élèves ne sachent pas assez de mathématiques, qu'ils n'aient pas une rigueur de pensée absolue. Ce débat s'est prolongé tout au long du XIX^e siècle, avec par exemple la mathématisation liée à Cauchy, suivie par le retour de l'expérience après la défaite de 1870.

Les grands esprits comme Ampère et Laplace ont bien entendu totalement échappé au dogmatisme pédagogique car le dogme est un peu une solution de paresse, celle du professeur disant « je vous répète ce que j'ai appris, et ne me posez pas de questions, c'est comme ça ».

Ne pensez-vous pas qu'il serait intéressant, pas nécessairement dans le primaire mais plutôt dans le secondaire, de faire revivre certains débats et certaines polémiques, comme celle contenue par exemple dans la correspondance Leibniz-Clarke ? Nous avons ici deux philosophies, deux physiciens qui s'affrontent, celles de Newton et de Leibniz, avec un Leibniz qui aurait anticipé, comme l'ont fait remarquer les philosophes plus que les physiciens d'ailleurs, sur les notions de temps et d'espace comme étant relatifs et non absolus.

Je n'en parlerais à coup sûr pas dans le primaire, mais y ferais volontiers de brèves allusions dans le secondaire pour y revenir, alors plus à fond, dans le supérieur. Plus généralement, l'histoire des sciences est une grande absente de nos enseignements.

Propos recueillis par Pierre Bonnefoy et Benoît Chalifoux le 30 septembre 2003.

rection des plus grands savants du moment. Dans chaque groupe, les meilleurs avaient la responsabilité d'aider les autres : on ne passait à la leçon suivante que lorsque tout le groupe avait compris la précédente. Autrement dit, chaque élève se considérait comme éduquant les autres et non pas comme un concurrent des autres.

Il n'y a rien d'étonnant à ce que Polytechnique ait été une pépinière de grands découvreurs qui, comme Augustin Fresnel, ont contribué à reverser les dogmes newtoniens imposés à la science depuis plus d'un siècle. En effet, il n'y avait aucune séparation entre l'enseignement et la recherche : on ne pouvait donc pas enseigner la science comme une série de faits acquis, mais plutôt comme un processus dynamique en perpétuelle transformation. Ceci est clairement exprimé dans l'Avant-propos du *Journal de l'Ecole polytechnique* (1795) : « [...] Chaque mois, il paraîtra un cahier de ce bulletin ; on y trouvera des comptes-rendus rédigés ordinairement par les instituteurs, chacun pour la partie qui le concerne. Ces comptes-rendus donneront, en chaque genre, la notice du travail fait dans le mois. Les découvertes et les solutions élégantes de problèmes, fournies, soit par les instituteurs, soit par les élèves, y seront également insérées : ce cahier en présentera quelques exemples intéressants. Les instituteurs et tous les agents attachés à l'école pourront ainsi faire paraître des mémoires relatifs aux sciences ou aux arts, quel qu'en soit l'objet ; il suffira qu'il contienne des vérités utiles à répandre, ou des nouveautés propres à faire avancer les lumières générales. [...] »

« Par rapport au cours de physique, on a l'intention que les expériences qui s'y feront en présence des élèves, aient pour objet, autant qu'il sera possible, ou de constater quelque phénomène nouveau, ou de redresser des erreurs dans les explications des faits déjà connus. Dans cette vue, on formera le projet d'une série d'expériences les plus intéressantes à tenter ; et la publicité qui leur sera donnée, à mesure qu'elles seront exécutées, contribuera efficacement au progrès de la science. [...] »

La géométrie descriptive de Monge occupe une place privilégiée dans cet enseignement. Dans cette discipline, les « objets » étu-

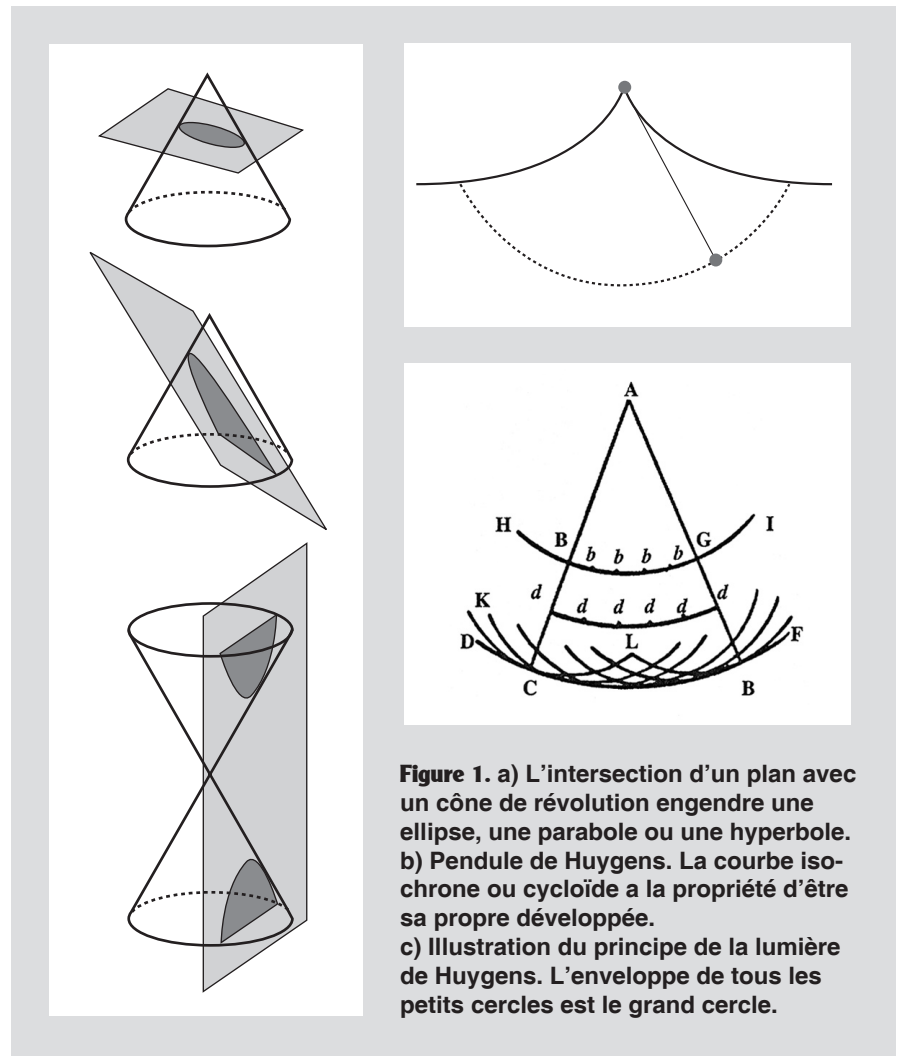


Figure 1. a) L'intersection d'un plan avec un cône de révolution engendre une ellipse, une parabole ou une hyperbole. b) Pendule de Huygens. La courbe isochrone ou cycloïde a la propriété d'être sa propre développée. c) Illustration du principe de la lumière de Huygens. L'enveloppe de tous les petits cercles est le grand cercle.

diés – courbes, surfaces, volumes, etc. – ne sont pas des entités en soi, décrites simplement par des équations analytiques, mais ils sont considérés du point de vue des processus qui leur donnent naissance (**figure 1**). Par exemple, une conique est l'intersection d'un plan et d'un cône de révolution, avant d'être une courbe du deuxième degré. Le cône de révolution lui-même peut être considéré comme la rotation d'une droite passant par un point fixe et par un cercle. Des courbes sont engendrées à partir d'autres courbes (développées, développantes) ou à partir de familles de courbes (enveloppes), etc. Ces processus de génération sont donc plus importants pour la géométrie que les axiomes et les postulats qui lui servent de fondement dans l'esprit de la plupart des mathématiciens. Comme on l'entrevoit ici, cette approche « constructive » est déjà une porte ouverte à la remise en cause de la géométrie euclidienne – une porte que franchiront plus tard Carl Gauss

et Bernhard Riemann.

Les beaux-arts, et en particulier le dessin, sont étroitement associés à cet enseignement géométrique. On étudie, par exemple, l'œuvre artistique et scientifique de grands maîtres comme Léonard de Vinci. A l'instar des grands savants et artistes de la Renaissance, Monge et Carnot ne séparaient pas science et art, raison et sentiment. Ils savaient que sans l'expérience de la beauté et de l'ironie, telles qu'elles s'expriment dans les grands chef-d'œuvres, l'esprit de découverte ne se développe pas. Sans être un grand artiste lui-même, Carnot aimait beaucoup composer des poèmes dont l'*Ode à l'Enthousiasme* montre qu'il considérait que cet état d'esprit, loin de s'opposer à la raison, en est le moteur indispensable.

En 1797, alors qu'il était menacé par Barras, Carnot publia l'un des ouvrages pédagogiques les plus révolutionnaires qui aient existé : *Réflexions sur la métaphysique du calcul infinitésimal*. Leibniz avait

inventé le calcul différentiel depuis environ un siècle, mais Newton et ses héritiers du XVIII^e siècle, comme d'Alembert, avaient caricaturé et dénaturé cette découverte au point de la rendre incompréhensible dans ses principes. Ainsi, au moment où Carnot écrit ce texte, le monde des géomètres est partagé entre ceux qui considèrent que ce calcul n'est pas rigoureux – c'est-à-dire que la justesse de ses principes n'est pas démontrée – mais qu'il donne le bon résultat on ne sait trop comment, et ceux qui pensent que ce calcul est rigoureux, mais qu'il ne donne qu'un résultat approximatif ! Pour résoudre ce faux débat ridicule qui entrave les chercheurs, Carnot compare le calcul de Leibniz à toutes les tentatives élaborées à son époque par les autres géomètres – et en particulier par Newton. En d'autres termes, il retourne sur les traces de la découverte. Le calcul de Leibniz est rigoureux et exact, comme l'explique Carnot, mais l'erreur générale des géomètres est de le juger d'un point de vue mathématique qui ne prend en compte que des quantités finies, alors qu'il s'agit d'un calcul opérant sur des quantités non finies ! (c'est justement en cela qu'il est supérieur au calcul des fluxions de Newton.) Ils le jugent donc d'un point de vue qui ignore la découverte fondamentale qui lui a donné naissance. Aujourd'hui, l'une des priorités pour une réforme des mathématiques au lycée, serait de redécouvrir ce texte de Carnot.

Polytechnique n'était pas elle-même une entité en soi : elle était destinée à inspirer la nation, à servir de modèle d'excellence pour bâtir partout des écoles à partir des mêmes principes ; ses élèves devaient essaimer dans toute la France. C'est donc dans ce contexte révolutionnaire qu'ont été créées les écoles des Arts et Métiers qui ont formé des générations entières d'ingénieurs et de techniciens. L'idée généreuse qui anime ces écoles est que chacun peut avoir accès aux connaissances les plus avancées de la nation, y compris de simples ouvriers. Cette intention est parfaitement reflétée dans le Conservatoire des Arts et Métiers, le musée qui est associé à ces écoles.

Dans ce musée sont exposées non seulement toutes les machines utilisées dans l'économie du pays, ce qui

permet à chacun de replacer sa propre activité dans le tout, au lieu d'être le simple manœuvre d'une machine unique ; mais en plus, on peut observer des générations de machines, ou comment au cours de l'histoire de nouvelles découvertes ont été mises en œuvre et ont transformé l'activité humaine. En comparant cette succession de machines et d'inventions, le visiteur a donc le sentiment qu'il appartient à un monde en évolution permanente et il situe son existence dans ce développement. Dès lors, il a envie de connaître davantage et de découvrir : il cesse d'être un sujet passif et devient le citoyen actif d'une république.

Malheureusement, l'esprit originel de Polytechnique et des Arts et Métiers a été abandonné depuis bien longtemps ; mais il donne une bonne idée de ce qui manque de fondamental à l'enseignement d'aujourd'hui.

2. RETROUVER LE DIALOGUE SOCRATIQUE

Vouloir réintroduire la découverte comme fondement de l'enseignement nécessite ici de donner quelques précisions. Il ne s'agit pas simplement de « raconter » des découvertes, de « faire de l'histoire de la science », mais plutôt de conduire l'élève à *revivre* ces découvertes. Dans le texte qui suit, Lyndon LaRouche, l'économiste américain et fondateur du magazine *Fusion*, pose donc la question « Comment fait-on des découvertes ? » : « *Qu'est-ce qu'une découverte ? Prenons le cas de la physique. Supposons que notre science physique se fonde sur l'autorité expérimentale d'expériences effectuées, ou d'observations, qui ont la même fonction en astrophysique que les expériences en physique. Soudain, nous découvrons qu'il se passe quelque chose dans la nature dont la preuve tangible est tout aussi vérifiable que celle démontrant l'expérience physique déjà connue. Cependant, selon notre physique existante, ce que nous venons d'observer est impossible. Nous nous trouvons alors devant, d'une part, une ancienne physique, validée sur une base expérimentale et, d'autre part, un nouveau phé-*

nomène, validé aussi sur une base expérimentale, qui défie l'ancienne physique. Nous nous trouvons ainsi devant notre fameux paradoxe ontologique.

« Maintenant, mettez-vous dans l'esprit d'un étudiant de bon niveau, comme pouvaient l'être ceux qui ont bénéficié en Allemagne des programmes établis par Humboldt, où l'on donne le problème à un moment choisi, approprié au parcours éducatif ; on lui demande de réinventer la découverte faite par quelqu'un, sans lui dire exactement ce qu'il en est. L'étudiant doit donc revivre l'acte mental de la découverte.

« Notre étudiant va alors saisir un principe : il pense qu'il a découvert la solution. Il décrit sa solution à la classe. Les élèves vont en débattre et ils discuteront probablement aussi de la manière dont on peut valider ou invalider cette conclusion avec une expérimentation. Un bon instructeur présentera l'expérience à faire pour confirmer ou infirmer le principe supposé, il aura probablement préparé l'équipement à cet effet.

« Supposons que notre étudiant ait pu ainsi faire revivre l'acte de découverte original qui remonte à des siècles, voire des millénaires pour les problèmes résolus dans certains textes grecs classiques. Il a franchi certaines étapes. Comment les représentons-nous ?

« Première étape : peut-on représenter le conflit entre deux domaines d'évidence ? L'un pour l'ancienne physique, l'autre pour le nouveau phénomène qui le contredit ? Oui, c'est possible.

« Peut-on représenter la deuxième étape, c'est-à-dire l'esprit de l'étudiant en train d'engendrer une solution ? Non. Ce n'est pas possible par la perception sensorielle. On ne peut le faire qu'en l'imitant, qu'en faisant la même chose nous-mêmes.

« Troisièmement : peut-on rapporter, dans une forme qui peut être représentée, la découverte que nous avons faite du principe ? C'est oui.

« Peut-on décrire l'expérience à monter ; et peut-on observer le résultat de l'expérience qui valide la découverte ? C'est encore oui.

« Mais, si l'on prend le cours normal des événements, la deuxième étape manque. C'est la plus importante car elle établit la différence entre l'homme et l'animal. Elle met en jeu ce qu'aucun singe n'a jamais

↳ découvert : le rôle des pouvoirs créateurs de l'esprit individuel souverain, la capacité de l'esprit humain à découvrir et à répliquer la découverte d'un principe de la nature, un principe de l'art, d'engendrer ce que Platon appelle une idée. L'idée relève de la deuxième phase, comme conceptualisation d'une solution, dans la forme où elle est engendrée à partir du problème ; les idées ne peuvent être comprises et communiquées qu'en les répliquant, c'est-à-dire que vous êtes en mesure de répéter l'expérience, de répéter le problème.

« Comment éduquer ? On éduque avec des idées consistant à revivre l'expérience des découvertes de savants qui nous ont précédé. Car l'histoire humaine est entièrement faite d'idées. Le pouvoir de l'homme sur la nature, ce sont des idées. Nous ne voulons pas que les enfants apprennent "à faire des choses", nous voulons utiliser cette faculté qui met l'homme à part, au-dessus des animaux, son pouvoir d'engendrer des idées valides, de les démontrer, et d'utiliser ces idées pour transformer la relation entre l'homme et la nature.

« C'est de cette façon que nous progressons. Nous engendrons des idées, nous appliquons ces découvertes à partir du moment où nous les avons validées pour le comportement humain. »

Confronté à un paradoxe, l'élève ne doit pas s'effrayer, il doit au contraire être encouragé à le résoudre par lui-même. Henri Poincaré disait que quand une hypothèse n'était pas vérifiée, cela voulait dire « qu'il y a quelque chose d'inattendu, d'extraordinaire : c'est qu'on va trouver de l'inconnu et du nouveau ».

Cette nécessité que les enfants revivent les découvertes du passé était comprise par Marie Curie. Cette nécessité a également été comprise ces dernières années comme l'illustre une initiative telle que « La main à la pâte ». Il est prouvé désormais que des classes d'enfants de 8-10 ans sont tout à fait capables de découvrir collectivement et de prouver par l'expérience que la Terre est ronde, c'est-à-dire de refaire la découverte d'Eratosthène deux siècles avant J.-C.

L'avantage des enfants sur les adultes, c'est qu'ils ont beaucoup moins de préjugés et se sentent davantage libres d'émettre des hypothèses. D'une part, ils n'ont pas

encore subi une certaine forme de complexe français qui a été mise en avant dans une étude comparative de l'enseignement dans 32 pays et réalisée par l'OCDE en 1999. En effet, selon cette étude, l'élève français, contrairement aux autres, est terrorisé à l'idée de la faute et donc préférera ne pas répondre à la question plutôt que de dire une « bêtise », alors que plus souvent qu'ailleurs, il connaît la bonne réponse ! Certes, la plupart des hypothèses avancées par les enfants peuvent nous sembler invraisemblables, mais un bon pédagogue les prendra toutes au sérieux et leur demandera d'imaginer et de mettre en œuvre des expériences pour les valider ou les rejeter.

D'autre part, la difficulté que pose l'adulte, c'est que celui-ci a déjà un « savoir acquis ». Faire découvrir à un adulte une chose qu'il croit savoir, comme le fait que la Terre est ronde, demande un effort d'abstraction supplémentaire pour « oublier » ce qui est supposé connu, et se replacer mentalement dans l'esprit de celui qui a fait la découverte avant lui, en l'occurrence Eratosthène. Néanmoins, le principe général est le même : l'éducateur ne doit pas apporter la « solution définitive » du problème à l'élève, mais doit placer ce dernier dans un état mental où il s'interroge sur sa propre manière de penser, où il émet des hypothèses face à des paradoxes et essaie de tester ces hypothèses par l'expérience. L'empirisme en particulier doit être traqué impitoyablement. Comme le montrent les rapports de « La main à la pâte », l'enthousiasme est non seulement le moteur indispensable de la découverte, mais il est extrêmement contagieux : entre les élèves eux-mêmes, mais aussi entre les élèves et les enseignants. Confronté à des hypothèses auxquelles il n'aurait pas pensé, l'enseignant se prend lui-même au jeu de remettre en question ses propres préjugés.

Nous avons nous-mêmes invité des groupes de lycéens d'une quinzaine d'années et des groupes de jeunes entre 18 et 25 ans, à marcher sur les traces d'Eratosthène. Pour donner au lecteur une idée de la manière dont de telles discussions pédagogiques peuvent s'organiser, nous présentons ci-dessous un schéma de dialogue entre un enseignant et un élève, inspiré par nos différentes expériences, tout en

gardant à l'esprit que dans la réalité, il n'y a pas qu'un seul élève, mais tout un groupe.

L'enseignant – (*Présentant une photo de la Terre prise par satellite.*) Observe bien ceci. Ce que tu vois prouve-t-il que la Terre est ronde ?

L'élève – (*Hésitant*) *A priori*, j'aurais envie de répondre que oui, parce que *cela se voit* très nettement. Cependant, je vois un problème : cette photo de la Terre est une représentation sur un plan, alors que la Terre est un volume. Si ce volume était un cylindre et non pas une sphère, on pourrait quand même obtenir la même image en photographiant la section du cylindre. Il serait peut-être préférable d'avoir plusieurs photos prises sous plusieurs angles pour lever l'ambiguïté.

– Mais comment sais-tu que c'est la Terre qui est représentée sur cette photo ou ces photos ?

– Mais parce que je l'ai reconnue !

– Ah ! On te montre quelque chose de rond et tu *reconnais* que c'est la Terre. Donc tu avais déjà *appris* que la Terre est ronde. Mais a-t-on *découvert* que la Terre est ronde en allant dans l'espace et en prenant de telles photos ?

– Bien sûr que non. En fait, l'homme savait que la Terre est ronde avant de pouvoir aller dans l'espace et prendre de telles photos.

– Très bien. Ce n'est donc pas en se plaçant à l'*extérieur* du phénomène physique et en se fiant à ses sens que l'homme a pu découvrir la vérité. Au contraire, l'homme est à l'*intérieur* de l'univers dont il cherche à connaître les lois : en l'occurrence, il obtient la preuve que la Terre est ronde sans quitter la Terre.

– Cela semble beaucoup plus difficile.

– Mais c'est beaucoup plus amusant. Revenons sur Terre et essayons de retrouver le cheminement de la pensée de ceux qui sont allés au-delà de leur simple perception sensorielle. Si l'on regarde autour de soi, la Terre a bel et bien l'air plate.

– Il me revient quelque chose en mémoire. Je crois que l'on a montré que la Terre est ronde en observant les bateaux qui s'éloignent du port et qui disparaissent à l'horizon : la coque disparaît avant la voile.

– Peux-tu me représenter cela sur un dessin ?

– Voilà : je dessine l’œil de l’observateur, la courbure de la Terre et un bateau qui s’éloigne (**figure 2**). Vous voyez qu’il existe une situation limite où la voile est visible, mais où la coque est cachée par la courbure de la Terre.

– Il s’agit en effet de la preuve d’Aristote. Est-ce satisfaisant ?

– Il me semble que oui. N’importe qui peut faire une observation aussi simple, y compris à l’époque d’Aristote. Il n’est pas nécessaire d’avoir une connaissance *a priori* pour arriver à ce résultat.

– Donc, l’observateur constate simplement un fait sans émettre la moindre hypothèse ?

– Non, le fait expérimental parle de lui-même, c’est évident. La Terre est courbe, l’image du bateau est transmise à l’œil en ligne droite, donc il existe une situation limite au moment où le bateau disparaît à l’horizon lorsque la droite rencontre la courbe.

– Es-tu vraiment sûr que la lumière se déplace en ligne droite, comme tu viens de l’affirmer ?

– ...

– Que se passe-t-il si l’on plonge l’extrémité d’une règle dans l’eau ? Fais-en l’expérience.

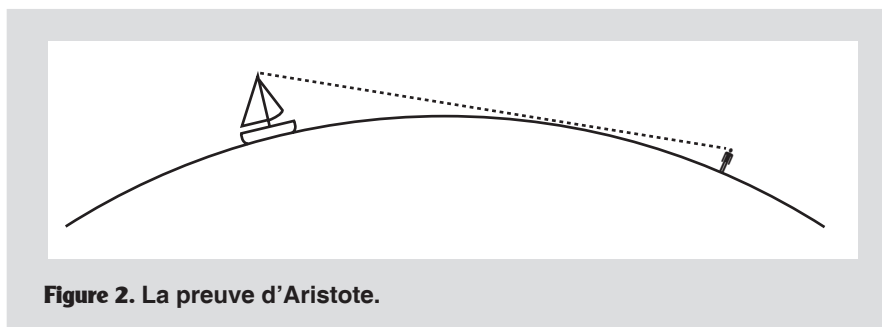


Figure 2. La preuve d’Aristote.

– Suivant l’endroit d’où l’on regarde la règle, elle a l’air plus ou moins pliée à l’endroit où elle rentre dans l’eau. Et pourtant elle est droite. (*Il réfléchit.*) Donc c’est vrai, la lumière ne se déplace pas toujours en ligne droite. D’ailleurs, les mirages dans le désert en sont aussi une preuve.

– C’est ce que l’on appelle la réfraction de la lumière. Plus la lumière est rasante par rapport à la surface de séparation de milieux différents, plus l’effet sera prononcé. Par contre, l’effet est négligeable lorsque la lumière du Soleil tombe verticalement. Cependant, peut-on supposer que ces faits étaient connus à l’époque d’Aristote ?

– Oui, certainement. Donc, sa

preuve n’est pas suffisante.

– En fait, le débat sur la forme de la Terre existait bien avant Aristote. Mais intéressons-nous plutôt à la plus ancienne véritable preuve que l’on connaisse de la rotondité de la Terre. Il s’agit de celle d’Eratosthène au III^e siècle avant J.-C. Le point de départ est un paradoxe : à certaines périodes de l’année, la lumière du Soleil tombe verticalement sur la ville de Syène (Assouan) à midi, puisqu’elle peut même éclairer le fond d’un puits, alors que cela n’arrive jamais à Alexandrie qui se trouve 800 km plus au nord. En effet, un piquet planté verticalement à Alexandrie laissera toujours une ombre portée à tout moment de l’année. Eratosthène explique ce phénomène par la rotondité de la Terre. Tu vois que dans l’hypothèse où la Terre serait plate, les ombres feraient toujours le même angle avec la verticale, alors que ce n’est pas le cas dans l’hypothèse où la Terre est ronde (**figure 3**). Que penses-tu de cette explication ?

– J’y vois un certain nombre de problèmes. Tout d’abord votre schéma suppose ce que vous aviez objecté à Aristote, à savoir que la lumière se déplace en ligne droite. Toutefois, il est vrai que l’effet de réfraction est négligeable lorsque la lumière arrive verticalement ou presque, comme on vient de le voir. Par contre, je constate que le raisonnement d’Eratosthène suppose que les rayons du Soleil soient parallèles entre eux.

– Exact. Est-ce légitime de le supposer ?

– Si je suppose par exemple sur mon schéma, que la Terre est plate, que le Soleil est relativement proche et de petite taille, j’obtiendrai le même résultat expérimental qu’Eratosthène – c’est-à-dire la différence angulaire des ombres de Syène et d’Alexandrie – en faisant une hypothèse exactement opposée

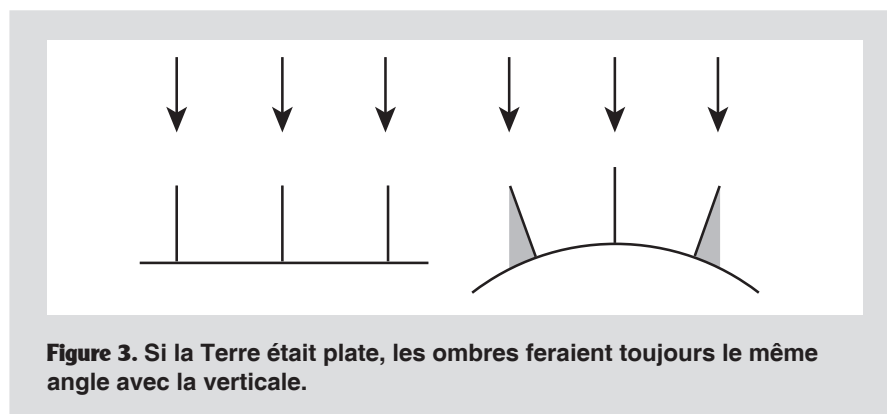


Figure 3. Si la Terre était plate, les ombres feraient toujours le même angle avec la verticale.

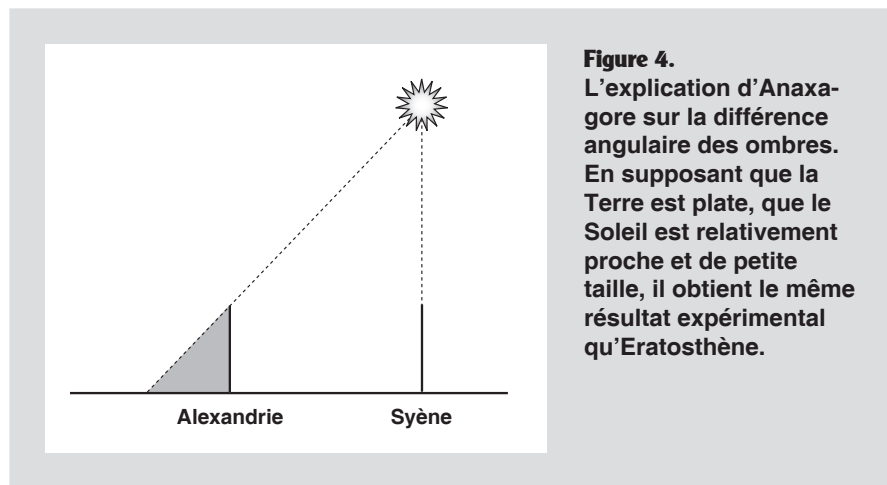


Figure 4. L’explication d’Anaxagore sur la différence angulaire des ombres. En supposant que la Terre est plate, que le Soleil est relativement proche et de petite taille, il obtient le même résultat expérimental qu’Eratosthène.

à la sienne – les rayons ne sont pas parallèles (**figure 4**).

– C'est précisément le raisonnement qu'a fait Anaxagore. Qu'en déduis-tu ?

– Que nous n'avons toujours pas démontré que la Terre est ronde. Pour avoir des rayons parallèles, Eratosthène doit au contraire considérer que le Soleil est à une distance très grande, presque infinie, mais c'est peut-être une hypothèse qu'il faudrait également valider... J'ai l'impression que si l'on observe un phénomène isolé, on pourra toujours l'expliquer de plusieurs manières possibles et contradictoires.

– Il est peut-être possible d'éliminer certaines de ces explications si l'on peut prouver qu'elles conduisent à des absurdités ou des contradictions manifestes. Cependant, il peut se trouver plusieurs explications que nous n'arriverons pas à départager de cette manière-là. Et en effet, l'explication que nous venons de donner n'est *pas encore* une preuve que la Terre est ronde. Dans la science expérimentale, il ne suffit pas d'expliquer des phénomènes connus pour valider une hypothèse. La meilleure manière connue de valider une hypothèse, c'est de montrer qu'elle permet *d'anticiper* sur la réalité, c'est-à-dire qu'elle prévoit un phénomène qui n'a *pas encore* été observé, mais qui se produira effectivement si l'on réunit les bonnes conditions expérimentales. C'est ce que Claude Bernard appelait la contre-épreuve. On voit que la « preuve » d'Aristote n'est qu'une explication d'un phénomène sans véritable contre-épreuve. Essayons plutôt de voir quelle est la contre-épreuve dans le cas d'Eratosthène. Comme tu le vois sur la **figure 5**, Syène et Alexandrie ont l'avantage d'être placées sur un même méridien. Si l'on compare les ombres portées par deux piquets verticaux dans chacune de ces villes, on mesure une différence d'angle. Connaissant la distance entre les deux villes et cette différence d'angle, on voit qu'une simple règle de trois nous permet d'en déduire la circonférence de la Terre. Je voudrais d'abord que tu me dises ce que tu penses de ce calcul.

– Il me semble que vous supposez que la Terre est ronde pour prouver que la Terre est ronde ! Car même si l'on admet que vous avez prouvé que la courbure de la Terre est circulaire

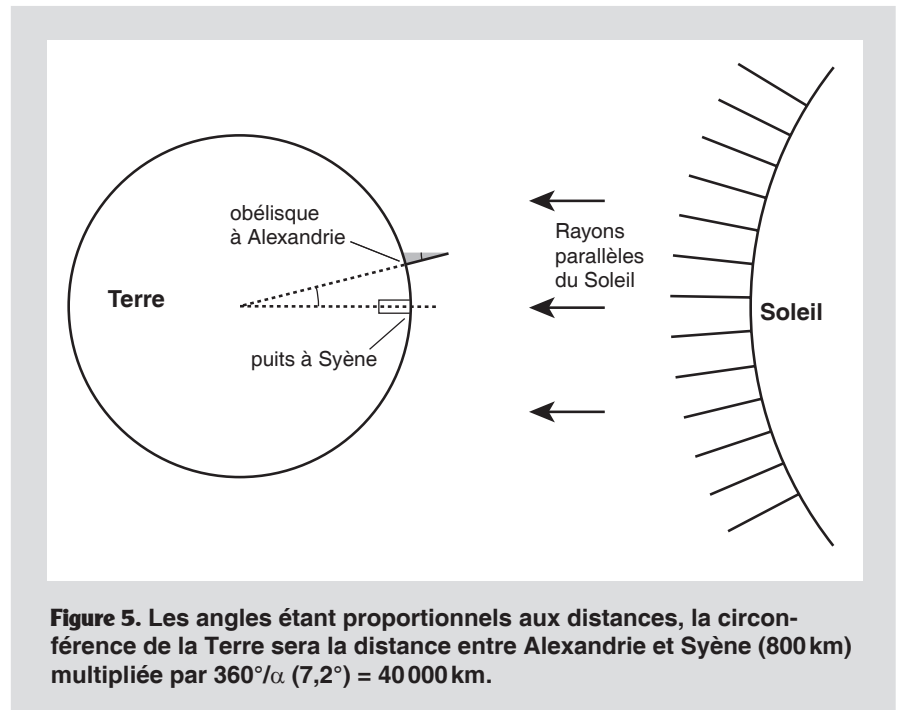


Figure 5. Les angles étant proportionnels aux distances, la circonférence de la Terre sera la distance entre Alexandrie et Syène (800 km) multipliée par $360^\circ/\alpha$ ($7,2^\circ$) = 40 000 km.

entre Syène et Alexandrie, rien ne prouve, en vous déplaçant d'une ville à l'autre, que cela sera vrai sur le reste de la circonférence.

– Très bonne remarque, mais tu négliges un point très important : si l'hypothèse d'Eratosthène est la bonne, alors il est capable de donner une *mesure* de la circonférence de la Terre. C'est un point fondamental qui sépare cette preuve de celle d'Aristote : on se dote ici d'un nouvel *instrument de mesure* qui implique une action de l'homme par opposition à une simple observation passive d'un phénomène. Donc, si l'on est capable de mesurer cette circonférence *par un autre moyen* et que l'on trouve le résultat calculé par Eratosthène, on aura dans la *coïncidence* de ces deux mesures, la contre-épreuve recherchée.

– Mais cela demande de faire le tour de la Terre et de mesurer tout le parcours !

– Peut-être... On sait que des amis d'Eratosthène ont essayé de le faire d'ouest en est et qu'ils ont été arrêtés par le continent américain... Mais je voudrais tout de même revenir à l'expérience d'Eratosthène entre Syène et Alexandrie. Nous en parlons jusqu'à présent de manière abstraite, mais il faut se replacer dans l'esprit du découvreur qui s'apprête à faire une expérience réelle. Peux-tu imaginer les problèmes concrets qui ont dû se poser ?

– Vous avez placé Syène et Alexan-

drie sur le même méridien. Parler de méridien suppose déjà connu le fait que la Terre est ronde.

– Pas tout à fait ! Cela suppose que l'une est au nord par rapport à l'autre. Comment peut-on définir le nord indépendamment de la forme de la Terre ?

– (Après réflexion.) Si Alexandrie est au nord de Syène, l'heure est la même dans les deux villes.

– Comment peux-tu savoir que l'heure est la même dans deux villes séparées par 800 km à une époque où le téléphone n'existe pas ?

– Là, vous me posez un problème.

– Alors essayons déjà de penser à la manière dont on pouvait mesurer le temps à cette époque.

– Pendant la journée à partir d'un cadran solaire. L'ombre est allongée et dirigée vers l'ouest au début de la journée ; puis elle diminue progressivement de longueur dans la matinée en s'orientant progressivement vers le nord ; et dans l'après-midi, elle s'allonge en s'orientant vers l'est... (réalisant) A l'instant midi, l'ombre est *minimale* et elle donne la direction du nord ! Voilà la boussole qui nous manquait.

– Et tu as trouvé en même temps une manière de déterminer l'instant midi qui nous intéresse pour l'expérience. Souviens-toi de cela pour nos discussions futures : *le temps et l'espace ne sont pas indépendants l'un de l'autre* dans le monde physique

réel.

– D'autant plus que je crois savoir qu'une distance comme celle de Syène à Alexandrie devait être mesurée par le temps qu'une caravane de chameaux mettait pour aller de l'une à l'autre, à moins que l'on ait utilisé des arpenteurs. Mais ceci me donne une idée de ce qu'a pu être la contre-épreuve d'Eratosthène pour prouver que la Terre est ronde au moins entre Syène et Alexandrie. Connaissant la distance entre ces deux villes et la différence d'angle entre les ombres des piquets verticaux, on en déduit la circonférence de la Terre et donc le rayon de courbure. A partir de là, on peut dire quelle doit être l'inclinaison de l'ombre pour un piquet planté verticalement en n'importe quel point intermédiaire entre les deux villes. Cette évolution de l'inclinaison ne sera pas la même dans l'hypothèse d'Anaxagore d'une Terre plate et d'un Soleil « proche ». On obtient donc la contre-épreuve d'Eratosthène en mesurant l'ombre d'un piquet en différents points intermédiaires, au même moment – chacun de ces points intermédiaires nous donnant en quelque sorte une nouvelle mesure de la circonférence.

– Bien raisonné. Et la circonférence totale calculée par Eratosthène est très proche de la valeur que l'on connaît aujourd'hui – ce qui est remarquable. Cependant, tu vois toi-même qu'une découverte n'est jamais définitive puisque nous avons fait l'hypothèse que la Terre était ronde et essayé d'en tirer des conséquences pouvant être vérifiées expérimentalement. Or, on sait depuis le XVIII^e siècle que la Terre n'est pas exactement ronde ! Cette dernière découverte a été le point de départ d'une percée fondamentale de Gauss que nous étudierons certainement dans une autre occasion.

3. TRANSCENDER LA SÉRIE DES DÉCOUVERTES

Il n'est pas besoin d'insister davantage sur la nécessité de revenir à un enseignement basé sur la découverte et la recherche expérimentale, plutôt que sur l'idée d'apprendre une série de « vérités positives »

et de connaissances formelles. Un point généralement méconnu doit cependant être développé ici, si l'on veut éviter que cet enseignement par la découverte demeure à un niveau empirique, alors que nous voulons justement lutter contre l'empirisme. Comment déterminer le programme d'enseignement ? Quelles découvertes du passé faut-il choisir pour éveiller les capacités créatrices des élèves ? Et dans quel ordre ? La réponse à ces questions se base sur le fait que les découvertes de l'histoire ne sont pas effectuées par hasard, mais qu'elles sont *ordonnées* suivant des principes *atemporels* qui les transcendent. C'est ici que la métaphysique s'avère être un guide indispensable pour la découverte scientifique. Ce problème n'est pas facile à saisir à notre époque car les Lumières du XVIII^e siècle et leurs héritiers positivistes du XIX^e siècle ont délibérément séparé la physique de la métaphysique pour étouffer l'esprit créateur de l'individu humain. Les plus grands découvreurs de l'humanité se situent pourtant dans une même tradition épistémologique – les meilleurs d'entre eux en sont même parfaitement conscients – et si l'on veut sortir la science de l'impasse où elle se trouve, il est nécessaire de retrouver le fil qui ordonne leurs découvertes successives.

Parallèlement à cette séparation imposée entre physique et métaphysique au XVIII^e siècle, les Lumières, surtout Kant en Allemagne, imposèrent une séparation tout aussi catastrophique entre art et science. Pourquoi est-ce grave ? Comme cela est précisé plus haut par LaRouche, il n'existe aucun langage formel capable de transmettre directement l'idée associée à la découverte d'un nouveau principe physique universel. Les idées ne sont pas dans les mots, mais existent néanmoins dans l'esprit des êtres humains. Transmettre une découverte demande donc d'utiliser des mots pour faire naître dans l'esprit de l'élève une idée qui ne se trouve cependant pas dans les mots eux-mêmes. Cette question est parfaitement connue des poètes et des musiciens. C'est dans le même objectif de transmettre des idées qu'ils utilisent ce qu'ils appellent des *métaphores*. Au niveau le plus simple, une métaphore est obtenue en associant plusieurs termes formellement contradictoires : le sens

qui résulte de cette juxtaposition étonnante ne se trouve dans aucun des termes individuels, mais il provoque chez le lecteur ou l'auditeur qui le comprend, un sentiment d'être entré dans l'esprit de l'auteur. Dans l'art comme dans la science, les métaphores sont les aiguillons indispensables de la pensée. Par exemple lorsqu'on dit que les différentielles du calcul de Leibniz tiennent le milieu entre le pur néant et la quantité, on exprime une impossibilité formelle, mais *il n'y a pas d'autre manière que ce genre d'ironie pour transmettre l'idée fondamentale qui leur est associée*.

Pour illustrer les considérations qui précèdent avec un exemple éclairant, présentons une série de découvertes ordonnées selon un principe qui s'exprime par l'une des affirmations de Leibniz les plus provocatrices et les plus violemment attaquées par ses ennemis.

« Nous vivons dans le meilleur des mondes possibles »

L'aspect de la pensée de Leibniz qui, de la manière la plus fondamentale, lui a valu la haine et la rage de tous les empiristes jusqu'à ce jour, c'est son *optimisme*. Leibniz affirmait en effet que nous vivons dans le meilleur des mondes possibles et que ce monde est constitué de manière à ce que l'intelligence humaine puisse le connaître par la découverte. *Cet optimisme est absolument indissociable de sa méthode de découverte : vouloir en faire abstraction, c'est se condamner à ne rien découvrir du tout*. Cependant, compte tenu de toutes les calomnies répandues sur ce sujet depuis trois siècles, il est nécessaire ici de préciser ce que signifie, en termes scientifiques, cette affirmation de Leibniz.

Dans un monde totalement accessible à la raison humaine, il ne peut rien exister d'arbitraire : suivant le principe de la *Raison suffisante*, tout événement qui se produit a une raison sans laquelle il ne se produirait pas. La *coexistence* de deux objets ou deux événements dans le même univers a elle-même une raison suffisante. En d'autres termes, ce monde

L'éducation instructive de Johann Friedrich Herbart

Nombre d'élèves issus des pays occidentaux ont l'impression d'avoir subi, aux cours des trente dernières années, une éducation caractérisée par des exercices creux, une éducation avant tout axée sur le « développement des facultés », comme l'illustre par exemple l'introduction des mathématiques modernes.

De plus, avec l'abandon de tout examen sérieux des grands moments de l'histoire des hommes et des idées, ces élèves ont été soumis à un enseignement fait de banalité quotidienne et d'expérience immédiate. Les préoccupations d'ordre sociologique et la volonté de résoudre certains problèmes sociaux à l'école même ont, elles aussi, contribué à alléger la substance du savoir transmis aux élèves.

D'autres, au contraire, ont l'impression (surtout pour ceux destinés à faire partie des « élites ») d'avoir été soumis à un processus de « bourrage de crâne », d'avoir eu à ingérer des quantités phénoménales d'informations de nature disparate, d'avoir été transformés en encyclopédie sur deux pattes et d'être devenus, grâce au recours à des artifices mnémotechniques, des miracles d'érudition.

On constate dans les deux cas une absence de grandeur, de dignité et d'humilité, par lesquelles l'élève devrait être amené non seulement à prendre conscience de la nature nécessairement fragmentaire du savoir acquis à l'école, mais aussi à s'émerveiller. Cette capacité d'émerveillement apparaît dès qu'on lui donne les moyens de comparer ce savoir acquis au grand tout que constitue l'ensemble de l'existence humaine, en particulier l'accumulation des découvertes accomplies par l'humanité depuis ses débuts.

Ces constatations prennent encore plus de force quand on se réfère aux écrits du grand pédagogue allemand Johann Friedrich Herbart (1776-1841), ainsi qu'à ceux de son célèbre disciple, le mathématicien Bernhard Riemann (1826-1866).

Pour Herbart, l'éducation doit avant tout être une affaire d'instruction, mais pas n'importe laquelle. Autant par



l'objectif qu'elle se fixe que par les moyens dont elle se dote, elle doit permettre à l'élève de se structurer moralement et psychologiquement, de façon à ce qu'il puisse participer, d'une manière ou d'une autre, à cette montée en puissance que constitue le développement de la société humaine au sein de la biosphère et dans l'univers.

Herbart considère que la connaissance, la sensibilité et la volonté ne sont pas des facultés isolées ou des forces indépendantes. S'inspirant de la philosophie de Leibniz, et plus particulièrement du concept de *monade*, il explique : « *L'âme est simple, non seulement elle n'a pas de parties, mais elle n'a pas non plus de qualités multiples. L'âme n'a également ni l'appétit ni la faculté de recevoir ou de produire quoi que ce soit. La matière psychologique n'est pas une masse indépendante, une matière qui pourrait exister avant l'artiste, sans lui et hors de lui, et attendre qu'il la traite, comme le potier traite l'argile ; ici la force et la matière ne font qu'un.* »¹

Ceci ne signifie en aucune façon que Herbart nie à l'enfant toute individualité qui lui serait propre. Au contraire, l'âme est non seulement une mais chaque âme humaine est unique et entièrement souveraine. Cependant, pour le pédagogue, la personnalité de l'enfant est avant tout constituée de différents groupes d'idées, plus ou moins harmonisées, qui l'amènent même parfois à faire

preuve de comportements et d'aptitudes différentes suivant qu'il se trouve à l'école, en famille ou ailleurs. Ce que Herbart appelle l'individualité est généralement le résultat du hasard et des circonstances, par opposition au caractère qui est, lui, formé par une éducation et une instruction planifiées.

Herbart est donc convaincu que l'éducation et l'instruction ne peuvent être conçues séparément. L'éducateur doit d'abord pouvoir, dès qu'il est introduit à l'enfant, dresser pour ainsi dire une carte géographique de son esprit, en identifiant les différents groupes d'idées qui constituent la trame de sa pensée, pour ensuite le former en assimilant ces divers groupes à une « *représentation esthétique du monde* » plus cohérente, un « *tableau vrai et fortement dessiné de l'humanité telle qu'elle pourrait et devrait être en général* ». Il doit ainsi, tout en tenant compte des dispositions physiques et du tempérament particuliers de l'enfant, l'élever de son état d'individualité vers un état d'universalité. Herbart se reporte à cet égard à la culture de la Grèce antique, entre autres à l'*Odyssee* d'Homère.

L'éducateur ne doit pas avoir recours, comme le font souvent des parents désespérés, à la « *manipulation des sentiments de l'enfant* » mais plutôt « *à la puissance accumulée de tout ce que les hommes ont jamais senti, éprouvé et pensé* ». Il doit éviter de se rabaisser à son niveau et ne doit se concevoir ici que comme un simple auxiliaire ou guide, qui doit interpréter ce savoir avec intelligence et accompagner l'enfant convenablement dans son cheminement intellectuel.

Herbart poursuit : « *Ainsi, ce qui doit lui importer par-dessus tout, c'est la manière dont s'établit chez son élève le cercle des idées : car ce sont les idées qui engendrent les sentiments, et par là les principes et les manières d'agir. Concevoir par rapport à cet enchaînement toutes les choses, sans exception, qu'on pourrait présenter à l'élève, toutes celles qu'on pourrait déposer dans son âme, rechercher comment il faut les coordonner, par*

conséquent dans quel ordre il faut les faire se succéder, et comment à leur tour elles peuvent servir d'appui à ce qui suivra dans l'avenir. »²

S'inspirant directement de Herbart, le mathématicien Bernhard Riemann explique dans l'un de ses fragments philosophiques que « l'esprit est une masse cognitive [Geistesmasse] compacte, multiples connectée par des connexions internes des plus intimes. Il croît de manière continue au fur et à mesure que de nouvelles masses cognitives y entrent, et c'est de cette manière qu'il continue à se développer. [...] Chaque masse cognitive qui entre dans l'esprit stimule toute la masse cognitive à laquelle elle est apparentée, et elle le fait d'autant plus fortement que la dissemblance entre les états internes est moindre. Cependant, cette simulation n'est pas simplement limitée aux masses cognitives apparentées, mais elle s'étend aussi, par médiation, à celles qui sont liées avec elles. »³

Ainsi, l'enchaînement de masses cognitives constitue pour ainsi dire des filaments ou des fibres, qui deviennent la substance même de notre esprit et forment la charpente lui permettant de se développer davantage. De plus, ces fibres sont connectées entre elles de manière « transversale », et la densité de leurs interconnexions et leur longueur même (résultant d'un processus d'éducation rigoureux comme celui préconisé par Herbart) définissent la puissance conceptuelle de notre esprit.

Néanmoins, ces masses cognitives, une fois formées, ne disparaissent jamais et continuent à exister après notre mort. Elles viennent s'intégrer à une masse cognitive compacte plus grande, à ce que Riemann appelle la biosphère (quoique ce mot soit quelque peu réducteur par rapport au terme *Erdseele* qu'il utilise) et participent alors à une vie mentale supérieure, constituant ce que l'on pourrait percevoir comme une intentionnalité guidant le développement des processus vivants et cognitifs sur Terre et dans l'univers.

C'est exactement ce à quoi fait référence le scientifique français Paul Langevin (1872-1946) lorsqu'il affirme : « [Les élèves] doivent être amenés à sentir l'importance de

ce développement de l'esprit, et qu'indépendamment des forces que la physique et la chimie nous font découvrir, il en est d'autres constituées par l'activité spirituelle qui fait, elle aussi, partie de la réalité et peut contribuer à transformer le monde. De même que nous commençons à entrevoir les liens qui existent entre la gravitation et l'électromagnétisme, considérés jusqu'ici comme deux groupes de phénomènes totalement différents, de même nous pouvons espérer que les forces physiques et les forces spirituelles nous apparaîtront plus tard unifiées dans une synthèse plus haute, qui fera apparaître l'Esprit comme l'un des aspects des forces de l'univers. »⁴

Paul Langevin expliquait dans une autre intervention au sujet de la pédagogie⁵ qu'il fallait concevoir l'enseignement des sciences d'un point éducatif et non utilitaire, en insistant sur l'enseignement historique. Cela devait permettre, selon lui, de combattre ce qu'il appelait la « déformation dogmatique » et ses effets néfastes, c'est-à-dire l'ennui, l'impression du caractère définitif conféré à la science (comme si elle n'avait plus rien à découvrir), l'incapacité de se remettre en cause quand la nature nous présente des paradoxes non expliqués et « l'ossification et la sénilisation des théories », pour reprendre ses termes.

Ainsi, l'enseignement des sciences, comme tous les autres domaines formant l'« éducation instructive » telle que définie par Herbart, doit, contrairement à ce qu'affirmait le philosophe et pédagogue John Dewey, élever l'élève au-dessus de l'expérience de la proximité et le projeter dans cette sphère de tous les temps que constitue cette masse cognitive compacte globale décrite par Riemann, et que l'économiste et penseur américain Lyndon LaRouche appelle aujourd'hui la « simultanéité de l'éternité ».

Les idées de Herbart n'ont malheureusement jamais été introduites à grande échelle. Même si le grand réformateur prussien Guillaume de Humboldt a fait appel à lui au cours de la période suivant 1809, après les guerres de libération antinapoléoniennes, la restauration de 1813 a eu raison de cet élan réformateur. Les disciples de Herbart se sont par

la suite engagés, après sa mort en 1841, dans des dérives qui ont jeté un grand discrédit sur ses idées, et qui ont ensuite permis à des auteurs mal avisés comme John Dewey de rejeter l'ensemble de sa synthèse.

Nous pouvons toutefois affirmer aujourd'hui, à la lumière du siècle passé et plus particulièrement des trente dernières années, que toutes les réformes de l'éducation ignorant la réalité de l'esprit humain et ne concevant pas l'être humain avant tout comme un être cognitif unifié sont vouées à l'échec. Une véritable réforme de l'enseignement doit avant tout supprimer la distinction entre les processus régissant le développement de l'esprit humain (*Geisteswissenschaft*) et les lois de la nature (*Naturwissenschaft*), une distinction introduite en Europe par les romantiques au début du XIX^e siècle et devenue hégémonique depuis lors. Nous devons, par ailleurs, d'un point de vue plus pratique, réduire le recours aux manuels didactiques dans l'enseignement et mettre plus d'emphasis sur les textes originaux. Enfin, nous devons multiplier le développement de ce que nous appelons les « exercices pédagogiques », une nouvelle forme d'« exercices spirituels » conçue par LaRouche en accord avec les conceptions de Herbart, Riemann et autres penseurs rattachés à cette tradition.

Benoit Chalifoux

Références

1. Johann Herbart, *Psychologie als Wissenschaft : neugegründet auf Erfahrung, Metaphysik und Mathematik*. (La psychologie en tant que science, nouvellement fondée sur l'expérience, la métaphysique et les mathématiques).
2. Johann Herbart, *Principales œuvres pédagogiques*, trad. par A. Pinloche, Facultés de Lille, 1894.
3. Bernhard Riemann, « Fragments philosophiques », *Fusion*, n° 92, septembre-octobre 2002.
4. Paul Langevin, « Contribution de l'enseignement des sciences physiques à la culture générale », Conférence faite le 11 juin 1931 au Musée pédagogique, sous les auspices de la Société française de pédagogie, in *Paul Langevin, la pensée et l'action*, Les Éditions françaises réunies, 1950.
5. Paul Langevin, « La valeur éducative de l'histoire des sciences », Conférence faite en 1926 au Musée pédagogique, *Op. cit.*

doit être considéré comme un tout et non pas comme une somme de parties indépendantes et agissant les unes sur les autres. Dire alors que ce monde est le meilleur des mondes possibles, ne signifie pas, comme le prétend stupidement Voltaire, qu'il est parfait dans la moindre de ses parties. Etant donné que certains événements contradictoires ne sauraient exister dans un même univers, mais pourraient néanmoins exister séparément – l'un ou l'autre –, il faut, selon Leibniz, que Dieu fasse un *choix* dans tous ces mondes possibles. Ce choix est celui qui a la particularité d'être le meilleur de tous, compte tenu de toutes les relations entre toutes ses parties. Leibniz justifie cela en montrant que n'importe quelle autre hypothèse serait contradictoire avec l'absolue perfection de Dieu. *Ce point de départ métaphysique et théologique est très lourd de conséquences pour la physique.*

L'une des principales conséquences de cette harmonie entre toutes les parties de l'univers est que la moindre d'entre elles reflète à sa manière la totalité. Leibniz dirait que chaque monade est l'image vivante de l'ensemble de l'univers. En d'autres termes, rien ne saurait être indépendant du reste dans notre monde. Par exemple, cette vision réfute totalement les principes de la physique newtonienne. Newton considère que le monde peut être réduit à un grand espace vide absolu et de dimensions infinies, dans lequel s'écoule un temps infini absolu, et dans lequel s'agitent un très grand nombre de particules élémentaires indissociables soumises à l'attraction universelle. Cette attraction universelle qui s'exerce entre deux particules selon l'inverse du carré de leur distance réciproque est, comme on le voit, une action locale ; *l'univers de Newton est la somme algébrique de ces actions locales* (le tout se réduit à la somme des parties). On notera au passage que si l'on rajoute un certain nombre de particules élémentaires dans l'univers du philosophe empiriste, on n'y changera rien de fondamental, d'autant plus qu'il y a encore de la place compte tenu de tout ce vide qui règne : le simple *nombre* de ces particules de l'univers de Newton est donc déjà en soi une donnée arbitraire, sans raison suffisante.

Chez Leibniz, l'espace et le temps

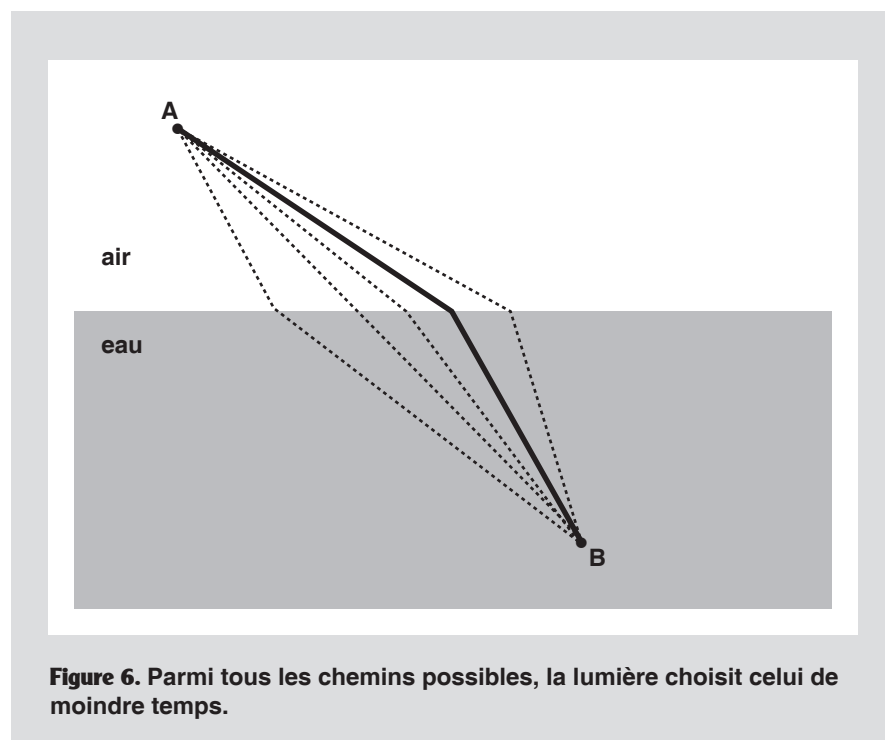


Figure 6. Parmi tous les chemins possibles, la lumière choisit celui de moindre temps.

ne peuvent être considérés comme des grandeurs indépendantes entre elles et indépendantes de la matière et de l'action qui se déroule dans l'univers : on ne peut pas réellement parler d'espace ou de temps en soi, mais plutôt d'*espace-temps physique*. Dans un certain sens, on peut dire que l'action ne se déroule pas pendant un certain temps dans un certain espace, mais que c'est l'action qui *crée* le temps et l'espace. De même pour la matière. Comme Héraclite avant lui, Leibniz considère que le *changement* – l'action de l'univers sur lui-même – est la seule véritable constante de l'univers – et cette action générale est bien entendu orientée vers le meilleur. Newton considère au contraire que l'univers est mort et qu'il ne change essentiellement pas. Dans *Du mouvement des corps*, il pose comme axiome fondamental le non-changement, à savoir que « *Tout corps, par sa seule force inhérente, s'avance uniformément selon une droite à l'infini...* », mais comme ceci ne se produit jamais dans la réalité, il est obligé d'introduire immédiatement une exception pour pouvoir aller plus loin « *... à moins que quelque chose d'extérieur ne l'en empêche* ».

Cette opposition entre ces deux conceptions du monde est l'objet d'une polémique historique et scientifique fondamentale que l'on retrouve dans la *Correspondance*

Leibniz-Clarke – un texte que tout étudiant devrait absolument connaître.

Cependant, il n'y a pas chez Leibniz simplement l'idée que tout est relié à tout. Cette relation est également, insistons là-dessus, une *harmonie générale* *.

Cette idée d'harmonie – de beauté et de bonté – indique pour le scientifique la nécessité de chercher des principes universels reposant sur une certaine forme d'*optimum* pour décrire le meilleur des mondes possibles. Donnons un exemple simple : dans la mesure où plusieurs trajets sont possibles pour un rayon lumineux qui se dirige d'un point A vers un point B (**figure 6**), celui qui sera effectivement suivi par la nature doit avoir une particularité que tous les autres n'ont pas – sinon la nature ferait un choix sans raison suffisante. Les géomètres décrivant

* En musique, le mot « harmonie » ne signifie pas que toutes les parties de la composition sont belles en soi. Dans un véritable chef-d'œuvre, on trouve même beaucoup de dissonances qui pourraient sembler laides individuellement. Cependant, comme le dit Leibniz, « *de remarquables compositeurs mêlent très souvent des dissonances aux consonances, afin d'exciter et pour ainsi dire aiguillonner l'auditeur ; et pour qu'il se réjouisse d'autant plus, une fois tout rentré dans l'ordre [...].* » C'est là que réside la beauté de l'œuvre.

les phénomènes physiques par des fonctions mathématiques, quelles sont les particularités – les points singuliers – de ces fonctions ? Bien entendu, la première idée qui vient à l'esprit, ce sont les extremums (minimums et maximums). Fermat avait déjà démontré que la lumière utilise le temps *minimum* pour aller du point A au point B ; dans la même perspective, Leibniz généralise ce principe de moindre temps, au principe physique universel de moindre action. Ainsi, la nature ne produit rien d'inutile, elle ne fait pas de gaspillage. Lorsque plusieurs phénomènes interagissent, comment déterminer la forme *optimale* de cette interaction ? Cette question, qui a été posée par les scientifiques bien avant la naissance de Leibniz, est à l'origine de l'une des plus grandes découvertes de ce dernier : le calcul différentiel, dont l'une des premières utilisations est justement de calculer des extremums dans un univers caractérisé par un processus général de changement.

Il ne suffit pas de dire que le monde de Leibniz est harmonique ; il faut ajouter qu'il est *harmoniquement hiérarchisé*. Ceci se reflète aussi très simplement dans son calcul différentiel : les quantités infinitésimales qui apparaissent dans ce calcul, ne sont pas de la même espèce que les nombres finis qui apparaissent seuls dans l'ancienne géométrie. Cependant les quantités infinitésimales et les quantités finies coexistent dans le même univers : on dira par un « abus de langage » (une métaphore) qu'une quantité finie est le résultat d'une *somme infinie* de quantités infinitésimales, pour exprimer le fait qu'il y a néanmoins une relation entre ces deux espèces de quantités, bien que ces dernières semblent appartenir à des univers différents.

Cette harmonie hiérarchisée de l'univers est totalement absente de l'empirisme en général et chez Newton en particulier. Dans la vision empirique, seuls les faits parlent *en eux-mêmes* ; des hypothèses directrices telles que l'harmonie de l'univers sont donc délibérément écartées. Il en résulte fort logiquement que l'univers, composé d'un grand nombre de particules interagissant entre elles, est essentiellement *homogène* et donc il ne saurait exister de différence fondamentale entre un caillou,

un arbre, un chat et un être humain. Est-ce raisonnable pour un scientifique ? Laissons pour l'instant la question en suspens, mais ajoutons que cette absence d'harmonie se reflète également dans le calcul des fluxions de Newton. Dans ce calcul, toutes les quantités sont finies, comme l'a remarqué Lazare Carnot. On peut enfin préciser, que le calcul des fluxions de Newton, reflète sa conception empiriste d'espace-temps physique car, comme il l'indique lui-même dans sa *Méthode des fluxions et des suites infinies*, il a besoin d'une référence absolue comme le temps – contrairement au calcul de Leibniz.

Bien entendu, cette idée de Leibniz selon laquelle nous vivons dans le meilleur des mondes possibles ne se réduit pas aux quelques considérations physiques et métaphysiques que nous avons soulignées dans les lignes qui précèdent. Toutefois, ces quelques considérations suffisent ici pour notre propos qui est de montrer non seulement que Leibniz s'inscrit dans une certaine tradition scientifique, mais en plus que les découvertes de l'histoire sont elles-mêmes harmoniquement hiérarchisées par des principes supérieurs. De tels principes généraux devraient être présents à l'esprit de tous ceux qui sont chargés d'élaborer des programmes *complets* d'éducation, au-delà de la simple expérience individuelle qu'il est intéressant de donner aux élèves pour éveiller leur esprit de découverte. C'est ainsi que les découvertes qui suivent ci-dessous se répondent les unes aux autres à travers toute l'histoire humaine. Ceci donne une idée de la manière par laquelle *Fusion* organise ses « discussions pédagogiques » avec des jeunes qui veulent « apprendre à découvrir ».

Une série de découvertes

• Pythagore et l'incommensurabilité

Bien que ceci soit pratiquement effacé de l'enseignement actuel, les mathématiques – l'histoire des découvertes mathématiques – expriment de manière simple l'idée que l'univers est harmoniquement hiérarchisé. Dans ce domaine, plus peut-être que dans les autres, il est primordial de remettre en cause les

axiomes et de confronter l'esprit aux questions les plus simples et les plus profondes. Par exemple, la plupart des étudiants qui sont devenus des maîtres dans la manipulation des symboles ne se sont jamais posé la question suivante : « Qu'est-ce qu'un nombre ? » Etrange, n'est-ce pas ? Posez-vous la question et vous constaterez qu'il n'y a pas de réponse simple. Considérez-vous que les nombres servent à compter des *objets fixes* ? Dans ce cas, vous aurez beaucoup de difficultés à expliquer ce qu'est un nombre négatif (puisque l'on ne voit pas très bien ce que serait un objet négatif), à moins que vous ne fassiez une découverte qui change votre point de vue. Et si, par exemple, les nombres représentaient un *déplacement* le long d'une ligne ? Ils pourraient alors être positifs pour signifier un déplacement dans le sens direct et négatifs dans le sens rétrograde. Mais cette réponse pose à son tour de nouveaux problèmes *, etc.

Le grand mathématicien Georg Cantor insistait sur la qualité essentiellement *subjective* de la notion de nombre – il appelait nombre une *manière de penser* une multiplicité – et a provoqué ainsi une levée de bouclier de la part de tous les formalistes de son époque.

Aujourd'hui, dans l'esprit de la plupart des gens, les nombres sont une espèce de soupe homogène et informe ; il est presque impossible d'y voir une harmonie hiérarchisée. Pour résoudre ce problème, un certain nombre de discussions pédagogiques doivent être organisées autour des travaux de Gauss sur les résidus quadratiques en arithmétique et sur les transfinis de Cantor. Ces deux études peuvent montrer, même à un niveau relativement élémentaire, à quel point le monde

* L'un de ces problèmes les plus célèbres, est posé par Cardan lorsqu'il se rend compte que la résolution de certaines équations fait apparaître des « racines carrées de nombres négatifs ». De tels nombres ne peuvent être représentés par un déplacement direct ou rétrograde sur une droite, à tel point que les mathématiciens empiristes comme Euler n'hésiteront pas à les qualifier de « nombres imaginaires »... jusqu'à ce que le jeune Gauss montre que ces nombres sont tout aussi « réels » que les autres, mais que pour s'en rendre compte, il nous faut encore changer notre conception de l'idée de nombre et créer un ordre supérieur à l'ordre précédent.

des nombres est harmonique et ordonné. Il peut être choquant pour un mathématicien d'aujourd'hui de constater que ces savants modernes étaient guidés par cette même recherche de l'harmonie que les géomètres de l'Antiquité comme par exemple l'école de Pythagore que seuls de mauvais historiens qualifieraient de mystique.

Le fameux théorème de Pythagore, selon lequel le carré de l'hypoténuse d'un triangle rectangle est égal à la somme des carrés des deux autres côtés, se démontre très simplement (figure 7). Cette démonstration indique au passage que la notion de nombre n'a rien d'homogène : un nombre simple qui mesure une longueur n'est pas de la même espèce qu'un nombre carré qui mesure une surface – la ligne et le carré sont des figures d'une espèce différente. Pour avoir un sens plus précis de cette dernière affirmation, il faut s'intéresser à une ligne qui est engendrée par la construction d'un carré : la diagonale. En fait, *il est impossible d'établir une unité capable de mesurer simultanément le côté d'un carré et la diagonale*. Ou dit autrement, le côté et la diagonale sont incommensurables. Cette découverte faite par les Grecs a montré que certains nombres ne pouvaient pas s'exprimer par le simple rapport de deux nombres entiers – ce ne sont pas des nombres rationnels –, même si entre deux nombres rationnels quelconques, on peut toujours trouver une infinité d'autres nombres rationnels ! (Ce qui pourrait laisser croire qu'il n'existe pas de place pour d'autres nombres que les rationnels.) La démonstration de l'incommensurabilité du côté et de la diagonale du carré correspond bien entendu à la démonstration du fait que $\sqrt{2}$ n'est pas un nombre rationnel. Demandez cependant à un mathématicien de vous dire quelle est la longueur de la diagonale d'un carré de côté 1, il vous répondra sans hésiter $\sqrt{2}$, sans se rendre compte que ceci n'est pas une réponse mais une autre manière de poser la même question. Ainsi, la différence d'espèce – qui correspond à une découverte de l'esprit humain – entre les nombres rationnels et les autres nombres a disparu dans les mathématiques modernes.

• Nicolas de Cues et l'action circulaire

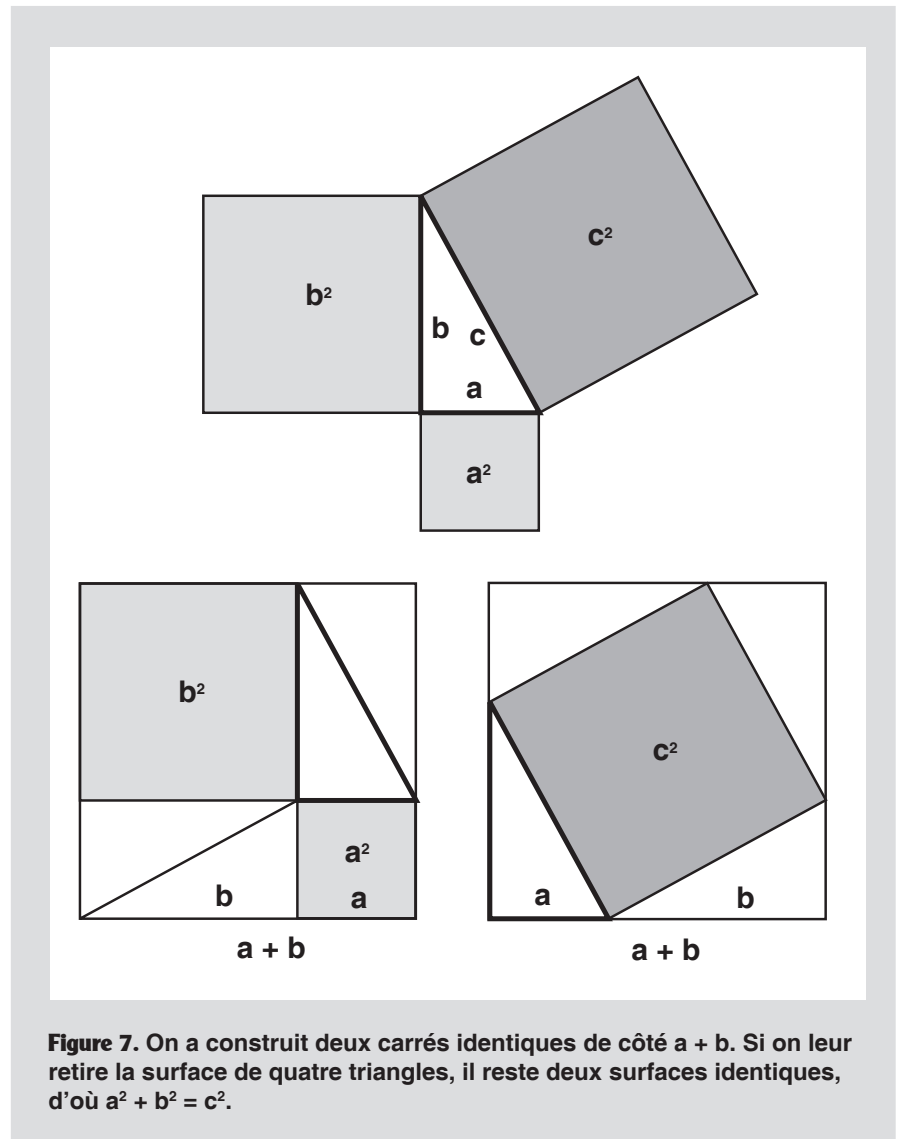


Figure 7. On a construit deux carrés identiques de côté $a + b$. Si on leur retire la surface de quatre triangles, il reste deux surfaces identiques, d'où $a^2 + b^2 = c^2$.

Au XV^e siècle, le cardinal Nicolas de Cues, l'un des principaux pères de la Renaissance européenne, a porté cette découverte de l'incommensurabilité à un niveau supérieur : il a montré que le périmètre du cercle et le diamètre sont incommensurables – la fameuse « quadrature du cercle » est impossible. Cette découverte indique qu'il existe plusieurs espèces de nombres non rationnels : le rapport entre le périmètre et le diamètre du cercle n'est pas un « nombre algébrique », contrairement à $\sqrt{2}$.

Si l'on considère la série de polygones obtenus en doublant le nombre de côtés du précédent et inscrits dans un même cercle (figure 8), on illustre l'idée que le cercle représente le principe d'ordonnement de la série des polygones, *bien qu'il ne fasse pas lui-même partie de la série*. Le cercle est, de ce point de vue, d'une espèce supérieure aux polygones ; l'action circulaire est d'une espèce

supérieure à l'action linéaire.

Ces dernières considérations portent en elles le germe de la remise en cause de la géométrie euclidienne. En effet, cette géométrie part d'un certain nombre de postulats, comme le fait que la droite (l'action linéaire) et le point sont des entités évidentes en soi à partir desquelles serait bâti l'édifice de la géométrie. Une telle approche basée sur des « objets » fixes ne suffit pas à construire le cercle. Pour cela, il faut introduire quelque chose d'extérieur – l'action circulaire – que l'on applique à une ligne. Par contre, en considérant comme point de départ l'action circulaire (à ne pas confondre avec le cercle), on peut construire la droite puis le point sans rien introduire de nouveau dans la géométrie. Considérons un espace géométrique auquel on applique une action circulaire, la droite est la singularité invariante engendrée par cette action. Appli-

quons une seconde action circulaire à cette droite, on obtient une nouvelle singularité : le point.

Confondant l'action circulaire et le cercle, certains seront sans doute tentés d'objecter que le cercle a besoin au moins de son centre, c'est-à-dire d'un point, pour être défini. Cette objection ne tient pas compte des travaux de Nicolas de Cues sur le théorème isopérimétrique. Selon ce théorème, l'action circulaire, qui engendre le cercle, crée la courbe qui, pour un périmètre donné, enferme la surface *maximale* – ou ce qui revient au même, pour une surface donnée, engendre la courbe de périmètre *minimal*. Dans le cadre de la géométrie euclidienne, on a l'habitude de considérer que ceci nous donne une propriété du cercle et non pas sa définition. D'un point de vue supérieur, ceci devient la définition d'un principe d'action universel. Comme on le voit, cette recherche d'un principe d'action physique universel que lance Nicolas de Cues – cette recherche qui se traduit par une recherche de minimums et de maximums – préfigure déjà les travaux de Leibniz dans le calcul différentiel et l'*analysis situs*. Une étape supplémentaire sera franchie par Kepler qui, dans son *Astronomie nouvelle*, demande aux géomètres de son temps un moyen pour calculer des aires délimitées par les trajectoires des corps célestes – un défi qui sera relevé avec succès soixante-dix ans plus tard par Leibniz.

• Kepler et l'harmonie du monde

Combien d'étudiants croient avoir appris à montrer sur le papier que les trajectoires des corps célestes sont des coniques, sans même jamais avoir une seule fois observé des étoiles et des planètes ? Il leur est, dès lors, impossible de comprendre réellement quels sont les problèmes auxquels Kepler a été confronté et pourquoi la célèbre loi de Newton n'est qu'une réduction incompétente des découvertes de Kepler. Les discussions pédagogiques doivent donc impérativement inclure des observations du ciel avec le mouvement non uniforme des planètes et notamment leurs rétrogradations. L'astronomie est sans doute l'une des sciences où le défi posé d'aller au-delà du simple témoignage des sens, est le plus grand. Après tout, n'est-il pas évident, lorsque l'on regarde le ciel,

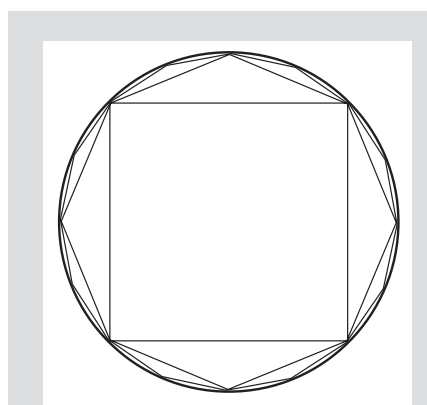


Figure 8. Le cercle ordonne la série de polygones mais n'en fait pas partie lui-même.

que le Soleil et les planètes tournent autour de la Terre ?

Celui qui a véritablement validé l'hypothèse héliocentrique n'est ni Copernic, ni Galilée, mais bel et bien Kepler. Alors que les premiers essayaient désespérément de montrer que le mouvement des astres est une combinaison de mouvements circulaires uniformes – donc d'appliquer un *modèle mathématique a priori* – Kepler s'interrogea sur la *cause physique* des irrégularités observées et en conclut que le mouvement des planètes était non uniforme sur des trajectoires elliptiques. Cette découverte d'irrégularités non seulement apparentes mais aussi réelles, fut-elle la preuve que nous ne vivons pas dans le meilleur des mondes possibles ? Ce n'était certainement pas l'avis de l'auteur de l'*Harmonie du Monde*. Au contraire, pensait Kepler, ces anomalies apparentes étaient le signe que le monde était beaucoup plus beau que l'homme l'avait cru jusque-là. Lorsque l'on sait que Kepler a connu directement les horreurs de la guerre de Trente ans, on ne peut voir dans cet optimisme lucide que la signature d'un grand découvreur.

Kepler n'a donc pas essayé d'imaginer une action locale qui permettrait de décrire l'ensemble du système solaire, mais il est parti du système solaire *dans son ensemble* comme agissant sur lui-même. Il en découle une série de relations harmoniques entre, d'une part, les différentes positions de chaque planète sur sa trajectoire et, d'autre part, entre les différentes trajectoires des différentes planètes. Aujourd'hui,

on préfère réduire ces relations à ce que l'on appelle improprement les trois lois de Kepler, laissant de côté ce que l'on considère des « curiosités astrologiques », comme le modèle planétaire de l'emboîtement des solides platoniciens et les relations des rapports des vitesses des planètes avec les intervalles de la gamme musicale.

La fameuse loi de la gravitation universelle de Newton se déduit mathématiquement des « trois lois » de Kepler, donc elle ne constitue pas en soi une percée majeure. Par contre, elle néglige délibérément des faits expérimentaux réels. La question que doit se poser tout scientifique est la suivante : pourquoi le monde est constitué de cette manière et pas autrement ? Kepler se demande donc pourquoi les planètes ont-elles ces orbites et pas d'autres ? Newton répondrait : « C'est un *hasard* car d'après ma loi, elles pourraient se trouver n'importe où. On pourrait même avoir autant de planètes que l'on voudrait car il existe une infinité de trajectoires possibles. » Réponse non scientifique par excellence ; le nombre des planètes est très réduit, c'est un fait expérimental...

L'utilisation des cinq solides platoniciens (pas plus que celle des intervalles musicaux) n'a rien à voir avec de l'astrologie : on ne peut construire dans l'espace visible que cinq solides réguliers et pas d'autres. Kepler a donc cherché une *raison suffisante* pour l'ordonnement des orbites planétaires dans une caractéristique topologique « limitante » de l'espace visible. L'existence de ces cinq seuls solides réguliers est l'hypothèse qu'il retient après de nombreux essais infructueux décrits dans son *Mystère du monde* et, parmi ces solides, l'un d'entre eux est particulier : c'est le tétraèdre qui s'inscrit dans lui-même. En plaçant le tétraèdre entre Mars et Jupiter, Kepler sépare les planètes en deux familles : d'une part, Mercure, Vénus, la Terre et Mars, et, d'autre part, Jupiter et Saturne. Il note que ces deux familles sont séparées par un très grand espace qu'il suppose correspondre à une planète manquante.

L'histoire de l'astronomie a donné des contre-épreuves montrant que Kepler avait anticipé sur des faits expérimentaux vérifiés par la suite. La découverte, deux siècles plus tard, de la ceinture d'astéroïdes en-

tre Mars et Jupiter, dont Gauss est à l'origine, confirma l'existence à cet endroit d'une zone d'instabilité que Newton n'aurait pas pu prévoir. En deçà des astéroïdes, les planètes sont petites et telluriques ; au-delà, elles sont grandes et gazeuses, y compris Uranus et Neptune que Kepler ne connaissait pas non plus. Il en résulte que Kepler avait raison sur l'essentiel : les orbites prises par les planètes sont des orbites privilégiées selon une certaine harmonie à découvrir ; si l'on veut faire une analogie avec le microcosme, on dira que ces orbites correspondent à des « états quantiques ».

Pour confirmer cela, on sait aujourd'hui qu'il existe d'autres phénomènes « quantiques » en astronomie. Ainsi, de nombreux satellites présentent la particularité d'avoir des rapports numériques simples entre leur période de révolution et leur période de rotation – par exemple la Lune tourne autour de la Terre dans la même durée qu'elle tourne sur elle-même, nous présentant sans arrêt la même face – une série de « coïncidences » impossible à expliquer dans une perspective empiriste ou newtonienne, et d'ailleurs non expliquée à l'heure actuelle – mais tout à fait cohérente avec la cosmologie de Kepler. Voilà donc une excellente question à creuser au cours d'une discussion pédagogique : « Sur quelle base avons-nous admis que Newton est plus « scientifique » que Kepler ? »

• Le principe de Huygens

Huygens était l'ami et l'inspirateur de Leibniz. La parenté entre leurs pensées respectives est évidente quand on lit le *Traité de la lumière* et la *Monadologie*. Pour Huygens, la lumière est une onde. Selon le principe de Huygens, tout point de l'espace illuminé par une source lumineuse devient lui-même une source lumineuse secondaire (figures 1 et 9). Autrement dit, l'état lumineux d'un point est le résultat de l'influence combinée de tous les autres points de l'espace : on parle d'interférences lumineuses. Selon la théorie ondulatoire, ces influences peuvent ajouter leurs effets, ou au contraire se perturber réciproquement jusqu'à créer des zones d'ombres. C'est ce que l'on observe dans les expériences de diffraction – un effet surprenant, puisque plu-

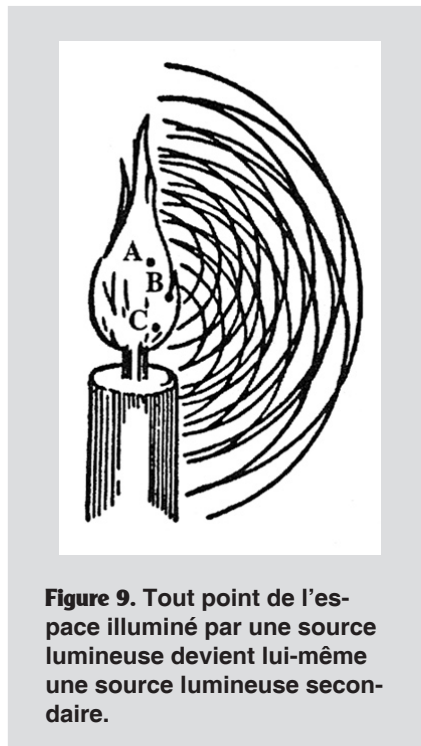


Figure 9. Tout point de l'espace illuminé par une source lumineuse devient lui-même une source lumineuse secondaire.

sieurs sources lumineuses créent du noir, mais facile à mettre en œuvre expérimentalement (figure 10) au cours de discussions pédagogiques.

En plus du fait qu'elle explique les phénomènes déjà connus à l'époque, un aspect de cette théorie est fondamental pour Huygens car elle vérifie *a posteriori* le principe de moindre temps de Fermat généralisé à la moindre action de Leibniz, dont il a été question ci-dessus. Ce principe, rappelons-le, n'est pas une simple loi de la lumière, c'est ce que l'on appelle un *principe physique universel*. Il est donc clair que pour Huygens comme pour Leibniz, l'univers est considéré comme un tout

harmonieux hiérarchisé.

Il est plus facile de comprendre l'importance de cette question, lorsque l'on s'intéresse à ce qui lui a été opposé par les empiristes : l'optique de Newton. Ici, la lumière est essentiellement constituée de particules élémentaires lumineuses soumises à la gravitation universelle et se déplaçant selon des rayons lumineux élémentaires. On retrouve à nouveau ce que l'on a déjà constaté plus haut : les lois qui régissent ces rayons lumineux sont des *lois locales*. Les newtoniens ont donné à cette théorie de nom d'*émission*. En fait, il est relativement aisé de départager la théorie ondulatoire de la théorie de l'émission puisque l'émission ne permet pas d'expliquer les interférences et la diffraction. Cependant, bien que ces phénomènes étaient déjà connus de Newton lui-même comme le démontre son *Optique*, sa théorie a été imposée pendant plus d'un siècle sur celle de Huygens par un véritable coup de force politique. Il a sans doute manqué à Huygens de connaître suffisamment le calcul différentiel de Leibniz pour pouvoir pousser plus avant sa découverte (il n'a connu ce calcul qu'à la fin de sa vie).

C'est donc Fresnel qui s'en chargea, plus d'un siècle plus tard, par une double révolution qu'il accomplit avec son ami Ampère. Non seulement Ampère et Fresnel démontrèrent-ils contre les newtoniens que la lumière est ondulatoire, mais plus généralement, ils jetèrent les bases pour une théorie unifiée de l'électrodynamique. A la fin du XVIII^e siècle, tout phénomène de-

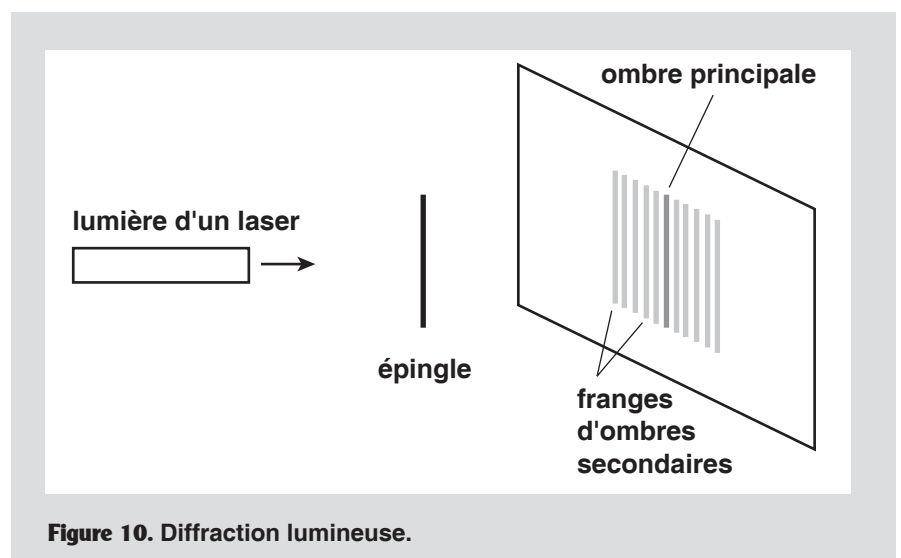


Figure 10. Diffraction lumineuse.

vait obligatoirement s'expliquer par l'attraction universelle s'exerçant sur un ensemble de particules, y compris en physiologie au sujet de la réunion des différentes parties des organismes vivants ! On avait des masses (particules) pondérales pour la matière, des masses électriques pour l'électricité, des masses magnétiques pour le magnétisme, des particules lumineuses... Ampère et Fresnel ont montré que l'électricité et le magnétisme sont deux manifestations d'un même phénomène qui n'avait rien à voir avec une force d'attraction-répulsion réciproque entre particules élémentaires en fonction inverse du carré de leur distance. Il est d'ailleurs relativement aisé de reproduire certaines expériences pédagogiques d'Ampère et de les comparer avec celles d'Oersted pour comprendre quelle a été la véritable percée du savant français.

Ces travaux d'Ampère et Fresnel servirent de base plus tard à Riemann pour montrer (avant Maxwell) à son tour que la lumière est un phénomène électromagnétique. Ainsi, cette nouvelle révolution scientifique porta à un niveau encore supérieur l'idée que notre univers est un tout harmonique.

• Le vivant et le cognitif

Il ne servirait à rien ici de multiplier les exemples empruntés à la physique du non-vivant. Il existe cependant une autre harmonie dans notre univers dont il faut rendre compte dans les discussions pédagogiques. La vie et la pensée existent dans notre univers, au même titre que le non-vivant. Cette coexistence est-elle fortuite et momentanée comme le voudraient beaucoup d'astrophysiciens et de thermodynamiciens ? La vie a-t-elle été créée par des grains de matière qui se sont agglomérés par hasard d'une certaine manière ? De même pour la pensée ? Ce n'était certainement pas l'avis de ceux qui ont révolutionné la science du vivant au XIX^e siècle, Bernard et Pasteur. Pour Bernard, en particulier, l'organisme (le microcosme) est lui-même une harmonie hiérarchisée, placée dans une harmonie supérieure, le cosmos (ou macrocosme).

On oublie trop souvent la bataille que Bernard et Pasteur ont menée pour ridiculiser l'idée de « génération spontanée ». S'ils n'avaient pas gagné

cette bataille, jamais Pasteur et ses élèves n'auraient pu éradiquer des épidémies transmises par des germes. En effet, si des germes pouvaient apparaître spontanément, alors il serait inutile d'instituer des règles d'hygiène. Malgré cela, le matérialisme domine aujourd'hui la pensée des scientifiques qui admettent donc – au moins implicitement – l'idée de la génération spontanée, effaçant ainsi la différence entre vivant et non-vivant, c'est-à-dire niant l'harmonie entre ces différents domaines.

Or qu'est-ce qui prouve que la matière existait avant la vie ? demandait Pasteur. Si cette question est soulevée au cours d'une discussion pédagogique, il y a fort à parier que quelqu'un répondra spontanément que d'après ce que l'on connaît de la formation de notre planète, il fut un temps où la vie y était impossible – et donc il a bien fallu que la vie « apparaisse » à un moment donné, après la matière ! Celui qui donne une telle réponse n'est pas conscient qu'il présuppose un certain nombre d'axiomes métaphysiques non démontrés. En particulier, il identifie ce qu'il appelle « la vie » à un certain nombre d'organismes que l'on peut voir aujourd'hui directement ou sous un microscope. *Il confond la vie avec sa manifestation dans un organisme vivant.* La vie n'est pas visible, les organismes vivants le sont. Or, étant donné que l'on ne sait toujours pas dire ce qu'est la vie ni d'où elle vient, qui nous prouve qu'elle ne peut prendre que les formes que nous connaissons à l'instant présent ? Etant donné que l'on découvre tous les jours de nouvelles formes de vie, qui nous dit que dans un certain avenir, on ne sera pas capable de montrer qu'elle peut avoir des manifestations dans une boule de feu telle que le Soleil ? Voilà pourquoi Pasteur n'a pas hésité à faire l'hypothèse que ce n'est pas la matière qui a précédé la vie, mais plutôt la vie qui a précédé la matière. Il voit la vie comme un principe harmonique qui organise le non-vivant. Et comme on l'a vu, c'est à cette hypothèse que l'on doit ses découvertes.

S'inspirant de Pasteur, le grand biogéochimiste russe, Vladimir Vernadski, franchit une étape de plus en considérant que l'intelligence humaine est le principal facteur géologique de notre planète. Le cognitif est donc chez Vernadski, le

principe directeur du vivant et du non-vivant. Enfin, Lyndon LaRouche porta cette découverte encore plus loin en montrant comment cette intelligence s'organise en société pour changer les « lois de l'univers » à travers l'économie et la culture.

Conclusion

Parmi les préjugés que visent à éradiquer nos discussions pédagogiques, le plus paralysant est sans doute celui qui place l'esprit humain en dehors de l'univers physique, et son expression la plus courante pourrait s'énoncer par le leitmotiv suivant : « Le génie ne s'enseigne pas. » L'histoire de la science, et en particulier l'œuvre de Leibniz, prouve exactement le contraire ! Bien qu'il n'existe pas de manière *mécanique* de provoquer des découvertes, celles-ci n'arrivent cependant pas par hasard. De bons expérimentateurs auront tendance à dire empiriquement qu'*il faut savoir aider le hasard...* Les idées qui naissent dans la pensée des découvreurs font partie de l'univers physique sur lequel s'exerce cette pensée, car il n'existe qu'un seul univers. Le processus de découverte n'est pas irrationnel, la raison humaine peut en rendre compte, bien que cela ne soit pas possible par un simple langage formel.

On s'en convainc d'autant plus sûrement en étudiant l'histoire des découvertes scientifiques. On constate alors que ceux qui font avancer la science peuvent ne pas vivre à la même époque, ni ne parler le même langage, mais que néanmoins ils cherchent exactement la même chose : des principes physiques universels. Ce processus de découverte est donc *atemporel*, bien que chaque découverte individuelle soit rattachée à une époque et une société. Cependant, en apprenant à reproduire les découvertes du passé, nous découvrons chez ces découvreurs, comme Gauss, Kepler, le Cusain, Pythagore, etc., morts parfois depuis des siècles, quelque chose comme *un air de famille*. C'est en cultivant l'émotion associée à cette (re)découverte que l'on aidera les découvertes du futur. ■