

Mathématiques, sciences... et création !

Odette BASSIS

Un défi pour un tel titre !
Mais un défi, pourquoi ?

Il est sûr que l'école, pour chacun, a trop souvent joué un rôle réducteur face à une telle question. Une école où mathématiques et sciences des programmes devaient être « bien retenues » quant aux définitions et théorèmes en vue d'être « bien appliqués », dans le double sens d'une application des théorèmes aux nécessités immédiates de résolution des problèmes donnés et aussi, pour ce faire, d'une application soutenue de l'élève lui-même pour agir correctement sous la houlette des attendus du problème posé... et de la note, à l'arrivée.

Le grand risque de tout programme scolaire, en mathématique comme en science, est bien de masquer ce qu'il y a - ce qu'il y a eu - de créatif sous tel ou tel intitulé. Faut-il non point seulement que ce soit « dit » mais surtout que ce soit mis à découvert – en découverte créative – dans les modes d'apprentissages vécus par les élèves, au creux même de situations de mise en recherche. C'est le choix que je me suis autorisé à explorer concernant des apports spécifiques en mathématiques à l'école primaire, essentiellement¹.

Ici, le parti pris de cet article est d'évoquer certains points forts, au fil des avancées en mathématiques et sciences physiques, pour me risquer à en relever des atouts créatifs.

Une révolte de longue date

Pour oser une entrée en matière, un retour sur un chemin personnel.

C'est au creux de mon histoire d'élève et d'étudiante, que naquit ce qui fut à la fois réussite et désarroi dans mon propre parcours en mathématiques et sciences. Encore aujourd'hui, dans le présent actuel, il m'arrive d'entendre « *toi qui aimes les calculs, tu dois y arriver...* » à propos de

telle ou telle situation numérique rencontrée. Eh bien non, je n'aime pas les calculs... mais je me tais, ruminant une colère contre cette école qui associe si couramment que faire des maths c'est être « bon en calcul » ! Et voilà qui me renvoie à mes propres périples sur ce chemin, comme pour bien d'autres, d'une entrée dans la vie dont dépendent études, circonstances sociales, et en définitive choix. Avec, en amont de cela, un contexte de vie.

À la maison, tout au long de mon parcours : « interdite de lire » en dehors des exigences strictement scolaires. C'est seulement en mathématiques qu'on me laissait en paix. Et voilà qu'un jour, à propos d'une aide que je demandais à mon frère, je le vis jongler avec les figures géométriques et les calculs d'un problème : mais alors, il était donc possible d'avoir une marge de liberté et d'en jouer ! C'est ainsi que commencèrent pour moi des réussites et jusqu'à la fac où, ne suivant guère les cours², plus intéressée par ma découverte du monde social et de ses batailles, je m'insurgeais en apprenant un jour que notre professeur de « mécanique rationnelle » allait faire des cours en philosophie des sciences en fac de lettres. Là ma colère fut grande : donc en fac des sciences nous étions formés à être les petites mains des calculs et c'est en fac de lettre que les étudiants avaient droit à une sorte de salon philosophique « sur » les sciences !

L'année suivante cependant, en physique générale, le professeur Charles Fert, après les examens de fin d'année, me demanda, à ma grande surprise, de préparer avec lui une thèse en optique électronique³. Mais là, peu soutenue dans mon entourage, un an après, je décidais de devenir professeur de mathématiques en lycée où, très vite, je m'insurgeais sur mes propres façons de poursuivre moi-même le mode d'enseignement coutumier. J'essayais en secret (mais non point pour les élèves !) d'autres modes de faire, des renversements qui s'avéraient fructueux. Une nouvelle ère commençait pour moi.

¹ Cf : *Concepts-clés et situations problèmes en mathématiques* (tomes 1 et 2) O.Bassis, Hachette (dernière édition 2012).

² Je suivais mal les cours mais je pressai une amie étudiante et surtout studieuse de m'expliquer les cours un mois avant chaque examen. Je la couvrais de questions... pour en être elle-même épuisée.

³ Il s'agissait d'un réinvestissement de la notion de « spin » de l'électron, qui était une « rupture » de pensée par rapport à l'idée commune de corpuscule. C'est Albert Fert, fils de mon professeur, qui suivit le souhait de son père et obtint, en 2007, le prix Nobel de physique sur la fonction du « spin ».

L'irruption d'une route, cherchée en secret, qui allait être « l'éducation nouvelle ».

Mais qu'en était-il des tours et des détours de cette éducation dite « nouvelle » qui nous tient toujours au corps, là où nous cherchons à escalader les creux et les pics masqués des programmes obligés, pour y dénicher ce qui - à juste titre ! - y fut création, jaillissement de l'inouï à penser... et pourtant si communément caché dans le quotidien des cours sagement vêtus de l'ordinaire... alors qu'il s'agit, derrière les titres normalisés des programmes, d'en saisir les ruptures créatrices dont ils sont issus, venant donner sens et vie pour aller quérir des forces inattendues et pourtant vivifiantes⁴.

Et cela, dans la rencontre intime pour chacun avec ses propres richesses encore tellement inexplorées. Des potentialités à découvrir, oui mais comment, où, avec qui, grâce à qui... ?

Aller jusqu'au sens à trouver

« Plus que du lait et du sommeil, la psyché demande du sens ». C.Castoriadis⁵

Oui, c'est sur les sentiers de Castoriadis, posant le « paradoxe du rapport entre passion et connaissance » d'où surgissent questionnements, étonnements et ruptures à intégrer donnant corps à la recherche et la passion des résultats. À la fois obstacles et tremplins qui font de la science « *l'esthétique de l'intelligence* » comme l'écrit Bachelard.

« D'abord imaginer, ensuite prouver » Polya
« Une théorie nouvelle est bien plutôt la recherche que l'expression de la vérité. Ce dont nous nous plaindrons, c'est que la pensée qui a dirigé l'auteur reste le plus souvent cachée. On croit généralement que les mathématiques sont une série de déductions », Évariste Galois⁶.

Voilà, formulées, deux clés qui font barrage à l'idée de création :

- la difficile saisie des facteurs qui contribuent à la création et leur difficile explicitation.

- ce qu'il en est retenu quant à l'usage qui en est fait, notamment dans l'enseignement.

Et c'est Clairaut, mathématicien du Siècle des lumières qui écrivait :

«... je me suis proposé de remonter à ce qui pouvait avoir donné naissance à la géométrie et j'ai tâché d'en développer les principes par une méthode assez naturelle pour être supposée la même que celle des premiers inventeurs, observant seulement d'éviter les

fausses tentatives qu'ils ont nécessairement dû faire. [...] et j'évite avec soin de donner une proposition sous forme de théorème : c'est-à-dire de ces propositions où l'on démontre que telle ou telle vérité est, sans faire voir comment on est parvenu à la découvrir (...) En suivant cette voie, les Commencants aperçoivent, à chaque pas qu'on leur fait faire, la raison qui détermine l'inventeur, et par là ils peuvent acquérir plus facilement l'esprit d'invention. »

Alors, on ne s'étonnera pas qu'Émilie du Châtelet, qui fut l'élève de Clairaut, ainsi que l'amie de Voltaire, réalisa la prouesse de traduire en français l'œuvre majeure de Newton *Principia philosophiae naturalis* qui devait devenir un grand tournant scientifique.

Des avancées fulgurantes dans l'approche de l'univers

Après l'apogée des mathématiques et sciences des Grecs, des figures géométriques à l'astronomie, il fallut de bien nombreux siècles pour aller du géocentrisme – la Terre centre de l'Univers – au renversement de perspective quant à la place de l'homme dans l'Univers avec l'héliocentrisme où c'est la Terre qui tourne autour du Soleil. Le ciel s'ouvrait à la quête passionnée des humains alors qu'ils se voyaient y perdre une forme de « Seigneurie », au centre du monde ! De quoi insurger les instances officielles de l'Eglise qui mit au bûcher Giordano Bruno pour de telles infractions, après lequel advint Galilée (1616) : comment la science peut-elle mettre au défi des certitudes et des vérités établies ? Là encore, ce qui s'affirmait comme bond en avant devait être proscrit ou pour le moins mis à l'ombre !

Chemin faisant, avec l'apport de Kepler, la prééminence du cercle comme figure parfaite pour représenter les mouvements planétaires se trouvait balayée, au profit d'orbites elliptiques⁷ dont le Soleil en était l'un des foyers. Des mises en cause successives de suprématies tombaient, interrogeant, chemin faisant, la philosophie. Et cela, tout en enrichissant l'apport des sciences dans la compréhension de l'Univers.

Les avancées des mathématiques et de la science se firent ainsi par ruptures éclatantes, accompagnées de temps d'investissements et d'élaborations fructueuses. Et la déduction logique elle-même devait prendre des chemins inattendus, étonnants. Il y fallait le surgissement de conceptions nouvelles dans le rapport au monde et aux phénomènes, contrevenant aux apports

⁴ Là, il y a désaccord avec Y. Chevallard qui affirme : « Le savoir que produit la transposition didactique sera donc un savoir exilé de ses origines et coupé de sa production historique. » Cf : *Du savoir savant au savoir enseigné*, Chevallard et Johsua, La pensée sauvage, 1991.

⁵ *Fait et à faire*, Seuil (p.135) Les carrefours du labyrinthe.

⁶ Évariste Galois (1811-1832) éminent mathématicien mort très jeune dans un duel, après une nuit entièrement passée à l'écriture de ses recherches ouvrant sur une transformation profonde des mathématiques... et reconnue des décennies après.

⁷ Dont le cercle, orbite circulaire devenait un cas de figure dans un ensemble beaucoup plus large.

déjà là et cependant, en amont, nourris par eux. En somme, **des discontinuités dans la continuité**, un paradoxe fondamental de ce qu'allait encore et encore produire la science au cœur même de sa raison d'être. Une clé de création.

8 Cf O.Bassiss Se construire dans le savoir et J. Canonge, *Dialogue* n°155.

9 Propos tenus par Euclide (livre X), rapportés par Stevin (1634) qui en réhabilita la raison d'être.

10 Nombres issus de la résolution d'une équation cubique de type $x^3 + px = q$ dont les racines utilisent -1 , à partir de $i^2 = -1$, soit $i = \sqrt{-1}$. Racines trouvées par Tartaglia qui, accepta de les faire connaître à Cardan en lui révélant sa méthode sous forme de poème. Cardan la révéla par écrit en 1545. Ce n'est qu'en 1847 que Cauchy les utilisa dans une « théorie des fonctions de la variable complexe ».

11 Citation de *Science et hypothèse* p. 11, Flammarion, 1907.

12 La querelle entre Newton et Leibniz est connue concernant leur revendication commune de découverte du calcul infinitésimal. Leurs apports se compléteront.

13 Afin d'approcher aussi finement que possible des coordonnées de chaque instant du mouvement (et de sa représentation par une courbe, où la tangente en chaque point géométrique représente la vitesse instantanée du mouvement).

14 La différence entre deux moments très voisins représentée par dx et dy (en abscisse et ordonnée), leur sommation notée elle-même par un dessin stylisé de S.

15 Cf Albert Einstein créateur et rebelle, Banesh Hoffman, Seuil, 1975, p. 53.

Ainsi en est-il du « zéro » connu et intégré dans la numération grâce aux Arabes et leurs traductions des apports de l'Inde. En est-il aussi de l'acceptation des « nombres négatifs, nommés par Descartes « *moindres que rien* ». En est-il encore de l'effraction pour la raison raisonnée que fut l'irruption des « irrationnels »⁸,... qui étaient considérés comme « *quantités irrégulières, inexplicables, sourdes, absurdes et pas dignes d'être citées en propositions mathématiques* »⁹.

Et plus tard encore, ce fut l'étrangeté des nombres dits « imaginaires »¹⁰ désignés par « *i* » constituant les « nombres complexes » (sous la forme « *a + ib* ») mais pris en compte vraiment que trois siècles plus tard (1847) avec, par la suite, un usage se démultipliant dans les sciences les plus avancées en électromagnétisme, mécanique des fluides,... et fonctions d'ondes quantiques.

Pour chaque bond en avant, à la fois audace et rigueur dans des recherches qui contribuent, chemin faisant, à bousculer la notion elle-même de rigueur, réaménagée autrement dans un autre espace et avec de nouveaux référents. Et donc une recherche transformant à la fois l'objet de la recherche et la façon elle-même de chercher. Sans pour autant abolir « des » acquis, se trouvant revisités et aménagés, accordés à des horizons nouveaux vers des chemins nouveaux.

C'est Poincaré qui écrivait : « *le raisonnement a par lui-même une vertu créatrice et par conséquent il se distingue du syllogisme* »¹¹.

Il en fut ainsi, dans les recherches en Astronomie, avec l'immense avancée de Newton qui en arriva à concevoir, entre les planètes elles-mêmes, une **gravitation universelle** orchestrant l'ensemble du cosmos (1687) avec, se faisant, une certaine unification des lois de l'Univers : « *La gravité explique le mouvement des planètes, mais elle ne peut expliquer ce qui les met en mouvement.* ». Apport exceptionnel non sans être accompagné de l'immense question du « pourquoi » à laquelle Newton répond « *Dieu gouverne toutes choses et sait tout ce qui est ou tout ce qui peut être.* ». Avidité de comprendre qui explique pourquoi tout au long de son parcours Newton travaillait sur les Écritures, la Théologie et aussi l'Alchimie, dans un investissement toujours passionné. Désir d'une explication et d'un sens à donner à toutes choses,

accompagné pour lui du refus d'un cartésianisme « mécaniste ». Newton ouvrait une nouvelle approche dans l'étude des mouvements, faisant intervenir les « fluxions », comme quantités évanescentes et les « fluentes » pour rendre compte des courbes et « mouvements qui les engendrent ». C'est ainsi qu'il ouvre un champ nouveau de recherche en mathématiques, avançant à pas de géant dans ce qui va devenir le « **calcul infinitésimal** », où Leibniz par ailleurs est lui-même en recherche¹². Pour approcher d'aussi près que possible de la traduction algébrique d'un mouvement, et de sa représentation par une courbe, est créée une algèbre des infiniment petits, nécessaires pour en établir une « sommation »¹³. Sommation infinie d'infiniments petits ! Là, pour désigner une telle prouesse, Leibniz propose des modes d'écritures toujours utilisées aujourd'hui¹⁴. C'était la grande entrée en scène du calcul différentiel et intégral qui s'ouvrait sur l'étude des orbites, des mouvements, d'aires balayées, de vitesse et accélération... répondant ensuite à des usages multiples en technologie, médecine, ondes et bien sûr mouvement des astres puis le lancement d'engins spatiaux... et leur prévision.

Quand s'ouvrent de nouveaux champs

Il se trouve que par ailleurs, pendant longtemps, était intouchable une certaine immuabilité de l'espace et du temps, quels que soient les mouvements perçus. Et les actions étudiées ne concernaient que « l'action à distance » entre les corps, l'observation portant seulement sur le visible.

C'est Faraday (1791-1867), autodidacte, faisant des découvertes en électricité et magnétisme et s'interrogeant moins sur le matériel expérimental que sur l'espace où avaient lieu les événements physiques. Ainsi, en imagination il vit « *des sortes de tentacules donnant naissance, par leurs avancées, reculs et déplacements, à des effets électromagnétiques* »¹⁵ : la notion de « champ » émergeait, bien que de nombreux physiciens jugeaient ces idées bien naïves.

Ce fut cependant Maxwell (1831-1879) qui les prit en compte, y découvrant des possibilités de traduction en mathématique et imaginant, comme disait Faraday « *un modèle pseudo-mécanique de tourbillons et roulements à billes* ». Maxwell y travailla des années, intensément, pour tenter d'en extraire des équations qui en rendraient compte : ce furent « les équations de Maxwell » reconnues,

mais plus tard, dans le monde scientifique et considérées comme une certaine unification de lois de la physique.

Einstein écrivit, à ce sujet "cette théorie était fascinante. Désormais [...] le concept de champ consiste en un processus dans lequel les corps en interaction baignent dans l'espace. Cet espace a la propriété d'interagir avec les corps".

Ondes et particules

Des bonds en avant immenses dans les débuts du 20^{ème} siècle : de la relativité restreinte à la relativité générale avec Einstein ainsi que la mécanique quantique avec Bohr et Heisenberg. L'infiniment grand et l'infiniment petit y étant convoqués.

Revenons seulement sur la gravitation et ses aléas. Là, ce n'est plus l'attraction réciproque des corps qui est en jeu mais pour Einstein le fait d'un champ gravitationnel qui affecte l'espace lui-même entre les planètes et donc notamment les rayons lumineux autour du soleil nous permettant de voir telle ou telle planète¹⁶.

Mais l'un des principaux apports de la relativité d'Einstein est cette relation entre masse et énergie que concentre l'équation $E = mc^2$. Egalité incroyable qui rend compte de transformations, soit déjà existantes, depuis la nuit des temps, soit rendues possibles. Ce faisant, la dualité onde-corpuscule se complexifiait avec de Broglie (puis Schrödinger) pour lequel à chaque particule était associée une onde¹⁷.

Et l'épopée scientifique, toujours en cours, se poursuit en même temps que ses retombées techniques concrètes comme autant d'inventions nouvelles. Avec un constat flagrant que pourrait masquer une liste seulement nominale « d'inventeurs » qui est la permanence de discussions, questionnements, des chercheurs entre eux, tant dans l'amont de chercheurs antérieurs que dans le présent de leurs recherches. Il n'est que de lire certains ouvrages où l'on voit, « comme un roman » en quelque sorte, leurs échanges, leurs contradictions, voire leurs fâcheries sérieuses. Il en fut ainsi notamment dans les grands moments de bouleversements scientifiques du début du 20^{ème} siècle aux Congrès de Solvay¹⁸ en Belgique réunissant pour une semaine plus de trente grands scientifiques de pays européens. Ainsi le fameux Congrès de 1927 « Électrons et photons »

où Bohr y exposait la mécanique quantique, ouvrant sur des débats devenus célèbres et par rapport auxquels, au Congrès suivant, Einstein y répondit en apportant de nouvelles situations. À quoi s'ajoutaient de nombreuses rencontres, voyages et correspondances entre ces savants, toujours passionnés.

En fait, une auto-socio-élaboration permanente, ne gommant nullement les avancées personnelles, tout en les mettant à l'épreuve en même temps qu'en situation exceptionnelle de les affiner¹⁹.

Et c'est tout au long des tours et détours des avancées créatrices que les mathématiques ont joué un rôle déterminant, tant pour justifier des hypothèses que pour les anticiper, devenant moteur d'investigations nouvelles, tout en étant elles-mêmes modifiées, interpellées, affinées.

Ce voyage si rapide, au travers d'apports qui furent fulgurants, comme autant de « ruptures épistémologiques » survenues en sciences et mathématiques veut souligner aussi les « ruptures épistémiques » pour chaque chercheur, dans son avancée propre, en même temps qu'en co-recherche avec - et parfois contre – les autres, du passé comme du présent. Oui, des processus d'auto-socio-création. Dans la force de chacun des termes et pour en saisir la dynamique et leur mise en dialectique vivante.

Deux pôles ont été concernés : les mathématiques et les sciences physiques, avec des enjeux à la fois spécifiques pour chacun et cependant des intersections incontournables. Les trajets de leurs histoires en témoignent, les avancées des uns anticipant ou participant aux avancées des autres. Ce qu'il y a à relever c'est précisément, pour chaque bond en avant, à la fois saisissement de problématiques cernées et face à cela, la conscience vive et passionnée de nouveaux espaces de pensée à conquérir et explorer.

Arrivé à ce point, demeure toujours une question tout au long, celle du quoi et surtout comment, à l'École, donner à entrer dans de telles dynamiques de création, d'ouvrir aux enfants, adolescents et tout apprenant, les portes d'un rapport gourmand au monde avec, chemin faisant, une nouvelle conscience de soi au cœur de l'échange ouvert et stimulant aux autres.

C'est bien là, encore et toujours, l'enjeu de cette éducation dite « nouvelle », toujours en quête d'avancées à partager. ♦

16 Ainsi en fut-il pour Mercure, non visible de la Terre mais perçue lors d'une éclipse solaire donnant raison, a posteriori, aux apports d'Einstein qui l'avait prévu, s'appuyant sur la courbure du rayon lumineux produite par le champ gravitationnel entre le Soleil et Mercure.

17 Le « boson de Higgs » aujourd'hui se situe dans la poursuite des rapports ondes-particules.

18 Consulter Wikipedia pour voir liste et photos des savants de chaque Congrès de Solvay.

19 Là, Langevin joua un rôle important dans l'organisation de ces échanges. Notons ici qu'il entretenait un échange permanent avec Einstein, qu'il avait fait connaître aux savants français en 1922 (cf. « Correspondance inédite Paul Langevin et Einstein » présentée par Luce Langevin, *La Pensée* n° 161, Février 1972).