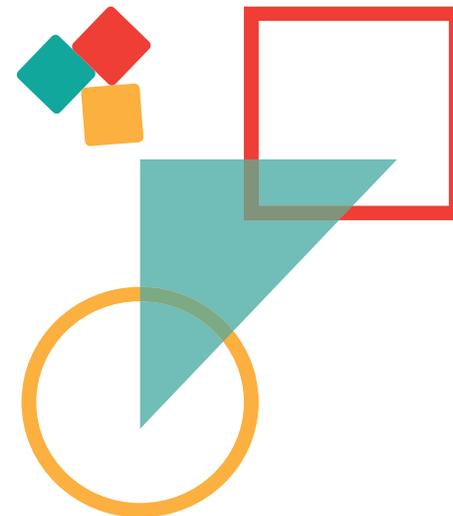


Résolution d'un problème mathématique



*Mémoire d'accompagnement de projet
sous la direction de Michel Volmer et
Nicolas Couturier*

*Anna Gaudin
Design de produits
InSitu Lab 2017-2019*



Sommaire

Remerciements

Pour m'avoir aidée et suivie au long de ce travail de recherche, je tiens à remercier Michel Volmer et Nicolas Couturier. Par leur soutien et leur bienveillance, je suis à même de mener à bien ce mémoire et par la suite mon projet de diplôme.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble de l'équipe de l'InSituLab, dont les conseils et le soutien m'ont accompagnées durant ces deux années.

Je suis reconnaissante au collège Lezay Marnésia et au collège Érasme de m'offrir la possibilité de développer mes expérimentations et mes recherches en leur sein, et de me permettre d'être en contact direct avec les professeurs et les élèves.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis, qui me sont d'un très grand soutien.

Remerciements	1
Introduction	3
1/Des rapports du public aux mathématiques particuliers	5
Une vison positive ou négative ?	6
L'évolution particulière d'un apprentissage	16
2/Les solutions d'un problème difficile à résoudre	32
Le jeu au service de l'apprentissage	33
La force de l'expérience et de la manipulation	41
Quand objets et explications font la paire	47
Nouvelles pédagogies, nouveaux outils	55
3/Les mathématiques, un outil au service des arts	62
«Mathématiques plastiques»	63
Quand les mathématiques se mettent à danser	71
Conclusion	74
Bibliographie	79



Introduction

« Ça y est, je peux enfin dire au revoir aux primitives, aux intégrales et aux nombres complexes... au revoir très chères mathématiques, je m'en vais vers d'autres horizons » juillet 2014, à ma sortie de l'épreuve de mathématiques du Baccalauréat scientifique. Et si j'avais imaginé que seulement quelques années plus tard je me pencherais sur la thématique de l'apprentissage des mathématiques pour mon projet de fin de diplôme. Est-ce si paradoxal? Pas tant que ça au final. Mon intérêt pour les mathématiques a commencé relativement tôt. Preuve à l'appui, je suis retombée sur mes anciens cahiers de cours de maternelle précieusement conservés par ma maman. À ce moment de ma vie, les mathématiques se manifestaient à travers des petits dessins à colorier, des gommettes de toutes les couleurs à compter... C'était à la fois visuel et amusant et rien ne pouvait m'empêcher d'aimer cette matière. Au fur et à mesure, les gommettes et les dessins devenaient des chiffres, qui devenaient des nombres de plus en plus grands, qui à leur tour venaient agrémenter des opérations simples puis complexes...J'évoluais progressivement avec les notions et le passage des mathématiques visuelles appliquées en maternelle et en élémentaire aux mathématiques plus abstraites du collège ne fut pas en soi une épreuve insurmontable, mais plutôt une nouvelle marche à gravir pour pouvoir faire de nouvelles choses. Les chiffres et les formules demeu-

Je les voyais s'activer. J'en comprenais le sens, le but. La résolution de problèmes mathématiques, c'était un peu comme un jeu, un jeu de raisonnement et de logique. Il n'y avait pas vraiment de récompense formelle à la fin, mais la simple satisfaction d'avoir résolu l'exercice en était une en soi. Pourtant, ce ressenti, je ne le percevais pas chez tous mes camarades de classes. Parfois, je sortais mon nez de ma feuille d'exercices sur laquelle j'étais parfaitement concentrée pour voir comment les autres ressentaient la chose. Il y avait ceux qui comme moi s'activaient sur leurs problèmes, puis ceux qui observaient leurs feuilles pendant de longues minutes en tentant désespérément d'écrire quelque chose sans beaucoup de certitude. À ces moments précis, je ne comprenais pas réellement les difficultés auxquelles ils pouvaient être confrontés, alors que je trouvais les exercices simples à comprendre et agréables à résoudre. Les mathématiques, ce n'était pas réellement la matière très appréciée au collège et pourtant, pour ma part, je continuais d'aimer ça. Mon bac scientifique a peut-être un peu entaché cet amour, étant donné la difficulté que j'avais à comprendre certaines notions. Pourtant, au fur et à mesure de mes études en arts appliqués, j'ai gardé au fond de moi un attrait pour cette matière ; un attrait que je souhaitais préserver mais aussi transmettre. Car rien n'est plus agréable que de trouver la solution à un problème que l'on souhaite résoudre.

Dans les mathématiques, il y a de la logique, et sans mauvais jeux de mots, il serait « logique » que j'en propose une définition. Les mathématiques composent un ensemble de connaissances pour le moins abstraites, résultats de raisonnements logiques appliqués à des objets divers, comme les nombres, les formes ou encore les transformations. Elles concernent également le domaine de recherche qui se penche sur ses connaissances et leur développement, ainsi que la discipline qui les enseigne. Plusieurs branches composent les mathématiques : l'arithmétique (science des nombres), l'algèbre (expression des propriétés des opérations), l'analyse (traitement de la notion de limite dans un fonction), la géométrie (étude de figures de plan et de l'espace) mais aussi la logique mathématique (étude des mathématiques en tant que langage). Les mathématiques se décomposent également en deux grandes catégories : les mathématiques dites pures qui regroupent l'ensemble des recherches motivées par des raisons autres que celles de l'application pratique et les mathématiques appliquées, qui se concentrent sur l'application des savoirs aux autres domaines, comme la mécanique ou l'électronique.

Avec le recul et mon expérience scolaire, force est de constater que les mathématiques ne sont pas réellement une matière particulièrement appréciée à l'école, et qu'elles sont mises à l'épreuve de nombreux problèmes de compréhension et de raisonnement. Au final, les élèves (anciens et actuels) semblent davantage avoir une vision négative des mathématiques plus que positive. Pourtant, les mathématiques se manifestent partout autour de nous, à travers nos appareils connectés, nos suivis de comptes et même nos plus simples actions quotidiennes comme la cuisine ou les courses. Il est donc important d'en prendre conscience et de « rester en bons termes » avec elles pour pouvoir mieux les appréhender quotidiennement.

L'école est le berceau même de leur apprentissage, mais l'enseignement qu'elle en propose est aujourd'hui controversé et semble éprouver de la peine à transmettre les différentes notions aux élèves. Je souhaite donc me pencher sur cet enseignement et plus précisément m'interroger sur une question simple : par quels moyens le design peut-il établir des nouvelles techniques d'apprentissage des mathématiques en milieu scolaire et plus précisément au collège ? Pour ma part, j'émet l'idée que le design peut proposer des outils qui permettent de mieux percevoir une notion aussi abstraite que les mathématiques. Afin de construire au mieux mon propos, je souhaite dans un premier temps me concentrer sur une dimension théorique du sujet qui vise à montrer que l'enseignement actuel ne laisse pas suffisamment de place au concret, empêchant les élèves d'apprécier la matière à sa juste valeur et de lever la résistance affective souvent liée à leur histoire personnelle qui peut expliquer leur désamour pour la discipline. Il est aussi pertinent d'étudier l'histoire de cet apprentissage, afin de mieux comprendre son contexte de développement et de diffusion actuelle. La seconde partie de mon mémoire se penchera davantage sur la justification et la considération de démarches mêlant applications ludiques, visuelles mais aussi expérimentations et stimulations par le biais d'outils innovants qui sauraient trouver une place dans l'apprentissage actuel. Enfin, j'ouvre ma réflexion au champ des arts, plus précisément des arts plastiques et de la danse, afin de montrer que les mathématiques forment et ont formé des outils considérables, et que leur utilisation a d'une certaine manière marqué leur maîtrise par différents artistes. Car dans un sens, l'appropriation des choses que l'on apprend nous motive davantage à comprendre et à vouloir aller plus loin.

1/Des rapports du public aux mathématiques particuliers

En m'engageant dans la thématique de l'enseignement des mathématiques pour mon projet de diplôme, je savais de par mes expériences et de certaines discussions axées sur le sujet, qu'elle reposait sur quelques questionnements et problématiques. Ces quelques problématiques sont au final bien plus nombreuses que je ne le pensais et mettent en avant différents facteurs qu'il m'est nécessaire d'étudier, ce que je tend à faire dans cette première partie. Comment les mathématiques sont-elles perçues? Quels sentiments nous font-elles éprouver? Ou bien encore pourquoi leur enseignement n'est-il aujourd'hui plus satisfaisant? Tant de questionnements dont les éléments de réponses permettent de mieux comprendre le contexte dans lequel mon projet «Math et Ludo» va évoluer.

Une vision positive ou négative ?

Depuis quelques années déjà, le niveau en mathématiques des élèves ne cesse de se dégrader. D'après l'enquête PISA¹ menée par l'OCDE² tous les trois ans, la France se situe dans la moyenne mais l'évolution des résultats en mathématiques n'est pas rassurante. En 2013, la France s'est classée 25^e au niveau mondial dans cette discipline, ce qui la situe dans la moyenne alors qu'en 2003, elle faisait partie des meilleurs pays. Au final, le classement ne révèle pas tant une régression des bons élèves mais plutôt une augmentation des élèves en difficultés. Paradoxalement, la France compte l'un des plus grands nombres de mathématiciens médaillés de la médaille Field, la plus haute distinction internationale en mathématiques, et est reconnue comme l'un des pays les plus performants du monde en mathématiques, de par son passé.

¹ Le Programme international pour le suivi des acquis des élèves, souvent désigné par l'acronyme PISA, est un ensemble d'études menées par l'OCDE, visant à mesurer les performances des systèmes éducatifs des pays membres et non membres

² Organisation de Coopération et de Développement Économique. Il s'agit d'une organisation internationale d'études économiques dont les 20 pays membres (dont la France fait partie) ont en commun un système de gouvernement démocratique et une économie de marché.

³ Anne Siety, psychologue clinicienne et psycho-pédagogue, présentant une longue expérience du travail auprès des élèves rencontrant des difficultés en mathématiques. Exerçant en libéral ainsi que dans différentes institutions, et enseignant à l'université Paris-VIII (en psychologie de l'éducation), elle est l'auteure de « Mathématiques, ma chère terreur » (Hachette Littératures, Pluriel, 2002) et de « Qui a peur des mathématiques ? » (Denoël, 2012)

Pourtant lorsque l'on parle de mathématiques, il sort souvent la question de leur utilité. Car bien généralement, on accorde de l'importance à ce que l'on peut utiliser directement, ce qui nous sert dans l'immédiat. Il est alors difficile pour certains d'envisager que la discipline puisse leur être utile dans leurs activités quotidiennes, et que son apprentissage soit important. On comprend les notions de pourcentages dans les périodes de soldes, les fractions et les quantités pour la cuisine... mais au-delà, il est plus difficile de discerner l'importance de certains théorèmes ou notions bien plus abstraites et difficiles à appliquer dans le monde réel. Pourtant, comme le signifie Anne Siety³ une psychopédagogue spécialiste en mathématiques: *«Jusqu'en terminale scientifique, les maths racontent ce qu'on sait déjà, mais traduites de manière abstraite. Les rotations, on les connaît depuis qu'on est monté sur un manège ; le point d'inflexion d'une courbe, on en fait l'expérience sur les toboggans. Il s'agit juste de retrouver à quel endroit c'est rangé en nous».*

DES BLOCAGES DÛS À L'AFFECT

Pourtant, les blocages en mathématiques ne semblent pas forcément être de l'ordre intellectuel et de nombreuses recherches psychologiques ont été menées sur le sujet. Anne Siety s'est penchée sur cette question à partir de ses observations menées lors des cours particuliers qu'elle proposait à des élèves pendant ses études. Elle travaille essentiellement sur l'apprentissage des mathématiques et les rapports conflictuels que les élèves peuvent avoir avec elles. Dans son ouvrage *« Mathématiques ma chère terreur¹ »*, elle cherche dans un premier temps à démentir deux préjugés. Le premier, celui qui tend à dire que celles-ci sont inhumaines. Contrairement à ce que l'on peut penser, cette discipline nous ramène constamment à notre corps, à notre identité, à notre expérience de la relation et de la séparation. Par exemple, lorsque nous faisons un tour de manège étant petits, notre corps était soumis au phénomène de rotation. Le toboggan quant à lui matérialise le point d'inflexion d'une courbe, qui correspond au point à partir duquel cette courbe opère un changement de concavité (le creux formé par la courbe s'inverse).

En outre, la seconde idée réfutée par l'auteur porterait sur les blocages en mathématiques eux-mêmes, qui seraient d'ordre intellectuel. Pour la psychopédagogie, il s'agit surtout d'un blocage causé par le fait que la discipline mobilise des émotions profondes qui peuvent provoquer l'angoisse, car la force des affects peut bloquer l'intelligence. Comme l'affirme Anne Siety, *« Rien ne sert donc de faire subir aux nuls en maths des entraînements intensifs. Il convient d'abord d'écouter les élèves et de les laisser exprimer ce qui est à la source de leurs angoisses. »*

En donnant des cours de mathématiques pendant ses études, Anne Siety s'est rendu compte combien les Mathématiques déclenchent des souffrances. En effet, les notions semblent nous toucher de manière très profonde. Par exemple, les racines, les repères, les parenthèses et les énoncés de problèmes nous parlent d'identité, de séparation, de perte. Le « x » quant à lui s'apprend comme un inconnu, or l'inconnu représente la personne à qui on apprend aux enfants à ne pas parler. La géométrie quant à elle paraît très concrète. Les enfants se reposent sur un dessin bien réel, et on leur demande ensuite de s'en détacher pour effectuer une démonstration. Il y a un effet de séparation. *« Progressivement, j'ai acquis la conviction que si un enfant a des problèmes en maths, ce n'est pas parce qu'il n'est pas intelligent, mais parce que quelque chose en lui l'empêche d'accéder à sa pensée et d'utiliser ses capacités. Ce quelque chose a à voir avec son histoire. C'est sur celle-ci que nous allons travailler à travers le cours et les exercices. »*

Dans ses exercices, Anne Siety invite ses élèves à dire ce que les mots leur évoquent dans les énoncés et ils tombent de manière générale sur une question qui les préoccupe. Par exemple, une de ses élèves oubliait toujours les parenthèses dans les équations et ne pouvait donc pas isoler les nombres, jusqu'au jour où elle lui a raconté qu'elle avait des difficultés à s'isoler dans sa chambre. Chacun aborde ses difficultés avec son histoire et fait fonctionner son intelligence à sa manière.

¹ *Mathématiques ma chère terreur* (Hachette Littératures, « Pluriel », 2002), ouvrage se concentrant sur les blocages en mathématiques et apportant des éléments d'explications et de solutions pour permettre aux élèves de renouer avec la discipline.

QUAND LES MATHÉMATIQUES PERDENT LEUR LIBERTÉ

Si certains ouvrages et certaines réflexions se sont penchés sur un facteur bien particulier pour expliquer le désamour des mathématiques, d'autres ont tenté de proposer une vision plus générale, mêlant différents points de vue et observations afin de montrer les différentes sources des difficultés de l'apprentissage et de l'usage des mathématiques. C'est le cas de Olivier Peyron¹ et de son film *« Comment j'ai détesté les mathématiques² »*, sortie en salle le 27 novembre 2013. Celui-ci tend à mettre en lumière une diversité de points de vue sur les mathématiques qui permet de comprendre comment cette discipline est arrivée à être tant rejetée et détestée, et surtout comment elle a pu s'éloigner de l'esprit de liberté qu'elle incarnait auparavant. Par la construction du film qui crée de multiples liens entre la diversité des interventions d'experts (mathématiciens, professeurs, psychologue), nous comprenons que le rejet de la discipline est causé par de nombreux facteurs, qu'ils soient de l'ordre psychologique (comme le montre les études d'Anne Siety), mais aussi pédagogique ou historique.

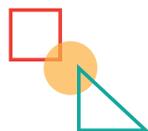


¹ Olivier Peyron est un réalisateur et scénariste français, auteur de plusieurs films et documentaires comme *« Une vie ailleurs »* et *« Latifa, le cœur au combat »*.

² cf Annexe « Comment j'ai détesté les mathématiques »

ANNEXE 1/ COMMENT J'AI DÉTESTÉ LES MATHS

Comment j'ai détesté les Maths est un film documentaire d'Olivier Peyron sorti le 27 novembre 2013. Il met en lumière une diversité de points de vue sur les mathématiques qui permet de comprendre comment cette discipline est arrivée à être tant rejetée et détestée, et surtout comme elle a pu s'éloigner de l'esprit de liberté qu'elle incarnait auparavant. Pour ce faire, le réalisateur a souhaité décomposer son documentaire en plusieurs séquences dont la juxtaposition semble au premier abord disparate. On découvre en introduction des élèves qui crient leur désamour et leur haine des maths, puis la présentation d'un professeur de mathématique (François Sauvageot) quelque peu original, qui exploite sa passion de la couture et du théâtre pour dynamiser ses cours. Par la suite, le film nous emmène en Inde lors de la remise de la médaille Field au mathématicien Cédric Villani¹, puis un retour se fait en France en présence de Anne Siety qui explique les échecs en mathématiques de certains élèves ; échecs pour la plupart non pas liés à leur capacité intellectuelle mais aux liens inconscients qu'ils peuvent créer avec certaines notions mathématiques et qui leur posent problèmes.

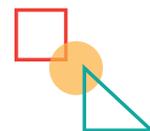


Nous quittons de nouveau la France pour partir aux États-Unis où nous découvrons des élèves prenant plaisir à faire des activités mathématiques où le jeu devient raisonnement. Un voyage temporel est proposé par la suite aux spectateurs qui retombent à l'époque de la réforme des mathématiques modernes² proposées à partir de 1970 ; réforme qui tendait à ramener dans les classes de primaires et de secondaires des mathématiques de niveau supérieur. Par la suite, le retour vers notre époque est lancé par le biais de quelques échanges avec des chercheurs mettant en avant la beauté des mathématiques. Le film se termine avec la crise des subprimes³ et l'utilisation financière des mathématiques qui semble redonner vie au vieux cliché d'inhumanité de la discipline.

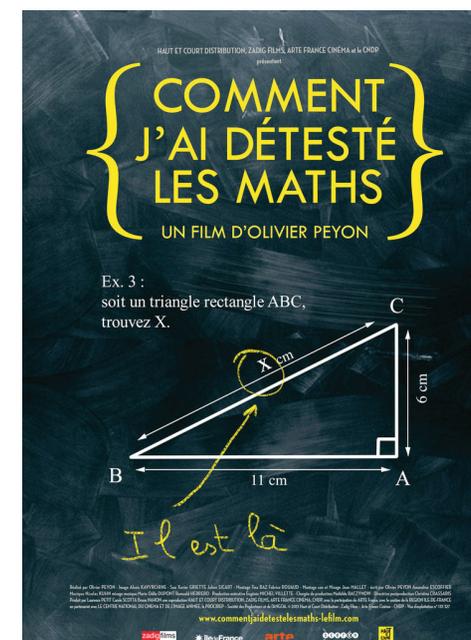
¹ Cédric Villani est un mathématicien et homme politique français récompensé de la médaille Field et ayant enseigné dans plusieurs grandes écoles comme l'École Normale supérieure ou la Sorbonne. Depuis 2010, il s'investit dans la vulgarisation mathématique scientifique auprès de différents publics par le biais de nombreuses conférences.

² cf l'échéed des mathématiques modernes p.20

³ La crise des subprimes est une crise financière qui a touché le secteur des prêts hypothécaires à risque aux États-Unis à partir de juillet 2007. Avec la crise bancaire et financière de l'automne 2008, ces deux phénomènes inaugurent la crise financière mondiale de 2007-2008.



Après avoir visionné ce film et capté un ensemble d'informations, je me suis rendu compte que les différentes séquences créaient de multiples liens entre elles. Par exemple, certaines paroles rapportées d'un mathématicien Indien filmé lors du voyage de Cédric Villani tissent un lien entre mathématiques et nature humaine, ce même lien que Anne Siety mentionne lorsqu'elle affirme que nous connaissons inconsciemment les choses apprises en cours car nous en avons déjà fait l'expérience avec notre corps. Un peu plus tard dans le film, une spécialiste des sciences de l'éducation rappelle que les mathématiques enseignées n'ont pas grand-chose à voir avec les mathématiques au sens propre. Le parallèle est alors fait avec cette scène mettant en avant des chercheurs dans le domaine qui montrent que les mathématiques demandent à la fois du temps et du calme, pourtant peu exploités à l'école puisqu'on laisse peu de temps à l'élève pour emmagasiner l'ensemble des informations qu'il peut apprendre. Voici quelques exemples parmi tant d'autres dans le film qui mettent en lumière les raisons de la disparition de l'esprit de liberté des mathématiques et leur rejet chez beaucoup de personnes, en partie généré par l'enseignement que l'on propose aujourd'hui aux élèves. Entre autres, le film révèle certaines solutions apportées pour redonner une nouvelle image des mathématiques notamment à travers des activités ludiques (comme cela est présenté aux États-Unis), ou des explications plus vivantes à travers des applications concrètes comme les cours théâtralisés du professeur de mathématiques François Sauvageot.

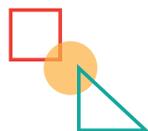


Affiche du film «Comment j'ai détesté les maths»



Extrait du film présentant l'usage des jeux mathématiques dans l'enseignement.

ANNEXE 2/L'IMAGE DES MATHÉMATIQUES ET DU MATHÉMATICIEN



Les mathématiques sont perçues par la plupart des gens comme une discipline difficile à comprendre, abstraite et parfois inaccessible si l'on n'a pas à sa disposition quelques notions. Elles sont un univers à elles seules, mêlant plusieurs paradoxes. De la difficulté à l'accessibilité, de la rigueur à la créativité, elles sont effrayantes et fascinantes. Les mathématiques font partie inhérente de notre quotidien, et nous les pratiquons chaque jour inconsciemment, à tel point qu'il est difficile pour certains de comprendre leur utilité et l'intérêt que l'on peut leur porter. À vrai dire, les mathématiques supportent aujourd'hui une image souvent ancrée dans notre esprit, dont le caractère abstrait ressort très souvent. L'imagerie internet en propose une vision très simple : les mathématiques se résument à un tableau noir couvert de notations chiffrées incompréhensibles, qui n'ont souvent aucun lien entre elles. A travers elles, nous imaginons le besoin presque impulsif du mathématicien ou du professeur de former des signes pour résoudre des calculs particulièrement complexes le plus rapidement possible. Ces éléments ont un réel sens pour eux, mais pas pour ceux qui n'en maîtrisent pas le langage, c'est à dire la plupart d'entre nous. On retrouve également cette impulsivité dans de nombreux films et séries mettant en scène des mathématiciens réalisant une suite d'équations (souvent totalement fausses) afin de résoudre un problème de grande envergure, des personnages souvent considérés comme des génies incompris du reste du monde. Le mathématicien lui-même n'est pas en reste, généralement peu séduisant, portant systématiquement des lunettes et présentant un style vestimentaire désuet, il répond à un stéréotype que beaucoup d'entre nous sommes capables de décrire, et qui pourtant ne se vérifie pas dans la réalité.

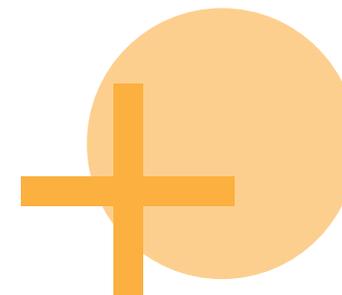
Les mathématiques s'associent alors à des codes qui touchent et qui doivent toucher une population restreinte. Cette vision des mathématiques quelque peu limitée est particulièrement virulente aujourd'hui. Car il est vrai que les mathématiques ne font pas dans la simplicité. Mais ces images véhiculées par le biais de nombreux supports semblent constamment fonder une idée limitée dans nos esprits ; celle d'une discipline abstraite et compliquée, maniant toutes sortes de formules complexes et de symboles transmis par des intellectuels à l'allure peu avenante. Nous préservons alors cette vision sans toutefois la dépasser pour voir que les mathématiques nous entourent au-delà de nos cahiers d'exercices ou de nos manuels scolaires. L'idée n'est pas de combattre le fait que l'on perçoive les mathématiques comme une discipline abstraite, puisqu'elles le sont. Il s'agit surtout de montrer qu'elles ne sont pas inaccessibles, qu'elles ne se résument pas seulement à des calculs complexes, et surtout qu'elles sont utiles. Si déjà cette image était davantage véhiculée, peut être que certains iraient au-delà de leurs préjugés ou de leurs mauvaises expériences à l'école.

LE PLAISIR DE FAIRE DES MATHÉMATIQUES

Si on se focalise uniquement sur les problématiques que soulèvent les mathématiques et leur apprentissage, on fait alors l'impasse sur leur intérêt et le plaisir que certaines personnes ont à les utiliser, ce qui rendrait le propos bien incomplet. En effet, la hantise de la discipline n'est pas l'affaire de tous. Certains voient en elle un magnifique outil de création, mais aussi une source inépuisable de réflexion et de recherche, qui nous a permis au cours de notre histoire de construire et de développer des techniques et des éléments de notre vie quotidienne. Ainsi, si certains n'apprécient pas particulièrement les mathématiques, d'autres au contraire se complaisent à pratiquer et exploiter cette matière. De la simple satisfaction de trouver le résultat d'un exercice au plaisir de la recherche mathématique, le sentiment de contentement peut se manifester à travers elles. Contrairement à d'autres sciences telle que la physique, les principes mathématiques admettent une précision absolue dans leurs résultats, fondée sur des propositions déclarées vraies. De plus, elles s'appliquent dans de nombreuses autres sciences et dans différents domaines techniques. Mais ce qui semble plaire particulièrement, c'est qu'elles nous poussent à raisonner et chercher. Toutes les recherches appliquées au préalable pour tomber sur un résultat constituent l'essence même du plaisir éprouvé.

Pour certains, elles sont des outils essentiels dans la pratique de leurs activités, qu'elles soient personnelles ou professionnelles, et forment une véritable ressource. Cette ressource mêle à la fois la beauté, notamment par ses applications dans l'art, la vie, par les perpétuelles recherches menées au cours de l'histoire, mais aussi l'intuition, puisque les mathématiciens les abordent généralement via leur personnalité et les représentations existantes qu'ils en ont.

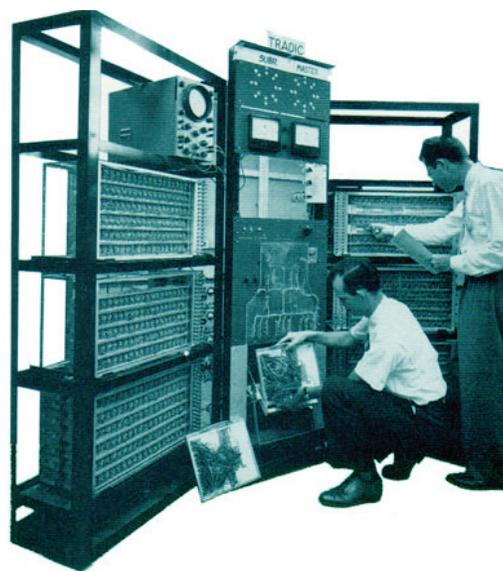
Leurs intuitions, peu importe d'où elles viennent, elles sont aussi partie prenante de leur démarche, et constituent une forme de liberté qui ne laisse cependant pas de côté l'enchaînement rigoureux devant accompagner toute démonstration. Si cela semble laisser peu de place à un peu de fantaisie, le plaisir se retrouve tout de même dans l'aboutissement de la recherche, que ce soit dans l'établissement d'une méthode qui peut être généralisée pour résoudre facilement une famille de problèmes semblables ou encore la découverte d'un résultat d'une façon surprenante, par exemple à partir de théorèmes n'ayant au premier abord aucun rapport avec le problème initial.



LES MATHÉMATIQUES AU SERVICE DU PROGRÈS

Au-delà de ces aspects essentiels, les mathématiques ont permis de développer de nombreux outils numériques que nous utilisons tous les jours, sans pour autant imaginer qu'ils sont issus de leurs recherches. Inconsciemment, nous avons un rapport direct avec elles. Malheureusement, il s'agit d'applications dont on parle très peu ou pas du tout et qui pourtant sont d'une importance capitale. En effet, celles-ci jouent un rôle fondamental dans le développement économique et technologique, puisque ces domaines emploient un langage mathématique qui se manifeste par des équations ou des modèles. Pour les étudier, il est donc essentiel de savoir utiliser les outils mathématiques existants mais aussi d'en développer de nouveaux en menant des recherches, car ce qui s'écrit en langage mathématique doit être étudié avec les outils que cette science possède ou développe. Le développement de nouvelles technologies et l'innovation menée par le design de nouveaux produits industriels s'effectuent maintenant avec l'aide de la modélisation mathématique et de la simulation numérique, laissant de côté la réalisation de prototypes bien plus coûteux. Cette simulation numérique s'effectue d'ailleurs avec l'aide d'ordinateurs, un outil lui-même utilisé par la plupart d'entre nous, que ce soit pour un usage personnel ou professionnel. Pourtant, nous ignorons combien les mathématiques ont été utiles dans sa création. En effet, par définition, l'ordinateur est un système de transformation de l'information programmable qui exécute des opérations logiques et arithmétiques. Ses origines remontent aux premières machines à calculer, telle que la machine analytique de Charles Babbage en 1834, qui définit la plupart des caractéristiques de l'ordinateur moderne, cent ans avant l'essor de l'informatique. La calculatrice électronique, que nous connaissons tous et qui est particulièrement appréciée lors de la résolution de calculs complexes, descend des premiers ordinateurs et émerge dans les années 70.

Pour revenir à des faits plus actuels, la conception de nos portables de plus en plus intelligents repose sur de nombreux algorithmes basés sur des mathématiques récentes et sophistiquées. Tant de domaines qui nous concernent directement et qui tendent à évoluer encore. En effet, les mathématiques jouent également un rôle de plus en plus important dans des domaines dits « moins traditionnels » d'application comme la santé, notamment dans le traitement optimal du cancer, en écologie avec le traitement de la pollution et dans les recherches d'évolution de maladies au sein d'un environnement naturel ou modifié par l'homme. Demain le développement de l'intelligence artificielle nécessitera le recours massif aux mathématiques.



Le Electronic Numerical Integrator and Computer, premier ordinateur apparu en 1940 pendant la guerre afin de calculer les trajectoires des tirs d'artillerie.

L'évolution particulière d'un apprentissage

Ainsi, les mathématiques supportent aujourd'hui une image davantage négative que positive, malgré leur grande importance dans l'évolution de notre monde et de notre quotidien. Si nous y sommes confrontés inconsciemment chaque jour, il y a bien un lieu dans lequel nous avons pleinement conscience d'en faire: L'ÉCOLE. Il est donc primordial de se questionner sur l'apprentissage des mathématiques en lui-même, d'en connaître l'évolution, afin de comprendre pourquoi notre niveau actuel est en chute libre, mais aussi de repérer les différentes méthodes et outils pédagogiques qui sont apparus dans l'histoire de l'humanité. En effet, s'imprégner des différentes techniques employées par les Hommes au cours de l'Histoire permet d'apporter de nouvelles sources de réflexions mais aussi de constater leurs forces et les exporter à travers un regard plus actuel.

Si l'histoire des mathématiques a fait l'objet de nombreuses réflexions littéraires et documentaires, certains auteurs se sont davantage focalisés sur leur apprentissage au cours de l'Histoire. C'est le cas de Roshdi Rashed¹ auteur du livre «Essais d'histoire des mathématiques» qui tend à exposer les différentes phases d'évolution de l'apprentissage des mathématiques. Celui-ci a été pour moi une véritable source d'informations, grâce à laquelle j'ai pu reconstruire les grandes lignes de cet enseignement, ses particularités mais aussi ses mutations.

¹ Roshdi Rashed, né au Caire en 1936 est un mathématicien, philosophe et historien des sciences, dont l'œuvre se concentre en grande partie sur les mathématiques et la physique du monde arabe médiéval. Son travail est l'un des premiers à étudier en détail les textes antiques et médiévaux, ainsi que leurs parcours à travers les écoles et les cours, mais aussi leurs apports dans les sciences occidentales.

MATHÉMATIQUES ANTIQUES

L'enseignement des mathématiques est aussi ancien que les mathématiques elles-mêmes, comme le prouvent les tablettes mésopotamiennes et les papyrus égyptiens retrouvés en grand nombre. Elles ont été exclusivement enseignées dans le cadre d'un apprentissage spécialisé et à visée professionnelle, notamment dans les travaux de comptabilité et de constructions. Il semblerait qu'il s'agissait déjà de la méthode d'enseignement appliquée en Égypte dans les écoles de scribes.

L'introduction des mathématiques dans la formation générale est une invention de l'antiquité classique. Les mathématiques de la Grèce antique prennent une place importante dans l'Histoire de la discipline, puisque c'est avec elles qu'apparaissent les fondements du raisonnement mathématique et de la géométrie, en plus de la définition des premières bases de la théorie des nombres et des mathématiques appliquées.

Cette période a également vu naître certains des mathématiciens les plus célèbres, comme Archimède¹ ou Pythagore². Si ce dernier livrait la plupart de ses enseignements en public (ceux qui l'écoutaient étaient nommés les Pythagoristes), il n'en réservait les éléments plus approfondis qu'à un nombre restreint, qui constituaient les élèves de l'école pythagoricienne. Cette école proposait d'explorer la science des nombres, les bases de l'acoustique mais également les éléments de la géométrie et la cosmologie.

Cette introduction des mathématiques dans la formation générale a été reprise par les universités médiévales où l'on enseignait le Quadrivium, qui désigne l'ensemble des quatre sciences mathématiques dans la théorie antique: l'arithmétique, la géométrie, l'astronomie et la musique.



Fedor Andreevich Bronnikov, «L'hymne des pythagoriciens au soleil levant», 1869, Huile sur toile.

¹ Archimède est un physicien, mathématicien et ingénieur grec de l'antiquité, né à Syracuse vers 287 av. J-C et mort en cette même ville en 212 av. J-C. Considéré comme le plus grand mathématicien de l'antiquité, il porte grand nombre de ses réflexions sur la géométrie (étude du cercle et élaboration d'une méthode permettant de déterminer un approximatif de pi, études des aires et des volumes de la sphère et du cylindre) mais également sur la mécanique

² Pythagore: est un philosophe, mathématicien et scientifique grec né aux environs de 580 av.JC à Samos et mort vers 495 av.JC, connu aujourd'hui pour son célèbre théorème auquel il a offert son nom



L'ÉMERGENCE DES MATHÉMATIQUES EN MILIEUX SCOLAIRES

Si on se concentre davantage sur la France, l'introduction des mathématiques en milieu scolaire semble réellement débuter lors de l'époque moderne, époque où le développement de la discipline est lié historiquement à la constitution des sciences modernes, notamment à l'essor de la physique et au rationalisme cartésien¹ (XVI^e-XVIII^e siècles). Elles sont enseignées dans les collèges en prenant appui sur le modèle inventé à l'Université de Paris au XV^e siècle. Les premiers professeurs de mathématiques apparaissent en France à la fin du XVI^e siècle dans certains collèges jésuites mais l'enseignement est pendant longtemps réservé aux futurs clercs fréquentant la deuxième année de classe de physique ou à des jeunes gens souhaitant s'orienter vers les métiers des armes et de la mer. Il s'agit finalement d'un enseignement marginal par rapport au cursus normal des collèges qui sont à l'époque dominés par l'étude du latin. Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, l'enseignement des mathématiques reste principalement l'affaire des maîtres privés.

Au XIX^e siècle et notamment à la première moitié de ce siècle, de nombreuses mesures sont prises quant à l'enseignement de ces mathématiques, fondant les bases institutionnelles de l'enseignement du secondaire (correspondant à nos collèges et lycées actuels) que nous connaissons encore aujourd'hui. Un enseignement secondaire classique est fixé mêlant cours de mathématiques et de latin, puis un enseignement secondaire spécial est proposé en 1864.

¹ Le cartésianisme dont est tiré le terme cartésien est un courant philosophique rationaliste et métaphysique (d'où la naissance du terme rationalisme cartésien). Il se réclame des principes et des thèses de la pensée de René Descartes (mathématicien, physicien et philosophe français du XVII^e siècle.)

² Émile Borel est un mathématicien français né à Saint-Affrique en 1871 et décédé à Paris en 1956. À la fois professeur à la faculté des sciences à Paris, spécialiste de la théorie des fonctions et des probabilités mais aussi homme politique, il a permis l'évolution de l'enseignement des mathématiques à l'école en ancrant davantage le réel dans les applications et les exercices.

Il s'agit d'études concrètes et pratiques des mathématiques orientées vers diverses applications comme le dessin, les techniques mécaniques, la comptabilité et mettant de côté l'apprentissage du latin. La fin du siècle est marquée par la Loi Ferry en 1882, qui fait entrer pour la première fois dans l'histoire de cet enseignement les mathématiques au niveau primaire. De ce fait, c'est à partir des premières années de l'école primaire que les mathématiques sont enseignées par le biais d'exercices et d'expériences. Le mathématicien Émile Borel² a largement contribué à moderniser et diversifier l'apprentissage des mathématiques à l'école. Il émet une idée très précise de l'objectif pédagogique de la matière, notamment introduire plus de vie et d'applications réelles dans notre enseignement mathématique, afin que les élèves se rendent compte par eux-mêmes que les mathématiques ne sont pas qu'une pure abstraction. Cette citation tirée de l'une de ses conférences réalisées au musée pédagogiques le 3 mars 1904 résume parfaitement ses convictions: «*Il semble que la valeur éducative de l'enseignement mathématique ne pourra qu'être augmentée si la théorie y est, le plus souvent possible, mêlée à la pratique. L'élève comprendra qu'il est sans doute excellent de bien raisonner, mais qu'un raisonnement juste ne conduit à des résultats exacts que si le point de départ est lui-même exact ; qu'il faut, par suite, ne pas croire aveuglément à tout raisonnement, à toute démonstration d'apparence scientifique, mais se dire toujours que la conclusion n'a de valeur qu'autant que les données ont été scrupuleusement vérifiées par l'expérience*».



RÉFORMES ET BOULEVERSEMENTS DANS L'ENSEIGNEMENT

En 1891, face au succès de l'enseignement secondaire spécial provoqué par un grand nombre d'élèves souhaitant suivre cette formation, ce dernier devient l'enseignement secondaire moderne, dont le baccalauréat permet l'accès à un enseignement supérieur scientifique. Au XX^e siècle, l'âge industriel remet en cause l'enseignement secondaire classique qui semble peu adapté, puisque l'on considère qu'il est davantage nécessaire de pratiquer les sciences plutôt que les langues anciennes. Afin de répondre à ce nouveau besoin, une réforme est appliquée en 1902, tendant à unifier les enseignements secondaires classiques et modernes en introduisant une division en deux cycles consécutifs, permettant aux élèves de s'orienter vers deux voies à la fois scientifiques et linguistiques. Le premier entre la 6^e et la 3^e puis le second entre la seconde et la terminale. Ces deux cycles correspondent à nos cycles collèges et lycées actuels. Les réformateurs dont certains mathématiciens font partie, s'appuient sur deux principes: l'unité de la méthode scientifique et le primat de l'expérience, même en mathématiques. Étant donné que l'école permet de préparer les élèves dans leur vie en partant des réalités, les sciences sont envisagées comme un des meilleurs moyens pour y arriver. Elles donnent le sens de l'observation et de la rigueur, ainsi que des qualités de raisonnement. L'enseignement des mathématiques permet d'acquérir l'ensemble de ces capacités à condition d'éviter les procédés purement abstraits et les méthodes seulement déductives. La Grande guerre crée une rupture et le corps enseignant souffre d'une nouvelle génération de professeurs disparus. Le conservatisme qui en découle remet en cause la réforme de 1902 et demande un retour à un enseignement plus classique. Un puissant mouvement d'opinion pousse l'évolution de l'enseignement, engendrant une diversification plus rapide de la population scolarisée mais les contenus d'apprentissages ne changent pas

À la fin des années 50, les mathématiques s'enseignent au collège et au lycée à peu près comme en 1914, mais bien vite cet apprentissage est jugé trop élitiste par ses valeurs enracinées dans la tradition. Un enseignement de masse est alors proposé et un cadre unique est créé. Tous les élèves suivent les mêmes études en sortant des cours moyens de l'école primaire. Face à ce remaniement, les années 60 sont marquées par des bouleversements profonds qui affectent l'ensemble des disciplines.

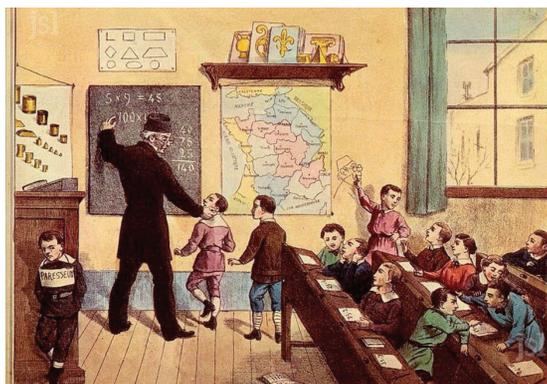


Illustration d'un cours de mathématiques à la fin du XIX^eme



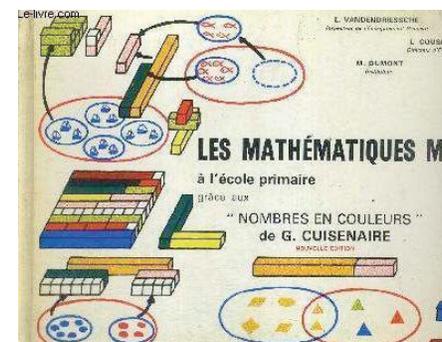
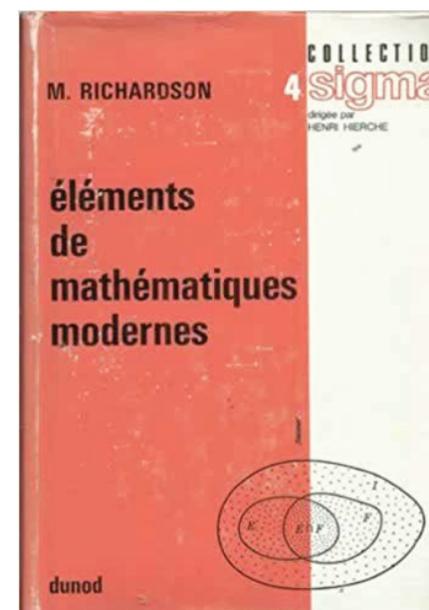
Photo de classe, école mixte de Prilly, 1942



L'ÉCHEC DES MATHÉMATIQUES MODERNES

Dans les années 70 les mathématiques modernes font leur apparition à travers une nouvelle réforme, avec l'envie de changer un programme jugé trop traditionnel et humaniste. Il s'agissait de ramener des mathématiques telles qu'on les enseignait de nos jours en deuxième ou troisième année d'université, à la portée des élèves de secondaire et primaire. Pour plusieurs professionnels qu'ils soient chercheurs, enseignants ou mathématiciens, elles marquent un réel échec dans l'enseignement des mathématiques. Cette période a fait l'objet d'une émission radio sur France Culture le 11 décembre 2017. Intitulée *Comment les petits français sont devenus nuls en maths?*, l'émission tend à montrer comment l'enseignement des mathématiques s'est dégradé au fil des années, et les raisons de cette dégradation. Selon Jean Pierre Demailly¹, professeur et chercheur à l'université de Grenoble et invité pour l'occasion à débattre sur cette thématique, «*Même si elles étaient fondées sur une idée à priori raisonnable, il y avait l'illusion que l'éducation parviendrait à faire descendre une partie des mathématiques de très haut niveau dans l'enseignement général et ce jusqu'en maternelle*». Ainsi, les mathématiques modernes sont très loin de la réussite, rendant les mathématiques beaucoup trop abstraites et inaccessibles. Si les élèves doués ou ayant bénéficié d'une imprégnation familiale pouvaient éventuellement suivre, les autres étaient désorientés tout autant que leurs parents. Les mathématiques modernes sont rapidement abandonnées, au profit d'un programme plus adapté mais encore très lacunaire.

¹ Jean Pierre Demailly est un mathématicien français né le 25 septembre 1957 et professeur à l'université Grenoble-Alpes, qui a axé une partie de ses travaux sur des analyse complexe à plusieurs variables. Il a reçu de nombreux prix et distinctions tel que la médaille de bronze du CNRS en 1982 ou le prix Stefan Bergman en 2015.



Manuels d'enseignement des mathématiques modernes

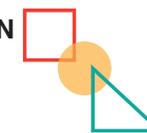
DES PROBLÈMES DE DIVERSES NATURES DANS L'ENSEIGNEMENT ACTUEL

Pour Jean-Pierre Demailly, si on est revenu à des mathématiques plus concrètes, *« on a littéralement désossé les programmes, ne serait-ce que parce que les volumes de cours se sont considérablement réduits »*. Moins d'heures de mathématiques donc, et des programmes qui ont fait le choix de supprimer des éléments importants qui construisaient pourtant l'argumentation et permettaient une structuration logique de l'apprentissage. Le chercheur parle même d'un « programme en gruyère ». Il ajoute à cela l'idée que la baisse du niveau est corrélée par une baisse de la qualité de l'enseignement, surtout en primaire. Cette idée est partagée par beaucoup d'enseignants du secondaire et des études supérieures. En effet, environ 75% des étudiants postulant pour des postes de professeurs des écoles n'ont pratiquement pas pratiqué les sciences au lycée et n'éprouvent pas particulièrement d'intérêt pour les mathématiques. Mon projet de diplôme s'intègre dans les collèges Lezay Marnésia (Quartier de la Meinau) et Érasme (Quartier de HautePierre) à Strasbourg, deux collèges classés en REP (réseau d'éducation prioritaire) qui se questionnent sur leur méthode d'apprentissages et souhaitent les adapter au mieux à leurs élèves qui éprouvent parfois des problèmes de compréhension. Au cours de mes rencontres et entretiens avec les professeurs, élèves et équipes administratives de ces deux établissements scolaires, j'ai pu mieux cerner les difficultés auxquelles ils sont confrontés chaque jour. De différentes natures, elles expriment à la fois un manque de visualisation de la part des élèves, mais aussi des lacunes de raisonnements et de rédaction. Cette étude¹ proposée en annexe à fait l'objet d'un compte rendu de sociologie, que j'ai souhaité intégrer dans mon mémoire.

¹ Cf. Annexe enquête de terrain, un apprentissage des mathématiques difficile



ANNEXE 1/ ENQUÊTE DE TERRAIN UN APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES DIFFICILE



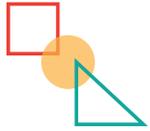
Lors de ma rencontre avec les différentes équipes pédagogiques en mathématiques des deux collèges placés en zone REP dans lesquels je travaille, nous avons rapidement fait le focus sur les difficultés auxquelles leurs élèves pouvaient être confrontés pendant les cours de mathématiques. Il a été intéressant de constater que ces problèmes étaient de même nature pour les deux collèges, et qu'il y avait donc un besoin de travailler autour de ceux-ci pour envisager de nouvelles solutions d'apprentissages. La géométrie dans l'espace en règle générale, qui demande une aptitude de la visualisation dans l'espace pose fondamentalement problème aux élèves, car les approches sont souvent trop théoriques et trop abstraites pour les appréhender correctement. Ce même retour a été fait par Thomas Billard, un jeune professeur de mathématiques que j'ai eu l'occasion de rencontrer lors d'un entretien au collège Twinger de Strasbourg, lui aussi placé en zone REP. Il m'a expliqué que ses élèves avaient besoin d'exemples concrets pour mieux comprendre et que des outils étaient nécessaires pour ce faire : *« Oui c'est très important je pense que d'accrocher les notions à des choses concrètes ou à des exemples très parlants, plus imagés, parce que sinon on reste trop théorique, trop abstrait et il y en a beaucoup qui n'arrivent pas du tout à faire le lien et qui ne comprennent rien. Dès qu'on arrive à apparier un peu des choses concrètes ou à associer des images ou des exemples concrets, du coup je pense que ça les aide »*.

Par ailleurs, les conversions et les grandeurs semblent également freiner certains élèves qui ont du mal à visualiser correctement les rapports qu'il peut y avoir entre un centimètre cube et un litre par exemple. J'ai pu être éclairée par l'un des professeurs du collège Lezay-Marnésia sur une des raisons possibles qui pourrait expliquer cette problématique, à savoir la difficulté que les élèves ont à visualiser correctement une grandeur comme le mètre :

« Il y a des élèves qui ne savent même pas combien un mètre fait, ils n'arrivent même pas à le montrer avec leurs mains : tantôt ça fait ça (petit écart des mains d'à peine 30 cm) et tantôt ça fait ça (grand écart des mains bien plus grand qu'un mètre), du coup il y a un réel souci avec les grands aussi. »

Encore une fois, il est facile d'admettre que ces difficultés de conversions et de grandeurs tout comme celles de l'apprentissage de la géométrie dans l'espace reposent sur un manque de visualisation et de supports de visualisation.

Comprendre les notions mathématiques est une chose. Mais les restituer à l'écrit et les comprendre une fois intégrées dans un énoncé en est une autre. La dernière des grandes difficultés réside donc dans cette problématique du passage à l'écrit. En effet, il semblerait que beaucoup d'élèves ne parviennent pas à comprendre le but même des exercices énoncés et à en sortir toutes les données nécessaires pour effectuer l'exercice. J'ai eu ce retour de la part de Thomas Billard lors de notre discussion au sujet de ses cours : *« La grande difficulté qu'ils ont souvent c'est le passage à l'écrit. Dès que c'est calculatoire, ou dès que ce sont des consignes simples, comme par exemple réaliser une figure ou faire un calcul, généralement ils s'en sortent parce que la consigne est simple et que ce n'est pas très compliqué. En revanche, dès qu'il y a du texte et que l'on va un peu plus dans le problème, ce sont les problèmes de vocabulaire qui se révèlent. Bien souvent ils ne savent pas ce qu'il faut faire, des fois rien que le fait de reformuler avec eux la question à l'oral, ça va les débloquer mais quand ils sont seuls face à un texte de 5-6 lignes, ils vont être vite perdus. C'est ça la difficulté avec notre public ; ils ont beaucoup de mal à savoir ce qu'il faut faire, ce qu'on attend d'eux. »*



Je me pose alors la question des techniques que pourraient employer les professeurs pour pallier cette difficulté de compréhension, et notamment celle du dessin qui m'a toujours bien aidée en mathématiques dans mes années collège et lycée. Pour Thomas, il s'agit d'une véritable ressource qu'il encourage ses élèves à utiliser, notamment par le biais de schémas. Certains d'entre eux ont le réflexe de le faire mais d'autres restent tout de même bloqués et n'essayent pas d'utiliser cet outil. J'ai souhaité discuter de cette problématique avec Antoine Théréc, un élève de 4^e au collège de Moulins le Carbonnel dans la Sarthe. Dans son cas, il s'agit surtout de mettre en couleur les données importantes des énoncés ou des problèmes. Le résultat ne semble pas concluant pour lui : *« moi les couleurs ne m'aident pas, ça peut aider certains élèves mais moi non »*. Je comprends vite que le problème pour Antoine n'est pas tant de trouver les informations utiles pour résoudre l'exercice mais plutôt la compréhension même de l'exercice et la restitution des connaissances.

Le passage à l'écrit requiert une méthodologie particulière qui demande du travail mais aussi la compréhension parfaite des termes abordés. Je me demande donc s'il ne serait pas envisageable de proposer des exercices entièrement basés sur la manipulation et l'observation par le biais d'outils, qui permettraient de constituer une étape avant le passage à l'écrit. En effet, si on prend comme exemple l'expérience de physique ou de chimie, on comprend relativement mieux pourquoi et par quoi certains phénomènes sont provoqués et il est donc plus simple de les expliquer par la suite. Je pense que l'expérience peut être une solution pour mieux comprendre et faire l'objet d'une étape transitoire entre le cours et les applications par les exercices.

Au vu de l'ensemble de ces difficultés révélées par les professeurs, je me rends compte qu'il y a un réel besoin de rendre plus visuelles certaines notions afin que les élèves les intègrent par la suite plus facilement dans leurs réflexions. Ces difficultés sont indéniables, et les professeurs semblent regretter un manque d'outils pour mieux illustrer leurs cours, qui pour certains demeurent relativement théoriques.

Lorsque j'ai été amenée à discuter de mon projet avec les professeurs des différents collèges avec lesquels je travaille, et notamment la proposition de nouveaux outils comme supports d'apprentissage, j'ai été confrontée de manière générale au même retour : certaines des notions vues en cours manquent de supports visuels et il est difficile pour eux d'en concevoir. Par exemple, l'un des professeurs de mathématiques du collège Érasme m'a expliqué qu'il avait tenté de créer un outil pour faire comprendre à ses élèves la notion de décimètre carré avec de la mosaïque, mais la conception même de l'objet n'a pas réellement fonctionné. Il est intéressant de noter que les idées et les envies sont là dans le corps enseignant mais la forme et la mise en forme ne sont pas forcément des choses qu'ils maîtrisent totalement, un point sur lequel je peux pour ma part intervenir.

L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES UN MONDE D'OUTILS

Bien que les mathématiques constituent une discipline particulièrement intellectuelle et abstraite, leur enseignement a reposé sur de nombreux outils au cours de son histoire. Ils constituent tous autant de champs d'exploration par le design. Voici quelques exemples trouvés à travers mes recherches sur l'histoire des mathématiques et leur apprentissage. Comme il a été précisé plus haut, les premières traces d'apprentissage des mathématiques ont été découvertes en Égypte et en Mésopotamie datant d'environ 2000 ans Av-JC. Il s'agissait généralement de tablettes scolaires en argile ou en bois et de papyrus marqués par des opérations simples qui faisaient office de supports de travail pour les élèves. Avant toute chose, l'objectif était d'apprendre des méthodes de calculs permettant d'établir les salaires, la gestion des récoltes mais aussi les surfaces et volumes des travaux d'irrigations et de construction. Ces derniers ont d'ailleurs été aidés par l'établissement d'outils de mesures comme la corde à 13 nœuds, longue de 12 coudées (distance entre le majeur et le coude) et composée de 13 nœuds espacés par des intervalles identiques. Elle permettait de définir une multitude de figures géométriques telles que le carré, le rectangle, le triangle, l'angle droit, les polygones et le cercle et donc de définir des plans tracés au sol selon les principes de la trigonométrie proportionnelle, qui étaient par la suite reproduits dans les mêmes proportions. L'utilisation de cet outil a certainement fait l'objet d'un apprentissage, notamment dans la construction des plans.

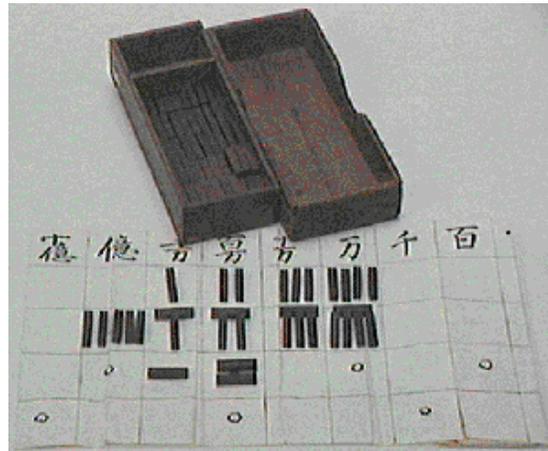


Exercice de calcul de surface, Nippur, époque paléo-babylonienne (Ist Ni 18, courtoisie Musée archéologique d'Istanbul)

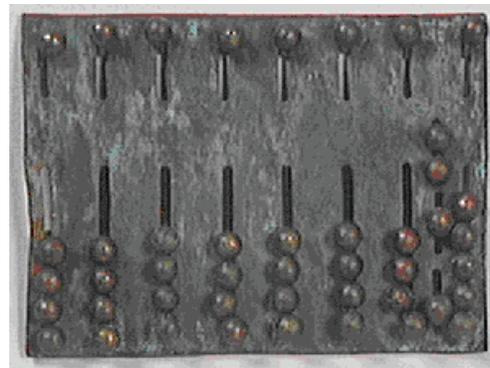


Corde à 13 nœuds

Dès le III^e siècle Av-JC, les Chinois mettent en place des systèmes d'aide de calculs nommés abaques. Les abaques chinoises prennent la forme de baguettes à calculer de 10cm environ représentant les chiffres de 1 à 9. La position du chiffre en question disposé sur une surface de calcul indique son ordre de grandeur. L'absence de baguette dans une case indique l'équivalent du zéro. Les opérations s'effectuent en déplaçant les baguettes ou en modifiant leur configuration. Les étapes d'apprentissages ne sont pas réellement mentionnées dans l'histoire de cet outil mais il est évident que les savoirs se transmettaient quant à son utilisation. Les abaques prennent également la forme de tablettes couvertes de sable sur lesquelles on dessinait les symboles mathématiques à l'aide d'un stylet (utilisées notamment en Grèce), ou de tables partagées en plusieurs colonnes chez les romains. Chaque colonne représente une puissance de 10 où on y disposait des galets. Le boulier dans la forme qu'on lui connaît fait son apparition un peu plus tard soit au XII^e siècle Ap-JC et présente deux grandes catégories : le boulier en base 10 pour lequel chaque boule représente selon la tige sur laquelle elle se trouve une unité, une dizaine, une centaine... et le boulier en base alternée, pour lequel chaque tige comprend deux parties ; une partie supérieure sur laquelle les boules valent 5 unités, dizaines ou centaines et une partie inférieure sur laquelle les boules valent une unité, dizaine ou centaine selon la position de la tige.



Reconstitution d'un abaque chinois avec des baguettes de bambou.



Reconstitution d'un abaque romain avec des boules en métal.

Outre cet outil de calcul, de nombreux outils de mesure sont apparus avec les constructions de bâtiments défensifs mais aussi religieux. La main et de manière générale le corps étaient d'excellents outils de calcul et de mesure qui ont servi en partie à l'élaboration d'autres outils comme la pige. Celle-ci correspondait à un bateau en bois marqué par 6 mesures différentes du corps, comprenant le pouce (largeur d'un pouce), la paume (largeur d'une main), la palme (espace entre le 2^e et le 5^e doigt), l'encan (espace du 5^e doigt au pouce), le pied (mesure de sa longueur) et enfin la coudée. Bien évidemment, cet outil varie en fonction de son propriétaire mais a toujours la même proportion. L'équerre est également apparue à cette période, simplement constituée de deux branches perpendiculaires permettant de contrôler les angles des murs. Il faut également savoir que la main a servi de base décimale, puisqu'elle compte dix doigts, et a donc initié la méthode arithmétique. Pendant la Renaissance européenne, des écoles d'abaques font leur apparition en Italie et utilisent ces outils pour faire des calculs liés au commerce. Le manuel scolaire fait son apparition à l'école au premier tiers du XIX^e siècle. Bien que les premiers manuels datent de 1470, il s'agissait surtout de rares ouvrages permettant l'enseignement de valeurs morales. La dimension pédagogique est acquise à partir du XIX^e siècle et le manuel est imposé aux instituteurs dans leur enseignement. Cet ouvrage est par définition un objet didactique ayant un format maniable et regroupant l'essentiel des connaissances relatives à un domaine donné.

Les cours de mathématiques à l'école et notamment en école primaire emploient également de nouveaux outils comme l'ardoise, pour effectuer des calculs à la craie et permettre une interaction directe avec les autres élèves et le professeur. Quant au boulier dont nous avons parlé précédemment, il est considéré comme un outil de choix pour apprendre à calculer. Entre 1950 et 1960, les professeurs utilisent la manipulation pour enseigner leur matière et notamment des réglettes colorées qui permettaient une plus grande mémorisation des nombres.

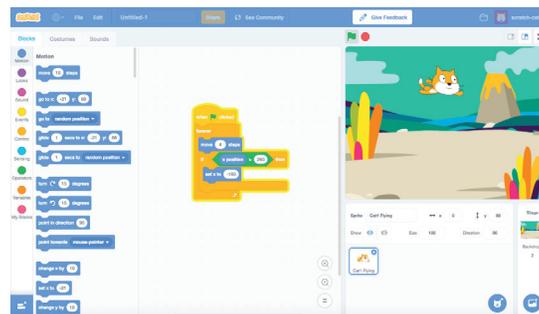


Miniature représentant un maître d'oeuvre tenant dans sa main une pige (datée du XVI^e siècle, artiste inconnu)

Entre 1950 et 1960, les professeurs utilisent la manipulation pour enseigner leur matière et notamment des réglettes colorées qui permettaient une plus grande mémorisation des nombres. Depuis quelques années et encore aujourd'hui, le matériel scolaire mathématique des élèves se compose en général d'une équerre triangulaire et d'une règle en métal ou en plastique permettant le dessin géométrique et la mesure de petites distances, d'un rapporteur, permettant la mesure des angles, et d'un compas servant à tracer des cercles, des arcs de cercles mais aussi à comparer, reporter ou mesurer des distances en plus du matériel traditionnel de dessin. Le développement du numérique dans les établissements scolaires a également permis la mise à disposition de logiciels comme Géogébra¹ ou Scratch², qui permettent de rendre plus visuels certaines notions comme l'étude des fonctions, mais aussi de s'initier à la programmation. L'ensemble de ces outils constitue la boîte à outils initiale en géométrie mais depuis une vingtaine d'années, les calculatrices sont également des outils essentiels dans l'étude des fonctions, des probabilités mais aussi dans l'aide au calcul.



Réglettes de la méthode cuisenaire (1960)



Capture d'écran du logiciel scratch

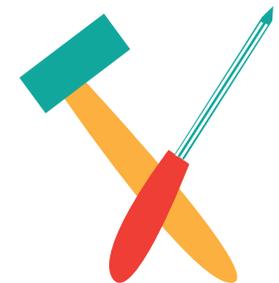
¹Géogébra est un logiciel de géométrie dynamique en 2D/3D développé par Markus Hohenwarter (professeur Autrichien) en 2008. Il permet de manipuler des objets géométriques et de voir immédiatement le résultat. Il propose également un ensemble de fonctions algébriques (résolution d'équation, représentation de fonctions...)

² Scratch est un logiciel libre développé en 2006 par le groupe de recherche Lifelong Kindergarten auprès du laboratoire Média du MIT. Il constitue un nouveau langage de programmation qui facilite la création d'histoires interactives, de dessins animés, de jeux, de compositions musicales, de simulations numériques et leurs partage sur le Web.

VERS UNE RÉPARATION DE L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES

Si l'enseignement des mathématiques est vivement remis en question aujourd'hui, de nouvelles propositions tendent à émerger. Pour de nombreux spécialistes et professeurs, il serait intéressant d'ancrer davantage dans le réel les mathématiques en proposant de nouvelles applications plus parlantes et des supports plus visuels pour sortir de l'abstraction que les mathématiques incarnent. En effet, certains d'entre eux comme Jean Pierre Demailly regretterait presque les anciens exercices de plomberie ou de robinetterie, peut-être un peu désuet aujourd'hui mais qui ancreraient parfaitement l'apprentissage des mathématiques dans des actions quotidiennes. Cette nouvelle mesure fait partie du plan d'action mené par Cédric Villani¹ et Charles Torossian² émis en Février 2018 et intitulé : *les 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques*.³ En mettant dans un premier temps en avant les difficultés éprouvées aujourd'hui par les professeurs et les élèves, ils émettent par la suite un ensemble de propositions destinées à l'enseignement primaire et secondaire : émission de nouvelles étapes d'apprentissages, mise à disposition d'outils pédagogiques favorisant la mémorisation des notions apprises, à la fois réels et virtuels, valorisation des jeux mathématiques ainsi que des portails de ressources.

Le rapport ne s'arrête pas seulement aux outils qui seront utiles dans l'apprentissage mais va également s'intéresser à l'environnement dans lequel évolue cet enseignement, et notamment les liens à créer entre le milieu scolaire et d'autres lieux d'apprentissages comme les maisons des sciences ou plus généralement des espaces périscolaires. Une partie plus technique est également proposée, reposant sur des domaines davantage économiques (l'interaction de l'éducation nationale avec les entreprises du secteur présente des enjeux variés, d'ordre économique, pédagogique, et de sécurisation des données).



¹ Cédric Villani, mathématicien et homme politique français récompensé de la médaille Field et ayant enseigné dans plusieurs grandes écoles comme l'école normale supérieure ou la Sorbonne. Depuis 2010, Cédric Villani s'investit dans la vulgarisation mathématique scientifique auprès de différents publics par le biais de nombreuses conférences.

² Charles Torossian est un chercheur en mathématiques et un inspecteur général de l'éducation nationale Française.

³ cf Annexe 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques

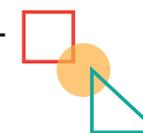
Dans d'autres pays comme aux États-Unis, on parle même d'une réparation de l'enseignement. Dans le texte de Solomon Garfunkel¹ et David Mumford² publié dans le New York times le 28 août 2011 et intitulé *Comment réparer l'enseignement des mathématiques?*, les deux mathématiciens proposent des solutions quelque peu radicales en émettant l'idée qu'il faudrait rapprocher les mathématiques de leurs applications technologiques et sociales. Ainsi, il serait intéressant de faire étudier à tous les élèves les éléments qui leur seront réellement nécessaires dans la vie quotidienne, comme des cours de finances (pour l'apprentissage de la fonction exponentielle, des formules de tableurs et l'étude de budget d'entreprise), d'ingénierie (initiation au fonctionnement des moteurs, des sondes sonores, des signaux de télévision...) ou des cours mêlant étroitement les mathématiques et les sciences.

«C'est par l'intermédiaire de leur application dans le monde réel que les mathématiques sont apparues dans le passé, qu'elles se sont épanouies à travers les siècles, et qu'elles s'ancrent aujourd'hui dans notre culture » Citation tirée du texte de David Mumford et Solomon Garfunkel

¹ Solomon Garfunkel est un mathématicien Américain né à Brooklyn en 1943, qui a consacré sa carrière à l'enseignement des mathématiques et notamment à son réaménagement

² David Mumford est un mathématicien Américain né en 1937 à Worth. Il est surtout connu pour son travail en géométrie algébrique puis pour sa recherche en théorie de la vision

ANNEXE 2/ 21 MESURES POUR L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES



Dans un premier temps, ce rapport met en avant l'idée qu'il est nécessaire de renforcer la formation des professeurs des écoles et de mettre l'accent sur la formation des élèves des établissements classés REP (réseau d'éducation prioritaire) et ZEP (zone d'éducation prioritaire). On passe ensuite à une partie intéressante du rapport se focalisant sur la notion de plaisir qui majore le besoin d'apprendre propre à chaque individu. L'idée est de proposer des étapes dans l'apprentissage passant par la manipulation et l'expérimentation, puis la verbalisation et enfin l'abstraction, ceci jusqu'à la fin du secondaire. Le rapport préconise donc de ramener une première phase d'explication beaucoup plus concrète, notamment par le biais de nouveaux outils comme les jeux, ou encore l'élargissement des portails de ressources mathématiques déjà présents sur internet. «*En travaillant les fondamentaux par une approche différente, le jeu contribue lui aussi à la formation mathématique des élèves. Les jeux traditionnels (comme les échecs), les jeux à règles (jeux de cartes, jeux de plateaux pour les petites classes, jeux de l'oie, etc.) et les jeux de construction stimulent le raisonnement logique et contribuent à créer ou restaurer le plaisir de faire des mathématiques (pour l'élève comme pour son professeur). Tous ces jeux sont d'excellents outils pour décomposer-composer les nombres, et pratiquer le raisonnement.* » Citation extraite du texte des 21 mesures, tirée du sous chapitre 5.2, les ressources matérielles. Le texte fait également mention de nouveaux outils pédagogiques à mettre à la disposition des établissements scolaires, pour répondre à ce besoin d'expérimenter des situations qui favorisent l'acquisition des connaissances et leur mémorisation.

Ce matériel pédagogique et sa manipulation permettra l'apprentissage du calcul, des opérations et des formules géométriques. Une liste non exhaustive est proposée, mettant en avant des jetons, des cubes emboîtables, du matériel de base 10, des bouliers, réglettes colorées (utilisée auparavant dans les classes pendant les années 50), des planches à clous avec des élastiques, des mosaïques de formes géométriques, des tangrams¹ ou encore des solides à remplir avec de l'eau ou du sable pour les notions de volumes. Il est également demandé de prévoir du matériel de mesure comme la balance, le mètre ou encore le chronomètre. Tous ces outils d'apprentissage doivent être fournis avec des exemples de mise en œuvre de séance, et devront faire l'objet d'une attention particulière sur les caractéristiques pédagogiques et didactiques ainsi que sur leurs effets sur l'apprentissage des élèves. Le numérique est également mis en valeur dans le rapport, car ses ressources interviennent de différentes manières en mathématiques, et apporte des instruments pédagogiques et didactiques. Il permet entre autres une individualisation des parcours d'apprentissage en proposant des parcours adaptatifs en fonction des besoins de chaque élève, mais aussi la visualisation de certains procédés mathématiques comme en géométrie.

¹ Le tangram aussi nommé « sept planches de la ruse » est un puzzle chinois permettant de mettre en forme des personnages, des animaux ou des éléments divers. Il permet de travailler la logique mais aussi l'originalité créative et la fluidité.

Cette première partie met en avant les difficultés auxquels l'enseignement des mathématiques est aujourd'hui confronté, et les solutions qui tendent à émerger. Elle définit alors le contexte dans lequel mon projet « Math et Ludo » va se définir et marque également sa légitimité. En effet, le collège ne semble pas être mis en priorité dans la réparation de l'enseignement, puisque les problèmes débutent dès la primaire et c'est donc à cet endroit même que de nombreuses mesures vont être prises. En revanche, les collégiens ont tout de même besoin de plus de supports pour apprendre les mathématiques. Ce terrain d'expérimentation représente également de nombreuses forces pour introduire un projet de design: les élèves sont plus matures, plus à même de participer à des expériences et à produire, tout en gardant un certain attrait pour le ludique. Nous allons voir par la suite quelles sont les solutions envisagées aujourd'hui pour proposer de nouvelles démarches d'apprentissages, leurs forces et les champs de possibilités qu'elles ouvrent.



2/ Les solutions d'un problème difficile à résoudre

Bien qu'il soit nécessaire de montrer le contexte problématique dans lequel se trouve l'enseignement des mathématiques aujourd'hui, il est important aussi de montrer que des solutions ont été apportées depuis quelques années déjà pour pallier ces difficultés et redonner le goût des mathématiques aux élèves. Ces initiatives développent différentes pistes de réflexions qui tendent constamment vers les mêmes buts: réconcilier, stimuler ou encore intéresser. J'ai souhaité introduire ces différentes initiatives par le biais d'une construction thématique, qui révèle différentes voies dans lesquelles il est possible d'introduire l'enseignement actuel. Cependant, la plupart d'entre elles ne sont pas appliquées dans le champ scolaire. L'idée alors serait d'en exploiter les forces à travers mon projet « Math et Ludo »



Le jeu au service de l'apprentissage



Et si les maths devenaient un jeu pour apprendre autrement? Il y a plusieurs années de cela, l'idée paraissait inconcevable pour l'Éducation Nationale qui préconisait un enseignement basé sur des méthodes classiques mêlant théorie et exercices. Et puis des nouvelles applications ont fait progressivement leur apparition, mêlant des notions enseignées lors de l'apprentissage avec des aspects bien plus ludiques: coloriage magique sur le principe des opérations simples, jeux de logiques et de raisonnement par le biais de jeu à cases, énigmes. Par leur efficacité, ces nouveaux jeux ont fait mentir l'idée qu'il n'est pas possible d'apprendre en s'amusant...En effet le ludique et le jeu emmènent généralement un artefact qui se substitue au langage mathématique et facilite la compréhension des concepts. On peut comparer ce langage mathématique au solfège: C'est mieux de le maîtriser mais si ce n'est le cas, cela n'empêche pas de jouer d'un instrument ni d'apprécier la musique.

L'avantage de ces supports pour les professeurs, c'est qu'ils sont simples à mettre en œuvre et particulièrement efficaces auprès du public que sont les élèves puisqu'ils se résument souvent à de simples feuilles de papiers servant soit de plateau de jeu, soit d'explication écrite de l'activité. Avec le succès qu'ils engendrent, de plus en plus d'écoles mettent à profit ces jeux lors des cours classiques et des cours d'aide personnalisée, sans pour autant mettre de côté l'enseignement traditionnel sur une base plus méthodique. Le jeu et l'esprit ludique qu'ils engrangent permettent de manière efficace de transmettre des connaissances et de s'entraîner autrement sur les notions apprises en cours. L'expérience provoquée marque inévitablement l'esprit des élèves et ils en gardent un profond souvenir qui pourra leur servir de levier par la suite dans leur scolarité. Le jeu est un champ d'expérimentation considérable pour les designers, qui peuvent avec leurs connaissances, proposer des outils d'apprentissage ludiques et entrer dans cette logique « d'apprendre autrement ».

CRÉER DES UNIVERS D'APPRENTISSAGE

Pour que les enfants envisagent de nouvelles possibilités à travers les mathématiques, la marque TOPLA initiée par une passionnée d'éducation souhaitant apporter une nouvelle méthode de travail basée sur le jeu a fait le choix de proposer des activités éducatives et créatives pour apprendre en partie avec ses mains. Dans cet esprit ludique, la marque Grimm's a créé les « 5 amis des maths », des petits personnages représentant chacun les 5 signes des opérations mathématiques (plus, moins, égal, multiplier et diviser) qui permettent aux enfants de créer leurs propres opérations avec des objets qu'ils auront pu récolter ou leurs petits trésors. Il s'agit de créer un univers de création autour des mathématiques pour que les enfants aient moins d'appréhension face à leur pratique, mais aussi pour leur permettre de créer un lien avec elles. C'est le pari même que s'est lancé le jeu vidéo NAVADRA, plus adapté pour un public adolescent. Il s'agit d'un jeu proposant une expérience mathématique aux joueurs, ponctuée de combats et de quêtes.

Ces trois références¹ marquent une dimension ludique de l'apprentissage des mathématiques. Cela peut paraître surprenant de faire des mathématiques en faisant de la cuisine ou en jouant à des jeux vidéo, et pourtant il s'agit de supports particulièrement parlants pour les enfants, qui leur permettent entre autres d'avoir une application concrète des mathématiques ou bien de jouer avec elles et de créer un rapport moins conflictuel. Ces exemples s'accordent à différents âges, des petits jusqu'à l'âge de l'adolescence, et il est en mon sens important de réfléchir aux supports les plus adaptés en fonction de l'âge que l'on souhaite viser.

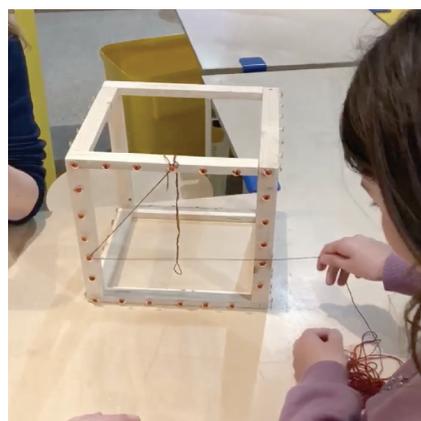
En effet, pour les plus jeunes, de nombreux jeux en bois sont proposés (abaques, puzzle ...), un matériau permettant une meilleure appréhension au toucher que le plastique, ainsi qu'un travail plus poussé sur les formes et les couleurs, engageant une relation plus rassurante pour les enfants avec ces objets. Pour les plus âgés, les jouets de petite enfance sont mis de côté pour des supports d'activités sous forme de cartes à jouer ou de plateaux de jeux, des supports engageant plus de réflexion et leur permettant de se détacher des supports de manipulation pure. Concernant la thématique des jeux vidéos, elle répond à un besoin de plus en plus présent des enfants de manipuler les outils connectés et de s'immerger dans un univers différent dans lequel ils évoluent chaque jour. Ces trois exemples marquent également une complexification des outils en fonction de l'âge, ainsi qu'une forme de dématérialisation. Bien évidemment, il existe de nombreux autres supports qui préservent cet apprentissage par la manipulation d'objets simples, mais cela se raréfie pour un public plus âgé comme les adolescents. Dans le cadre scolaire, l'apprentissage est prodigué à un groupe, et le support numérique devient vite compliqué à gérer dans cette situation. Je pense qu'il est important de travailler sur des outils pédagogiques ludiques et manipulables, en créant un univers d'expérimentation proche des élèves de cet âge et qui leur parle.



LE JEU, MOTEUR DE MOTIVATION ET DE DÉVELOPPEMENT INTELLECTUEL

Le jeu pédagogique a de nombreux avantages et est mis en avant par de nombreux experts en sciences de l'éducation et en psychologie. En permettant de varier les apprentissages, il rend les élèves plus actifs et facilite leur compréhension, leur concentration et leur mémorisation. Les élèves s'approprient ainsi plus facilement les faits, les concepts et les mécanismes qu'ils rencontrent à travers ces jeux, et la part de hasard qui est provoqué atténue le sentiment de crainte de l'erreur et de l'échec. Lors de mes études de terrain et de mes entretiens avec des professeurs, j'ai pu appréhender avec eux cette notion de jeu dans l'apprentissage des mathématiques et mieux comprendre les enjeux qu'elle soulève. J'en propose un résumé¹ qui définit clairement le jeu comme un nouvel outil d'apprentissage pertinent au collège, en permettant aux élèves de retrouver différemment les notions qu'ils étudient en cours et d'être davantage stimulés dans leur travail. Pour ma part, j'ai eu l'occasion de réaliser une activité au vaisseau mettant en confrontation mathématiques et tissage. L'objet prenait la forme d'un cube agrémenté sur ses arêtes de numéro de 1 à 76. Une suite d'opérations simples étaient énoncées aux élèves et ceux-ci devaient enrouler le fil autour du numéro ou du chiffre correspondant à la bonne réponse. Cet enchaînement qui prenait la forme d'un tissage leur faisait apparaître une forme géométrique. Le simple fait d'utiliser les mathématiques pour faire apparaître quelque chose à la fin de l'activité a semblé plaire à la plupart des élèves.

Dans un cas, j'ai pu travailler avec une jeune fille qui avait beaucoup de mal avec les mathématiques et notamment le calcul mental. Elle m'a fait comprendre qu'elle n'aimait pas du tout les mathématiques mais qu'elle voulait cependant finir l'activité comme les autres pour voir la forme finale. J'ai senti une réelle motivation chez elle et cela m'a montré que le blocage peut parfois être dépassé si on peut concevoir la finalité de son travail et y aboutir. Dans mon cas personnel, la finalité était la solution des exercices que je réalisais et cela constituait pour moi une réelle motivation mais je comprends que chez certains élèves, il en faut peut-être davantage pour les convaincre de persévérer.



Le Mathissage, expérimentation réalisée au Vaisseau le 16 novembre 2018

ANNEXE 1/ TROIS JEUX, TROIS UNIVERS

Les différentes activités manuelles et mathématiques de la marque TOPLA visent à proposer aux enfants d'utiliser les mathématiques pour créer diverses choses, comme la conception de cookies ou la création de petits modules en papiers par le biais de pliages mathématiques. Par exemple, l'activité « mes marques pages géométriques » de la marque propose un kit composé de feuilles d'origamis, de petits accessoires et d'un guide pas à pas qui explique aux enfants comment réaliser ses marques pages en autonomie et qui leur permet de comprendre les mathématiques qui se cachent dans les pliages. L'intérêt de ce dispositif, c'est qu'il engage la pratique de la matière de manière manuelle, visuelle et ludique, avec la création d'éléments qu'ils pourront utiliser par la suite dans leur quotidien. La notion de fabrication et de conception est judicieuse, puisque les mathématiques sont réellement utilisées dans la production d'objets et de dispositifs. Apprendre aux enfants à utiliser les mathématiques à travers ce prisme leur permet ainsi de mieux comprendre leur utilité dans leur environnement quotidien. Les supports simples proposés par TOPLA permettent aux enfants de s'approprier entièrement les activités, de les comprendre et de les pratiquer de manière autonome. Toujours dans une optique d'apprentissage, la marque tend à suivre les évolutions du programme de mathématiques pour répondre au mieux aux besoins des élèves et leur permettre de comprendre certaines notions qu'ils n'auraient pas forcément saisies en cours, ou tout simplement les travailler différemment. On est loin des opérations à résoudre sur les cahiers d'exercices.



Deux activités proposées par la marque TOPLA, cuisine mathématique et marques pages en origami mathématiques

En parlant d'opérations, la marque GRIMM'S a imaginé les « 5 amis des maths », des petits personnages en bois peints qui incarnent les 5 signes opératoires. Séduisant par leurs formes rondes et leurs couleurs pastel, ils ont été imaginés pour donner le plaisir aux enfants de calculer, et les aider à compter par exemple leurs petits trésors trouvés dans la nature. L'idée ici n'est pas tant de leur apprendre à calculer mais plutôt d'offrir une forme de personification des mathématiques aux enfants pour qu'ils puissent les considérer comme des compagnons de voyages et créer un univers de jeux avec elles. Cette notion d'univers est également interrogée par le jeu vidéo Navadra, un jeu ludo-éducatif qui souhaite refaire découvrir le côté ludique des mathématiques. Les créateurs se sont inspirés de certains jeux vidéo connus (Dofus, World of Warcraft) pour créer un univers de jeu où le joueur incarne un personnage qui va se lancer dans des quêtes épiques et combattre des ennemis en résolvant des petits exercices de mathématiques. Au fur et à mesure de sa progression, le joueur apprendra à maîtriser les 4 éléments : l'Effort, la Concentration, la Créativité et la Logique. L'intérêt de cette référence est l'univers créé autour du thème des mathématiques. Le joueur effectue des exercices et progresse tout en étant immergé dans un monde ludique répondant aux intérêts des jeunes d'aujourd'hui.



Les 5 amis des maths imaginés par la marque GRIMM'S

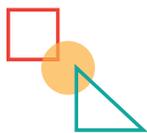


Page d'accueil du jeu NAVADRA

ANNEXE 2/ ENQUÊTE DE TERRAIN JEUX MATHÉMATIQUES AU COLLÈGE

Au cours de mon entretien avec Thomas Billard, professeur de mathématiques au collège Jacques Twinger, nous avons axé notre discussion autour des jeux mathématiques qu'il réalise en cours d'aide personnalisée avec ses élèves. Il s'agit de temps de cours obligatoires proposés chaque semaine à l'ensemble des élèves de 6^e. Il est intéressant de savoir que chaque collège peut proposer un projet d'aide personnalisée différent. Le collège Twinger situé dans le quartier Poteries a fait le choix d'orienter ces cours d'aide sur le principe des jeux mathématiques, à différents moments de la semaine en fonction des professeurs. Dans le cas de Thomas, ceux-ci sont fixés le mardi après-midi et se composent de différents jeux mettant en avant la motricité fine (géométrie par le pliage et les patrons) et la résolution de problèmes divers. Thomas est en partie à l'origine du projet et il a pu suivre des cours de jeux mathématiques durant sa formation à Nantes qui lui ont permis de prendre connaissance de différents supports, en plus de ceux proposés sur les plateformes éducatives. Il m'explique que le classement en REP de son collège justifie l'intérêt de faire des jeux mathématiques avec les élèves notamment avec ceux qui présentent des difficultés et qui ne sont pas particulièrement scolaires. Pour lui, les jeux sont aussi une manière d'appréhender autrement les notions vues en cours et de faire progresser les élèves: « Généralement on a une base, celle du travail en classe, et on voit ce qui a fonctionné. En fonction de comment ça touche les élèves, on va aller plus loin en fonctionnant par niveau. Par exemple on a le niveau 1 qui est un niveau assez simple. Si les élèves réagissent bien, si ils s'en sortent, alors là normalement on va proposer la même chose mais en allant plus loin ou en proposant des activités plus compliquées ». L'idée n'est donc pas d'apprendre de nouvelles choses mais plutôt d'appréhender autrement les notions vues en cours en fonctionnant par activités évolutives, ce qui permet aux élèves de mieux s'y retrouver.

Cette logique est également appliquée par les aides scolaires formées par le CAPI. Dans le cas de Françoise Pavard enseignante spécialisée que j'ai interrogée à ce sujet, les élèves en difficultés qui sont suivis sont issus du cycle 3 (CE2-CM1-CM2) et pratiquent également des activités évolutives sous forme de jeux. Il s'agit avant toutes choses de revoir des notions qui ne sont pas acquises par les élèves et qui leur seront nécessaires à leur entrée au collège. Par le principe d'évolution, des aptitudes sont validées et les élèves progressent davantage qu'en cours classique. Ce constat est également perçu pour les élèves de Thomas: « *Souvent je vois une notion en cours, de manière assez traditionnelle à tracer des activités, des introductions, donc des choses assez classiques en soit, et derrière en AP j'essaie de trouver des jeux en rapport avec ceux qu'on a vus avant. Ça leur permet d'une part déjà de s'entraîner, de s'exercer, de travailler la notion, et le fait de le faire de façon ludique, comme ils sont plus intéressés et qu'ils se motivent alors ils retiennent mieux. Quand on évalue après, ça apporte une plus-value quand ils font des contrôles derrière, parce qu'ils se souviennent de ce qu'on a fait en jeux, ils se souviennent de ce qu'ils ont fait avant et ceux qui s'investissent, qui s'exercent bien, correctement, ça permet d'améliorer leurs résultats* ».



Outre le fait de faire progresser, c'est surtout la motivation qui est visible pendant ces temps. En prenant la forme de jeu, l'apprentissage est perçu très différemment par les élèves qui n'ont pas réellement l'impression de travailler. Ils abordent alors la matière de manière plus décontractée, en ayant conscience qu'il n'y aura pas de production écrite ni de notes à l'issue du cours. Pour Thomas, il s'agit même de temps particulièrement agréables pour ses élèves: *«C'est un autre rapport, ils aiment bien ces heures-là parce que, voilà, on s'amuse tout en faisant des maths, ça leur permet de passer un bon moment en AP, ils sont toujours contents de venir (...) Ils sont un peu fainéants aussi, et là ils savent qu'ils peuvent s'investir et que derrière on va pas leur demander de faire un devoir, quelque chose qui soit noté donc ils s'investissent davantage en AP qu'en cours normaux»*.

Cela fait seulement quatre ans que Thomas propose ces cours d'aide sous la forme de jeux mathématiques. Rapidement, il a pu faire la distinction entre l'avant et l'après, notamment sur le plan de la motivation de ses élèves et concernant les capacités de réflexion et de mémorisation, plus efficaces par cette méthode. En effet, la notion de mesure de l'efficacité de la forme d'apprentissage est primordiale. Elle prend généralement la forme d'indicateurs quantitatifs ou qualitatifs qui comparent l'avant et l'après: *«Même s'il n'y a pas de traces écrites, ils arrivent à retenir, il n'y a pas forcément besoin que ce soit rédigé ou écrit pour qu'ils mémorisent»*. La forme particulière de ces cours semble également stimuler les plus réfractaires. Ainsi, la participation collective et ludique semble davantage les intéresser et les inciter à s'impliquer. Il n'y a plus de différences de production entre les bons élèves et ceux qui ont plus de mal.

Certaines fois, les professeurs sont confrontés à quelques surprises: *«Des fois on a des bonnes surprises quand on fait des jeux à énigmes. Les élèves qui sont faibles sur les résultats s'en sortent très bien et produisent des choses vraiment intéressantes sur ce type de séances»*. Thomas m'a fait part d'une anecdote portant sur l'un de ses élèves qui éprouvait quelques difficultés en mathématiques. Celui-ci avait réalisé des activités de grilles pendant un des temps de cours d'aide qui lui avaient particulièrement plu. L'élève s'était alors décidé à créer sa propre grille pour son professeur. Pour Thomas, il s'agit d'une réussite: *«Je trouvais ça super sympa parce qu'au final, il avait tout compris, il s'était approprié le jeu, il s'était investi»*. Placer l'élève au centre du processus de création des énoncés est un postulat intéressant car cela semble lui permettre de s'approprier les choses qu'il a pu apprendre et comprendre, et ainsi leur donner un sens et une finalité.

Bien que le jeu constitue un véritable outil de travail, il n'en a pas moins qu'il ne peut à lui seul diffuser l'ensemble des notions à apprendre en cours. Pour ma part, je souhaite préserver l'aspect ludique à travers mon projet, sans pour autant réaliser uniquement des supports de jeu. En effet, certaines de mes expérimentations relèvent effectivement du jeu, comme c'est le cas du Mathissage mais d'autres s'aventurent davantage dans «l'expérience mathématique», et suivent de plus en plus cette logique. Ainsi, le jeu comme support d'apprentissage ouvre de nombreuses possibilités mais ne constitue pas une voie dans laquelle je souhaite me lancer. Il s'agirait plutôt de proposer des supports pédagogiques, ludiques, qui engagent l'utilisation des mathématiques et leur appropriation d'une autre manière que celle proposée en cours.



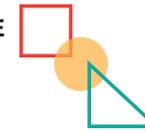
La force de l'expérience et de la manipulation

Selon Elena Pasquinelli¹, chercheuse en philosophie et en sciences cognitives, l'enseignement des sciences aux enfants doit reposer sur l'investigation. L'idée est de laisser l'enfant faire ses expériences et exploiter ses capacités de raisonnement, tout en l'accompagnant avec un plan pédagogique et un objectif précis. La chercheuse s'est davantage focalisée sur les sciences cognitives, des sciences qui se penchent sur la description, l'explication et la simulation des mécanismes dans le cas de la pensée humaine. A travers ses observations et ses expérimentations avec les élèves, elle s'est rendu compte que ceux-ci avaient un matériel naturel et des capacités précises pour faire des sciences. En revanche, même si la science est naturellement inscrite, elle nécessite un effort constant à fournir pour dépasser les limites de la cognition scientifique. Ainsi, pour apprendre les sciences, il est important de connaître les mécanismes du cerveau humain qui permettent d'apprendre. C'est dans cet esprit que l'apprentissage par l'expérimentation est devenu une véritable force dans l'éducation.

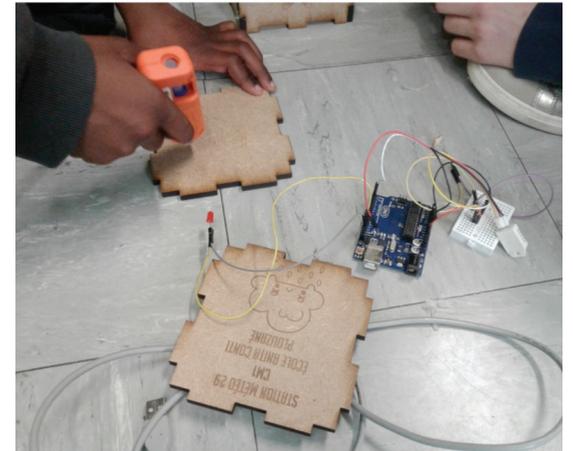
La fondation « la main à la pâte² » à laquelle la chercheuse appartient s'est penchée sur la question de l'expérimentation dans l'apprentissage des sciences, et tend à accompagner les professeurs enseignants ces sciences afin de permettre chez les élèves le développement de l'esprit scientifique, de nouvelles capacités d'expression et la compréhension du monde. La fondation propose d'ailleurs un ensemble d'outils pédagogiques sous forme de fiches visant l'ensemble des cycles d'apprentissage et portant sur différentes thématiques allant de la planète terre à la structuration de la pensée et à l'enseignement de la science informatique. L'ensemble de ces outils sont établis dans le milieu scolaire et font émerger de nouvelles manières d'apprendre.

¹ Elena Pasquinelli est une chercheuse italienne en philosophie qui mène des recherches au sein de l'Institut d'études de la cognition, à l'école normale supérieure de Paris. Elle expose d'ailleurs sa réflexion sur les sciences cognitives dans son ouvrage : Du labo à l'école : science et apprentissage, rédigé en 2014 sous les éditions Le pommier, et montre que leurs études est particulièrement importante pour comprendre les mécanismes d'apprentissages des enfants .

ANNEXE 1/ LA MAIN À LA PÂTE



La main à la pâte est une fondation créée en 2011 par l'Académie des Sciences, les Écoles Normales Supérieures de Paris et de Lyon . Il s'agit d'un laboratoire d'idées et de pratiques innovantes cherchant à améliorer la qualité de l'enseignement des sciences à l'école et au collège. Proposant des aides variées aux professeurs, elle crée des supports pédagogiques visant à faire découvrir les sciences de façon plus vivante et accessible par le biais d'expérimentations ludiques. Son équipe est constituée d'une trentaine de personnes dont les compétences tournent autour de l'expertise scientifique, didactique et pédagogique des sciences, mais aussi de la gestion de projets et des nouvelles technologies. Dans le cadre du collège, de nombreux outils pédagogiques sont proposés, axés principalement sur les sciences physiques, les sciences de la vie et de la terre, ainsi que les sciences humaines mais aussi quelques-uns sur les mathématiques. On peut ainsi fabriquer en classe une station météo en travaillant sur la conception d'un thermomètre électronique, ou bien s'amuser à programmer un jeu d'arcade. Ces outils sont proposés généralement en format numérique, avec des activités en ligne à réaliser, ou encore des explicatifs d'activités à réaliser en classe. Le tout repose donc essentiellement sur des documents pensés pour proposer une expérience d'apprentissage différente, basée sur l'expérimentation et la fabrication d'éléments visant à mieux faire comprendre aux élèves les sciences expérimentales et certains phénomènes fondamentaux qui les caractérisent.



Phases de conception d'une station météo, Ecole Publique Anita

IMMERSION AU VAISSEAU

Mais si les sciences de la terre ou physiques sont dominantes dans cet exemple, les mathématiques ont plus de mal à trouver leur place dans cette optique d'expérimentation. Il faut alors sortir du champ scolaire et se rendre dans des centres de médiations scientifiques comme le Vaisseau de Strasbourg. Il s'agit d'un centre faisant la promotion des sciences, de la culture scientifique et des techniques d'une manière ludique et éducative, tout en montrant aux différents publics la richesse et la diversité des lois physiques, mathématiques ou encore biologiques présentes dans notre environnement.

En effet, la connaissance des lois de la nature permet d'expliquer les phénomènes naturels, ainsi que de les prévoir. Tout au long de l'année, il propose des animations menées par une équipe d'animateurs à travers des dispositifs et objets fabriqués par leurs soins avec l'aide de techniciens, mais aussi de nombreux éléments d'expositions mis à la disposition des visiteurs qui peuvent les appréhender par le toucher et la manipulation. Une règle d'or est émise : « Il est interdit de ne pas toucher ».



LOG'HIC² du vaisseau, espace se concentrant sur la pensée logique, le raisonnement et les mécanismes de résolution de problèmes



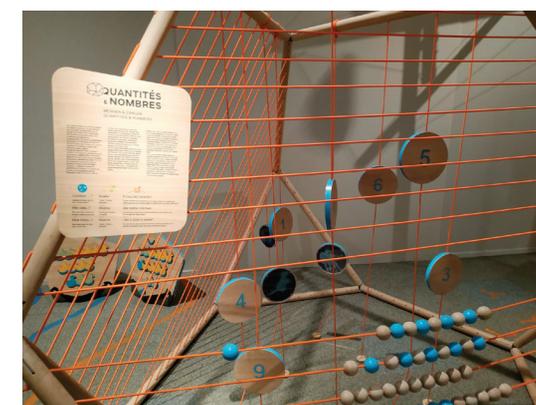
Espace «Je fabrique» du vaisseau, avec une structure permettant aux enfants de comprendre les méthodes de travail appliquées sur les chantiers

Je me suis intéressée de plus près au LOG'HIC², une des expositions thématiques du vaisseau qui se focalise sur la pensée logique, aux raisonnements et au mécanisme de la résolution de problèmes, autant d'outils qui servent à la compréhension des mathématiques. L'espace comprend de nombreux dispositifs à manipuler, placés à des points stratégiques. En effet, le vaisseau a fait le choix d'une scénographie particulière, basée sur la représentation d'une île : la première partie correspond à celle par laquelle on entre dans l'espace et représente la mer des mathématiques exposant des dispositifs mettant en avant certaines notions abstraites des mathématiques (le théorème de Pythagore, le mètre cube). Nous pénétrons ensuite dans la forêt des mathématiques, présentant un ensemble de tables et d'assises reprenant les codes de l'arbre et proposant des activités réflexives, logiques qui se travaillent individuellement. Viennent ensuite les cabanes des mathématiques, des structures qui regroupent un ensemble d'activités mettant en avant des notions de bases en mathématiques comme les grandeurs, les formes et les quantités. Sur un mode ludique et interactif, cette scénographie propose de sensibiliser le jeune public aux formes géométriques, au vocabulaire et aux concepts mathématiques, de leur donner le goût de l'observation, de la recherche et de l'expérimentation. Tout est imaginé pour donner l'envie aux enfants de manipuler ces dispositifs. Le bois est souvent de mise, et permet une plus grande durabilité des dispositifs ainsi qu'une meilleure appréhension au toucher. Les couleurs choisies sont vives et attirent le regard des visiteurs. De manière inconsciente, ils appréhendent des notions qu'ils rencontreront plus tard dans leur parcours scolaire et développent des compétences propices à la compréhension des cours dans le futur.

Si de nombreuses pièces sont issues de commandes à des fournisseurs extérieurs, Le Vaisseau a fait le choix depuis peu d'engager un jeune designer, Alain Froelicher, pour produire de nouveaux supports d'animations pédagogiques¹. L'idée était de créer un lien entre animateurs, techniciens et savoir-faire de design, pour produire des supports à la fois séduisants, facilement appréhendables et présentant un discours parfaitement construit.



Espace de la forêt des mathématiques

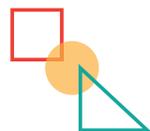


Cabane des mathématiques pour comprendre la notion de quantité

¹ cf Annexe la place du designer dans les centres de médiations scientifiques

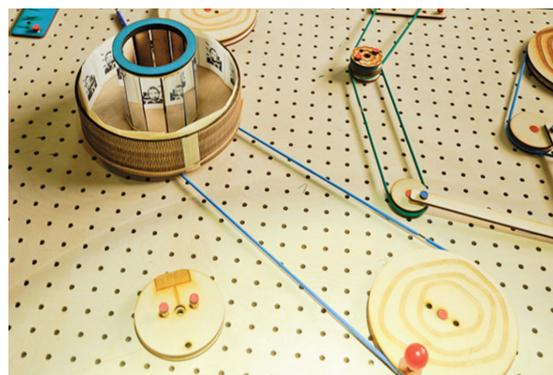


ANNEXE 2/ LA PLACE DU DESIGNER DANS LES LIEUX DE MÉDIATIONS SCIENTIFIQUES



Lors de mes visites au Vaisseau, j'ai pu rencontrer différents acteurs, animateurs, membres de la direction mais aussi Alain Froelicher, un designer récemment embauché pour travailler sur les supports d'exposition en prenant en compte les intuitions et les connaissances des animateurs, ainsi que les besoins des visiteurs. Dans son cas, son travail est motivé par son envie de proposer des outils aux enfants, afin qu'ils puissent s'appropriier le monde de demain qui selon ses dires sera « plus le leur que le nôtre ». Le métier de designer est cependant difficile à définir dans le centre de médiation scientifique, et Alain souhaite avant toutes choses que les différents services travaillent davantage ensemble pour proposer des dispositifs complets. Une force dont nous connaissons nous-mêmes l'importance dans notre formation à L'IN SITULAB puisque nous avons eu l'occasion de travailler en groupes pluridisciplinaires lors de notre première année d'étude. Cette méthode de travail nous a permis d'exploiter les compétences et les forces de chacun, tout en mettant l'utilisateur au centre de nos processus de recherches. Bien que son travail de designer se définisse progressivement, Alain a décidé de proposer une activité encore aujourd'hui en développement dans le cadre de la «Mini Maker Faire»¹ de Strasbourg, qu'il souhaiterait par la suite intégrer au vaisseau. Intitulé « les ateliers roues libres », il s'agit d'un dispositif de mécanique permettant de générer des dessins, des images animées mais aussi des partitions musicales à partir des tracés.

L'ensemble est pensé pour proposer l'expérience d'un outil mécanique dont le fonctionnement est rapidement compréhensible et appréhendable par petits et grands. Majoritairement fabriqué en bois, il est mis en forme par découpe laser et les engrenages sont reliés par des élastiques. Bien que la mise en œuvre soit rapide, les éléments ont été imaginés pour renvoyer une image particulièrement séduisante, qui donne envie de s'approprier le système, de découvrir les différentes possibilités qu'offrent les engrenages et leurs agencements.



Éléments de mécanique composants «les ateliers roues libres»

¹ La Mini Maker Faire de Strasbourg est un événement phare de la culture du DIY et du bricolage qui propose un ensemble d'ateliers, de conférences d'animations sur le temps d'un week end. Ouvert au grand public, il propose de découvrir les travaux de passionnés de technologies, d'artisans, industriels, étudiants qui mettent en avant de nouveaux modes de consommation fondés sur le développement durable, par la valorisation de matériaux ou encore le partage de connaissances par l'open sourcing

Le collège, c'est le début des expériences en physique chimie et en SVT. On manipule, on provoque les phénomènes pour mieux les comprendre et les expliquer. Et si cela était possible aussi pendant les cours de mathématiques? Bien évidemment, il est impossible de faire des mathématiques avec des tubes à essais ou des microscopes... Il faut chercher l'expérience ailleurs. L'idée serait de travailler sur des outils permettant de fabriquer l'expérience en utilisant les savoirs des élèves, imaginer par exemple avec eux des dispositifs qu'ils pourront par la suite utiliser ou s'approprier. Afin d'illustrer cette orientation de projet, il m'est nécessaire de parler de ma dernière expérimentation proposée au collège Érasme le 28 février 2019. Celle-ci consistait à effectuer le tracé d'un terrain de tennis football dans la cour avec des outils de géométrie géants. L'idée était de leur faire utiliser d'une manière concrète les mathématiques, avec l'aboutissement d'un projet qui serait ensuite utilisable par tous les élèves. À travers cette expérimentation, il y avait bien sûr la découverte et la manipulation, avec ces outils géants pour lesquels on cherche une fonction, mais aussi l'utilisation de l'outil et la pratique des mathématiques: on cogite pour trouver l'ensemble des mesures, on fait des calculs... Enfin, on apprend à travailler en groupe et à s'écouter, s'aider, réfléchir ensemble et construire un élément qui servira par la suite.



Quand objets et explications font la paire



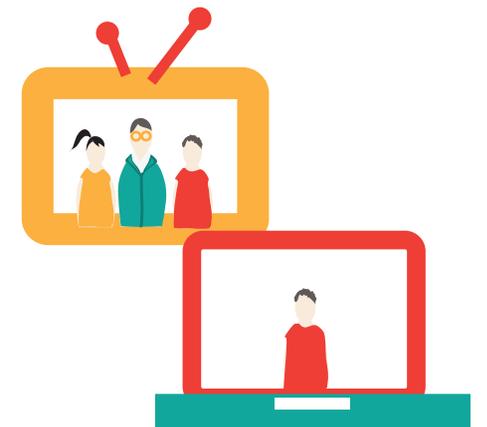
Jérémie est en classe de 4^e. Comme tous les jeudis matin, il commence sa journée par deux heures de mathématiques avec Madame Pelletier, et comment dire... c'est un peu difficile pour lui de débiter sa journée par son cours. D'ailleurs, il connaît déjà la chanson : « Sortez vos cahiers, nous allons corriger les exercices que vous aviez à faire, ensuite nous écrivons une partie de cours dans votre cahier puis nous nous entraînerons sur les nouvelles notions apprises ». Comment ne pas tomber dans la monotonie si les mathématiques se résument constamment au même schéma, parfaitement mesuré, jamais dans le renouveau et continuellement dans cette sombre suite logique des exercices, corrections, cours, exercices, correction, cours... Jérémie aimerait du changement, des cours plus vivants... Mais comment expliquer les mathématiques autrement ?

Les cours de mathématiques nécessitent une part d'explications et de répétition pour faire comprendre aux élèves les notions qu'ils abordent tout au long de leur scolarité. Malheureusement, il est très souvent question d'une énonciation de textes à recopier machinalement dans les cahiers, auxquels il est nécessaire de se référer par la suite lorsque l'on souhaite résoudre les exercices. Pourtant, il ne s'agit pas là de l'unique méthode possible pour enseigner aux enfants. En dehors de l'univers scolaire, certains ont fait le choix de l'explication oralisée associée à une démonstration visuelle.

DE L'OBJET À L'ÉCRAN

Ainsi, l'émission de télévision « C'est pas sorcier »¹ diffusée depuis quelques années déjà sur France 3 s'applique à vulgariser les sciences, en suivant une logique particulière : offrir une immersion dans divers lieux (usines, laboratoires ou encore lieux historiques) en soulevant différentes questions auxquelles une réponse est par la suite offerte par le biais de maquettes et de supports animés. L'émission propose un juste équilibre entre une explication théorique et une démonstration par le biais d'objets, permettant de mettre des images sur des concepts parfois abstraits ou difficiles à appréhender sans visuel, et ainsi de mieux les comprendre. Dans le contexte des mathématiques, des youtubeurs se sont lancés dans la folle aventure de la vulgarisation des mathématiques. C'est le cas de Micmaths² (Michael Launay), un mathématicien engagé dans une explication nouvelle des mathématiques, avec une approche non scolaire, ludique et accessible à tous. Dans ses vidéos, il explique par le biais d'outils fabriqués ou récoltés par ses soins des notions parfois compliquées à comprendre, mais qui prennent une toute autre dimension une fois que l'on s'immerge dans sa présentation décalée et parfaitement illustrée. Sa force réside dans ses nombreuses connaissances qu'il tend à rendre beaucoup plus simples par des outils facilement compréhensibles.

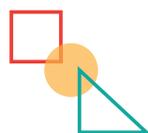
Tout comme « C'est pas sorcier », un équilibre est recherché entre explications et démonstrations. Ces médias sont particulièrement novateurs, car ils s'insèrent dans le cadre quotidien des foyers grâce à la vidéo et donc sur les écrans, de plus en plus exploités par les jeunes. Elles mettent en lumière des notions parfois très théoriques ou abstraites, et font démentir l'idée que les sciences et les mathématiques ne sont pas accessibles à tous. Chaque vidéo ou émission nous laisse découvrir quelque chose de nouveau, souvent surprenant ou captivant, ce qui peut motiver certaines personnes à aller plus loin dans la réflexion, ou tout simplement attendre avec impatience la prochaine diffusion. La vidéo est une ressource non négligeable qui peut être un outil considérable pour les établissements scolaires afin d'introduire une notion et captiver les élèves. Cependant, d'autres ont fait le choix de partager leur savoir en direct, tout en préservant cette parfaite alchimie entre explications et démonstrations visuelles.



1 cf Annexe c'est pas sorcier

2 cf Annexe Micmaths

ANNEXE 1/ C'EST PAS SORCIER

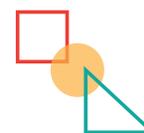


« C'est pas sorcier » est une émission télévisuelle française de vulgarisation scientifique diffusée initialement sur la chaîne France 3 de 1993 à 2014. Si elle vise davantage un jeune public, l'émission demeure un support d'explication intéressant pour les plus âgés. J'ai ainsi eu l'opportunité de retrouver Fred, Jamy et Sabine, principaux protagonistes de l'émission lors de mon cours de technologie de BTS sur la fabrication du plastique. L'émission mêle parfaitement explications théoriques et démonstrations visuelles en appliquant un schéma intéressant: Frédéric Courant (Fred) et Sabine Quindou se rendent directement sur le terrain, en visitant des usines, des laboratoires ou encore des monuments historiques, tout en rencontrant et en interviewant des spécialistes. Ils introduisent ainsi des questions auxquelles Jamy Gourmaud se devra de répondre dans son camion-laboratoire. Celui-ci apporte ses réponses par le biais de maquettes et d'expériences animées qui permettent de visualiser correctement les notions abordées. Les maquettes se manipulent très facilement, et Jamy peut donc actionner des leviers, enlever des pièces et les replacer, ou encore déclencher un bouton pour provoquer un mouvement tout au long de son discours. L'ensemble devient particulièrement ludique et captivant, tant et si bien qu'on aimerait presque posséder les supports didactiques. Ceux-ci sont d'ailleurs réalisés par l'animateur avec l'aide d'un maquettiste professionnel. Innovante à l'époque de sa création et véritable support pédagogique, l'émission a reçu le 7 d'or de la meilleure émission éducative en 1999 puis celui de la meilleure émission pour la jeunesse en 2001.

Elle a également été nommée dans la catégorie de la meilleure émission éducative en 2003. Bien qu'elle ne soit plus diffusée aujourd'hui, il existe de nombreuses vidéos disponibles sur youtube via une chaîne légale et gratuite. L'émission se concentre sur un ensemble de sciences, allant de la physique à la santé en passant par les sciences humaines, technologiques ou encore économiques.



ANNEXE 2/ MICMATHS



Micmaths de son vrai nom Michael Launay est un mathématicien français, rendu célèbre par ses vidéos youtube de vulgarisation des mathématiques. S'il s'est lancé dans cette aventure, c'est par volonté de diffuser sa passion à un large public et de casser les codes d'un apprentissage qu'il juge trop théorique et insuffisamment intégré dans des applications concrètes. Il propose donc un ensemble de vidéos sur un ton décalé et ludique, en se reposant sur des objets fabriqués par ses soins comme des dés en papier, ou encore des objets trouvés en brocantes. Par exemple, si vous voulez comprendre la suite de Fibonacci, vous pouvez le faire avec Mic maths et sa démonstration avec des escaliers. Michael Launay offre une nouvelle image des mathématiques, plus accessibles et sympathiques, mais engage également une nouvelle méthode d'apprentissage. Pour expliquer les différentes notions qu'il aborde, il s'applique constamment à employer des termes simples, qu'il illustre en même temps avec des objets et des éléments visuels trouvés au fur et à mesure de ses recherches. Il explique systématiquement cette logique, en veillant à laisser du temps entre chaque explication pour nous permettre de nous approprier les informations dévoilées.



Vidéo de Micmaths sur « la face cachée des tables de multiplications », <https://www.youtube.com/watch?v=-X49VQgi86E>



Vidéo de Micmaths sur la fabrication de Cubes et tétraédres étoilés en papier, <https://www.youtube.com/watch?v=jTXnG6p7NY0>

DE LA MÉDIATION SUR LA PHYSIQUE QUANTIQUE

Julien Bobroff, physicien et vulgarisateur français a pendant de longues années travaillé sur la physique quantique et plus précisément la supraconductivité. Aujourd'hui, sa réflexion se porte davantage sur la transmission de ses savoirs à tous. Car si le physicien maîtrise parfaitement son sujet, il concède que le fait de transmettre ses connaissances à un large public n'est pas forcément une chose particulièrement aisée, surtout si l'explication utilise des termes complexes. Pour ce faire, il a engagé un travail avec des designers de différentes spécialités (graphisme, produit) pour créer des supports d'explications de la physique quantique aux élèves du collège et du lycée. Ceux-ci ont été pensés pour montrer de manière simple et visuelle des phénomènes physiques et par la suite faire rentrer plus facilement le public dans une explication plus conceptuelle. Pour Julien Bobroff, les scientifiques de manière générale doivent apprendre à transmettre leurs savoirs, mais aussi à montrer leurs recherches au grand public, afin de démystifier cette image de la science « trop théorique-trop abstraite-trop complexe ». Sa conviction repose sur le fait que si les chercheurs, même les meilleurs tendent à faire ce travail seuls, ils vont inévitablement échouer et vont avoir du mal à créer un outil de vulgarisation qui fonctionnera bien. Les designers au contraire savent très bien faire cela, mais ne pourront pas le faire non plus seuls puisqu'ils ne sauront tout simplement pas quelle physique et quelle technicité prendre en considération.

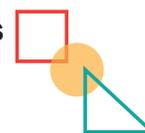
Il est donc primordial pour le scientifique d'adopter une démarche pluridisciplinaire en collaboration avec des experts en design avec lesquels ils essaieront de trouver une technique de travail commune afin de construire une nouvelle manière d'expliquer la physique à un large public. Dans cette logique Julien Bobroff a créé avec l'aide du designer Alexandre Echasseriau¹ « Physics Circus »², une mallette composée de divers éléments en bois reproduisant une scène de cirque et permettant de mettre en avant le phénomène physique et surprenant de la supraconductivité. Il a également initié un travail avec des étudiants de l'ENSCI et de l'école Estienne pour proposer des visuels³ et des objets matérialisant des phénomènes de physique quantique. La force des outils créés avec cette initiative repose inévitablement sur le rapport étroit entre design et sciences, qui se nourrissent l'un et l'autre. Les résultats en plus de permettre une compréhension aisée des sujets expliqués sont également séduisants et donnent envie d'aller plus loin dans l'explication des phénomènes. Si la physique quantique est ici l'objet de recherche, il faut savoir qu'elle a été pendant longtemps mise hors de portée du grand public étant donné sa complexité. Les mathématiques elles-mêmes peinent à trouver des supports de vulgarisation, et il est alors intéressant de se pencher sur cette pluridisciplinarité entre design et recherche mathématiques. En travaillant avec des professionnels, qu'ils soient chercheurs ou professeurs, le design pourra inévitablement proposer des outils offrant un discours fiable et parfaitement appréhendable par le public.

¹ Alexandre Echasseriau est un designer industriel implanté à Paris ayant pour objectif d'accompagner les acteurs de la vie économique dans des projets innovants en pratiquant des regards croisés entre art, science et savoir-faire traditionnels.

² Annexe Physics circus

³ Annexe l'équation de Schrödinger

ANNEXE 3/ PHYSICS CIRCUS

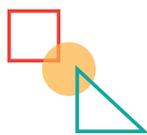


Physics Circus est une mallette en bois mise à disposition des médiateurs et des professeurs dans laquelle on retrouve un ensemble d'éléments permettant de fabriquer un cirque miniature, mais aussi des aimants et de l'azote liquide. C'est là que la magie opère. En reprenant les mots du physicien, la supraconductivité apparaît dans de nombreux métaux à basse température. Lorsqu'il devient supraconducteur, le métal se met à conduire le courant de façon parfaite sans aucun échauffement. Si un aimant est approché d'un supraconducteur, celui-ci va générer des courants électriques qui repoussent l'aimant et vont faire léviter l'objet tout en le maintenant accroché à distance. Ainsi, les petits animaux proposés dans le cirque une fois remplis d'azote liquide et approchés d'un aimant se mettent à léviter comme par magie. L'objet est particulièrement séduisant et facile à appréhender d'autant plus qu'il met en lumière un phénomène physique intrigant. On ne peut que se demander par la suite comment celui-ci est possible et vouloir aller plus loin dans la réflexion. C'est là même que tout l'enjeu de l'objet réside : provoquer l'envie de comprendre, en proposant un outil séduisant, fascinant et facile à appréhender. Si Alexandre Echasseriau s'est intéressé à la supraconductivité et a donc initié un projet avec Julien Bobroff, il n'est pas le seul designer à avoir travaillé sur la médiation scientifique. On peut ainsi mentionner Pinaffo-Pluvinage, un duo de designers travaillant sur des projets issus de narrations qui tendent à montrer la technologie sous un autre angle. Les dispositifs proposés mêlent jeu et expériences pour provoquer l'engagement du public dans la manipulation de phénomènes et stimuler leur imaginaire. Par exemple, leur projet Noisy jelly propose de fabriquer des sujets en gélatine colorés qui lorsqu'on les touche produisent un son particulier, permis par un fin travail de circuit électrique.



Démonstration de Physics-circus

ANNEXE 4/ L'ÉQUATION DE SCHRÖDINGER



Si on se concentre de nouveau sur le travail de Julien Bobroff, le physicien a souhaité travailler avec des étudiants des écoles ENSCI et Estienne pour proposer des supports visuels permettant de mettre une image sur certains aspects difficiles à comprendre de la physique quantique, ou tout simplement expliquer les démarches de recherches des scientifiques. Ainsi, on peut retrouver dans l'ensemble des travaux proposés par les étudiants des illustrations présentant de manière simplifiée les recherches d'un physicien et son quotidien de chercheur, ou encore une animation autour de Schrödinger et son équation. L'équation semble tout simplement impossible à comprendre tel quel, mais les étudiants en ont proposé une interprétation, en remplaçant chaque signe par un personnage animé. Par exemple, on retrouve dans l'équation $2m$, correspondant à deux fois une masse. Les élèves ont donc fait le choix de représenter ce terme par une balance sur laquelle sont posés deux personnages de Schrödinger. L'ensemble de l'animation permet alors de décortiquer chaque terme de l'équation et de mieux en comprendre sa finalité



L'ensemble de ces références montrent à quel point une démarche explicative, primordiale dans l'enseignement des mathématiques est d'autant plus riche qu'elle repose sur des supports visuels, permettant de mettre des images sur des notions théoriques et abstraites. Les exemples cités ne sont pas réellement proposés au collège, mais plutôt dans l'environnement quotidien (C'est pas sorcier, Micmaths) ou dans un niveau supérieur (Julien Bobroff et la supraconductivité). Cependant, ils montrent à quel point le support visuel emmène plus facilement le public dans l'explication, le stimule, l'intéresse, mais surtout lui fait comprendre. Math et Ludo ne vont pas réellement porter sur la production d'outils qui serviront seulement à illustrer les propos des professeurs, puisque je souhaite me pencher davantage sur la pratique même des mathématiques, plutôt que l'explication. En revanche, il est primordial pour moi d'étudier cette piste de réflexion dans mon mémoire, puisque l'explication constitue une part importante des cours de mathématiques, et qu'il est nécessaire de comprendre les méthodes efficaces pour emmener un public particulier dans des explications parfois très théoriques. Car si l'élève va être amené à pratiquer les mathématiques différemment qu'en cours, il sera nécessaire de lui expliquer la démarche qui lui sera proposée et de lui donner envie d'y entrer. L'enjeu pour moi ici est de travailler en contact direct avec les élèves et les professeurs, pour leur proposer des outils pédagogiques qu'ils pourront s'approprier parfaitement. En mêlant mon savoir-faire à leurs connaissances et leurs pratiques, nous parviendrons à un résultat qui je l'espère sera à la hauteur de leur espérance et de leurs besoins.



Nouvelles pédagogies nouveaux outils



Bien que l'enseignement des mathématiques soit vivement remis en question aujourd'hui, des nouvelles pédagogies et méthodes d'apprentissage ont progressivement vu le jour dans les établissements scolaires et tendent à proposer de nouvelles manières d'apprendre. Elles reposent généralement sur des observations et des études menées auprès des élèves pour comprendre leurs mécanismes d'apprentissage et leur proposer par la suite des méthodes et outils plus adaptés. Historiquement, les pédagogies nouvelles s'opposent directement aux pédagogies dites traditionnelles, qui se concentrent sur un apprentissage par l'écoute du professeur et des entraînements par exercices.

À l'inverse, les pédagogies nouvelles se veulent plus libératrices, en permettant à l'élève de mener ses propres démarches de recherches et de communiquer directement avec ses camarades. Le professeur ne joue plus le rôle de modèle mais celui de facilitateur dans la construction du savoir des enfants, mais aussi de leur vie sociale.

LA PÉDAGOGIE MONTESSORI, ENTRE AUTONOMIE ET CONSTRUCTION PERSONNELLE

À la fin du XIX^{ème} siècle, la pédagogie Montessori naît des observations et des découvertes de Maria Montessori, une médecin et pédagogue italienne à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle. Elle se définit en plusieurs points essentiels : sa mission première est d'aider l'enfant à se construire pleinement et de manière autonome. Il est l'acteur de sa propre vie, responsable de ses propres gestes. Les outils sont donc constamment pensés dans cette logique d'autonomie. Après avoir observé pendant un certain temps des enfants issus de milieux culturels variés, Maria Montessori s'est rendu compte que tous les enfants sont pourvus de capacités universelles et que lorsqu'ils évoluent dans un environnement spécialement adapté, ils sont davantage concentrés et présentent un meilleur contrôle d'eux-mêmes. En outre, l'individu agit par lui-même pour apprendre, parce qu'il est motivé par une curiosité naturelle et l'amour de la connaissance. Il est donc important de cultiver cette envie d'apprendre chez les enfants. Maria Montessori a donc initié la création d'activités destinées à les aider dans leur développement, reposant sur un matériel et une mise en situation précise. Dans un premier temps, l'environnement d'apprentissage prôné par la pédagogie doit être adapté et répondre aux besoins de l'enfant d'apprendre par lui-même. Ainsi, il est nécessaire de proposer un espace ordonné permettant l'indépendance et la liberté de mouvement des élèves.



Maria Montessori avec un groupe d'enfants dans un classe à Londres, dans les années 1940



Aménagement d'une classe adaptée à la pédagogie Montessori.

Au-delà de la dimension spatiale, le matériel est imaginé pour que son utilisateur puisse s'auto-corriger. Cela est possible par différents procédés. Par exemple, dans les jeux de cartes, le bon positionnement des cartes peut être vérifié avec des gommettes sur le verso. D'autres dispositifs proposent des supports de vérification. L'idée est d'éviter la stigmatisation de l'erreur, et de permettre à l'élève de comprendre qu'il peut se tromper. En outre, les différents dispositifs sont pensés pour être utilisés dans les écoles et lors d'ateliers, ce qui engage une diffusion considérable de la méthode, et une appropriation de la part des pédagogues et des professeurs. Les éléments sont souvent réalisés en bois colorés, afin d'établir un lien particulier avec les enfants qui leur donne envie d'utiliser le matériel, tout en préservant une logique de pérennité.

Aujourd'hui, elle est enseignée dans des centres de formation et il existerait près de 35000 écoles Montessori dans le monde dont 110 en France reconnues par l'AMF (Association Montessori de France). Les outils pédagogiques suivant la méthode d'enseignement proposée par Maria Montessori sont pensés pour accompagner les différentes périodes sensibles de l'enfant, en respectant son rythme d'apprentissage. Par exemple, en mathématiques, les enfants peuvent apprendre les principes de la numération avec des barres en bois peintes, qui permettent de matérialiser les unités. Les enfants peuvent replacer ces barres dans une boîte dédiée à cet usage, et comprendre que le chiffre 4 est plus petit que le chiffre 5 et plus grand que le chiffre 3, grâce aux variations de tailles.

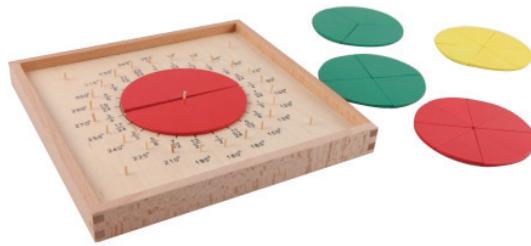
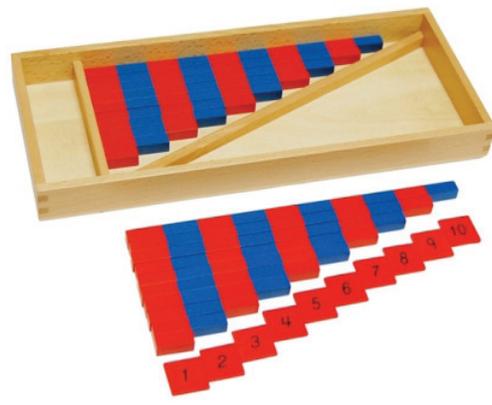


Tableau des fractions, présentant un rapporteur marqué par des secteurs allant de $1/2$ à $1/8$, ainsi que des pièces en bois représentant des fractions

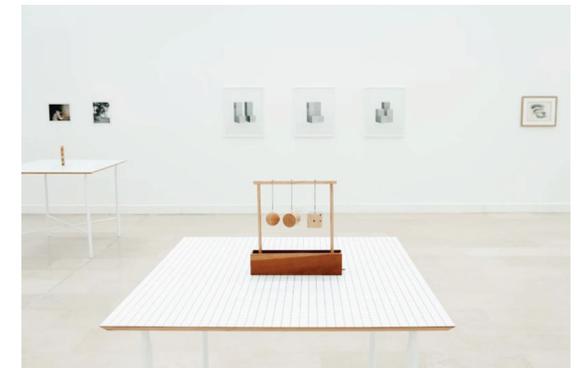


Cubes en bois colorés pour comprendre les principes de la numération.

DU KINDERGARTEN À L'EXPOSITION

Avant cela, le pédagogue allemand Friedrich Fröbel a initié la création d'un matériel de jeu popularisé dans le monde entier au XIX^e siècle, orienté vers la petite enfance. En 1840, il crée un établissement scolaire nommé jardin d'enfants (Kindergarten) dans lequel les élèves sont amenés à jouer avec un matériel riche nommé matériel d'occupation. Celui-ci est constitué de «surfaces» (plaques en bois, surfaces en papier à découper ou plier), de «lignes» (petits bâtons, jeux de fils, lattes...) de «points» (perles, boutons), mais aussi de solides appelés «dons de Froebel». Parmi eux, on peut ainsi retrouver une boîte contenant 8 cubes. Quand l'enfant la secoue, il sent qu'il y a tout un petit monde qui dense à l'intérieur, et pourtant quand il l'ouvre, le parfait rangement des pièces donne l'illusion qu'il n'y a qu'un seul et même cube. Il peut alors les séparer pour réaliser des constructions et des structures diverses, afin de prendre plaisir à la création par le biais de formes géométriques. Le travail de ce pédagogue Allemand a fortement influencé celui de l'artiste Aurélien Froment, qui à travers son projet *Fröbel Fröbeled*, propose la description du projet de Friedrich Fröbel et pose la question de notre regard aujourd'hui sur ces objets pédagogiques. Au cours de son investigation, Aurélien Froment s'est focalisé sur la reconstruction des objets, afin de comprendre les sentiments véhiculés par les formes, leur dimension créatrice. Par la suite dans leur exposition, il a ajouté une dimension physique et tactile, qui était si chère au projet d'origine de Fröbel. Comme il le précise *«C'est, à ma connaissance, l'une des rares fois où les objets sont exposés un peu dans un entre deux, c'est-à-dire qu'ils ne sont ni derrière les vitrines, inaccessibles, ni rendus tout à fait disponibles comme un jeu»*. Bien que le visiteur soit autorisé à toucher les objets présentés, l'artiste est intéressé par le fait que la possibilité de toucher induit un certain nombre de questionnement de la part du spectateur: a-t'il envie de toucher les objets, de les manipuler ?

Cela laisse alors à chacun la possibilité de construire sa lecture et sa relation avec les objets présents. L'exposition présente ainsi une reproduction d'outils de la pédagogie allemande mais aussi des éléments documentaires et photographiques qui permettent une multiplicité objective de points de vue sur les formes choisies.



Photographie et installation extraits de l'exposition *Fröbel Fröbeled* présentée à la Villa Arson de Nice du 13 avril au 9 juin 2014

LA MÉTHODE SINGAPOUR: APPRENDRE ÉTAPES PAR ÉTAPES.

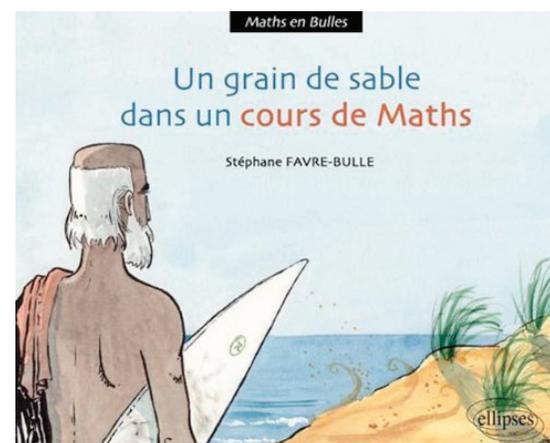
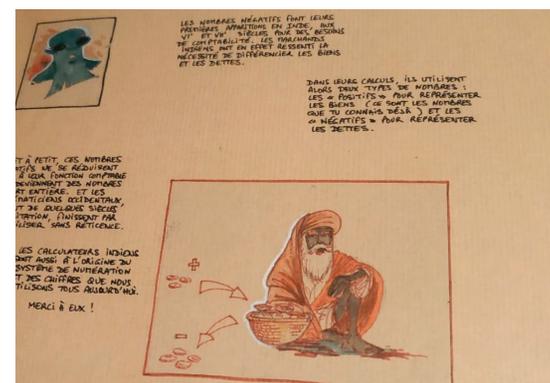
Dans une autre logique d'apprentissage, une méthode a été développée par une équipe de professeurs en mathématiques à Singapour, enseignant la matière à travers différentes étapes d'apprentissage. Les élèves partent d'une approche concrète en passant par la manipulation et la schématisation puis vont progressivement apprendre à représenter de manière abstraite ce qu'ils auront appris, et le verbaliser. Ces étapes permettent d'amener de manière efficace les différentes notions à étudier. Bien que cette démarche prenne du temps, elle permet à l'élève d'assimiler correctement les notions apprises, de les maîtriser et donc d'aller plus vite par la suite dans son apprentissage. La méthode repose sur un matériel simple composé de jetons, de cubes et de petits matériels, étant donné que la phase de manipulation bien que nécessaire ne doit pas prendre trop de temps dans l'apprentissage. À la manière de la pédagogie Montessori, le professeur doit laisser ses élèves se débrouiller seuls, après avoir montré plusieurs exemples pour que les enfants assimilent bien le système et puissent le faire à leur tour.



Étape de manipulation dans une classe employant la méthode Singapour, avec des cubes colorés imbricables

IL ÉTAIT UNE FOIS LES MATHS

Faire de l'Histoire en mathématiques, cela paraît invraisemblable. Et pourtant, c'est sur cette nouvelle voie que se sont lancés plusieurs professionnels, pédagogues, professeurs ou encore chercheurs. À travers leur histoire, les mathématiques prennent une toute autre dimension, plus humaine et ancrée dans les réalités. En cherchant à enseigner leur apparition au cours de l'histoire de l'humanité, l'idée est de montrer qu'elles ont été un véritable outil dans des domaines très variés, de l'architecture à la comptabilité en passant par l'art. L'histoire permet de redéfinir les contextes d'utilisation des différentes notions que les élèves abordent en classes, d'en découvrir les origines, de s'imprégner dans leur développement et de créer un imaginaire lié aux mathématiques. En utilisant l'histoire des mathématiques comme nouvel outil pédagogique, Stéphane Favre Bulle¹, un professeur de mathématiques est parvenu à mêler son attrait pour le dessin et la matière en créant des bandes dessinées pour ses élèves. « Un grain de sable dans un cours de maths » fait partie de ses ouvrages, et retrace l'histoire de Sybille, une élève de 4ème éprouvant des difficultés en maths et de son professeur. Sybille rencontre alors un génie, qui lui explique avec des exemples concrets les notions qui lui posent problème. Par exemple, les nombres relatifs apparus avec la comptabilité indienne, afin de déterminer les bénéfiques et les pertes. Si Stéphane Favre Bulle a engagé ce travail, c'est surtout pour l'utiliser comme support d'apprentissage dans ses propres cours, afin de permettre à ses élèves d'utiliser des supports plus visuels, et de comprendre l'intérêt des mathématiques dans leur environnement quotidien mais aussi au travers de l'histoire de l'humanité.



Extrait et couverture de l'ouvrage de Stéphane Favre Bulle: Un grain de sable dans un cours de mathématiques, Ellipses Marketing, 6 mars 2012, 192 pages, collection Maths en Bulles.

¹ Stéphane Favre Bulle est un professeur de mathématiques et illustrateur Français. Son travail de roman graphique est né de son amour pour les histoires qu'il raconte à ses enfants et les cours de mathématiques qu'il dispense à ses élèves.

L'ensemble de ces exemples marquent des nouvelles méthodes d'apprentissages et d'enseignements en mathématiques à l'école. Bien qu'ils ne se concentrent pas tous sur le collège, les réflexions sur lesquels ils reposent sont particulièrement intéressantes et méritent qu'on s'y attarde. Je retiens essentiellement le fait que l'autonomie proposée par la pédagogie Montessori permet aux élèves de se faire leur propre expérience avec la matière mais aussi de ne pas ressentir de crainte face à l'erreur et à l'échec, deux facteurs qui rappellent le sont sources de stress et de découragement chez les élèves. La méthode Singapour s'attarde davantage sur des étapes dans l'apprentissage, dont la manipulation fait partie et permet d'introduire les notions abordées en cour. L'enseignement des mathématiques au collège ne peut être totalement remaniée, mais proposer à certains moments de cours des étapes de manipulations et d'expérimentations réelles peut être une idée intéressante à exploiter. Enfin, les ouvrages de Stéphane Favre-Bulle s'immerse dans l'imaginaires des élèves, et passent par l'histoire pour raconter et expliquer la discipline. Ce qui m'intéresse beaucoup dans sa démarche, c'est la dimension d'univers crée. Les élèves sont plongés dans un univers fictifs dans lequel ils rencontrent des éléments du réel, à la fois actuels et anciens. L'histoire semble être un excellent moyen de les faire rentrer dans un discours plus théorique.



3/ Les mathématiques un outil au service des arts

Par définition, tout processus créatif repose sur un but, qui est celui de changer ou détourner le connu pour en apprécier le profit que sa transformation apporte. En soit, la créativité permet de mettre à profit nos capacités et notre vécu afin de construire et de mettre en œuvre un concept neuf, un objet nouveau ou de découvrir une solution originale à un problème. Pour certain, elle présente un excellent moyen de prodiguer la motivation, car elle définit un objectif vers quoi tendre, et donc la réussite d'un projet. Dans l'apprentissage des mathématiques, la motivation semble remise en question par ce manque de créativité, empêchée par le fait que l'élève se soumet progressivement à la restitution directe du cours qu'il aura appris, et à l'application de la méthode de son enseignant. Or dans la résignation, il n'y a pas de motivation, et on subit inévitablement la solution apportée. La créativité ne peut être mise de côté et doit être intégrée dans l'apprentissage, puisqu'elle permet à l'élève de prendre confiance en lui, mais aussi d'être plus enclin à apprendre et à être actif dans le processus. Lors de mon entretien avec Thomas Billard, professeur de mathématiques au collège Jacques Twinger de Strasbourg, nous avons mentionné cette notion de créativité à travers le cas d'un élève, qui avait initié la création d'un jeu pour son

professeur, tant il avait apprécié le principe. Au-delà de comprendre, il s'est de lui-même approprié le procédé, et a engagé la création de son jeu personnel. Il n'y avait rien de plus gratifiant pour Thomas que son élève restitue avec intérêt de lui-même ce qu'il avait compris. Si je m'aventure sur cette question de la porosité entre mathématiques et arts. Dans cette thématique, j'ai souhaité me pencher sur les arts plastiques et la danse, deux disciplines qui illustrent l'usage des mathématiques dans le corps et dans la réflexion. Le collège est un lieu où l'on travail les arts plastiques et les activités sportives. Ils sont dispensés dans des lieux qui permettent aux élèves de sortir de leur quotidien « d'apprentissages purs » et de se libérer: gymnase, cour de récréation, terrains extérieurs... Tant d'espaces propices à la libération du corps et de la créativité. Relier l'apprentissage des mathématiques et leur usage à ses autres matières apporterait semble il une nouvelle manière de les visualiser, mais aussi de se les approprier et de créer un autre rapport avec elles. L'idée serait alors de sortir de la salle de classe où l'enseignement traditionnel prend place pour aller vers d'autres espaces proposés par le collège.

«Mathématiques plastiques»



De nombreux artistes dans le monde des arts plastiques se sont appropriés les mathématiques sous diverses formes, parfois de manière inconsciente ou bien totalement volontaire. Si elles ont pu, par les objets qu'elles engendrent, inspirer certains artistes, elles ont aussi fourni pour la plupart d'entre eux les outils techniques qu'ils ont plus ou moins consciemment exploités.

Un domaine a particulièrement employé les mathématiques, celui de la représentation de l'espace, notamment en peinture. Avec l'invention de la perspective, véritable révolution apparue à la Renaissance, cette dernière devient éclatante. Bien qu'elle soit sujet de nombreuses œuvres depuis l'antiquité, elle prend une autre voie pour les besoins des peintres de la Renaissance qui redécouvrent le procédé de la perspective linéaire et en analysent les propriétés géométriques. La perspective n'est pas la seule technique qui est née de l'exploitation des mathématiques. On peut ainsi parler de la fascination pour la géométrie, ou encore de l'utilisation des propriétés de la symétrie, qui ont considérablement aidé à la représentation du réel et ouvert la voie à des « algorithmes » de création. Les mathématiques ont également beaucoup apporté au développement d'un imaginaire particulier : figures impossibles, anamorphoses, et autres transformations ont été au centre d'œuvres ou même de mouvements particulièrement marquants.

Si les mathématiques ont été et sont des outils techniques dans différentes démarches artistiques, il n'en reste pas moins qu'elles ont également été maîtrisées par les artistes au gré de leurs travaux. S'approprier les mathématiques, c'est aussi leur offrir une nouvelle finalité. On ne les subit plus, on les dompte et on leur offre une nouvelle image. On exploite nos connaissances pour les transformer en outils et proposer quelque chose de nouveau. Il serait bien trop ambitieux de faire une présentation complète de la manière dont les mathématiques ont construit le travail de nombreux artistes. J'ai donc choisi de me concentrer sur quelques exemples, présentant des approches potentiellement exploitables dans un contexte scolaire : la magie des mathématiques, pour stimuler les élèves et leur proposer une dimension plus ludique d'un usage de la discipline ; la représentation de l'espace, pour permettre une meilleure restitution du réel et présenter un outil encore utilisé aujourd'hui ; et enfin l'exercice qui devient art, afin d'apporter une nouvelle approche du problème mathématique.

LORSQUE LES MATHÉMATIQUES CRÉENT UNE ILLUSION REMARQUABLE

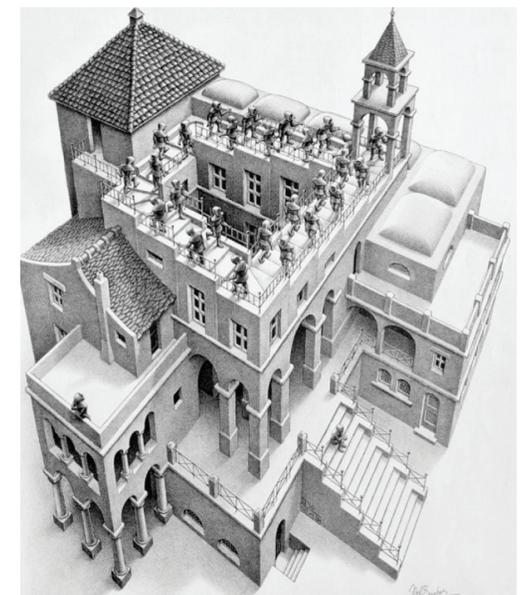
À première vue, rien ne nous laisse penser que l'on peut retrouver une forme de magie dans les mathématiques ou dans l'usage que l'on peut en faire. Et pourtant...

M.C Escher, graveur et dessinateur hollandais s'amusa à créer des univers où l'infini, les paradoxes et la géométrie se mêlent. Afin de développer au mieux son travail, l'artiste s'est appuyé sur la rigueur des mathématiques sans réellement les connaître, et a reçu l'aide d'un mathématicien, H.S.M Coxeter¹, dont l'œuvre géométrique l'a beaucoup inspiré. Il a utilisé les multiples transformations que cet outil peut appliquer à l'univers réel. Parmi ses œuvres, on peut citer de nombreuses figures impossibles en lithographie, usant d'illusion et de logique, pour lesquelles il est important d'observer les moindres détails pour en comprendre le sens et l'impossibilité. Elles illustrent parfaitement la notion de mathématiques visuelles puisqu'elles mettent en exergue un problème de topologie mathématique entre la dimension de la représentation (espace en deux dimensions) et celle de l'objet fictif en trois dimensions. Les mathématiques deviennent alors un outil pour mêler ces deux dimensions et apporter l'illusion. Escher a également exploité le travail de Penrose², un mathématicien et physicien britannique qui a initié la création de quelques figures impossibles, comme un escalier ou un tri-poutre auxquels il a offert son nom.

¹ H.S.M Coxeter: Harold Scott MacDonald Coxeter est un mathématicien britannique né en 1907 à Londres et en 2003 à Toronto. Il est considéré comme l'un des plus grands géomètres du XX^e siècle. Il s'est fait connaître en partie grâce à son travail sur les polyèdres qui sont des objets mathématiques.

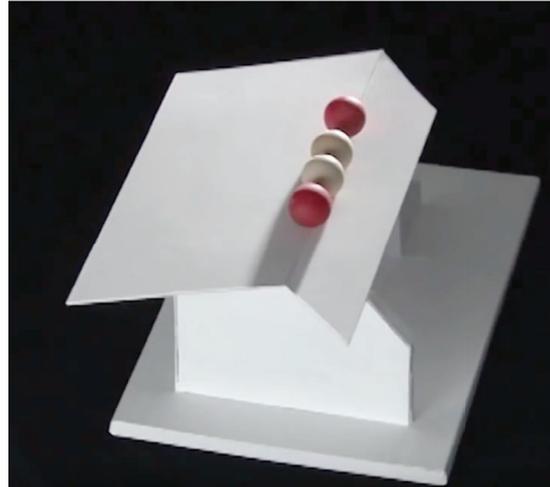
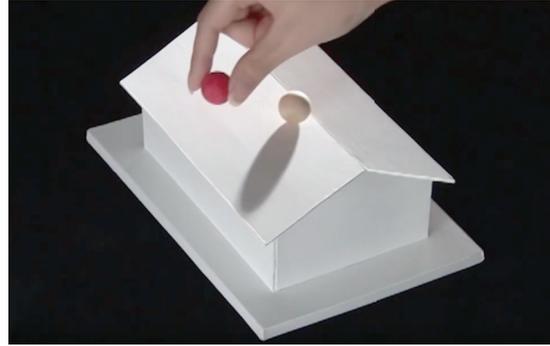
² Roger Penrose est un physicien et mathématicien britannique né en 1931. Il enseigne les mathématiques au Birkbeck College de Londres où il élabore la théorie décrivant l'effondrement des étoiles sur elles-mêmes, entre 1964 et 1973. Il va également travailler avec le célèbre physicien Stephen Hawking sur la théorie de l'origine de l'univers en apportant sa contribution mathématique. En 1974, il publie un article où il présente ses premiers pavages non périodiques : les pavages de Penrose ainsi que certaines de ses figures impossibles comme le triangle ou l'escalier

L'escalier impossible de Penrose se retrouve dans l'œuvre *Montée et Descente* d'Escher, représentant un édifice qui paraît normal au premier coup d'œil. En le regardant de plus près, nous observons des personnages descendant un escalier situé au sommet d'une tour et d'autres qui montent ce même escalier en les croisant. En suivant la file de ces personnages, on constate que l'escalier boucle sur lui-même et ne s'arrête jamais de monter, ce qui est impossible. Tout peut être source de fascination dans le travail de l'artiste : la création d'un univers particulier, la finesse des éléments, la découverte de l'impossibilité et l'envie qu'elle provoque de comprendre comment l'artiste a pu la créer.



M.C Escher, *Montée et descente*, lithographie, 1960, 35.5x28,5 cm, Musée d'art d'Indianapolis

Si Escher est fasciné par les images impossibles, d'autres sont parvenus à exploiter la magie des mathématiques d'une autre façon, notamment par le biais des anamorphoses. C'est le cas de l'artiste et mathématicien japonais Kokichi Sugihara qui crée des illusions en trois dimensions, en plaçant le regard du spectateur sur un point de vue particulier par le biais de petites vidéos. Beaucoup d'artistes ont expérimenté cette technique en partant d'un dessin, mais Sugihara propose un projet bien plus ambitieux, en créant des structures qui vues sous un angle particulier, paraissent tout à fait normales : maison, garage, structure avec des poutre... C'est seulement lorsqu'il fait intervenir un élément extérieur que la magie opère. En effet, comment est-il possible que des billes placées sur le toit de la maison demeurent à son sommet, alors qu'elles devraient logiquement tomber ? La supercherie est mise à nu lorsque l'on change son point de vue, et que l'on comprend que l'artiste, avec une parfaite maîtrise de l'espace et de l'illusion a construit un objet tout autre qui ne ressemble en rien à une maison. Celui-ci est composé d'un ensemble de pièces pour composer les murs, et de deux pans inclinés l'un vers l'autre pour le toit. Le mathématicien par son travail est parvenu à mêler certaines de ses connaissances mathématiques avec une dimension magique et artistique, proposant une nouvelle démarche d'utilisation de la discipline.



Kokichi Sugihara, *Illusion en 3D*, carton

S'APPROPRIER L'ESPACE

Beaucoup d'artistes se sont penchés dans leurs œuvres sur la représentation. Par l'intermédiaire des propriétés géométrico-physiques de cet espace et les formes qui le peuplent, mathématiques et arts entretiennent un lien intime depuis les temps anciens. Ainsi, dans la maison du Faune à Pompéi, une mosaïque a été retrouvée, représentant la bataille d'Issos, opposant Alexandre le Grand¹ au Roi des Rois Darius² en 333 avant J-C. La particularité de cette œuvre réside dans la disposition des lances des soldats, qui convergent toutes vers le même point, principe même du point de fuite utilisé dans la perspective. Beaucoup de questions se sont alors posées face à cette découverte, sans pour autant trouver de réponse claire : l'artiste avait-il construit cette fresque d'instinct, s'était-il appuyé sur des règles de compositions établies par ses prédécesseurs ou avait-il simplement établi de lui-même cette technique ? En effet, Vitruve³, un architecte Romain du premier siècle avant JC avait révélé qu'Agarthaque, qui s'occupait des décors des théâtres de tragédies avait rédigé un traité qui aurait contenu les premiers éléments de la théorie de la perspective. Ces écrits n'ont malheureusement jamais été retrouvés.



Artiste anonyme, *Mosaïque d'Alexandre*, II^e siècle Av. J.-C., Musée archéologique national de Naples

¹ Alexandre le Grand est un roi macédonien né en 356 av. J-C à Pella et mort en 323 av. J-C à Babylone rendu célèbre par ses nombreuses conquêtes, notamment celle de l'empire Perse.

² Darius III Codoman est un roi perse né en 380 av. J-C et mort en 330 av. J-C. Il perd son empire face à Alexandre le Grand lors de la bataille de Gaugamèles en 331 av.J-C

³ Marcus Vitruvius Pollio connu sous le nom de Vitruve est un architecte romain né en 90 av JC et mort en 20 av.JC. C'est de son traité, *De Architectura*, que nous vient l'essentiel des connaissances sur les techniques de construction de l'Antiquité classique.

L'essor de la perspective se manifeste avec la peinture de la Renaissance. Ainsi le Quattrocento Italien qui correspond à notre XVème siècle, est le siècle de la redécouverte de la perspective linéaire et de son étude par les peintres. Celle-ci est obtenue par la mise en place d'un maillage convenable du plan du tableau, dont la construction s'effectue avec des outils de mesures comme le compas ou la règle. On trace alors des lignes convergentes en un point ou plusieurs points de fuite, lignes qui sont dans la réalité parallèles mais qui convergent bien vers un point lorsqu'on les observe de loin. Il s'agit de l'une des formes de la perspective les plus simples à réaliser et à comprendre puisqu'elle est celle qui imite le mieux ce que l'œil voit. Cependant, il en existe d'autres qui sont apparues au fur et à mesure des recherches et des expérimentations des artistes. Par exemple, la perspective de bas en haut est employée dans les œuvres placées en hauteur à l'horizontal du sol. Il s'agit alors de créer un effet de profondeur dans l'œuvre, qui donne l'impression que le plafond se prolonge à l'infini dans celle-ci. Cette technique a notamment été utilisée dans le tableau *Assomption de la Vierge* décorant le dôme de la cathédrale de Parme, réalisé par Antonio Allegri¹. Léonard de Vinci² traite également la perspective dans ses œuvres, et en détermine trois catégories : la perspective avec les lignes et donc la diminution des objets, la perspective d'atténuation des couleurs et enfin la perspective qui diminue les détails dans la profondeur.



Antonio Allegri, *Assomption de la vierge*, 1526-1530, 11mx12m, Dôme de Parme



Léonard de Vinci, *L'annonciation*, 1472, 98 cm x 2,17 m, Musée des Offices, Florence

1 Antonio Allegri da Correggio, dit Le Corrège est né aux alentours de 1489 à Corregio et mort en 1534 dans la même ville. Il est est l'un des grands peintres de la Renaissance de l'école de Parme. Son talent se révèle dans la réalisation de fresques dans de nombreux bâtiments religieux. Il peint également des toiles religieuses dans lesquelles il utilise la technique du clair-obscur, un contraste entre zones claires et zones sombres.

2 Léonard de Vinci est un peintre florentin et homme d'esprit universel du 15ème siècle, né en 1452 à Vinci et mort à Amboise en 1519. Il est considéré comme l'un des plus forts symboles de la renaissance et de la pensée humaniste. Il est surtout connu pour ses peintures et ses inventions très en avances sur son temps.

DU PROBLÈME MATHÉMATIQUE À L'OEUVRE ARTISTIQUE

Dans l'image que nous donnons à l'exercice de mathématiques, il s'agit surtout de la résolution de problèmes à l'aide de calculs ou de démonstrations qu'il faut rigoureusement écrire sur un cahier ou une feuille pour expliquer notre démarche de réflexion et notre raisonnement. Aucune possibilité de dégager une forme de créativité si on y réfléchit bien... Pourtant, certains artistes se sont penchés sur la notion de problèmes et d'énoncés dans leurs œuvres, et ont abouti à une interprétation pour le moins originale. C'est le cas de *Skolem*¹, une œuvre sculpturale réalisée par Jessica Stockholder² et implantée dans les jardins de l'Institut des Hautes Études Scientifiques en région parisienne. Cette œuvre s'est inspirée d'un problème posé par le mathématicien norvégien Thoralf Albert Skolem³, qui posait cette question : est-il possible de placer les nombres de 1 à n régulièrement espacés sur une droite graduée, en deux exemplaires chacun, afin que les deux « 1 » soient espacés d'une unité, les deux « 2 » de deux unités et ainsi de suite ? La sculpture monumentale proposée par Jessica Stockholder reprend ce problème en proposant une aire de jeu composée de pièces géantes et de petits chariots qu'il est possible de déplacer sur des lignes graduées pour résoudre le problème.

Ainsi, l'œuvre transforme le problème d'une manière originale, en le matérialisant à une grande échelle et en permettant aux passants de tenter d'apporter leurs solutions. On peut y voir une forme de vulgarisation, dans le sens où les nombres sont symbolisés par des formes, procédé que l'on retrouve également dans certains outils pédagogiques. Il y a tout de même une logique d'appropriation des mathématiques qui ressort dans cette œuvre d'art, marquant une réelle compréhension du sujet et permettant aux publics de mieux le comprendre.



Jessica Stockholder, *Skolem*, volumes en pierre, béton laiton, acier, bronze, et carreaux de céramique., 2005, Institut des Hautes Études Scientifiques, Bures-sur-Yvette, France

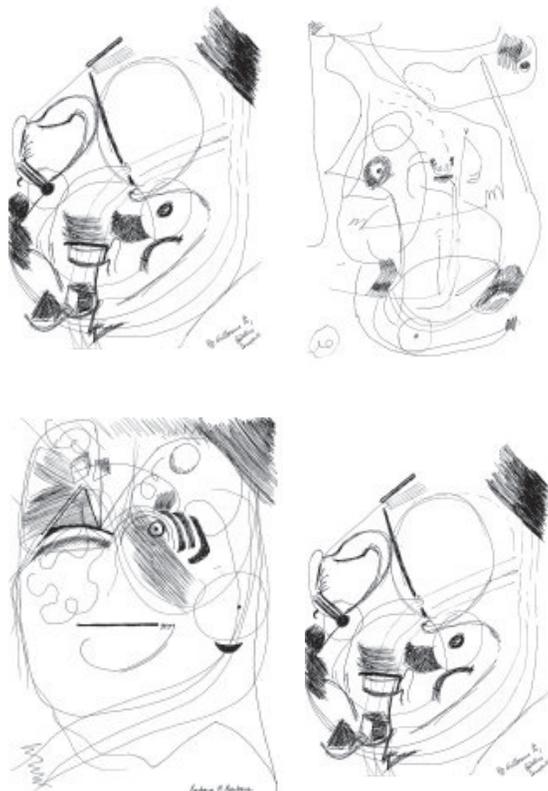
1 cf Annexe Skolem

2 Jessica Stockholder est une artiste sculpteur Américaine née en 1959 à Washington. Elle réalise de nombreuses installations qui tendent à défier les frontières et à brouiller la distinction entre peinture, sculpture et environnement. Celles-ci sont composées d'objets hétéroclites savamment assemblés et unifiés par la couleur.

3 Thoralf Albert Skolem est un mathématicien et logicien norvégien né en 1887 à Sandsvør et mort en 1963 à Oslo. Il est particulièrement connu pour les travaux en logique mathématique et théorie des ensembles qui portent à présent son nom, comme le théorème de Löwenheim-Skolem

SOLUTIONS MULTIPLES

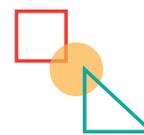
Maintenant, penchons-nous sur une seconde interrogation : et si justement la résolution de l'exercice ne devient plus une fin en soi, mais permet simplement de juger les interprétations que les gens peuvent en faire ? C'est le principe même d'une « Pictée » proposée par Olivier O.Olivier¹, artiste peintre français du 20^{ème} siècle. La « Pictée » est un procédé consistant à décrire une peinture ou un dessin en termes non figuratifs à des participants qui en ignorent la nature. On peut le prendre comme un jeu, dont le but n'est pas tant de reproduire le sujet proposé, mais plutôt de proposer son interprétation personnelle. Elle permet de définir la vision particulière que l'on peut se faire d'un espace défini par une feuille, et de constater les déclinaisons possibles d'un même énoncé, mettant en œuvre une description précise tout en laissant place à une interprétation personnelle. La « Pictée » proposée par Olivier O Olivier décrit au final le portrait d'une jeune fille, avec un jeu de reliefs permis par de nombreuses lignes. Ce procédé met en lumière une nouvelle manière d'appréhender l'énoncé et l'exercice, où l'erreur n'est plus.



Quatre résultats de la pictée de Olivier.O.Olivier.

¹ Olivier.O.Olivier est le nom d'artiste de Pierre Marie Olivier, un peintre français né en 1931 à Paris et mort en 2011 à Merry-La-Vallée. Il se définit en tant que peintre de l'absurde, de la dérision et régent d'oniographie (écriture du rêve) du Collège de Pataphysique, une « société de recherches savantes et inutile ». Il œuvre également pour la création de l'Oupeinpo, un mouvement artistique créé en 1980 dont le but est d'inventer des formes, des contraintes mathématiques, logiques ou ludiques capables de soutenir le travail des peintres et plus généralement des artistes visuels.

ANNEXE 1/ SKOLEM



Skolem est une œuvre architecturale composée de blocs qui s'enchevêtrent sur près de 100m², plus précisément 8 grands volumes de tailles couleurs et matériaux différents reposant sur un quadrillage de céramique, numéroté de 1 à 8, selon un ordre bien mystérieux. Juste à côté, un autre quadrillage composé de 16 lignes dans une direction et 8 dans une autre, avec le long de chacune un petit chariot coulissant dont aucun n'a le même empattement, avec une largeur correspondant à un nombre entier compris entre 1 et 8. Par leur installation, on sent qu'il est possible de déplacer les éléments, sans en connaître véritablement le but et la configuration finale. Cette présence insolite dans le parc de l'IHES s'explique par une histoire particulière, née une dizaine d'années avant « Skolem ». Jean Brette, responsable du département mathématiques du Palais de la Découverte et spécialiste de l'animation mathématique est fasciné par la résolution d'un problème de mathématiques posé par le mathématicien Thoralf Albert Skolem, tant et si bien qu'il décide d'initier la création d'un jeu pour enfants appelé le jeu des cavaliers. Celui-ci présente des pièces en forme de U retourné, dont l'empattement a pour largeur les différents entiers compris entre 1 et n. Il s'agit donc de faire rentrer les pattes des cavaliers dans les trous régulièrement espacés, de manière à ce qu'il n'y ait pas de vide et que les cavaliers ne se marchent pas sur les pieds. Le jeu est un véritable succès auprès des enfants et une envie de consécration émerge chez le directeur de l'IHES. La création de « Skolem » est donc initiée, avec l'aide de Jessica Stockholder, artiste américaine connue pour ses installations et ses structures monumentales.

Le premier quadrillage avec les chariots permet de chercher soi-même une solution au problème. Mais qu'en est-il du second quadrillage et de ces blocs impossibles à déplacer ? Il s'agit en fait de deux solutions au problème proposé, qu'il faut regarder avec précision pour bien les comprendre. En effet, chaque bloc marque une largeur différente : un carreau pour l'un, deux carreaux pour l'autre... et ceci jusqu'à 8. Lorsque l'on regarde les structures dans le sens Nord-Sud, on se rend compte qu'elles représentent un ordre de chiffres qui correspond à l'une des solutions au problème. Il est de même lorsque l'on regarde l'œuvre dans la direction Est-Ouest



Quand les mathématiques se mettent à danser



De la danse de la cour écossaise aux rondes des sardanes catalanes, en passant par les quadrilles corses, les ballets classiques... l'ensemble de ces danses présente une omniprésence des figures géométriques élémentaires comme le cercle ou le carré. Comme le mentionne Véronique Defranoux, ancienne danseuse et assistante du chorégraphe Philippe Découflé¹, « l'idée du cercle conçoit toutes les danses traditionnelles », « le carré est venu briser l'évidence du cercle. » Dans les ballets classiques, un jeu se fait avec des principes de symétrie, en positionnant de manière précise les corps des danseurs sur le plateau, qui vont pouvoir par la suite effectuer des mouvements synchronisés, non sans rappeler le principe du miroir. Le rôle des mathématiques dans la danse classique (et dans la danse moderne, qui conserve beaucoup de ses fondamentaux) n'est pas qu'esthétique, il est aussi pratique.

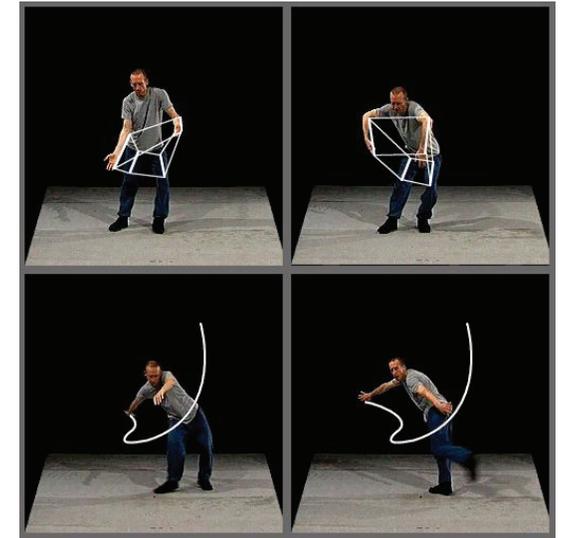
En effet, l'exécution de certains mouvements, comme le grand jeté, où le centre de gravité du corps décrit une parabole, exige du danseur qu'il fasse d'une certaine manière « des maths sans le savoir » pour être optimal. Véronique Defranoux résume les choses ainsi : « Les danseurs ont un imaginaire rempli d'images géométriques, qui va nourrir leur phrasé corporel. »

¹ Philippe Découflé est un danseur et chorégraphe de danse contemporaine né en 1961 à Neuilly sur Seine. Il devient célèbre grâce à la mise en scène des cérémonies d'ouverture et de clôture des Jeux olympiques d'Albertville en 1992. Il a ainsi constitué une compagnie de danse éclectique et inventive, rencontrant un grand succès auprès du public. Fortement influencé par le travail d'Alwin Nikolais (danseur et chorégraphe Américain pionnier dans la réalisation d'oeuvres multimédia), le chorégraphe crée des « spectacles totaux », qui incluent souvent, outre l'aspect chorégraphique, un travail important plastique (costumes, lumières, etc.) ainsi que le recours à la vidéo.

DE LA DANSE À L'ALGORITHME

Je vais me concentrer ici sur un cas particulier, celui du chorégraphe américain William Forsythe¹, qui a développé une réflexion autour de l'usage de la géométrie et des algorithmes dans ses créations chorégraphiques. Dans un entretien accordé en 1998 à l'artiste multimédia Paul Kaiser, il explique comment il se sert des mathématiques dans ses recherches chorégraphiques. Dans un premier temps, il s'agit surtout d'optimiser la création de nouveaux mouvements, travaillés avec des danseurs de formation classique, donc imprégnés de géométrie. Le chorégraphe a analysé leurs connaissances de l'espace, de leur propre corps, et en a tiré des constats intéressants : « J'ai réalisé qu'on leur avait essentiellement appris à suivre des lignes et des formes dans l'espace ». William Forsythe va donc dessiner des points, des lignes, des surfaces, des volumes et des formes géométriques dans l'espace, que les danseurs devront visualiser à leur tour pour les suivre, les relier, les tracer ou encore les éviter. En outre, le corps du danseur est lui-même constitué d'un jeu de points (coude, poignet, épaule cheville...) et de lignes (avant-bras, cuisse...) qu'il va s'astreindre à mouvoir suivant un certain nombre de contraintes de symétrie. Ainsi, de simples lignes ou formes pliées, dépliées, courbées, transformées à l'aide de rotations, de translations... permettront de générer une foule de nouveaux mouvements.

Pour le chorégraphe, il s'agit d'une source inépuisable de réflexions, dont il affirme le caractère quasi automatique en faisant une analogie entre sa méthode et la programmation informatique. Ainsi, le danseur est vu comme un logiciel exécutant un algorithme (la suite d'instructions chorégraphiques) dont le chorégraphe est le programmeur. Une série de vidéos intitulée « Improvisations Technologies » et disponible sur Internet permet, grâce à des dessins en incrustations, de visualiser cette méthode de création.



Quatre mouvements tirés de son travail « Improvisations Technologies », avec ajout de dessins sur l'image.

¹ William Forsythe est un danseur et chorégraphe américain né en 1949 à Manhasset, considéré comme l'un des plus grands chorégraphes contemporains.

Faire des mathématiques avec son corps permet de créer une forme de visualisation de celles-ci, mais aussi de leur donner vie. Elles sortent de leur caractère abstrait pour se manifester dans l'espace, dans les gestes, et font donc l'objet d'une expérience sensorielle, tout en apportant de la matière et un discours particulier à la chorégraphie. Comme le précise Anne Siety dans son ouvrage «*Mathématiques ma chère terreur* », «*les mathématiques sont vécues par notre corps chaque jour, et ce depuis notre plus tendre enfance* ». Si on envisage de relier ces expériences quotidiennes aux mathématiques, pourquoi pas utiliser davantage le corps et ses mécanismes afin de mieux visualiser et comprendre les notions abordées en cours. Cette piste a d'ailleurs été testée en Allemagne par des élèves qui ont créé un cours transversal entre mathématiques, éducation physique et musique. On y apprend à représenter des objets d'une nature abstraite, comme par exemple le chiffre 3 par divers procédés : un groupe de trois élèves, une certaine position du corps ou encore la distance de trois pas. Cette méthode de travail incite l'élève à être créatif tout en l'encourageant à développer ses compétences sociales.

Conclusion

Les mathématiques et leur apprentissage reposent sur de nombreuses problématiques, engendrant une mauvaise image et des sentiments pour le moins négatifs: stress, difficultés, blocages ou encore désintérêt. Cela est d'autant plus préoccupant que les mathématiques constituent un outil essentiel de notre quotidien, de nos plus petites actions aux outils connectés que nous utilisons chaque jour, et rares sont ceux qui en apprécient la recherche ou l'étude, et qui en discernent la réelle nécessité. L'apprentissage des mathématiques se fait essentiellement au sein des établissements scolaires, et c'est à ce même endroit semble-il que nous créons un amour ou un désamour pour la discipline, souvent associé à la compréhension et à la réussite. Bien qu'il fût particulièrement efficace il y a quelques années, cela n'est plus le cas aujourd'hui, et de nombreuses réflexions remettent en question cet enseignement. L'enseignement des mathématiques nécessite donc aujourd'hui de nouvelles voies d'apprentissages qui ne peuvent être initiées uniquement par les membres des établissements scolaires. De nombreuses démarches ont semble-il apporté des éléments de réponses, passant par le jeu, l'expérimentation, des supports plus visuels ou encore la création d'étapes particulières dans l'apprentissage.

Ces dernières sont nées des préoccupations d'experts en pédagogie, de professeurs, de designers ou encore de scientifiques et la pluridisciplinarité qui se dégage dans leurs recherches permet de proposer des offres plurielles, à travers des supports très variés, qui peuvent être retranscrits dans le contexte du collège.

Afin de conserver cette diversité, il est important de préserver la porosité qui peut exister entre les mathématiques et d'autres domaines, comme le design. Cette discipline constitue en effet un véritable levier dans la création de nouveaux supports, qui ne pourront remplir leurs fonctions que s'ils sont réalisés en contact direct avec leurs usagers et les professionnels de l'enseignement. En outre, d'autres domaines sont à prendre en compte, comme la danse ou les arts plastiques, qui se sont servis des mathématiques comme outil de création et définissent de nouvelles manières d'utiliser la discipline et de se l'approprier.

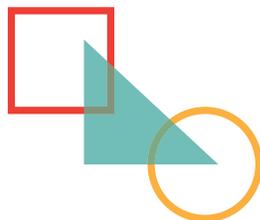
Toute cette diversité ouvre des pistes de réflexions dans lesquelles mon projet « Math et Ludo » peut s'insérer, en imaginant des outils qui intègrent une forme d'appropriation de la part de l'élève et une application directe et concrète de ce qu'ils abordent au cours de leur scolarité. En effet, le manque de motivation des élèves et leurs incompréhensions reposent bien souvent sur des manques d'applications concrètes des notions mathématiques qu'ils étudient. Hors, si on ne comprend pas le principe même de la notion, si on la résume seulement à un théorème, ou à un calcul, comment est-il possible d'en aimer l'apprentissage ? De plus, l'élève a besoin être davantage acteur dans son apprentissage, et de ne pas toujours se soumettre aux informations que son professeur lui apporte. Offrir aux élèves des outils qui leur permettent d'utiliser les mathématiques dans des conceptions particulières leur offrira ainsi la possibilité de prendre possession de la discipline, mais aussi de la pratiquer d'une autre manière. Car il n'y a rien de plus stimulant et de plus efficace que d'apprendre en faisant.

Mon projet se tourne alors vers la production d'outils divers, qui serviront à exploiter « l'outil mathématique » dans la conception d'éléments.

L'idée est de proposer une logique de manipulation, avec un apport d'explications pour comprendre l'utilité, et la finalité recherchée de ces outils, puis pourquoi pas un temps d'appropriation, où chacun devient initiateur d'idées, d'expérimentations, qu'il peut proposer par la suite à ses camarades. Afin d'illustrer cette orientation de projet, il m'est nécessaire de parler de ma dernière expérimentation proposée au collège Érasme le 28 février 2019.

Celle-ci consistait à effectuer le tracé d'un terrain de tennis/football dans la cour de récréation avec des outils de géométrie géants. L'idée était que les élèves utilisent d'une manière concrète les mathématiques, avec l'aboutissement d'un projet qui serait ensuite utilisable par tous les élèves.

À travers cette expérimentation, il y avait bien sûr la découverte, avec ces outils géants pour lesquels on cherche une fonction, mais aussi l'utilisation de l'outil et la pratique des mathématiques : on cogite pour trouver l'ensemble des mesures, on fait des calculs... Enfin, on apprend à travailler en groupe et à s'écouter, s'aider, réfléchir ensemble et à construire un élément qui aura une utilité. Le simple fait de produire quelque chose qui servira par la suite a semblé être une motivation suffisante pour certains, qui se sont très rapidement lancés dans la réalisation du terrain de football/tennis. Si cette expérimentation de tracé de terrain a bien marché, elle n'a cependant pas permis aux élèves de prendre de grandes libertés, étant donné que les dimensions devaient être respectées. J'aimerais aller plus loin dans cette démarche et proposer de nouveaux ateliers de groupes, permettant aux élèves de s'approprier les outils proposés, et de prendre des initiatives.



Mes différentes rencontres et mes nombreuses recherches sur le sujet m'ont permis de voir que le collège est un lieu particulièrement propice à l'accueil de nouveaux outils pédagogiques. En effet, il n'est pas réellement considéré comme un lieu prioritaire dans la rénovation de l'enseignement des mathématiques mais est tout de même soumis à des suggestions dans lesquelles mon projet peut s'insérer (plus de manipulations, proposer des solutions qui permettent aux élèves de renouer avec la discipline...). En outre, les collégiens sont plus matures qu'en primaire, plus à même de produire des choses intéressantes, de rentrer dans une expérimentation. Ils restent tout de même encore sensibles à la dimension ludique, ce qui me permet de conserver cet aspect dans mon projet.

L'envie des professeurs de changer les choses est également parfaitement visible. Ils tentent ainsi d'initier des enseignements innovants mais souvent avec quelques difficultés, d'où l'intérêt d'apporter mon aide et mon regard. Toutes les conditions sont propices au développement de mon projet. Je n'imagine bien évidemment pas chambouler les méthodes d'enseignement, mais du moins apporter mon aide aux envies de changements et aux démarches en cours de développement dans les établissements scolaires, avec mon regard de designer.

« Mes chères mathématiques, je vous ai retrouvées sous un nouveau jour, comme quoi il m'était impossible de vous dire adieu... »





Ce texte est issu d'un travail de rédaction qui imposait l'inclusion d'une vingtaine de mots tirés des projets de la classe entière. Je vous présente ici mon travail qui retrace de manière fantastique l'histoire d'une jeune fille qui va découvrir que la hantise des mathématiques n'est pas irréversible.

Il était une fois une jeune fille répondant au nom de Mathilde, Math' pour les intimes. Elle habitait un petit village reculé dans les montagnes, isolé de toutes agitations urbaines et presque inaccessible. Comme tous les enfants de son village, Mathilde devait se rendre au collège à pied. Au fil du temps, elle avait fini par trouver un petit sentier bien isolé qu'elle avait souhaité garder secret, afin de ne pas être dérangée par les rires et les chahuts de ses camarades. Elle appréciait ce petit moment de calme solitaire, où la forêt était semblable à une sombre mer végétale, où les arbres arboraient dans leurs troncs des figures presque humaines. Mathilde avait une imagination débordante et ressentait le besoin de vivre pleinement ces moments de création cérébrale pour se préparer à ses journées de collègues, qu'elle détestait par-dessus tout. Et il y avait une bonne raison à cela. Une sombre et insignifiante discipline avait fait son apparition dans le système éducatif, une discipline que Mathilde aurait souhaité éviter le plus longtemps possible : les mathématiques. Elle n'y comprenait strictement rien et de toutes manières elle ne voyait pas en quoi on se devait de comprendre quelque chose là dedans ! Le pire pour elle résidait dans l'arithmétique, puisqu'elle rechignait par-dessus tout à calculer quoi que ce soit. Les nombres ne dansaient jamais dans sa tête, ils se mélangeaient, formaient une bouillie infâme. Elle en ressortait constamment chamboulée et dans l'incompréhension totale. Alors qu'elle rentrait péniblement de l'école après une dure journée de combat contre la géométrie dans l'espace qui ne lui avait pas révélé un seul de ses secrets, elle aperçut une étrange lueur entre les racines d'un des arbres de la forêt qu'elle était entrain de traverser.

Elle s'en approcha prudemment et aperçut une brèche, d'où s'échappaient des bribes de voix d'enfants qui semblaient s'amuser.

En voulant tendre davantage l'oreille, elle tomba dans la brèche et s'engouffra dans un très long tunnel où régnait un silence fracassant, presque oppressant. Elle finit par achever sa chute sur un immense tas de...Chiffres ? En règle général on tombe sur des tas de feuilles dans les histoires. Mais plus important, Mathilde ne savait pas du tout où elle se trouvait ! Elle était entourée d'arbres semblables à ceux de sa forêt aux premiers abords, mais qui arboraient fièrement sur leurs branchages non pas des feuilles mais des chiffres, des nombres et des signes. Un sentiment de panique commença à surgir chez la jeune fille, mais il fut vite arrêté par une voix qui s'était élevé juste à côté d'elle :

-C'est quand même bien pratique ces tas de nombres pour amortir les chutes !

Mathilde observa intriguée son interlocuteur et fut frappée par la ressemblance avec sa propre personne. C'était elle tout craché ! mais en garçon.

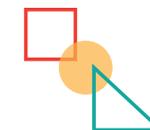
-Qu'est-ce que je fais ici ? lui demanda t-elle d'une toute petite voix.

-Et bien je suppose que si tu es ici, c'est que tu n'aimes pas les mathématiques ! C'est un fait et c'est autrement compréhensible ! les mathématiques c'est ...

-Ludique ! la coupa son interlocuteur. Je m'appelle ludique, mais on me surnomme Ludo ici. Et pour ta gouverne, les mathématiques sont géniales ! J'ignore pourquoi tu ne les aimes pas, mais je vais te prouver que tu as tort de les détester ! Viens, suis-moi ! s'exclama t-il.

Un peu méfiante, Mathilde décida tout de même de suivre Ludo à travers ce nouveau monde dans lequel elle venait de tomber et dont elle ignorait tout. Ils arrivèrent dans un petit village qui ressemblait fortement au siens, mais dont les bâtiments étaient bien plus visuels et chatoyants. Après qu'elle eut bu un bon pichet et qu'elle eut fait le tour des habitants, elle y découvrit une production impressionnante d'outils pédagogiques qui permettaient de mieux comprendre les notions abstraites des mathématiques, des outils qui n'existaient pas dans le monde de Mathilde, mais qui pourtant étaient bien réels dans cette dimension. Ils permettaient de manipuler la discipline elle-même, de là modeler selon ses envies et d'en comprendre pleinement le sens. Ce n'était plus Mathilde qui devait s'adapter à la difficulté, mais les outils qui lui faisaient passer à travers. Le jeune garçon fut tellement conquis par le caractère figuratif des mathématiques permis par tous ces outils qu'elle voulu tous les essayer.

Quand elle eut terminé cette expérience plus qu'enrichissante et instructive, elle se rendit compte que cette discipline tant détestée auparavant était maintenant ancrée en elle. Il n'y avait plus aucun secret qui les séparaient. Mathilde voulut remercier ses nouveaux amis qui lui avaient tant apporté, mais elle se rendit compte que le village et ses habitants s'estompaient à vu d'oeil sous ses yeux, pour faire place à son propre village. Elle venait de retourner dans son monde. Croyant avoir rêvé toute cette aventure, elle ouvrit son manuel scolaire de mathématiques et tenta un exercice. Elle y parvint sans aucune difficultés. Cette aventure lui avait transmis un nouveau regard sur les mathématiques, un regard qu'elle souhaitait transmettre. C'était décidé, elle travaillerait sur de nouveaux outils adaptés à tous pour apprendre autrement les mathématiques. Son projet : Math et Ludo.



Bibliographie



Les rapports entre public et mathématiques

-ESTEBAN Maria.J, «Les mathématiques, un outil indispensable pour l'innovation et les nouvelles technologies», [en ligne], <https://blogs.mediapart.fr/edition/au-coeur-de-la-recherche/article/260214/les-mathematiques-un-outil-indispensable-pour-linnovation-et-les-nouvelles> 26 février 2014.

-PEYRON Olivier, *Comment j'ai détesté les mathématiques*, 27 Novembre 2013

- RIPOSO Julien, « L'importance des mathématiques dans le monde », [en ligne],
><https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/mathematiques-biologie-finance-rencontrent-grace-mathematiques-2030/page/2/>, 22/06/2018

- SIETY Anna, *Mathématiques, ma chère terreur*, Hachette Littératures, 9 avril 2003, 232 pages, Collection Pluriel.

L'enseignement des mathématiques

- COMBIS Hélène, «Comment les petits français sont devenus nuls en maths», [en ligne]
><https://www.franceculture.fr/sciences/comment-les-petits-francais-sont-devenus-nuls-en-maths> 11/12/2017.

- GARFUNKEL Solomon et MUMFORD David, « Comment réparer l'enseignement des mathématiques » pour la revue Commentaire, été 2012, N°138

- ITARD Jean et RASHED Roshdi, *Essais d'histoire des mathématiques*, ERREUR PERIMES Librairie scientifique et technique A. Blanc, 1987, 386 pages, collection Bibliothèque scientifique Albert Blanchard.

- VILLANI Cédric et TOROSSIAN Charles, *21 mesures pour l'enseignement des mathématiques*, Ministère de l'éducation nationale, Février 2018, 96 pages.

Des nouveaux outils pour l'enseignement

-BOBROFF Julien, Les Ernest, Donner à voir la physique autrement, Conférence 5 février 2018.

- FAVRE-BULLE Stéphane, *Un grain de sable dans un cours de mathématiques*, Ellipses Marketing, 6 mars 2012, 192 pages, collection Maths en Bulles.

- FOURNIER Martine, «Maria Montessori. Enseigner autrement», dans Les grands dossiers des sciences humaines, Décembre 2017, N°49, page 24

- JAMET Robin, *Vous avez dit maths ?*, Dunod, 2014, 176 pages

- LAUNAY Michaël, Mic-Math, Chaîne youtube, <https://www.youtube.com/user/Micmaths>

- LAURENTIN Emmanuel, (21/11/2017), «Pédagogies nouvelles», Emission la fabrique de l'Histoire, radio France Culture, France

- LUNEAU Aurélie, (05/03/2015), «Histoire des mathématiques: un nouvel outil à l'école», Émission La marche des sciences, Radio France Culture, France

- PASQUINELLI Elena, *Du labo à l'école, sciences et apprentissages*, LE POMMIER, 24 Août 2014, 340 pages, Collection Essais

- RESWEBER Jean-Paul, *Les pédagogies nouvelles*, Presses Universitaires de France, 2007, 128 pages, collections Que sais je ?

La porosité entre mathématiques et arts

-BARTHE Daniel, «L'art mathématique de M.C Escher», dans Tangente Maths et arts plastiques, Octobre 2005, Hors série n°23

- BRUTER Claude Paul, «Quand le peintre s'approprie l'espace», dans Tangente Maths et arts plastiques, Octobre 2005, Hors série n°23

- COHEN Gilles, «Skolem choc de blocs & chiffres au vent», dans Tangente Maths et arts plastiques, Octobre 2005, Hors série n°23

- FORSYTHE William, «Improvisation Technologies: A Tool for the Analytical Dance Eye», Multimédia CD, 30 Avril 2010

- OCTAVIA Gaël «Danser les maths : la chorégraphie, de la symétrie aux algorithmes», [en ligne]

> <https://www.cijm.org/accueil/articles/536-danser-les-maths-la-choregraphie-de-la-symetrie-aux-algorithmes-par-gael-octavia>

- PRUDHOMMEAU Germaine, «Danse et mathématiques» dans Séminaire de Philosophie et Mathématiques, 1987, fascicule 9 « Danse et mathématiques », p. 1-22

- ZALMANSKI Alain, «Pictée», dans Tangente Maths et arts plastiques, Octobre 2005, Hors série n°23