Influence des outils sur la construction des savoirs relatifs à la géométrie spatiale

Dylann Lamirey

▶ **To cite this version:**

Dylann Lamirey. Influence des outils sur la construction des savoirs relatifs à la géométrie spatiale. Education. 2017. hal-02374514

HAL Id: hal-02374514

https://univ-fcomte.hal.science/hal-02374514

Submitted on 21 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Mémoire

présenté pour l'obtention du Grade de

MASTER

"Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation"

Mention 2nd degré – MATHEMATIQUES

sur le thème

Influence des outils sur la constrcution des savoirs relatifs à la géomètrie spatiale

Projet présenté par

Dylann LAMIREY

Directeur

Étienne TUFEL (Professeur agrégé, ESPE de Franche-Comté Centre de Vesoul)

Co-Directeur

Arnaud SIMARD (Maître de conférence, Université de franche-Comté, Besançon)

Année universitaire 2016-2017

DESCRIPTIF DU MEMOIRE

Champs scientifiques :

Ce mémoire sera l'occasion de rencontrer quelques notions de géométrie spatiale. Nous aurons également l'opportunité d'appréhender et de mesurer la diversité des outils et des artefacts mis à disposition des élèves ainsi que les avantages et contraintes liés à leur utilisation. Nous travaillerons de même sur la diversité des contextes d'apprentissages ainsi que l'appropriation de nouvelles compétences et de nouveaux savoirs. Il sera aussi de circonstance de s'interroger sur l'influence que génère l'utilisation d'instrument sur la construction du savoir, mais également sur la diversité des actions que ces outils suggèrent. Nous éclaircirons le fonctionnement de l'apprentissage en mettant en exergue les principes de schème d'actions, de genèse instrumentale et de zone proximale de développement.

Objet d'étude :

A travers ce mémoire, nous nous intéresserons à la construction du savoir chez l'élève ainsi qu'aux conséquences d'une approche instrumentale dans le développent des compétences relatives à la géométrie spatiale.

Méthodologie :

Après avoir exposé les résultats d'une recherche théoriques du sujet, nous mettrons en place une expérimentation dont nous pourrons analyser le contenu et les aboutissants.

Corpus :

Parmi les articles et les ouvrages étudiés nous citerons les suivants :

-Luc TROUCHE 2003: *Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations*

-Luc TROUCHE: *Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques*.

-Pierre RABARDEL: *Éléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques.*

-Pierre RABARDEL 1995: *Qu'est ce qu'un instrument? Appropriation, conceptualisation, mise en situation, Les dossiers de l'ingénierie éducative, des outils pou r le calcul et le traçage des courbes.*

Michel GRANGEAT: Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique.

Sommaire

Remerciements....3

Introduction....5

I. Outils et artefacts et contextes d'apprentissages mis en jeux dans la construction du savoir....7

A .La Géométrie dans l'espace, notion présent à chaque étape de la scolarité....7
B. Réflexion sur les notions d'outils et d'artefacts....9
1.Outils et artefacts....9
2.Influence des outils sur les mathématiques produites et apprises....9
3.Outil, artefact avantages et contraintes liés à leur utilisation....10
C. Situation d'apprentissage....12
1.Connaissances et contexte d'apprentissage....12
2.Environnement et situation adaptée....12
3.Processus d'appropriation d'une nouvelle notion....12
4.Différentes théories de l'apprentissage....13
D. Rôle des instruments dans la construction du savoir....14
1.La construction du savoir influencée par l'utilisation d'instruments....14
2.Diversité des d'actions suggérées par l'instrument....18
3.Utilisation d'instruments et schèmes d'action....18
4.Utilisation d'instruments et genèse instrumentale....19
E. Rôle de la médiation du pédagogue dans l'utilisation d'instrument....21
F. L'utilisation d'instruments en mathématiques....22
1.Interaction inter instrumentale....22
2.Zone proximale de développement de Vygotski....22
3.Plan didactique de l'utilisation d'instruments....23
4.Utilisation d'instruments, conceptualisation et représentations externe de savoirs....24

II .Outils et développement des compétences en géométrie spatiale au travers d'expérimentations....25

A. Présentation générale de l'expérience....25
B. Première expérience....26
1. Présentation....26
2. Mise en place de l'activité, protocole expérimental....27
3.Réflexion a priori....27
4. Déroulement de la séance....29
5.Exploitation des résultats et analyse....30
6. Conclusion de cette première expérience....34
C. Deuxième expérience....34
1. Présentation....34
2. Protocole expérimental ….....36
3.Réflexion a priori....36
4. Déroulement de la séance....37
5.Analyse réflexive des résultats....38
6. Conclusion de la seconde expérience....41
D. Bilan de l'expérience....42
Conclusion....45
Bibliographie....47

Remerciements

Avant tout développement sur ce sujet, il apparaît de circonstance de commencer ce mémoire par des remerciements, à ceux qui ont eu la patience et la gentillesse de me conseiller, de me guider dans mes démarches et de participer aux diverses expériences qui constituent tout l'enjeu de ce travail.

Aussi, je remercie M. Tufel, mon maître de mémoire , de m'avoir accompagné, informé et surtout conseillé sur mon travail tout au long de cette année avec beaucoup de compétences et de professionnalisme.

Je remercie également l'ensemble de mes élèves de seconde pour l'investissement qu'ils ont pu fournir lors des diverses activités, mais aussi pour leur créativité et leur volonté d'apprendre au travers de ces expériences, me permettant ainsi, par leurs travaux, de comprendre et de me questionner sur le rôle profond des outils dans l'apprentissage des mathématiques.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont collaboré à ce travail en m'assistant lors des expériences avec les élèves et qui n'ont pas hésité à user de leur temps personnel pour me renseigner, me faire découvrir leurs connaissances et éveiller ma curiosité scientifique avec énormément de patience et de pédagogie.

Introduction

L'enseignement des mathématiques est un vaste domaine dans lequel se côtoient un nombre important et varié de notions. L'interaction permanente qui réside entre ces objets est essentielle puisqu'elle permet de former un ensemble dans lequel chaque élément peut servir la cause d'un autre. Parmi cette diversité de savoirs et de savoir-faire qu'un enseignant se doit de transmettre à ses élèves, il en est un sur lequel se tourne tout particulièrement notre attention. La géométrie dans l'espace. Il s'agit de l'une des branches des mathématiques dans laquelle l'intérêt porté aux objets de la géométrie plane est transposé dans un espace tridimensionnel. De nouveaux objets dont la l'appartenance à un plan était impossible émergent alors: Les surfaces courbes et les volumes. Il apparaît alors de circonstance de se demander comment introduire et manipuler ces nouveaux objets.

Dans notre quotidien, nous avons tous affaire à des situations relevant de la géométrie spatiale et il est donc important de former au mieux nos élèves à fonctionner dans dans un tel milieu. Mais de quoi disposons nous pour permettre à nos élèves de développer des compétences dans ce domaine, et d'acquérir une visualisation, une image mentale relative aux situations rencontrées. Quels moyens engager pour faciliter l'apprentissage des techniques et des nouveaux savoirs, comment apprendre à manipuler des objets de façon abstraite dans l'objectif de recueillir les informations qui nous sont pertinentes ?
L'enseignant dispose d'un panel d'outils, d'objets qu'il peut manipuler ou faire manipuler aux élèves afin qu'ils se forgent eux même leur leur propre compréhension du milieu étudié. Mais chaque outil possède des spécificités qui lui sont propres, qui sont adaptées à des situations spécifiques. Il arrive parfois que ces outils desservent l'enseignement en rendant implicite une partie d'un raisonnement, créant ainsi une faille invisible dans la continuité du processus d'apprentissage et de réflexion engagé par l'élève. Nous pouvons alors nous demander si une approche instrumentale permet de développer chez l'élève les compétences relatives à la géométrie dans l'espace. Nous tenterons d'apporter une réponse à cette question au cours de notre développement .

Pour ce faire , nous aborderons dans une première partie une approche théorique de la notion d'outils et d'artefacts, en essayant de souligner au mieux les rôles de ces différents objets ainsi que les liens qu'ils permettent de former dans l'esprit de nos élèves, leur permettant ainsi de construire leur propre savoir. Dans la continuité de ces recherches, nous expliciterons les objectifs et les contraintes subordonnés à l'utilisation d'outils spécifiques. Après avoir exposé les différentes formes que peuvent revêtir les concepts d'outils et d'artefacts, nous nous attacherons à aborder ce sujet de manière expérimentale, en proposant à des élèves un ensemble de problèmes de géométrie spéciale, en prenant soin d'intégrer dans ces tâches un objectif, ou une situation concrète, que l'on peut rencontrer au quotidien. Nous mettrons en œuvre un protocole expérimental dans lequel interviendront l'utilisation d'outils variés, le but étant de voir si l'utilisation de ces derniers permet réellement aux élèves de construire un savoir. Ne perdons pas de vue qu'a travers toutes ces démarches, le but profond est de former les élèves à des situations concrètes afin de les accompagner dans leur diversité à aborder le monde réel dans de meilleurs conditions.

I. Outils et artefacts et contextes d'apprentissages mis en jeux dans la construction du savoir

A .La Géométrie dans l'espace, notion présent à chaque étape de la scolarité.

La géométrie et plus précisément la géométrie dans l'espace est une composante essentielle de l'activité mathématique, dont l'enseignement s'étend du premier cycle à la fin de la classe de terminale, et se poursuit également au-delà, lors des études universitaires. La première approche de ce concept s'effectue dès le cycle 1, en apparaissant sous la forme de classement de solides, d'abord en fonction des caractéristiques liées à leur forme «Est-ce que le solide roule ou non ?», puis en fonction de leur conception, en analysant par exemple le nombre de faces ou le nombre d'arêtes.

Au cycle suivant, le cycle 2, les élèves seront amenés à travailler avec les cubes et les boules, puis, par la suite, avec les tétraèdres, les pyramides et enfin, l'octaèdre. A partir du cours élémentaire, l'aptitude à décrire des situations spatiales selon la position de l'observateur, tout comme la caractérisation du solide en utilisant sa forme ou le nombre de faces dont elle est constituée seront travaillées.

A partir du cycle 3, les apprentissages seront principalement orientés vers la capacité à se repérer, s'orienter dans l'espace concret, et à manipuler un plan. Au fur et à mesure de la progression, la construction ainsi que la reproduction des solides comme le cube et le pavé deviendront l'une des activités principales de l'enfant. La reconnaissance, la comparaison et la capacité à nommer les solides menées parallèlement à la construction, la représentation ou encore la description des solides usuels seront dans une large mesure l'objet d'étude principal de la géométrie dans l'espace. Le but étant principalement de rattacher les précédentes notions à un cadre concret, et de lier celles-ci avec d'autres domaines des mathématiques étudiés au cours de ce cycle comme la proportionnalité. Un point d'honneur sera mis sur les déplacements dans l'espace ainsi que l'élaboration des représentations. L'étude d'espaces concrets variés («feuille, cour, quartier, ville») doit permettre à l'élève d'avoir une représentation de l'espace de plus en plus fine, et ce, dans l'objectif d'être amené par la suite à travailler sur des problèmes de distance avec notamment la recherche du plus court chemin. C'est également pendant ce stade de l'activité scolaire que seront présentés aux élèves les premières notions de la programmation avec la possibilité de travailler sur des déplacement simples. En fin de cycle (classe de sixième) une nouvelle notion est abordée : la représentation en perspective cavalière. C'est l'une des concrétisations et des formalisations de la représentation dans l'espace. A travers l'étude de ces objets, la construction, la reconnaissance et surtout les calculs de volumes seront des objectifs primordiaux à atteindre avant le passage au cycle suivant. Pour parvenir à de telles fins, l'utilisation de logiciels de géométrie dynamique peut être l'un des nouveaux outils utilisés, permettant ainsi la représentation plus détaillée de certaines situations dont la complexité relative serait encore un peu délicate à exposer aux élèves avec les représentations utilisées jusqu'à présent. La construction de patrons vient s'ajouter au panel des savoir-faire de l'élève qui complète ainsi sons champ de connaissances avec l'apprentissage de nouvelles techniques de construction.

A l'entrée du cycle 4, l'étude de nouveaux solides vient poursuivre les travaux entamés tout au long de la scolarité de l'élève. Les prismes et les cylindres de révolutions présentent l'occasion de manipuler et de dessiner en perspective de nouveaux objets que les élèves côtoient au quotidien mais dont la définition est ici exposée de manière conventionnelle. Ainsi, les formules de calculs de

volumes attachées à ces objets deviennent l'occasion de relier ceux-ci à des situations et des problèmes concrets. Ces savoirs seront complétés en classe de quatrième avec des objets plus complexes comme les cônes de révolution et la pyramide. Hormis la difficulté de réaliser les patrons de certaines de ces figures, l'un des objectifs majeurs de cette phase est d'amener les élèves à manipuler les objets et à «voir dans l'espace». C'est l'apparition pour certains de l'utilisation d'images mentales et de la conceptualisation de la géométrie spatiale. Il s'agit là d'un point très important pour la suite de nos travaux. Pour consolider et approfondir cette représentation que se fait l'élève des situations de volumes et d'espaces, en classe de troisième l'étude des sections planes des solides usuels est abordée. L'objectif sera de déterminer la nature de la section des principaux solides rencontrés jusqu'à présent, et, d'utiliser certaines propriétés de la géométrie plane pour pouvoir justifier et affirmer leurs conjectures. En effet, les principales situations rencontrées seront des sections par un plan parallèle à une face ou à une arête du solide. Les travaux sur les calculs de longueurs seront toujours effectués et les différents outils de représentations seront utilisés pour animer les situations rencontrées dans les problèmes. L'outil informatique devient alors un élément essentiel de l'étude de ce nouveau concept.

A partir de la classe de seconde, toutes les notions que nous avons pu rencontrer précédemment seront retravaillées et augmentées d'un ensemble de propriétés d'incidence permettant de qualifier les positions relatives dans l'espace de deux droites, d'un plan et d'une droite, ainsi que de deux plans. Les principaux théorèmes du collège (théorème de Thalès et théorème de Pythagore) seront réinvestis et permettront une nouvelle fois d'étudier des situations concrètes. En lien avec l'enseignement de la géométrie dans l'espace, les élèves seront entraînés à utiliser en autonomie les logiciels de géométrie dans l'espace. Cet outil devient un lieu de pseudo concrétisation des situations rencontrées en classe.

Enfin, en classe de terminale scientifique, la formalisation algébrique des notions de plans et de droites grâce à un repérage dans l'espace permet d'apporter aux élèves une autre façon de prouver et d'aborder les situations de géométrie spatiale. Ainsi, la mise sous forme d'équation paramétrique ou d'équation cartésienne permet une étude plus «théorique» des configurations spatiales. Les travaux géométriques sont principalement orientés vers l'étude de l'orthogonalité de droites , de plans, ou de droites et de plans. Le vecteur devient alors un outil très intéressant puisqu'il permet de réduire l'étude des configurations à la comparaison de vecteur du point de vue de la colinéarité et de l'orthogonalité. Conjugué avec le produit scalaire, il devient un outil très performant pour affirmer ou réfuter les conjectures émanant des situations rencontrées.

L'étude de la géométrie dans l'espace est donc une thématique importante du cursus scolaire, elle se décline sous différents aspects en étant étudiée de manière progressive. Elle permet l'utilisation d'un grand nombre d'outils mathématiques que ce soit de la géométrie plane au calcul vectoriel. L'une des principales compétences que permet son apprentissage est la capacité à s'orienter dans l'espace, et à se forger une représentation au travers d'images mentales des configurations spatiales. La compréhension des configurations tridimensionnelles est ainsi facilitée. Une attention toute particulière est accordée à ce dernier point puisque l'ensemble des enseignants cherchent à développer les facultés de vision dans l'espace des élèves. Ils disposent pour cela de divers outils et différents supports susceptibles de déclencher chez les élèves des réflexes et des compétences sur la vison dans l'espace.

B. Réflexion sur les notions d'outils et d'artefacts

1.Outils et artefacts

L'outil est un concept connu et dont le nom recèle un multitude de définitions en fonction du domaine dans lequel il est abordé. Nous nous intéresseront ici à cette notion dans un cadre didactique, lié à l'enseignement des mathématiques. Le concept d'artefact étant intuitivement lié à l'outil, il sera étudié ici de manière parallèle .

L'outil peut être considéré comme un objet conçu ou non par l'Homme, et qui permet de faciliter une action dans un contexte donné aussi bien du point de vue de l'action (exemple du marteau pour enfoncer un clou) que de la perception, (utilisation d'une maquette pour mieux visualiser une architecture).

Contrairement à l'outil, l'artefact est un objet conçu par l'homme avec une structure préexistante . Un anthropologue britannique, Tim Ingold auteur de plusieurs ouvrages et d'articles dont *L'outil, l'esprit, la machine* explique que, tous les outils ne sont pas des artefacts. En effet, les outils ne sont pas tous transformés de manière volontaire par l'Homme « *un gâteau est un artefact mais pas un outil, alors qu'une pierre faisant usage de serre-livres est un outil sans être un artefact* » Derrière la notion d'outil, il se cache nécessairement un objectif, un but sans lequel l'outil n'existerait pas. L'outil est donc naturellement rattaché à la notion de technique. Ingold précise qu'un objet se transforme en outil au moyen d'une technique. Nous pouvons de même distinguer l'outil de l'artefact par les fonctionnalités qu'ils suggèrent. Nous distinguerons ainsi l'objet outil qui sous entend une action de l'objet instrument qui sert la perception de l'environnement. La distinction que nous venons d'exposer prendrait ses origines chez Descartes qui expliquait l'assimilation possible entre l'œil et la lentille puis, entre la lentille et l'œil. Jean-Claude Baudet, botaniste, philosophe, écrivain et poète belge auteur de *De l'outil à la machine* nous explique que la science moderne s'est formée au XVIe siècle par le biais de nouveaux instruments. Tandis qu'auparavant le savoir s'apprenait par les livres, les ingénieurs de l'époque vont former une nouvelle élite de la science moderne en travaillant directement avec la matière et en utilisant l'instrumentalisation, et ce, dans le but d'appréhender le monde alentour.

On assiste alors à la distinction entre outils et instruments. Au cours de l'Histoire, cette distinction sera réaffirmée à maintes reprises. On peut donc parler pour les outils d'objets possédant une spécificité particulière, matériels et manipulables. Ces objets sont présents dans notre environnement et deviennent outils dès l'instant où on les manipule à des fins de résolution d'un problème. Les outils ne possèdent pas forcément un caractère optimal puisqu'il sont soumis à une perpétuelle évolution liée aux contraintes sociales et environnementales. Les normes évoluant sans cesse, on ne peut parler de réelle optimalité (exemple de la voiture qui nécessite de remplir de nouveaux critères au fil des ans pour devenir commercialisable). Néanmoins, dans le but de rester outil à proprement parler, l'outil doit rester pertinent et fonctionner « convenablement » pour permettre une réelle utilisation. Un dysfonctionnement de l'objet au sens d'outil fera perdre à ce dernier sons caractère d'outil à proprement parler.

2.Influence des outils sur les mathématiques produites et apprises.

La diversité des outils utilisés dans l'enseignement des mathématiques a été présente à toutes les époques de l'histoire. Ces outils sont d'une part nés par l'expérimentation, et d'autre part au service de l'activité humaine.

Il règne autour de ces objets , deux points de vue paradoxaux tous deux pertinents. Pour certain, il permet de former l'élève, de l'accompagner dans son processus d'apprentissage en lui permettant d'illustrer ses raisonnement, pour d'autres, il détourne l'élève de l'objectif premier d'apprentissage comme nous l'explique par exemple l'article « Boulier » du Dictionnaire Pédagogique de Ferdinand Buisson, (1887):
« Le boulier corrompt l'enseignement de l'arithmétique. La principale utilité de cet enseignement est d'exercer de bonne heure, chez l'enfant, les capacités d'abstraction, de lui apprendre à voir de tête, par les yeux de l'esprit. Lui mettre les choses sous les yeux de la chair, c'est d'aller directement contre l'esprit de cet enseignement. La nature a donné aux enfants leurs dix doigts pour boulier ; au lieu de leur en donner un second, il faut leur apprendre à se passer du premier »
Cette théorie ne s'arrête pas aux outils physiques, mais se transpose également aux outils symboliques tels que l'algèbre. Le développement de nouvelles technologies et par le fait même, de nouveaux outils, ont largement impacté le développement de quelques branches des mathématiques, permettant de porter ainsi un regard nouveau sur l'expérimentation. Un exemple concret nous est exposé par Luc Trouche, Professeur des universités, INRP & LIRDHIST (Université Lyon 1) dans son article :*Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques.* Il nous explique que les outils ont toujours eu une influence sur le développement des mathématiques. Il cite par exemple le théorème de Mohr-Mascheroni daté de 1798, dans lequel il est établi que toute construction à la règle et au compas peut être réalisée au compas seul. A l'origine de ce théorème réside un problème pratique bien concret qui consistait à trouver un moyen de rendre les construction géométriques les plus précises possibles. Il s'avère que les constructions au compas sont sont d'une plus grande précision que les constructions effectuées à la règle. De même, on s'aperçoit que les contraintes techniques ont elles aussi joué un rôle dans le travail des mathématiques. Par exemple des changements simples des conditions de travail comme le passage de la *plume d'oie* à la *plume de fer*, dans les écoles a perturbé le rapport entre le calcul écrit qui est, par le biais du nouvel outil, devenu plus facile que le calcul mental. On constate ainsi que les outils ont une réelle influence sur la façon de travailler des élèves. Michèle Artigue chercheur en didactique des mathématiques a relevé que dans le cadre d'environnement informatiques, le comportement des élèves vis a vis des recherche mathématique était modifié. En effet elle a pu constater que les élèves avaient tendance effectuer des essais sur leur calculatrice (technique de l'essai /échec) sans s 'intéresser au raisonnement ou à la vérification de leurs résultats.

Les outils utilisés en enseignement on un réel impact sur la conceptualisation. Un exemple précis présenter par Trouche en 1995 met en exergue l'influence des calculatrices graphiques sur la définition des concepts mathématiques : « *Des élèves, voulant contrôler un contact tangent entre une courbe et des droites et faisant pour cela des zooms de plus en plus proches, en arrivent à l'expression d'un résultat apparemment surprenant : « une droite est d'autant plus tangente à une courbe qu'elle a plus de points communs avec elle ». C'est un effet clair de la discrétisation des tracés sur un écran constitué d'un ensemble de pixels.* »

3.Outil, artefact avantages et contraintes liés à leur utilisation.

Comme nous l'avons entrevu précédemment, les outils permettent l'appréhension de nouvelles situations soit en la transposant en une modélisation à échelle réduite (exemple de la maquette) soit en en tant qu'indicateur comme le thermomètre. Il permet de simplifier l'exécution de certaines tâches en prolongeant l'action voulue par l'Homme comme le marteau pour enfoncer le clou. Mais les diverses formes qu'ils revêtent, ainsi que les différentes applications qu'ils induisent ont des conséquences qu'il est parfois difficile de mesurer. En effet des travaux menés par M. Ourahay en 1991 ont permit de montrer que par exemple la construction de la notion symétrie

orthogonale était différente chez les élèves selon les instruments qui avaient étés utilisés pour la construction graphique. La méthode du pliage et du quadrillage par exemple rend implicite le concept d'orthogonalité. L'élève n'a donc pas à construire cette orthogonalité et ainsi, elle ne figure pas dans leur représentation mentale de la symétrie. En opposition a cette méthode, l'utilisation du compas et de l'équerre rendent totalement explicite la présence de l'orthogonalité. On peut de même citer l'exemple du cercle tracé avec un pochoir, un compas ou une ficelle. La conceptualisation que se fera l'élève de l'objet sera différente dans les trois cas. Avec un pochoir, la notion de rayon ,et de centre disparaissent. Avec le compas, l'élève visualise le centre, mais le concept de rayon est laissé de coté, caché par le compas. En revanche dans le cas de l'utilisation d'une ficelle tous les éléments sont présents et permettent à l'élève d'avoir une représentation conforme à la définition même de l'objet. C'est ainsi que nous pouvons constater que les instruments ne sont pas neutres .

De nombreux travaux ont pus mettre en évidence les conséquences de l'utilisation d'instruments sur la conceptualisation. La non neutralité des instruments est une « problématique » qui touche un domaine plus large que le champ de la didactique. Les philosophes et les psychologues se sont également penchés sur la question. Kant, par exemple avait montré que les connaissances dépendaient des outils qui avaient étés mis en œuvre pour leur construction. Piaget quant à lui à montré que l'action menée par un sujet était la source des connaissances. Leontiev et Vygostsky ont mis en évidence que la formation des fonctions psychiques et de connaissances étaient dans une large mesure influencées par l'utilisation d'outils, et d'artefacts qui constituent une structure et une médiation entre les situations et les savoirs. Le principe de médiation instrumentale est un point majeur permettant l'analyse des conditions qui laissent la possibilité aux instruments de construire le savoir. Pierre Rabardel, professeur de Psychologie et d'Ergonomie et ancien dirigeant de l'équipe de recherche de Conception, Création, Compétences et Usages ainsi que de la filière Ergonomie et psychologie ergonomique de l'université Paris 8 , nous propose une illustration présentant les différentes médiations présentes dans une situation didactique;L'instrument joue un rôle central dans les médiations entre les différents protagonistes.

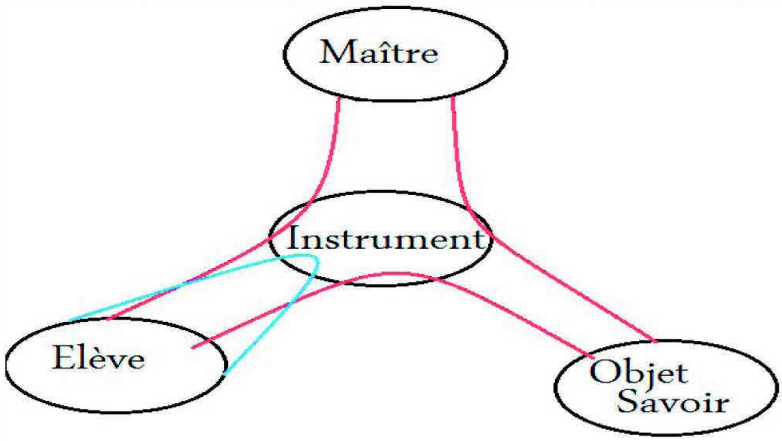


Illustration 1: Médiations instrumentales en didactique

Il reste cependant difficile pour un professeur de connaître tous les éléments qu'expose ou que dissimule les artefacts qu'il utilise ou qu'il fait manipuler à ses élèves.

C. Situation d'apprentissage.

1.Connaissances et contexte d'apprentissage.

L'apprentissage des connaissances s'effectue généralement dans un contexte précis, mais il s'avère que les recherches mettent en exergue le fait que les connaissances apprises dans un contexte ne se transfèrent pas automatiquement à d'autre type de situations. Une expérience menée par Trouche en 1995 nous montre que les apprentissages restent souvent attachés aux situations dans lesquelles elles ont étés découvertes. Ainsi, dans une activité dont l'objectif était la détermination de l'équation d'une parabole tangente à trois droites données, les élèves ont apporté une réponse répondant approximativement au problème en effectuant une succession de tests et d'ajustements. Il est expliqué que dans l'activité la réelle utilité des coefficients de l'équation sont mis en évidence. Les élèves retiendront donc plus facilement « *quand c augmente, la parabole monte, quand c diminue, la parabole descend»*, que la propriété définie en classe: *«c est l'ordonnée à l'origine»*. Lorsque le contexte change, il apparaît que les élèves vont réinvestir la connaissance construite dans l'activité, c'est à dire quand la parabole est « en bas » (dessous de l'axe des abscisses), pour eux la constante de l'équation est évidement négative. La connaissance construite est ainsi en lien permanent l'activité dans laquelle elle a été abordée la, première fois.

2.Environnement et situation adaptée.

A chaque notion mathématique, on peut associer une situation qui permettra la modélisation du nouveau concept. Cette circonstance permet de créer un cadre d'apprentissage. En effet être capable de trouver la solution au problème donné dans un tel contexte met en jeu un ensemble de réflexions, de recherches et de raisonnements pour parvenir à la solution. Cela permet de créer chez l'élève la construction de connaissances. Bien que cela puisse paraître assez contradictoire puisqu'il s'agit d'apporter la solution à un problème en ne disposant pas des connaissances nécessaires à sa résolution. Mais la théorie du constructivisme est fondée sur ce principe même :*« les vraies connaissances sont celles que l'on construit soi-même, pour répondre à des questions que l'on se pose vraiment. »* Néanmoins, la diversité croissante des outils impose la conception de situations de plus en plus adaptées à toutes les formes variées et parfois contraignantes imposées par les nouvelles technologies.

3.Processus d'appropriation d'une nouvelle notion.

L'acquisition d'une nouvelle notion peut se décomposer selon trois étapes, chacune ayant un rôle bien défini. La première étape consiste en *l'apprentissage* . L'apprentissage dans un sens large pourrait s'apparenter à l'adaptation d'un individu à son environnement. Il s'agit en quelques sortes de changer son comportement pour s'adapter à un nouveau milieu. Ce phénomène est présent tout au long de la vie d'un individu. Il nous faut à présent différencier plusieurs types d'apprentissages : les apprentissages implicites qui peut s'effectuer de manière passive ou active. Ils consistent essentiellement en l'appréhension involontaire et inconsciente des phénomènes redondants de notre environnements. Il existe également les apprentissages liés à l'instruction. Dans ce cas les situations sont réfléchies et mises en œuvre de façon à ce que l'apprentissage soit rendu explicite. Le but étant d'apporter aux élèves de nouvelles connaissances qu'ils pourront réutiliser dans des situations futures. Ces apprentissages sont plus difficiles car ils nécessitent un réel travail et des efforts, ainsi que la mobilisation de connaissances ultérieures. Chaque situation proposée à l'élève doit avoir un sens pour l'élève et présenter à la fois une résistance pour que celui-ci perçoive la nécessite d'apprendre une nouvelle notion, mais à la fois dans un contexte accessible, pour ne pas le

décourager. Vygotski explique que tout apprentissage est marqué par son contexte historique ou culturel, et renvoie à une interaction avec un tiers.
L'apprentissage pourrait donc se résumer par la découverte de nouveaux savoirs ou savoir-faire mis en interaction au travers d'exercices, d'activités motrices ou mentales pour en acquérir les propriétés.

L'étape suivante est la maturation qui consiste à la mise en place de structures *morphologiques et fonctionnelles* et entre différents systèmes de l'organisme, permettant ainsi l'acquisition d'un état stable et achevé. Cette évolution des individus est régie par un programme de développement qui planifie les diverses étapes et changements. Arnold Gesell propose en 1949 la définition suivante de la maturation : «*La somme exacte des effets génétiques qui s'exercent dans une durée limitée par le programme génétique lui-même ».* Le concept de maturation se place en opposition au concept d'apprentissage. Plusieurs expériences ont pu mettre en évidence que la maturation avait un rôle déterminant sur les émergences de nouvelles fonctionnalités que l'on ne peut attribuer au milieu. Un exemple proposé par Tricot en 2012 explique assez bien ce phénomène :*« La marche apparaît normalement chez tous les enfants à peu près au même âge, quelles que soient les conditions de vie et d'activité. »* C'est ainsi que la maturation à pu être placée en opposition à l'apprentissage. Cependant, le milieu dans lequel se trouve le sujet, ainsi que les exercices qu'il accomplit ont une réelle influence sur l'évolution physique, physiologique, et cérébrale ainsi que sur le développement psychologique. Pour rejoindre l'exemple énoncé précédemment, tricot explique qu'en sollicitant régulièrement le réflexe de marche automatique le processus d'accès à une marche autonome est accéléré. On peut ainsi constater les effets de l'exercice sur la maturation. La maturité cérébrale est un dispositif définitif menant les propriétés morphologiques et fonctionnelles du système nerveux central au stade final du développement en mettant en jeu les facteurs génétiques et environnementaux .
Enfin le concept de développement est une notion qui englobe un ensemble de processus de transformation permettant le passage progressif d'un stade à un autre.

4.Différentes théories de l'apprentissage.

Le béhaviorisme, est une théorie liée à la psychologie qui étudie et analyse le comportement d'un individu au sein de l'environnement. Il est basé sur l'expérimentation et la mesure scientifique. Ce concept est apparu au début du XXe siècle en réaction aux approches dites « mentalistes » .Le nom et les principes ont étés établis en 1913 par le psychologue Américain John Broadus Watson. Le but théorique du béhaviorisme est de prédire et de contrôler le comportement. Pour Watson, l'objectif de la science du comportement est l'étude de relations qu'il existe entre l'environnement et comportement que ce dernier induit chez les individus. L'apprentissage devient alors un objet d'étude majeur du comportement. Une approche mesurable des comportements produits faces aux stimulus environnementaux est selon Watson l'unique façon d'étudier les comportements de l'apprentissage. Le but ultime de cette psychologie serait d'arriver à prédire et à contrôler le comportement.

En 1923, en réaction au béhaviorisme, Jean William Fritz Piaget, biologiste et psychologue Suisse fonde le constructivisme qui est une théorie de l'apprentissage. Selon lui le béhaviorisme limitait trop l'apprentissage au principe stimulus-réponse. Le constructivisme se base sur l'activité du sujet pour construire une représentation de la réalité qui l'entoure. Le constructivisme conçoit

que les connaissances de chacun ne sont pas un calque de la réalité mais une reconstruction de celle-ci. Le constructivisme porte une attention particulière à l'étude des mécanismes et des processus permettant la construction de la réalité chez un individu à partir d'éléments déjà intégrés.

L'appréhension de nouvelles situations est renouvelée en permanence, et se construit à partir de représentations plus anciennes d'événements vécus par le sujet et qu'il à enregistré .L'individu restructure *« reconceptualise »*, les nouvelles informations perçues à partir de ses propres concepts : il s'agit d'une restructuration conceptuelle par l'expérience. Les théories de Jean Piaget supposent que l'intelligence n'est pas innée mais qu'elle se construit. L'Homme serait programmé pour intégrer les connaissances dans un ordre donné mais il faut pour cela que l'environnement dans lequel il se situe lui procure des stimulations dont il a besoin, au moment où il en a besoin.

La manipulation d'objets ainsi que l'expérimentation permettrait la construction des différentes connaissance que nous possédons. Le fait de travailler avec de tels objets serait à l'origine de la mise en place d'une structure d'actions généralisées au cours de répétitions de cette même action dans des situations similaires (schème d'action).Il s'agit d'une forme de « squelette du savoir faire » mais qui reste toutefois malléable étant donné que le savoir est capable de s'adapter. L'importance se situe donc au niveau de l'interaction de l'objet et de l'individu. L'objectif du constructivisme serait d'amener l'élève à construire ses propres connaissances en le guidant dans son parcours. L'utilisation d'outils et l'expérimentation se révélerait donc être un moyen d'amener les individus à construire leur savoir au travers de leur propres perceptions qu'ils ont de la réalité. Cette branche de la philosophie se rapproche donc assez de la science.

L'empirisme, théorie philosophique met en exergue l'expérience en la plaçant à l'origine des connaissances et des croyances. Pour la théorie empiriste, la connaissance serait basée sur une succession d'observations et de situations desquelles il serait possible de tirer des lois générales en utilisant la raison. Il s'agirait donc d'un passage d'un état concret à un état abstrait.

En opposition à ce courant, nous trouvons l'innéisme . Il s'agit d'un courant philosophique selon lequel certaine de nos facultés mentales seraient instinctives et présentes dés la naissance . Une confusion réside souvent entre l'innéisme et le nativisme qui est un autre mouvement auquel il se rapproche. Dans ce dernier toutes les facultés mentales seraient déjà programmées et reliées entre elles dés la naissance. Mais cette théorie à pu être améliorée grâce aux progrès de la science qui à su montrer que certaines facultés mentales innées pourraient apparaître tardivement dans la vie d'un individu, bien que spécifié dés la naissance .

Dans une majorité des cas , les divers courants rencontrés précédemment s'accordent pour souligner l'importance de l'action portée sur les objets et la créativité perpétuelle qui réside autour de ces interactions sur le développement et l'apprentissage de nouvelles connaissances. Les connaissances ne seraient donc pas préformées ni calquées sur les objets mais seraient sans cesse construites par l'activité du sujet et par tout ce qu'il a pu retenir de ses observations.

D. Rôle des instruments dans la construction du savoir.

1.La construction du savoir influencée par l'utilisation d'instruments.

Comment les instruments ont ils un impact sur la construction des savoirs ainsi que sur les savoirs construits ? Nous allons tenter d'éclaircir ce point en utilisant comme support une expérience menée par Pierre Rabardel.

Dans son expérience, Rabardel nous expose une situation d'apprentissage dans laquelle il utilise un robot pédagogique. Il s'agit là pour des élèves de 14 à 16 ans de déplacer des objets dans l'espace et ainsi, découvrir la manipulation d'un bras manipulateur. Les élèves étaient séparés en deux groupes, et chaque groupe possédait un dispositif de pilotage différent.

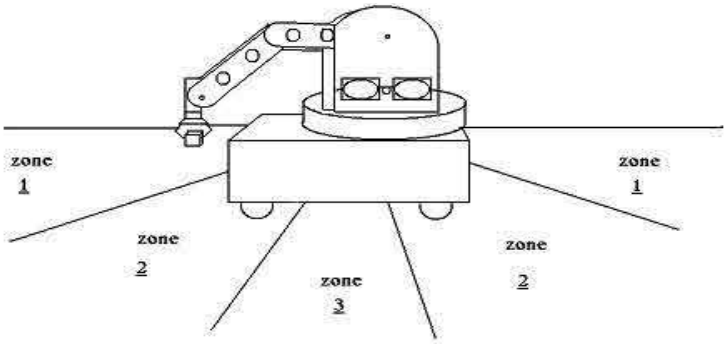


Illustration 2: Le robot

Dans le premier, il s'agissait d'un boîtier de commande fonctionnant avec trois curseurs mobiles de couleur différente, chacun correspondant à un axe du repère de l'espace à trois dimensions. Ainsi, à une position donnée des curseurs correspond une position de la pince dans l'espace. Le travail avec un tel dispositif est conduit pour fournir aux élèves une première approche et une première conceptualisation de l'espace à trois dimensions ;

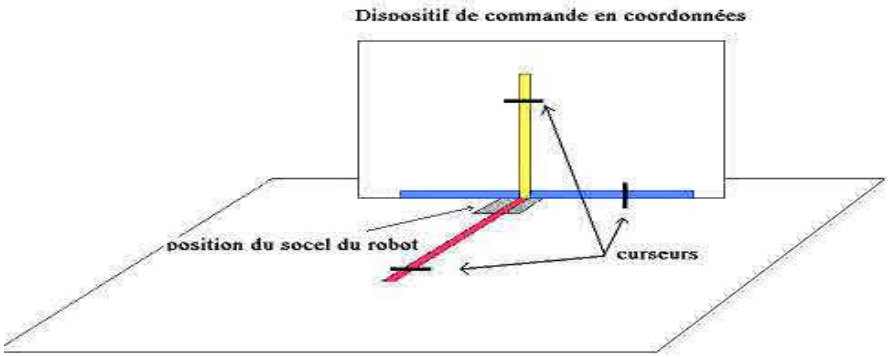


Illustration 3: Dispositif de commande

Le deuxième groupe d'élèves dispose d'une commande par clavier d'ordinateur qui permet de commander chaque articulation du robot et d'obtenir ainsi directement une rotation du robot. Le but de l'expérience est de comparer les différentes conceptualisations qui vont être induites par les dispositifs de commande.

Avant de débuter l'expérience, plusieurs hypothèses avaient été formulées. La première conjecturait que l'utilisation du clavier pour commander le robot amènerait les élèves à se former des représentations sous forme de rotation articulaire. Cette hypothèse à été vérifiée par les expériences.

La seconde suggérait que l'autre dispositif, (curseur) amènerait les élèves à construire des représentations de l'espace avec un système de repère en trois dimensions. Les rails sur lesquels les curseurs des déplacent sont orthogonaux les uns par rapport aux autres et positionnés de telle sorte qu'ils correspondent à une zone (voir schéma) matérialisant la position du robot dans l'espace d'activité (les élèves avaient connaissance de cette information).De cette façon, le dispositif de commande (position du robot matérialisée par son socle et curseurs) permet de former une représentation de l'espace d'activité du robot. Cette expérience à pu montrer, comme nous l'explique Rabardel, que les représentations que les élèves construisent se forment pas à pas, avec un nombre de difficultés assez importantes, et que la représentation sous forme de repère tridimensionnelle ne se forme pas immédiatement , mais de manière progressive.

A travers cette expérience, différentes formes de conceptualisation liées au dispositif on pu être relevées. Dans un premier temps, la prise du plot, ainsi que son déplacement s'effectue de proche en proche. Le déplacement est géré par la manipulation des curseurs avec un principe de contrôle visuel, puis action sur les curseurs . A cette étape, chaque mouvement est décomposé et chaque curseur possède une action bien précise sur le robot. Le curseur bleu permet la rotation de la base du robot, le rouge permet de mouvement de l'articulation du coude, et enfin, le dernier (jaune) gère le mouvement de l'épaule. A cette étape de la représentation qu'ont les élèves ne fait pas ressortir de liens entre les différents curseurs qui pour eux n'ont qu'une relation directe avec un morceau de la machine. Les élèves agissent donc en déplacement les curseurs tour à tour et de façon indépendante ce qui entraîne le mouvement des éléments de la machine qui y seraient en correspondance. Cette représentation se rapproche fortement de la représentation formée lors de l'utilisation des commandes avec le clavier. Il s'agit là d'une représentation de type articulaire.

L'expérience va montrer que la représentation va évoluer . Au fur et à mesure de l'activité, les curseurs ne seront plus perçus comme en lien direct avec certaines parties du robot, mais plutôt comme en lien direct avec les mouvements de la pince. De cette façon , les élèves ne se focaliseront plus sur l'action de chaque partie du robot en réponse au déplacement des curseurs, mais s'intéresseront davantage aux déplacements de la pince qui sera interprétée comme la conséquence directe des actions menées sur les curseurs. Le changement de conception est absolue puisque toutes les relations qui avaient étés construites auparavant vont disparaître. Le lien entre les curseurs et les parties du robot vont être remplacées par les relations entre le curseur et la position de la pince dans l'espace.

En conséquence, la représentation qui est faite des actions et de leurs répercutions sur l'objet évolue. Il s'établit alors un lien direct entre le mouvement des curseurs et les mouvements de la pince, dans le sens où, dans une première mesure, les mouvements de la pince sont construits comme ayant un sens et un direction identique à celle des curseurs, puis, dans un second temps, considérés comme ayant une ampleur d'action qui est proportionnelle aux agissements des élèves vis à vis des curseurs. C'est ainsi que progressivement s'effectue la conceptualisation entre la géométrie des agissements du sujet sur les curseurs et la géométrie du mouvement de la pince qui en est la conséquence. Toutefois, à ce stade, les curseurs sur lesquels portent les actions du sujet sont encore perçus comme indépendants les uns vis à vis des autres.

Il existe encore une dernière étape au cours de laquelle la représentation va a nouveau évoluer de façon radicale. C'est à partir de ce moment que les relations entre la commande et les mouvements du robot ne seront plus perçues comme des mouvements amis plutôt comme des positions. C'est ainsi que les curseurs ne seront plus rattachés aux mouvements du robot d'un point de vue du directionnel, mais plutôt à une position dans l'espace. Par ce phénomène, les curseurs ne seront plus considérés indépendants mais « reliés » les uns aux autres. La position de l'objet dans l'environnement d'activité est alors mise en relation directe avec la position conjuguée des trois curseurs. Il se conceptualise alors l'idée que « *les positions relatives des curseurs déterminent les positions de la pince* ».
Initialement, les positions que peut prendre la pince sont directement comparées à la position du socle robot (cette partie ne se déplace pas durant l'expérience) et la position des curseurs se réfère au symbole du socle qui est représenté sur le système de commande (voir figure).Puis au cours de l'activité, des évolutions vont mener la position de la pince à être définie rapport à l'ensemble conjoint des trois axes qui définit la diversité des positions de l'espace dans lequel peut se déplacer l'objet. Cet espace est donc en quelque sorte une modélisation de l'espace de travail, car il lui est en grande partie similaire, tant du point de vue de la position de la pince que du socle du robot.

Il à été remarqué que l'usage de ce robot amenait les élèves à construire, pas à pas, des représentations du contrôle de la pince dans son lieu d'action contrairement à la représentation articulaire induite par l'utilisation du clavier. En plus de cela, la représentation que se font les élèves de l'espace évolue sensiblement au cours des manipulations d'instruments. Initialement les élèves conceptualisent l'espace calquant l'espace dans lequel ils interagissent, alors qu'au terme de la création (genèse) de leur représentation, il réside majoritairement une conceptualisation tridimensionnelle de munie d'un repère. Il faut toutefois préciser qu'il existe une diversité importante de conceptualisation possibles, et que les chemins pour y parvenir sont tout aussi nombreux. Les conséquences de l'utilisation d'instrument ne se manifestent pas forcément dès le début des manipulations, et ceci est d'autant plus vrai que le système, l'outil se révèle complexe à utiliser. Ce n'est que de manière progressive que l'élève va se s'approprier l'instrument qui va subir une évolution perpétuelle au cours du processus de genèse.

Étudions à présent les éléments à l'origine de l'impact des artéfacts sur la conceptualisation. Ces éléments sont liés à la fois aux contraintes de l'instrument, mais également aux possibilités d'action qu'il confère.
Comme nous l'explique Rabardel, l'instrument représente pour l'élève un ensemble de contraintes qu'il se doit de manier et de régir au cours de son utilisation. La diversité des contraintes est assez importante et diffère d'une tâche à une autre. Par exemple, la fabrication d'un objet nécessite de placer les éléments qui le composent dans un ordre précis, mais aussi d'une façon bien précise, en respectant la nature de chacun de ces éléments afin que l'objet puise fonctionner correctement. Nous pouvons pour illustrer ces propos, imaginer la fabrication d'un piano pour lequel il faut relier chaque composant dans un ordre précis en distinguant d'une part la partie harmonique de la partie mécanique. Manipuler les éléments avec précautions, (par exemple, on ne manipulera pas une cheville comme on manipulera un chevalet), puis assembler les éléments qui ont besoin d''être assemblés en tenant compte de leur nature, par exemple une cheville sera enfoncée au maillet tandis qu'une tête de marteau sera collée à la colle à chaud. Ce que nous voulions souligner c'est que les contraintes différent selon l'activité effectuée. En effet, il ne s'agit pas des mêmes contraintes pour construire un piano que pour en jouer. L'instrument impose donc au sujet un certain nombre de contraintes qu'il doit remarquer, analyser et gérer.
En outre, il faut distinguer deux niveaux de contraintes, le premier étant liée à la spécificité de l'instrument pour son utilisation, et le second, à ses caractéristiques matérielles, qui sont présentes dans chaque objet et qui le constitue.

Un autre exemple, plus en lien avec l'enseignement explique assez bien ces propos: L'utilisation d'une équerre oblige l'élève à utiliser l'orthogonalité. L'enseignant peut alors utiliser cette propriété dans un but éducatif en composant des situations adaptées.
Il faut également remarquer que l'instrument constitue une contrainte dans le sens où il comporte, parfois de manière implicite, une « *pré-structuration* » de l'ensemble des actions que le sujet qui l'utilise devrait effectuer. Ces contraintes doivent être prises en compte dans l'utilisation de l'instrument ainsi que dans sa phase d'appropriation. L'activité est dans une certaine mesure induite par l'instrument.

2.Diversité des d'actions suggérées par l'instrument.

Si les contraintes liées à l'utilisation d'instruments ont un rôle important sur l'activité cognitive des sujets concernés, elles n'en sont pas les seules raisons . Les possibilités d'actions que propose l'instrument est tout aussi essentiel dans le processus de genèse.

Les objets imposent parfois quelques limites qui dans une certaine mesure peuvent réduire le champ d'action et même par le fait devenir une contrainte, mais elle peut ainsi rendre possible, faire émerger de nouvelles formes d'actions. Par exemple jouer sur le clavier d'un orgue ne permet pas d'avoir un jeu nuancé, c'est à dire d'obtenir un passage musical très « fort » et un autre « doux » du point de vue du volume sonore, de même, un jeu legato est rendu plus difficile puisqu'il n'existe dans la majorité des cas aucun prolongement du son (dès qu'une touche est relevée, le son est stoppé). Jouer sur le clavier d'un piano permet à l'inverse d'avoir un jeu nuancé et un legato plus aisé par l'utilisation par exemple de la pédale de prolongement. Bien que l'orgue possède sous un certain angle des limites d'utilisation, il permet l'émergence d'un nouveau type d'action comme l'utilisation d'un pédalier pour obtenir un jeu de basses plus soutenu.
L'utilisation d'instruments permet au sujet l'accroissement de son champ d'assimilation des concepts et élargit son champ d'action. Toutefois, du point de vue éducatif, cette diversité d'actions possibles ne peut être considéré ni comme un atout, ni comme un désavantage. Comme le souligne Rabardel, l'utilisation par exemple d'une machine à calculer ayant une forte puissance peut certes d'une part permettre la réalisation de tâches plus complexes et plus poussées qu'une simple calculatrice, mais elle peut également priver les élèves d'activités formatives.

Nous l'avons vu, l'instrument suggère des structurations de l'actions. Même si celles-ci permettent à l'élève d'utiliser de nouvelles façons d'entreprendre les choses,de s'organiser, de contrôler l'action et de la décomposer en sous-parties, et même d'en percevoir le sens réciproque, elle peut empêcher l'accès à d'autres formes d'actions possibles. L'usage d'instrument requiert donc une gestion du champ des actions possibles ainsi que des activités voulues qui sont deux points importants d'une telle utilisation.

3.Utilisation d'instruments et schèmes d'action.

L'utilisation d'un instrument impose au sujet une phase d'appropriation durant laquelle apparaissent la formation des représentations liées à l'instrument, mais également des actions que celui-ci suggère . C'est également pendant cette phase que vont se former chez l'élève une trame de la planification des actions à engager. Il s'agit, comme nous l'avons déjà évoqué précédemment des schèmes d'actions liées ici à l'utilisation d'artefacts. Ces schèmes forment un donc un « support » pour l'activité du sujet, et chacun d'entre eux correspond voir modélise un type particulier de situation en lien avec l'utilisation de cet instrument. Les représentations qui en découlent sont en lien direct avec les possibilités d'actions et de transformations induites par l'outil, ainsi qu'à ses

caractéristiques premières, mais également avec la situation dans laquelle son application est requise. Nous pouvons illustrer ce phénomène en remarquant dans l'expérience du robot de Rabardel que la représentation des curseurs et de leur rôle, de leur action sur l'espace d'activité n'es pas évidente.

Les différentes actions que l'élève doit mener dépend évidement du but à atteindre, mais également de l'ensemble des actions ainsi que leur assemblage qui peuvent être organisées de façon à constituer une procédure. Cette procédure ainsi créée permet l'organisation des actions dans le processus de résolution d'un problème par exemple. De cette façon, il était nécessaire de coordonner les opérations sur les curseurs pour pouvoir contrôler la position de la pince du robot.
Ce sont ces schèmes d'utilisation qui sont à l'origine de la capacité à pouvoir répéter une même action , tout en étant capable de l'adapter à des situations similaires dans lesquelles quelques contraintes ont pu varier.

Les schèmes diffèrent d'un individu à un autre car chaque individu est différent et les actions possibles et les caractéristiques d'un objet ne seront pas systématiquement perçues de la même façon.Cependant leur construction est le résultat de l'utilisation d'instrument, parfois initiée par un « modèle » ou un tutoriel, mais aussi de la conception propre de l'instrument et de celui qui l'a créé. On peut alors parler de la dimension sociale qui est essentielle d'un point de vue éducatif.

4.Utilisation d'instruments et genèse instrumentale.

L'artefact peut se décliner sous différentes formes. Il peut être matériel ou symbolique, voire symbolique mais avec un support matériel comme les tables de multiplications ou des cartes. L'instrument ne se résume pas uniquement à un artefact, de quelque nature qu'il soit. Pour revenir sur l'exemple du robot de Rabardel, au cours de l'expérimentation, les élèves ne considéraient pas les mêmes parties du robot et de sa commande. Le processus complet, la genèse instrumentale a vu s'installer différentes façons de considérer les choses. Au début, les élèves accordaient davantage d'importance au bras du robot car ils étaient persuadés que c'était sur ceux-ci que la commande agissait. Puis au fur et à mesure, un changement de position se forme, et la pince du robot devient le centre de toute l'attention. Dans cette expérience , l'artefact est le robot, et on s'aperçoit que ce n'est pas la totalité de l'artefact qui est l'instrument. Seule une portion de celui-ci choisie par l'élève en raison des actions appropriées qu'il permettait se révèle être l'instrument. Ce changement de point de vue et cette adaptation à l'artefact constitue la genèse instrumentale. On peut donc bien dissocier l'artefact de l'instrument car l'instrument, celui de l'élève est le résultat, comme le souligne Rabrdel d'une « élaboration progressive ».

Il faut cependant remarquer que la partie de l'artefact dont se sert l'élève pour exécuter ses actions ne constitue pas à lui seul l'intégralité de l'instrument. Celui-ci est en fait un ensemble comprenant l'artefact ainsi que les schèmes d'utilisation, mais également toutes les représentations que l'élève à pu se former de cet objet et de son utilisation. L'instrument dépend donc de la situation et de celui qui l'utilise et qui l'élabore.

Il nous faut à présent différencier l'instrumentation de l'instrumentalisation qui sont deux principaux plans de la genèse instrumentale. L'instrumentation est en relation directe avec l'apparition des schèmes d'actions, à la manière dont l'artefact va permettre un planification des actions du sujet pour parvenir à ses fins. L'instrumentalisation en revanche est une phase d'appropriation et de personnalisation de l'artefact. On peut considéré ce phénomène comme une phase de conception de l'instrument.

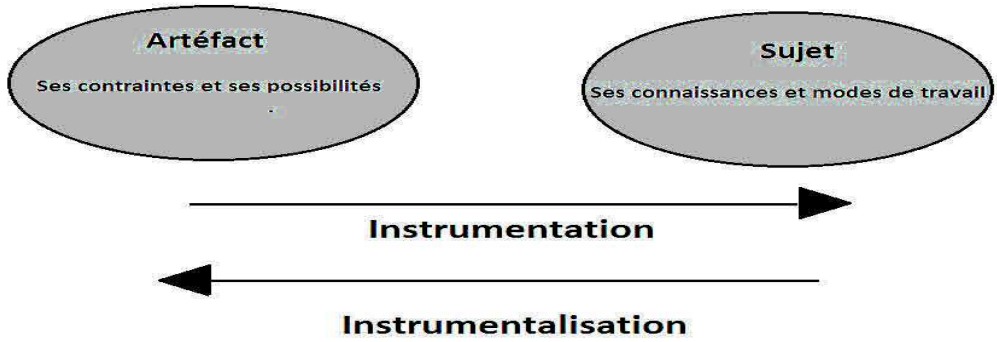


Illustration 4: Instrumentation et instrumentalisation.

Le rapport instrumental en rapport à l'artefact est caractérisé par le rapport social des schèmes d'utilisation et l'artefact lui même. La phase d'appropriation est donc la période durant laquelle l'instrument est construit. L'instrument formé est durable et se conserve comme ressource utilisables pour être mis en œuvre dans des situations futures dans lesquelles bien-sur, il sera amené à évoluer pour s'adapter aux nouvelles contraintes. L'instrument revêt donc un caractère de non neutralité puisqu'il à un impacte considérable sur l'activité cognitive de celui qui les utilise.

Au cours de de la genèse instrumentale de nouveaux instruments sont construits, mais d'autres auraient également pu être développés, l'éventualité qu'ils se forment un jour n'est cependant pas mise de côté puisque toutes les informations que contient l'artefact n'ont peut être pas étés perçues mais le seront peut être plus tard, mobilisant ainsi de nouvelles schèmes d'utilisation.

Un artefact est conçu en réponse à une problématique donnée. De sa construction et de la forme qu'il prend, il est fait pour « agir » dans une zone fonctionnelle qui est définie par la société. Mais la genèse instrumentale permet la création d'instruments qui n'entrent pas toujours dans zone fonctionnelle socialement définie, il s'inscrira dans une zone appelée zone fonctionnelle potentielle. Cette zone est particulière car elle regroupe les différentes fonctions potentielles que possède un artefact, dans une situation donnée, et varie en fonction des personnes. Cette zone partage quelques éléments avec la zone fonctionnelle socialement définie.
Prenons par exemple un cendrier en verre épais. Celui ci est conçu pour collecter les cendres des cigarettes. Mais on pourrais très bien imaginer enfoncer un clou de taille raisonnable avec.

Il existe également une troisième zone correspondant aux instruments qui ont été développés dans une situation réelle par une personne lors de genèse instrumentale.

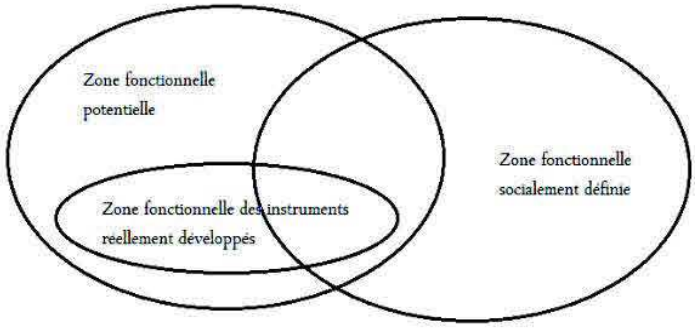


Illustration 5: Zones fonctionnelles.

Prenons l'exemple le plus commun : le couteau. Le couteau est initialement conçu pour couper, mais qui n'a jamais dévissé une vis à l'aide d'un couteau. Il s'agit la de la zone fonctionnelle des instruments réellement développés. Nous emprunterons à Rabardel le schéma ci-dessus pour résumer les différentes zones fonctionnelles d'un artefact. Delebray, écrivain, philosophe et universitaire français, explique d'un point de vue historique toute la richesse du détournement d'outils. Il dit à son propos : *« Un outil n'a pas de fonction pré affectée. La « logique de l'usage » peut dévier à tout moment la trajectoire, voir le retournement contre ses promoteurs. Les rebondissements de ce bricolage, les fécondités de ce dévergondage donnent d'ailleurs à l'histoire des techniques, matérielles et intellectuelles (s'il est possible de distinguer), un cachet baroque et poétique qui la rapproche pour notre plus grand profit et plaisir de son pôle opposé : une anthologie du merveilleux. La première machine à vapeur (Savery 1698) ne fut pas conçue pour actionner un véhicule mais pour puiser de l'eau du fond d'un puits. (...) Internet n'était pas fait pour relier à l'oblique des civils frondeurs, mais pour protéger les réseaux du Pentagone des interceptions ennemies. Pour mieux faire la guerre, non de l'argent ou de la science. »*

La zone fonctionnelle des instruments réellement développés se révèle essentielle du point de vue didactique car elle montre la multiplicité des instruments qu'il est possible de réaliser pour le même artefact, que ce soit par le professeur ou par les élèves. Ces instruments ont un impact considérable sur le cheminement de l'apprentissage,et peuvent y avoir un rôle différent selon ce que l'on souhaite faire ou exposer. L'utilisation d'artefacts à des fins pédagogiques nécessite une réelle analyse à priori et une connaissances des principales possibilités instrumentales qui peuvent être développées. Il est également nécessaire d'exposer aux élèves la zone fonctionnelle avec laquelle on souhaite travailler, tout cela en cohérence avec le but de l'activité entreprise.

E. Rôle de la médiation du pédagogue dans l'utilisation d'instrument.

Lors de la mise en place d'une situation pédagogique, l'objectif principal est de faire parvenir les élèves à s'engager dans le problème, mais également à être capables d'expliciter leurs raisonnements. Pour que l'activité puisse être mise en œuvre dans les conditions les plus favorables, il est nécessaire qu'il y ait interaction entre l'élève, la situation (objet) et l'instrument, mais pour cela, il faut un élément essentiel qui vient s'ajouter à notre liste : le pédagogue. C'est lui qui à construit la situation et qui va permettre la mise en place de liens entre l'objet, l'instrument et l'élève, par un rôle de médiation. Le schéma suivant proposé par Rabardel représente les différents liens existants entre les quatre pôles essentiels d'une situation d'apprentissage.

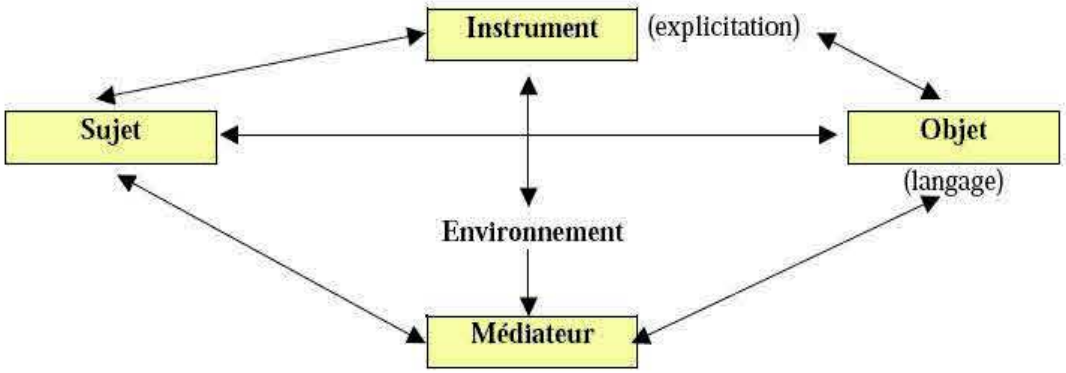


Illustration 6: Interaction entre les différents pôles dans une situation d'apprentissage.

On trouve d'une part l'élève dont l'objectif est de « manipuler l'objet » et le pédagogue qui met l'instrument en action lui donnant ainsi tout son sens. Il devient alors le médiateur entre l'élève et l'objet. Le sujet peut ainsi s'approprier l'instrument qu'il vient de voir en action et dont il vient de comprendre le sens. Ce sens donné à l'outil est primordial ,car il va permettre à l'outil de devenir un instrument.Il s'agit de genèse instrumentale. D'autre part, le lien entre le médiateur et l'élève est important car il va venir soutenir l'élève dans ses actions et l'aider à formuler, à expliciter les informations dégagées de l'expérience. Cette médiation est essentielle car elle va permettre au sujet, après la phase d'appropriation de l'instrument, se dépasser et à dépasser le cadre du « pré-réfléchi » pour accéder à une réelle compréhension du problème et de la procédure apportée pour répondre aux contraintes de l'énoncé. Ce concept de « pré-réfléchi » nous montre aussi comment il est parfois possible pour un élève d'accomplir une action sans même en comprendre le fonctionnement ni le but.

On aura donc remarqué que le rôle du médiateur qui agit en mettant en œuvre des méthodes et des techniques dans le but de conduire l'élève dans un processus qui au premier abord ne semble pas intuitif est essentiel dans la prise de conscience et l'appropriation des nouveaux savoirs.

F. L'utilisation d'instruments en mathématiques.

1.Interaction inter instrumentale.

Comme un menuisier qui possède sa caisse à outils, remplie d'instruments variés, les instruments pour l'élève ne sont pas uniques et utilisables seuls uniquement, mais sont en liens les uns avec les autres, pour former un ensemble , un outillage en vue d'une situation précise. Comme l'ébéniste utilisera son rabot, puis son maillet et son ciseau à bois simultanément pour sculpter une pièce de bois, l'élève utilisera en mathématiques par exemple, la dérivation puis le factorisation pour étudier une fonction. Le système d'instruments est donc formé par l'élève à un moment précis pour la résolution d'une tâche précise par l'ensemble des ressources disponibles, de ce qu'il maîtrise ou connaît. C'est en quelque sorte ce que ferait une cuisinière en préparant un gâteau, elle prendrait à sa disposition un saladier, un fouet ,une cuillère en bois et un moule.
D'un point de vue didactique, la présentation d'un artefact encore méconnu des élèves doit être anticipé du point de vue des répercutions qu'il aura sur le système d'instrument que les élèves possèdent. La question se tourne donc vers le choix d'artefacts adaptés et aussi sur la façon de guider les élève dans leur genèse instrumentale afin qu'ils développent des outils pertinents régulant l'équilibre de leur système instrumental.

2.Zone proximale de développement de Vygotski.

Les capacités d'apprentissage des enfants ainsi que la recherche des meilleurs conditions pour parvenir à des résultats intéressants ont été à maintes occasions un objet d'étude privilégié des chercheurs et psychologues.

La zone proximale de développement un concept qui est tiré des travaux réalisés par Lev Semionovitch Vygotski, psychologue biélorusse du début du XXéme siècle. Il s'agit d'une zone dans laquelle les élèves apprendront plus efficacement et dans laquelle leur potentiel d'apprentissage sera développé. Cette théorie montre par exemple que des enfants auront tendance à s'améliorer et à

mieux apprendre quand ils ont à leur proximité quelqu'un dont le niveau cognitif est plus élevé que le sien. L'objectif potentiel de ce concept est de permettre au pédagogue d'axer son travail vers des apprentissages adaptés orientés sur le futur et les notions arrivées au terme de leur développement, et plus seulement sur les notions qui on déjà été assimilées . « *Ce que l'enfant est en mesure de faire aujourd'hui en collaboration, il saura le faire tout seul demain* ». La théorie suggère également que les différences qui résident entre les élèves peuvent êtres provisoires et dues à une marge de progression. La théorie des zones proximales de développement a été mise en parallèle avec le principe d'apprentissage par imitation. L'apprentissage par imitation est une méthode qui se fait souvent de manière automatique, surtout chez l'enfant, et qui permet de mettre en marche les processus de développement et d'assimilation de nouveaux concepts. Remarquer ce qu'un élève est capable ou non d'imiter, permet de fournir des renseignements et d'adapter son enseignement en choisissant les bons éléments qui peuvent être mis à disposition des élèves pour faciliter l'apprentissage.

Le concept de zone proximale de développement est plus large que la psychologie du développement. Il s'agit également d' une zone de développement potentiel qui touche à tout ce qu'un individu est en mesure de réaliser du moment ou quelqu'un est là pour l'aider. *"Percevoir les choses autrement c'est en même temps acquérir d'autres possibilités d'action par rapport à elles. [...] En généralisant un processus propre de mon activité, j'acquiers la possibilité d'un autre rapport avec lui."* (Vygotsky).

3.Plan didactique de l'utilisation d'instruments.

Comme nous l'avons entrevu, il existe plusieurs espaces qui permettent de représenter de manière théorique des lieux ou des ambiances d'apprentissage. La construction de situations didactiques et l'utilité des instruments dans de telles situations peut être modélisé par un précis dans lequel se côtoient la zone proximale de développement instrumentale, la zone proximale d'apprentissage ainsi que la zone d'activité potentielle.

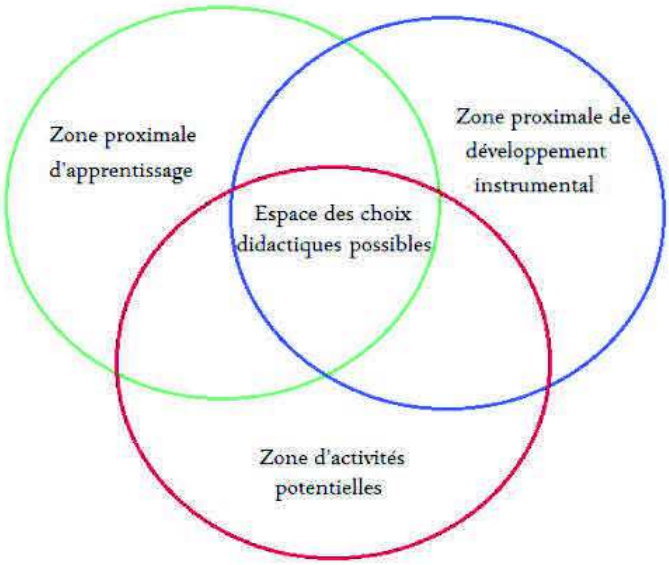


Illustration 7: Espace des choix didactiques possibles.

Nous retrouvons la zone proximale de développement de Vygotski qui est liée aux artefacts disponibles pour la situation considérée, tant pour l'élève que pour le professeur. La zone d'activité potentiellement possible qui dépend une fois encore des instruments disponibles, et enfin, une zone proximale d'apprentissage qui est relative aux objectifs de développement des savoirs mathématiques que le professeur peut suggérer à ses élèves tout en les guidant à une époque bien précise.

Ces zones sont riches d'éléments et de possibilités et toutes ne sont pas entièrement connues et c'est donc au carrefour de celles-ci que viennent se situer les choix didactiques de l'enseignant parmi la multitude de possibilités induites par ces différents milieux.

4.Utilisation d'instruments, conceptualisation et représentations externe de savoirs.

Même si une part importante des représentations et de la conceptualisation se fait mentalement, il reste une part non négligeable de constitution de ces éléments qui se fait de manière externe. La capacité de transcrire ses pensées par l'utilisation de symboles et du langage mathématique permet de partager ses raisonnements, ses idées avec les autres, mais aussi et surtout d'agir sur sois même en faisant évoluer ses connaissances vers un autre statut. C'est ce que souligne Vergnaud, mathématicien, philosophe et psychologue français. Il précise : « *Une connaissance mise en mot et en symboles n'est plus la même connaissance. ».* Nous pouvons donc nous interroger sur le rôle de ces représentations dans l'apprentissage des mathématiques. L'utilisation de signes et de symboles pour représenter des objets constitue ce que l'on appelle les représentations sémiotiques. Les mathématiques étant constituées d'objets « abstraits », la seule représentation qui est envisageable et la représentation sémiotique par exemple les graphiques, les formules... qui en représentent différents registres. Ces représentations permettent la communication, l'échange et l'utilisation des mathématiques. Pour qu'une conceptualisation mathématique se réalise au mieux, il est important que pour un objet donné, plusieurs représentations soient possibles. Elles permettrons à l'objet à proprement parlé de se distinguer de ses représentations. La difficulté de passer d'un registre à un autre , par exemple passer d'un tableau de valeur à une représentation graphique sont à prendre en compte mais cette capacité de passer d'un registre à un autre est essentielle car elle permet le processus de compréhension. Chevallard didacticien des mathématiques a mis en évidence deux types d'objets mathématiques : les objets « ostensifs » qu'il est possible de manier (un graphique par exemple), et les objets « non ostensifs » que Luc Trouche définit de la manière suivante « il s'agit des objets que l'on peut simplement évoquer à partir des ostensifs qui lui sont associés et qui guident le travail sur les ostensifs ».En cela, on peut rapprocher ces objets du concept d'instrument ;

En effet, chacun de ces objet comporte deux facettes, une qui permet d'agir, de faire, et une autre de l'ordre de la sémiotique qui permet de constater ou de rapporter les actions qui ont eu lieu. Luc Trouche précise sur ces concepts que les ostensifs constituent des instruments sémiotiques. Il existe deux points de vue sur ces objets particuliers . Bosch & Chevallard se placent du point de vue de l'action à accomplir constituée de manière synchrone avec les techniques et les instruments sémiotiques associés mis ensemble dans un cadre donné!; Tandis que Duval se place au niveau de l'activité mentale de l'élève . Ce denier effectue son apprentissage dans un cadre donné, qui change de l'habituel et qui impacte l'élève, permettant ainsi l'étude du *« coût cognitif d'une technique, à partir des traitements ou des conversions qu'elle suppose. »* permise par une approche sémiotique.

II .Outils et développement des compétences en géométrie spatiale au travers d'expérimentations.

A. Présentation générale de l'expérience.

Nous avons vu dans nos précédents propos toute la place accordée à la géométrie spatiale au cours de la scolarité de nos élèves. Ces explications, ont été l'occasion d' appréhender et de mesurer la diversité des outils et des artefacts mis à disposition des élèves ainsi que les avantages et contraintes liés à leur utilisation. Nous avons également pu constater toute l'importance et la diversité des contextes d'apprentissages aux seins d'environnements et de situations adaptés, propices à l'apprentissage ainsi qu'à l'appropriation de nouvelles compétences et de nouveaux savoirs. Nous nous sommes également interrogés sur l'influence que générait l'utilisation d'instrument sur la construction du savoir, mais également sur la diversité des actions que ces outils suggéraient. Nous avons alors pu éclaircir le fonctionnement de l'apprentissage en mettant en exergue les principes de schème d'actions, de genèse instrumentale et de zone proximale de développement.

A présent, nous allons étudier un protocole expérimental que j'ai eu l'occasion de mettre en place avec ma classe de seconde, dans l'objectif de vérifier et de nous renseigner sur l'hypothèse émise au début de ce mémoire qui était de savoir si une approche instrumentale permettait de développer chez l'élève les compétences relatives à la géométrie dans l'espace. A travers ces travaux, nous essayerons de constater et de mesurer autant que cela sera possible, tous les impacts et les comportements que l'utilisation d'instruments à pu générer sur les mathématiques produites et apprises par les élèves. L'expérience proposée s'est décomposée en deux parties. Afin d'en rendre compte de manière la plus fidèle qui soit, nous aborderons dans une première partie l'expérience dite « d'approche » effectuée courant février, dont l'objectif principal était de placer les élèves dans un contexte de géométrie spatiale, et de réinvestir toutes le notions et le vocabulaire rencontrés durant l'année, notamment lors du travail sur ce thème au mois de septembre. Bien entendu, cette activité comporte une partie « pratique » visant à mener les élèves à manipuler divers instruments et d'étudier des situations de positions relatives et d'incidence. Cette expérience s'est déroulée en deux étapes, l'une d'abord sans utiliser d'objets auxiliaires, en traitant les questions de manière mentale, sans avoir modélisé ou animé de manière réelle le problème, (forçant ainsi la vision mentale de l'espace), et la seconde , en reprenant les mêmes questions, mais en ayant la possibilité de donner vie au problème en construisant leur propre vision de la situation, et ce, en faisant intervenir l'utilisation d'outils variés. Cette première expérience pourra d'ors et déjà nous fournir quelques renseignements relatifs a la problématique posée.

Dans une seconde partie, nous exposerons, la deuxième expérience proposée aux élèves qui est l'expérience bilan. Plusieurs versions de celle-ci ont étés suggérées et ont évoluées au cours de ces travaux avant d'aboutir à celle qui a été mise en place. Celle-ci est basée sur un problème ouvert plutôt concret et qui laisse les élèves imaginer, tester, expérimenter avec tous les outils mis a disposition. Il s'agit là d'anticiper un phénomène naturel qu'est l'ombre d'un solide projeté sur une surface plane. Ils pourront donc conjecturer le résultat et proposer une solution qui sera validée ou non lorsque la lumière sera allumée. Nous pourrons donc voir avec les résultats de cette expérience si les principales règles de la géométrie spatiale on put être appliquées que ce soit de manière consciente (connaissance de ces règles) ou de manière intuitive en faisant appel à un certain pragmatisme relatif à la faculté qu'ont certaines personnes de percevoir les choses qui nous entourent. Le but réel de cette expérience est de voir si l'utilisation d'instruments permet réellement aux élèves de construire un savoir sans perdre de vue qu'a travers toutes ces démarches, le but profond est de former les élèves à des situations concrètes et de stimuler leur imagination et

leur sens logique afin de les amener à acquérir des réflexes, leur fournir des clés qui puissent être utiles à chacun aussi bien dans la poursuite de leurs études qu'au quotidien dans les situations qu'ils pourront rencontrer au cours de leur vie.

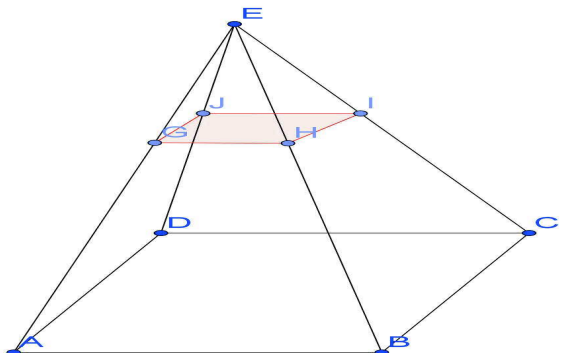
B. Première expérience.

1. Présentation.

Cette première expérience se compose d'une partie théorique et d'une partie pratique qui sont articulées autour de questions centrales touchant les principaux domaines de la géométrie spatiale. Elle se divise en deux exercices basés sur la même question centrale qui est de qualifier les positions relatives entre diverses parties d'un solide. D'une part, les élèves ne pourront utiliser uniquement que le dessin qui illustre l'énoncé, puis, dans une seconde partie, ils pourront construire, modéliser la situation avec divers objets et matériaux, en laissant bien sur chaque groupe d'élèves construire sa propre représentation du solide étudié, sans jamais intervenir, ni fournir d'indications préalables. Les deux exercices ne différent quasiment que sur le type de solide qui y est étudié, néanmoins une question plus technique (alignement de points dans l'espace) est présente dans le second exercice.
Ici seul les connaissances de bases déjà travaillées avec les élèves lors de la séquence sur la géométrie dans l'espace seront réinvesties. Les notions de plans et de droites sécantes , parallèles et coplanaires seront les seuls objets étudiés. Les sections seront un objet d'étude ultérieur. Cette activité est une activité préliminaire qui précède l'expérience finale dans laquelle la complexité de la situation rencontrée ainsi que les objectifs à atteindre seront plus pointus et nécessiteront davantage de dextérité et d'expérience pour parvenir à un résolution optimale.

Dans le premier exercice de notre activité préliminaire, les élèves seront amenés à travailler avec la pyramide à base carrée suivante

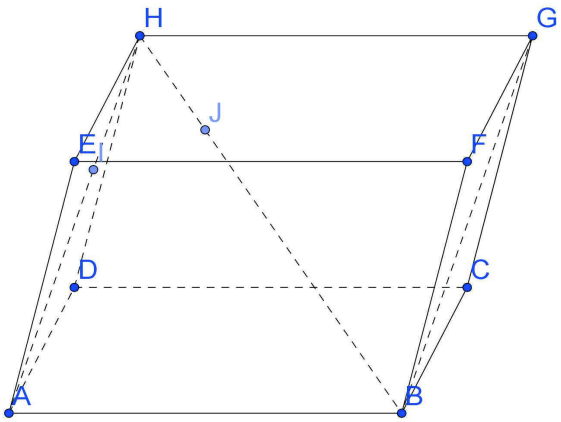
Il leur sera alors demandé d'étudier les positions relatives des objets suivants : (AE) et (DAB) ; (EC) et (DAB) ; (CB) et (EDA), (AB) et (CD). On précise ensuite que G est le milieu de [EA], H le milieu de [EB] et I le milieu de [EC] et J le milieu de [ED]. Il est alors demandé de qualifier la position relative de la droite (GH) et de la droite (CD) ainsi que la position relative des plans (IJH) et (CBA) ?



Le deuxième exercice est basé sur l'étude du parallélépipède non rectangle illustré ci dessous..

On précise que I est un point du segment [AH] et J un point du segment [HB] distinct du point H.

Il est ainsi demandé aux élèves d'étudier la position relative de la droite (HB) et du plan (GBA), puis de donner tous les plans auxquels appartient le point J. On est ensuite amené à s'interroger sur les points I et J (pour éventuellement réfléchir à leur alignement), et enfin, a qualifier la position relative des droites (IJ) et (BG).



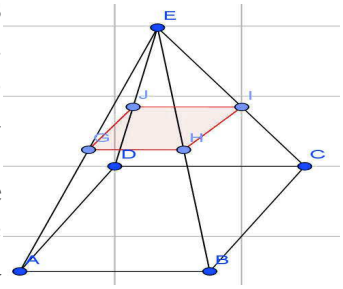
Ces deux premiers exercices sont intéressants car les situations qu'ils proposent ne sont pas évidentes pour tous les élèves d'une classe de seconde tant du point de vue du vocabulaire qu'il faut réinvestir, que de la capacité à visualiser dans l'espace. Il sera donc particulièrement captivant de constater les différentes procédures engagées par les élèves pour détourner la difficulté première de l'abstraction, et l'impact que telles manipulations pourront avoir sur d'éventuels comportements futurs, et sur leur aptitude à travailler dans l'espace.

2. Mise en place de l'activité, protocole expérimental.

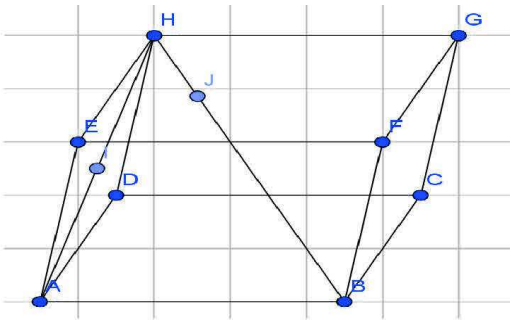
Le déroulement de l'activité est prévu sur une séance d'une heure en classe entière. Après avoir expliqué clairement aux élèves le rôle de cette activité et le travail qui va être effectué sur leur production, le sujet de l'activité sera présenté, et les attentes ainsi que les modalités de travail seront clairement explicitées.
Les élèves travaillerons donc par groupe de trois ou quatre. Dans une première partie il sera demandé aux élèves d'essayer de répondre aux questions, sans aucune aide extérieure, sans outils et sans se concerter. Leurs réponses seront collectées puis je mettrai à disposition des élèves divers outils comme des Géomags, les logiciels de géométrie dynamique qui sont disponibles sur un poste informatique , des solides en cartons, des ficelles et le la pâte à fixe avec des punaises, pour qu'ils puissent par leurs propres moyens chercher et mettre en place des démarches pour résoudre notre problème, encore une fois en essayant de faire en sorte que chaque groupe ne s'inspire pas des idées des autres groupes. Les réponses seront à nouveau collectées et je laisserai ensuite les élèves échanger entre eux et manipuler à nouveau les outils pour qu'ils puissent à nouveau expérimenter avec les outils et voir si l'utilisation de ces derniers à évoluer et si les réponses apportées sont différentes.

3. Réflexion a priori.

Dans le premier exercice, comme nous l'avons déjà expliqué, une première partie consiste à qualifier simplement les postions relatives de différentes parties « naturelles » de la pyramide (une face par rapport à une arête …). L'exercice se complexifie par la suite avec l'apport de nouvelles informations. Un nouveau plan est défini, il s'agit d'un plan de la pyramide passant par le milieu des quatre arêtes reliées au sommet. Implicitement , derrière cette configuration particulière se cache le théorème de la droite des milieux. Il est ainsi demandé aux élèves de qualifier et de justifier la position relative de ce plan par rapport au plan de base.



Il est attendu des élèves qu'ils réinvestissent le vocabulaire adapté à la situation et qu'ils réutilisent le théorème de la droite des milieux. L'objectif étant de mesurer une évolution dans les réponses et dans les raisonnements au fur et à mesure que l'expérience avance.



Le deuxième exercice traite un cas similaire sur le fond, mais dans un parallélépipède. La différence ici réside dans la possibilité de faire varier les points I et J sur les segments [HA] et [HB] ; Il est intéressant d'éveiller le sens critique des élèves, notamment pour étudier la position relative des droites (IJ) et (BG).

Il est possible que dans la première phase de l'activité, (seul et sans outils) certains élèves n'arrivent pas à s'approprier le sujet et aient des difficultés a imaginer la situation , mais cela peut s'avérer intéressant si dans la seconde partie, ils arrivent à mettre en place une stratégie faisant intervenir les outils, susceptibles de les aider à progresser.
L'autre problème important que l'on puisse imaginer, serait que les élèves ne se rappellent plus des notions et du vocabulaire de la géométrie dans l'espace. Dans ce cas, je les inviterai à décrire avec leurs mots mais de façon la plus précise possible leurs impressions et leurs idées sur la position des droites et des plans. Pourquoi , ne pas également faire, entre deux phases de l'activité un bref rappel sur le vocabulaire ?

On peut de même penser que le changement de registre pour la représentation soit difficile. Comment passer d'un dessin à une figure en trois dimensions à construire soi même ? C'est en cela que la diversité des outils peut être intéressante puisque chacun peut choisir l'outil avec lequel il est le plus à l'aise. D'autre part, la phase trois permet justement un échange des techniques employées et pourquoi pas chez certain, l'émergence de nouvelles façons de concevoir l'outil.

Nous pouvons dors et déjà essayer d'anticiper les démarches que les élèves pourraient adopter pour mener à bien ces exercices. Il est par exemple possible que les élèves débutent l'analyse du sujet en colorant de différemment les parties étudiées de la figure. La visualisation pourrait ainsi être plus immédiate. On peut de même imaginer qu'ils prolongent au crayon les différentes droites pour constater des intersections. Cette méthode peut se révéler source d'erreurs pour certains élèves. On ne peut écarter l'hypothèse que certains élèves cherchent dés la première phase de l'expérience mettre en place une modélisation en utilisant par exemple leurs stylos pour représenter les figures en 3 dimensions.

En ce qui concerne la seconde partie du protocole, les outils mis à disposition des élèves laissent entrevoir un panel de possibilités parmi lesquelles nous pouvons relever la construction de la figure sur le logiciel GeoGebra puis déplacer les points pour faire évoluer la situation. On peut également imaginer l'utilisation par certains du logiciel GeoGebra 3D ou Geospace pour faire pivoter le solide.

Certains opterons peut être pour des méthodes plus « manuelles » en construisant avec les Géomags la figure et en délimitant éventuellement les plans avec de la ficelle. De même il sera possible de prendre les solides en carton et placer des punaises pour délimiter les points, tendre des ficelle pour imaginer les droites. Nous laissons aussi la possibilité de créer des patrons et étudier le problème en deux ou trois dimensions.

Bien qu'il ne s'agisse pas dans cette expérience de faire l'introduction d'une nouvelle notion dans le but de concevoir un cours, il restera intéressant de faire en sorte de réactiver et peut être pour certains de comprendre, les quelques principes suivants qui apparaissant dans les programmes officiels. Tout d'abord, développer la vision dans l'espace des élèves et entretenir les acquis antérieurs à travers la manipulation de solides usuels, mais aussi travailler les notions de droites, de plans de l'espace ainsi que leurs positions respectives. Le travail sur de tels configurations permet le réinvestissement d'autres champs des mathématiques tels que la géométrie plane. Mais également utiliser et manipuler des logiciels de géométrie dynamique.
On s'intéressera de plus au travail des compétences chercher, représenter et raisonner et modéliser, le but étant de mesurer au travers des trois écrits si les principales notions ont été assimilées et adaptées dans des situations complexes mais aussi et surtout si les outils ont permis l'appréhension de nouvelles situations en la transposant par exemple en une modélisation à échelle réduite.

4. Déroulement de la séance.

Bien que cette expérience eut été anticipée et préparée avec soin, le créneau durant lequel elle s'est déroulée s'est avéré ne pas être des plus favorables au bon investissement des élèves dans cette activité. En effet, pour des raisons de temps et de bonne gestion de la progression scolaire, j'ai choisi de proposer cette expérience à ma classe le vendredi avant les vacances de février(qui de surcroit était leur dernière heure de cours). Même si la majorité des élèves se sont volontiers prêtés au jeu, les conditions n'étaient pas optimales pour que tout le protocole soit appliqué de la façon dont il avait été prévu. Toutefois, les travaux réalisés par les élèves ainsi que leurs façons de procéder fournissent des informations intéressantes sur le rapport qu'ont les élèves à l'outil et sur l'appréhension qu'ils ont de certaines situations. Ces quelques éléments pourront bien entendu servir ce mémoire, d'autant plus qu'ils seront comptés par d'autres travaux. Nous allons à présent voir un peu plus en détail la façons dont s'est tenu cette séance.

La première phase de l'expérience s'est déroulée plutôt convenablement. Les élèves on pris à cœur le problème et on tenté de répondre aux questions du mieux que possible. Sur les six groupes, seuls deux se souvenaient du vocabulaire pouvant qualifier les positions relatives. Les autres avaient une perception plutôt pertinente mais n'arrivaient pas à qualifier correctement leurs ressentis. J'ai alors fais le choix de rappeler ces quelques notions afin de faciliter le travail de quelques élèves qui montraient déjà des signes de démotivation.

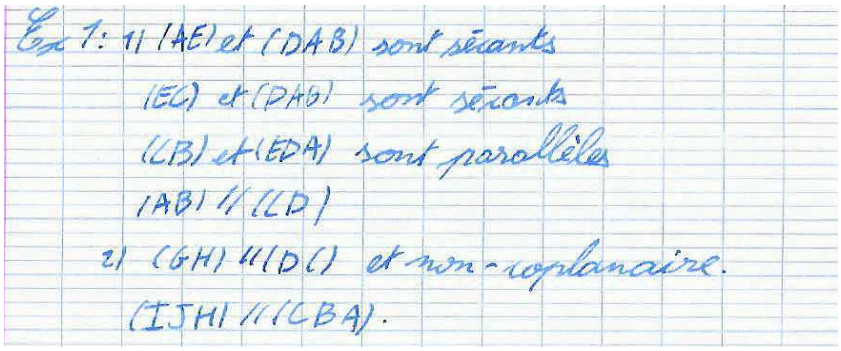


Illustration 8: Exemple de vocabulaire parfaitement maitrisé

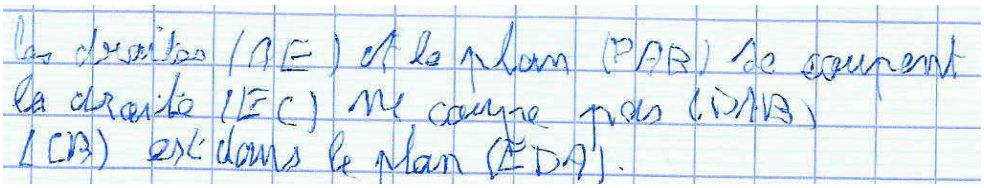


Illustration 9: Exemple d'imprécision sur le vocabulaire utilisé

Après avoir collecté les premiers résultats, nous avons repris les exercices avec tous les outils mis à disposition. Dans l'ensemble, les élèves ont essayé de reconstruire ce que les illustrations proposaient. Mais très vite l'attrait du jeu a été plus fort que leur volonté de travailler, et les constructions ont rapidement dérivé vers des solides légèrement plus ludiques.

Néanmoins, j'ai eu l'occasion de revenir sur des travaux particulièrement aboutis, avec notamment des simulations sur des logiciels de géométrie dynamique, des modélisations conformes aux problèmes et de vraies tentatives de résolutions. Rares ont étés les écrits de ces travaux, mais les quelques traces que j'ai pu relever sont exploitables. J'ajouterai à cela les remarques orales que j'ai pu collecter lors de mon passage vers chaque groupe.
Il n'y a pas eu de troisième partie à cette activité car le temps ne nous a pas permis de faire une mise en commun.

5.Exploitation des résultats et analyse.

Nous allons tout d'abord nous cantonner au premier exercice. Dans la majorité des cas, les élèves ont eu une bonne vision du problème et ont rapidement fourni les bonnes réponses aux questions posées. Le vocabulaire expliqué en classe a pu être réinvesti correctement à quelques exceptions près.

Illustration 10: Erreur de vocabulaire

Il est vrai que nous avions travaillé la notion de repère quelques jours avant cette séance, et que par conséquent il parait presque naturel que ce groupe d'élèves ait pu créer la confusion entre la notion de plan et de repère. Sur le fond, le résultat proposé n'en reste pas moins correct puisque les plans (IJH) et (CBA) sont parallèles. Dommage qu'aucune justification n'ait été proposée.
Certains élèves qui maitrisent ces notions avec aisance ont voulu aller plus loin en proposant les positions relatives d'objets non demandés.

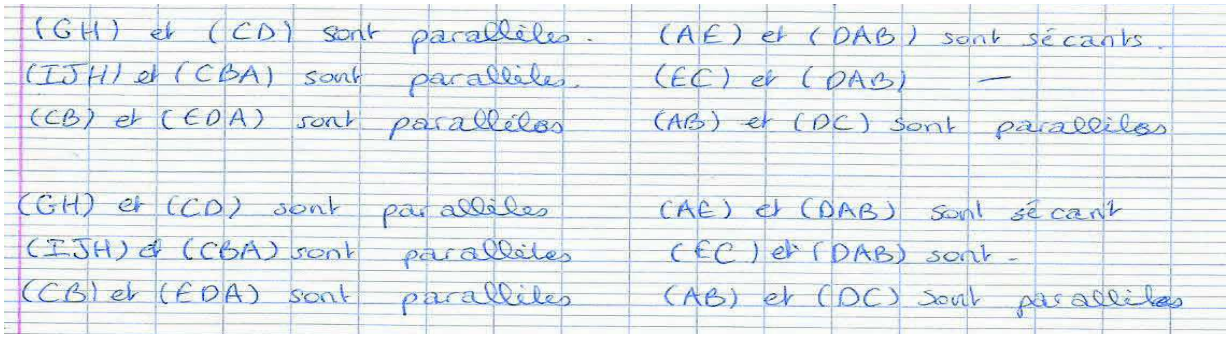


Illustration 11: Exemple de travail approfondi.

Cette partie de l'exercice ayant été plutôt bien réussie, il sera difficile de mesurer l'influence qu'aura la manipulation des outils sur la compréhension de telles situations. Il sera toutefois intéressant d'observer la mise en situation des problèmes posés.

En revanche, les questions « Quelle est la position relative de la droite (GH) et de la droite (CD) ? » et « Quelle est la position relative des plans (IJH) et (CBA) ? » On été nettement moins bien réussies. D'ailleurs, cela semble assez confus dans la tête de certains élèves, et le raisonnement qu'ils exposent est assez délicat à comprendre sans leur demander des explications supplémentaires. La figure suivante nous témoigne assez bien ces propos. (ce texte n'a pas été tronqué, aucun autre élément n'était présent sur la copie).

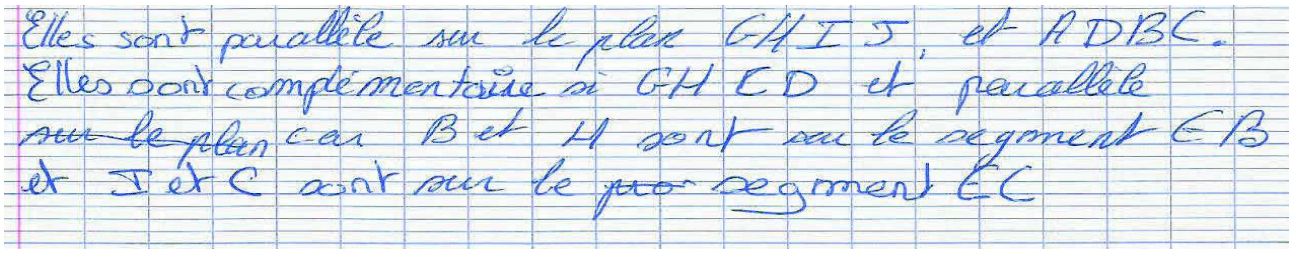


Illustration 12: Exemple de raisonnement peu compréhensible.

Il sera alors peut être plus facile pour de telles situations de mesurer l'impact de l'utilisation des outils, du moins dans les explications orales qui accompagneront leurs travaux.

Nous allons à présent regarder quelques unes des constructions réalisées par les élèves et les nouvelles réponses qu'elles ont pu engendrer. Tout d'abord, voici une modélisation réalisée par un élève sur le logiciel Geogebra 3D.

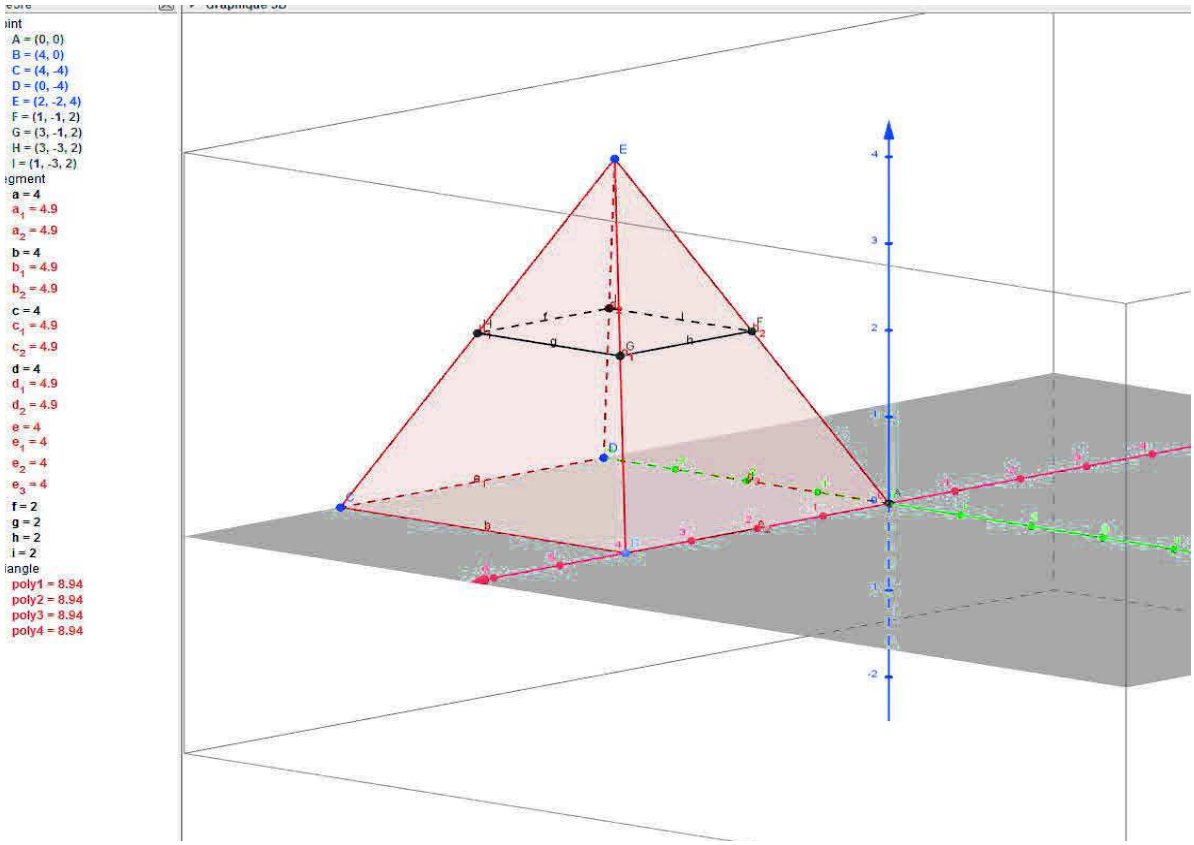


Illustration 13: Modélisation sur le logiciel GEOGEBRA

Cette production à été très bien réalisée et a permis à l'élève de pouvoir réellement s'approprier la structure de cet exercice. Lors de la première phase (sans instrument ni outil), l'élève n'avait pas répondu aux deux questions citées plus haut. Le fait de « concevoir » virtuellement ce solide lui a permis de mieux réfléchir.
En effet,il a ainsi pu conjecturer que les segments [GH], [HI], [IJ] et [JG] étaient respectivement parallèles aux segments [AB], [BC], [CD] et [DA] après quoi il a en a déduit que les plans (ABC) et (GHI) étaient parallèles. Je lui ai alors demandé s'il pouvait justifier ses propos. Il m'a alors expliqué que grâce au théorème des milieux, chacun des segments [GH], [HI], [IJ] et [JG] était bien respectivement parallèle aux segments [AB], [BC], [CD] et [DA]. Et que de ce fait, la conclusion conjecturée ci dessus était bien vraie.

Comme nous l'avons vu, précédemment, les apprentissages restent souvent attachés aux situations dans lesquelles elles ont étés découvertes. On peut alors se questionner sur le fait de savoir si la transformation effectuée chez notre sujet ne se rapprochait pas des conditions dans lesquelles il a pu découvrir ces notions.

Regardons à présent un nouvel exemple: Ici, les élèves ont choisi de modéliser la situation à l'aide de crayons et de ficelles.

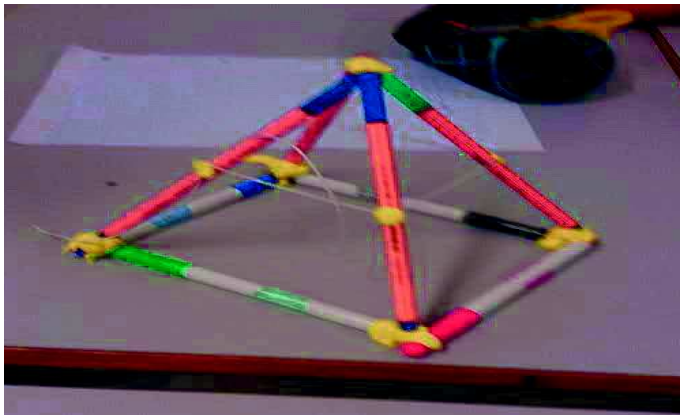
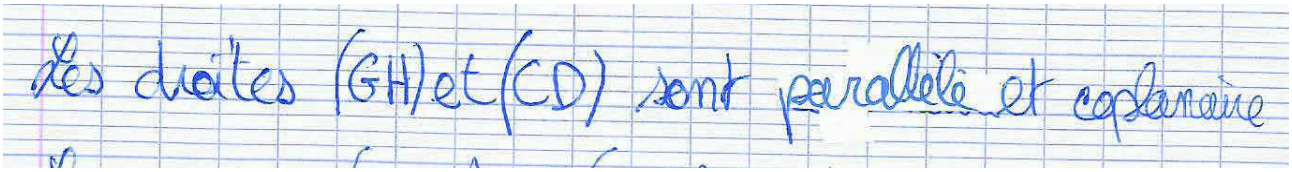


Illustration 14: Exemple de Modélisation.

Lors de la première phase de notre activité, ce groupe n'avait pas réussi a répondre aux questions « Quelle est la position relative de la droite (GH) et de la droite (CD) ? » et « Quelle est la position relative des plans (IJH) et (CBA) ? » Après avoir modélisé la situation, la réponse leur est paru beaucoup plus évidente, et leur vision du problème est devenue plus fine.



Comme nous pouvons le voir sur la figure ci dessus ce groupe d'élève précise que les droites (GH) et (CD) sont coplanaires après avoir indiqué qu'elles étaient parallèles. Ce détail est assez intéressant car ces élèves ont compris que puisque les droites étaient parallèles, il était possible de trouver un plan passant par les quatre points définissant cette droite. Ici, le fait de pouvoir modéliser le problème a permis de mieux en observer tous les aspects et d'avoir un œil plus aiguisé sur les relations entre les différents éléments. Ils ont alors aisément conclu que les deux plans (ABC) et (GHI) étaient parallèles et leur justification était très pertinente bien qu'il n'aient pu citer le théorème de la droite des milieux.

Une situation similaire à pu être observée dans un autre groupe: La modélisation du problème avec de GEOMAGS a permis une fois encore de mieux appréhender le problème.
Regardons à présent l'exercice 2. Peu d'élèves se sont emparés de cet exercice. Seul deux groupes ont réellement travaillé dessus et proposé une solution. Il sera donc difficile d'en exploiter toutes les facettes.

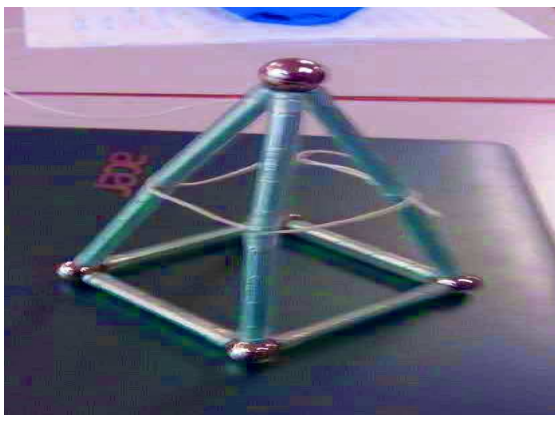


Illustration 15: Exemple de modélisation.

Le premier groupe a répondu correctement au problème. Il s'avère que ce groupe était constitué d'élèves assez à l'aise en mathématiques.

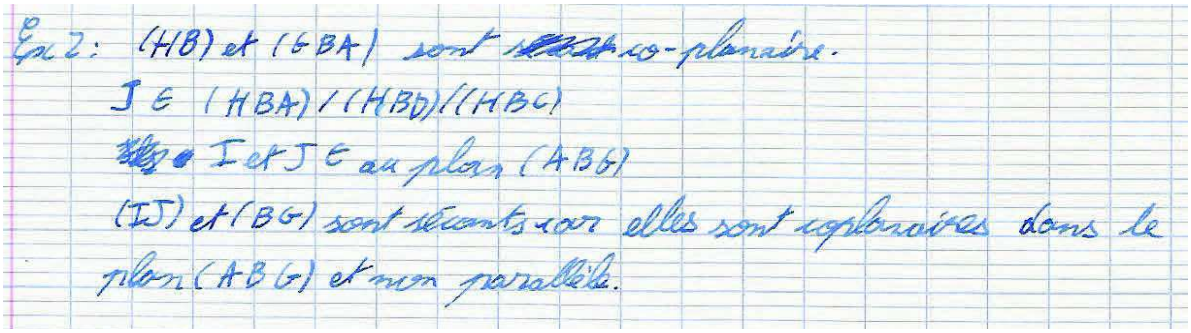

Ex 2 : (HB) et (GBA) sont co-planaire.
J ∈ (HBA) / (HBD) / (HBC)
I et J ∈ au plan (ABG)
(IJ) et (BG) sont sécants car elles sont coplanaires dans le plan (ABG) et non parallèle.

Illustration 16: Réponses fournies par un groupe d'élèves dès la première phase.

Le deuxième groupe a éprouvé un peu plus de difficultés. Leurs justifications sont un peu confuses mais le perception reste pertinente. Nous verrons par la suite si la modélisation entraine des changements de perception.

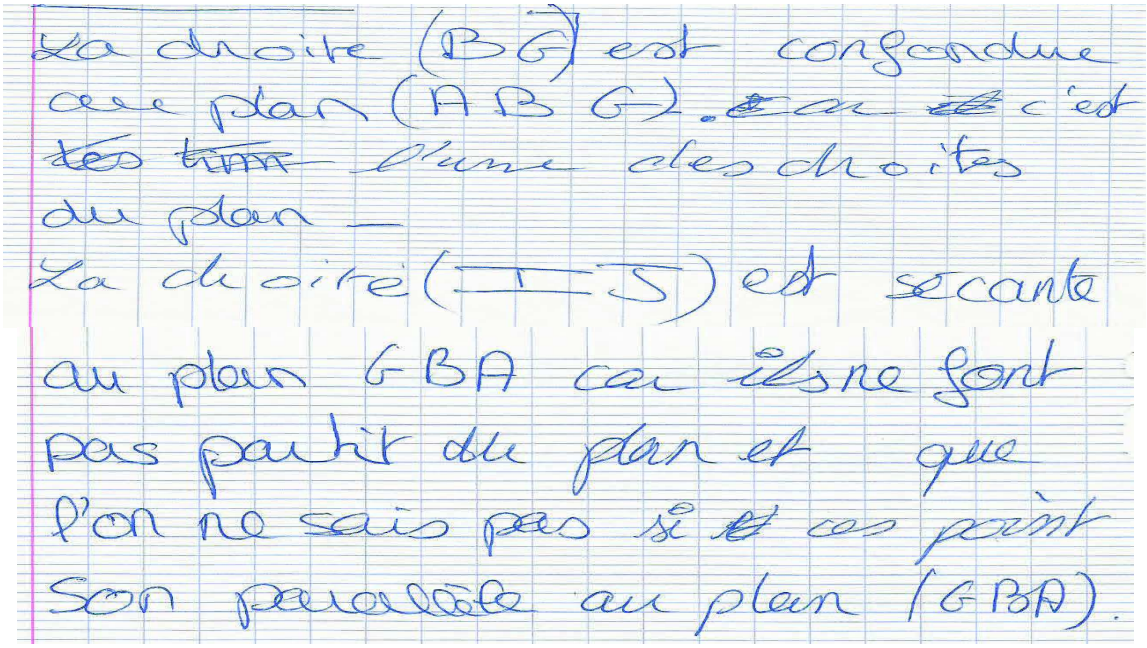

La droite (BG) est confondue au plan (ABG). car c'est l'une des droites du plan —
La droite (IJ) est sécante au plan GBA car ils ne font pas partit du plan et que l'on ne sais pas si ces point son parallèle au plan (GBA).

Illustration 17: Exemple de raisonnement .

On remarque la phrase « On ne sait pas si ces points sont parallèles au plan (GBA) ». Là encore des confusions semblent être présentes dans la façon de percevoir les choses.

Faisant partie des rares groupes encore motivés pour cet exercice, j'ai veillé a ce qu'ils mènent à terme cette activité en modélisant le problème à l'aide d'outils. Le résultat à été d'un qualité remarquable car leur réalisation est vraiment bien conçue.

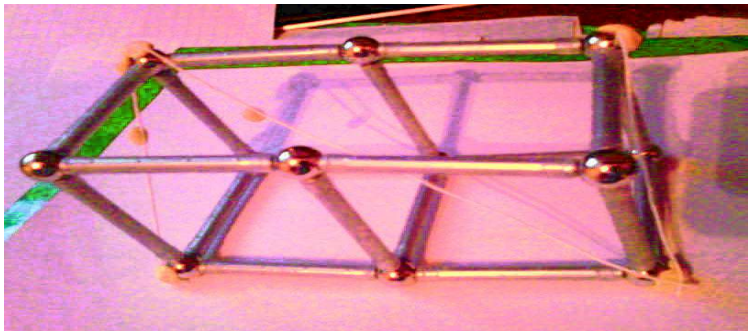


Illustration 18: Modélisation de l'exercice 2.

En dialoguant avec ces élèves j'ai pu constater que la possibilité de travailler avec « l'objet réel » présentait pour ceux-ci une nouvelle façon de voir les choses, comme si le problème était totalement nouveau. Il ont pu effectuer quelques tests et ont amélioré la réponse qu'ils avaient apportée au problème lors de la première étape. C'est d'ailleurs assez marquant de constater une telle évolution. Il est vrai que ces élèves manipulaient avec aisance les Geomags et ont d'ailleurs construit le solide assez rapidement. Mais ce qui est d'autant plus remarquable, c'est la façon dont ils ont perçu ce nouvel objet et surtout la facilité avec laquelle ils ont pu s'emparer des questions et y répondre.
Un autre groupe a essayé de traiter ce problème en utilisant un cube en carton et de la ficelle. Mais la qualité de la modélisation très approximative et la motivation des élèves n'a pas permis d'exploiter aucun résultat.

Illustration 19: Une autre modélisation.

6. Conclusion de cette première expérience.

Bien que tout n'ai pas fonctionné de la façon la plus performante qu'il soit, les quelques exemples relevés ici illustrent assez bien qu'à chaque notion mathématique, on peut associer une situation qui permet la modélisation du concept abordé. Les outils ont ici joué un rôle essentiel, puisqu'ils faisaient partie intégrante de l'activité, mais aussi et surtout car les élèves les ont utilisé de façon pertinente (ou presque) pour transformer le problème auquel ils étaient confrontés. Ils ont ainsi pu regarder sous un nouvel angle les situations proposées pour parvenir à en percevoir toutes les contraintes et saisir au mieux chaque information qui était alors exposée à leurs yeux. Les élèves se sont donc placés dans un cadre d'apprentissage puisqu'ils ont su s'adapter à l'environnement proposé en changeant leur comportement pour s'adapter au milieu. Ils ont su mettre en jeu un ensemble de réflexions, de recherches et de raisonnements pour parvenir à la solution. Cette situation semble donc avoir contribué à la construction des connaissances des élèves.

C. Deuxième expérience.

1. Présentation.

Nous allons à présent nous intéresser à le seconde expérience qui a été proposée aux mêmes élèves. La forme finale que revêt cette activité est l'aboutissement d'un processus qui n'a cessé d'évoluer au cours de ce mémoire. Les résultats de la première expérience, l'attrait des élèves pour de telles situations ainsi que des raisons de logistique ont eu un impact sur la modification de l'expérience telle qu'elle avait été pensée au début de ce mémoire.
La première idée que nous avions eu pour cette expérience était l'anticipation de l'ombre d'un solide (une maison pas exemple) que générait une lumière sur une surface plane (sol), le tout, présenté

sous forme de maquette. Cette activité aurait été réellement passionnante, mais n'aurait pu être réalisée qu'avec des petits groupes d'élèves. En effet, le temps de préparation, de mise en place et de rigueur nécessaire pour parvenir à la solution semblait assez délicate à gerer avec ma classe en cette période de l'année. J'ai alors imaginé de simplifier le problème en proposant par exemple d'anticiper l'ombre d'un cube ou d'une pyramide que génère une lumière sur une surface plane. Cette expérience est tout à fait réalisable mais elle nécessite d'être présent constamment vers chaque groupe d'élèves pour pouvoir exploiter au mieux leur raisonnement et suivre les différentes réflexions mises en place pour aboutir à la conclusion. Nous avons alors de nouveau simplifié l'expérience pour qu'elles soit le plus accessible possible aux élèves sans leur donner un nombre trop important de contraintes, mais aussi pour que cela reste facile à encadrer. Il fallait également veiller à ne pas prendre trop d'ampleur sur le temps dédié au cours, puisqu'une contrainte supplémentaire vient s'ajouter à nous en tant que professeur qui est celle de terminer le programme scolaire.

L'expérience qui à donc été choisie est basée sur le principe suivant. Étant donné une figure (plane), est-il possible de prévoir l'ombre qui sera formée sur une surface plane lorsqu'une lumière placée à un certain endroit sera allumée. Partant de cette idée, j'ai réalisé quatre dispositifs qui permettrait de rendre cette expérience facile à mettre en place et surtout facile a contrôler avec les élèves.

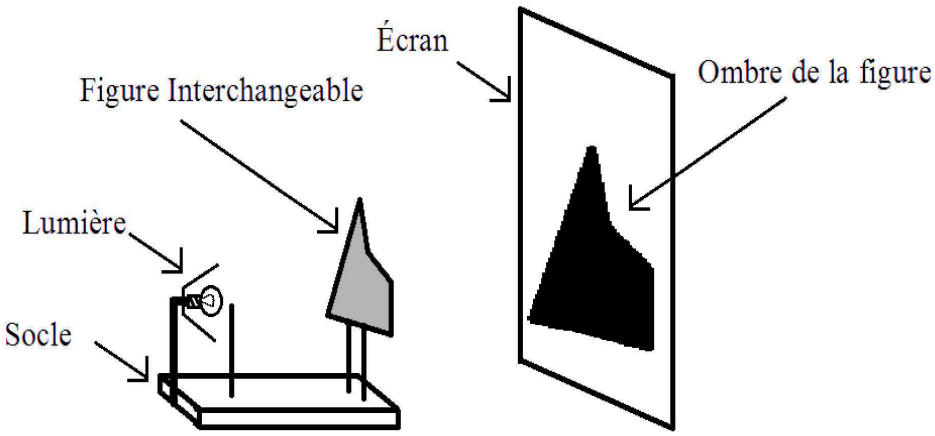


Illustration 20: Le dispositif expérimental.

Le principe est le suivant: Un support en bois sert de socle sur lequel sont placés à l'une des extrémités deux tiges de fer qui permettent de maintenir des figures interchangeables. A l'autre extrémité est placée une lumière que l'on peut enlever pour simplifier les manipulations. En son absence, elle est modélisée par le sommet d'une tige de fer. Face à ce dispositif, on vient placer un écran en papier sur lequel les élèves pourront anticiper l'ombre du solide proposé. Ils auront pour réaliser cela un panel d'outils variés comprenant des règles des équerres, un rapporteur, de la ficelle des punaises, des mètres ruban...

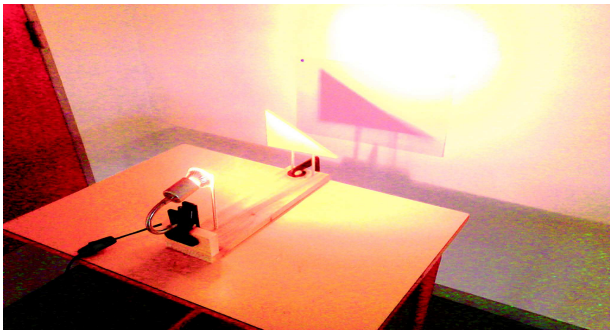


Illustration 22: Le dispositif expérimental avec lumière.

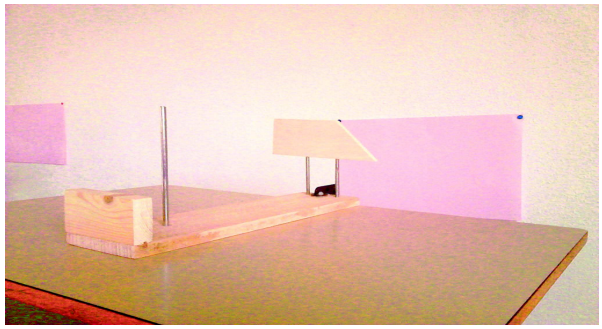


Illustration 21: Le dispositif expérimental sans lumière.

2. Protocole expérimental

La salle sera munie de quatre postes avec le dispositif ci-dessus solidement fixé sur les tables à l'aide de serre-joints. Les postes seront placés au fond de la salle de façon à pouvoir disposer d'un mur mais aussi à pouvoir rendre la pièce un peu plus obscure lors du contrôle par projection de l'ombre. Des figures seront déjà positionnées sur les supports et une table avec le matériel sera mise à disposition des élèves. Les dispositifs seront placés à une distance assez faible du mur (moins de 30 cm) afin que l'ombre soit d'assez bonne qualité, mais aussi de façon à ce que le matériel puisse être exploité correctement (règles, équerres et ficelles).

Dans le but de ne pas créer une ambiance trop propice à l'amusement, mais aussi pour rentabiliser au maximum le temps qu'il nous reste, la classe sera divisée en deux parties. Une première moité s'attachera à réaliser l'expérience pendant que l'autre travaillera sur des exercices. Les rôles seront intervertis à la moitié de l'heure. Cela permet de limiter le nombre de postes à contrôler mais aussi de constituer des groupes réduits.
Chaque groupe de trois élève sera placé à un poste, la consigne « *Pouvez vous reproduire sur la feuille de papier l'ombre qui sera crée par le solide lorsque la lumière sera allumée* » leur sera clairement exposé, puis les élèves seront laissés en parfaite autonomie. Dès qu'ils jugerons avoir un solution, ils m'appelleront pour effectuer une vérification et pour m'expliquer la démarche qu'ils ont engagée. Si les résultats proposés sont satisfaisants et que le temps le permet, nous pourrons alors faire varier quelques paramètres en donnant par exemple de l'angle à notre figure où encore en proposant une figure courbe.

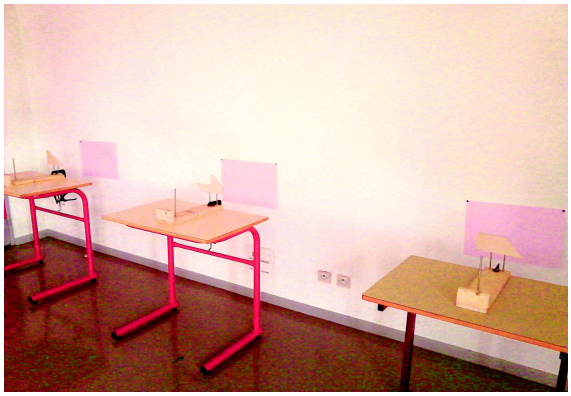


Illustration 23: Trois des quatre postes.

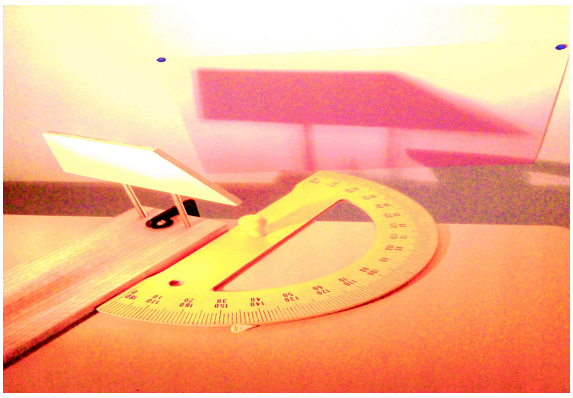


Illustration 24: Angle donné à la figure.

3.Réflexion a priori.

Nous pouvons d'ors et déjà essayer d'anticiper les éventuels éléments de réponse que pourront proposer les élèves.
Au vu de la situation, il est possible que d'instinct, les élèves puissent imaginer que l'aire de l'ombre soit identique à l'aire de la figure. De cette façon, il est probable qu'ils reproduisent simplement la figure sur la feuille aux mêmes dimensions et qu'il essaient ensuite d'aligner leurs tracés avec la figure, peut être à l'aide d'équerres.
D'autres penserons peut-être à utiliser des calculs et à essayer d'appliquer le théorème de Thalès en mesurant la distance du mur à un sommet de la figure et en prenant soin de s'aligner correctement avec le sommet de la tige modélisant la lumière. Après plusieurs mesures ils pourront déterminer les rapports de proportionnalité et ainsi calculer les dimensions de l'ombre puis la reproduire sur la feuille. Il ne restera plus qu'à aligner encore une fois cette représentation avec les différents points du dispositif.

Les méthodes de projection pourront être diverses et variées. Les ficelles mises à disposition pourront par exemple être tendues fermement du sommet de la tige au mur en passant par les sommets de la figure.
Sur le même principe, on peut imaginer utiliser la règle pour aligner ces points et placer ainsi chacun des points sur la feuille. Pourquoi ne pas également imaginer que quelques élèves effectuent des visées à l'œil pour placer les point sur l'écran.

Nous pouvons nous demander avec quelle approche les élèves vont aborder les petites variantes que nous pouvons proposer. En ce qui concerne le cas ou la pièce n'es plus parallèle comme sur la figure précédente, les méthodes de visées que nous avons énumérées précédemment seront toujours valables, mais par contre, il sera impossible d'appliquer le théorème de Thalès.
En ce qui concerne les pièces courbes, nous pouvons nous demander comment les élèves vont procéder pour approximer la partie incurvée de la figure pour que celle-ci soit le plus conforme possible au résultat attendu.

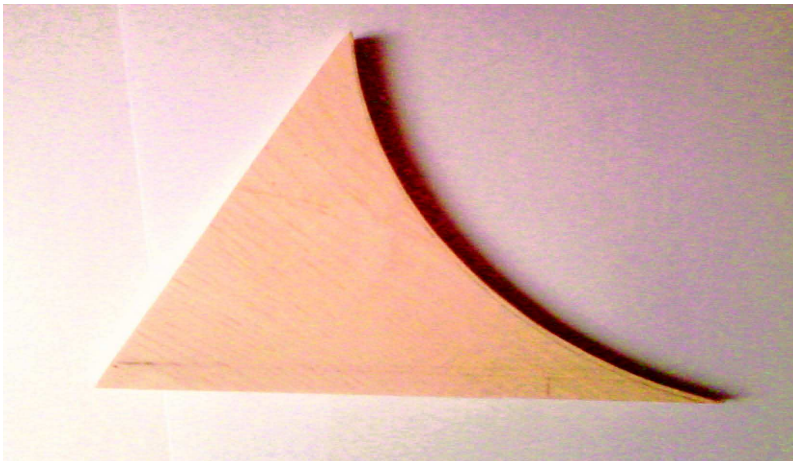


Illustration 25: Figure courbe.

Avec cette expérience, il ne s'agit pas de noter les élèves ni de les évaluer, mais simplement de mesurer leurs capacités d'adaptation à un problème ouvert, et de voir pourquoi et comment ils vont manipuler les objets dont ils disposent. Nous essaierons de voir si l'utilisation de ces outils permet finalement aux élèves d'aboutir à un résultat satisfaisant, que ce soit par hasard, par des essais successifs ou avec une pleine conscience de ce qu'ils doivent effectuer. Une attention particulière sera apportée à leur raisonnement ainsi qu'à la façon dont ils perçoivent les phénomènes qui nous entourent. Il n'est demandé aux élèves aucune trace écrite de leur raisonnement, simplement un tracé de l'ombre.
Pour ceux qui sont vraiment à l'aise avec ce type de problème, on pourra prendre un peu de temps pour les questionner sur les propriétés qu'ils ont appliquées et s'ils peuvent justifier leurs constructions. Il sera certainement difficile de mesurer si ces travaux pratiques ont eu un réel impact sur la construction de leur savoir, mais a priori, il ne fait aucun doute que cela restera tout aussi marquant, si non plus, qu'un exercice traditionnel.

4. Déroulement de la séance.

Cette expérience s'est parfaitement bien déroulée. Les élèves ont été attentifs, investis et soucieux de proposer une solution la plus performante qu'il soit. Ils ont réellement pris à cœur cet exercice et n'ont pas hésiter à multiplier les tentatives et les procédures pour être le plus précis

possible. L'ensemble des démarches qu'ils on pu mettre en œuvre sont d'ailleurs assez variées et traduisent assez bien la créativité de ces élèves.
Chaque groupe a d'abord travaillé avec la figure qui était placée sur leur dispositif, puis ensuite, nous avons pu échanger les figures et faire varier les paramètres de l'expérience. Même si certains résultats sont faux, ils n'en reste pas moins riches d'informations. De plus, il a été particulièrement captivant de regarder les élèves utiliser les objets qu'ils avaient à leur disposition, j'ai d'ailleurs pu assister à quelques détournements d'objets. Tous les objets sans exception ont été utilisés, et les protocoles utilisant les mêmes outils sont assez variés. Nous allons voir un peu plus en détail les solutions proposées.

5.Analyse réflexive des résultats.

L'une des premières tentatives de résolution auxquelles j'ai pu assister était celle d'un groupe qui travaillait avec le triangle rectangle.

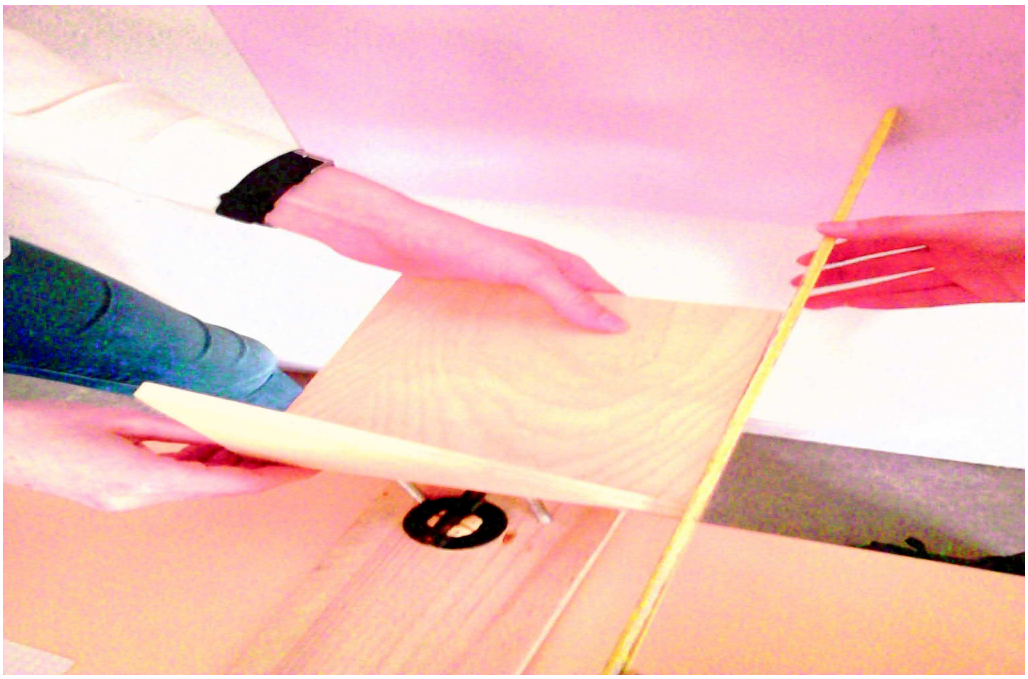


Illustration 26: Méthode de résolution d'un groupe d'élèves

Ici, les élèves ont décidé d'effectuer une projection orthogonale du triangle sur la feuille de papier. La figure obtenue est donc aux mêmes dimensions que celle d'où proviendra l'ombre. Pour réaliser cela ils ont placé une équerre sur le triangle et ont prolongé à l'aide d'une règle affin de parvenir jusqu'à la feuille de papier où ils ont ensuite pu tracer un point. Ils on procédé exactement de la même façon pour chacun des sommets du triangle et ont ensuite relié les points.
Lors des vérifications, lorsque la lumière s'est allumée, les élèves ont pu constater que leur proposition était fausse. Je l'ai ai alors amené à s'interroger sur les dimensions d'une ombre par rapport à l'objet dont il découle. J'ai ainsi pu apercevoir en eux une sorte d'étincelle, en effet, ils ont pu constater lorsque la lumière était allumée que l'ombre obtenue était plus grande que celle qu'ils avaient proposée. Je les ai alors laissé chercher une nouvelle méthode de résolution.

J'ai alors pu observer les élèves regarder la figure en se mettant au niveau de la lumière. Ils ont en quelque sorte effectué une visée à l'œil. Ils ont alors décidé de prendre un bord de l'équerre

l'équerre et d'aligner un sommet du triangle avec le sommet de la tige métallique pour tracer sur le papier un point modélisant le sommet de la figure. Il ont répété cette étape pour chaque sommet et ont ainsi pu construire la figure schématisant l'ombre. Leur travail à été très satisfaisant et les élèves on été fiers de constater que leur résultat était validé par la lumière

Illustration 27: Seconde tentative

Pour revenir sur la première tentative que ce groupe avait effectuée. On peut remarquer sur l'illustration donnée en début de partie que les élèves ont détourné un objet et l'ont utilisé pour un rôle auquel il n'est pas destiné à l'origine. En effet ils se sont servis d'une autre figure, le carré en l'occurrence pour remplacer une équerre qui était trop grande pour passer entre le mur et la figure.

Ici, le format de l'équerre imposait une certaine forme de contrainte, et ces contraintes ont joué un rôle important sur l'activité cognitive des élèves qui ont dû trouver une autre façon de répondre à leur besoin. Les possibilités d'actions que proposait la figure carrée était alors très intéressantes pour la situation. On a pu ici assister à une forme de genèse instrumentale. Les objets imposent parfois quelques limites qui dans une certaine mesure peuvent réduire le champ d'action et même par le fait devenir une contrainte, mais elle peut ainsi rendre possible, faire émerger de nouvelles formes d'actions. On remarque ici que le champ d'action des élèves a été élargi. Il y a eu ici une structuration de l'action découlant d'une phase d'appropriation durant laquelle apparaissent la formation des représentations liées à l'instrument, mais également des actions que celui-ci suggère. Il s'agit, comme nous l'avons évoqué précédemment des schèmes d'actions liées ici à l'utilisation de la figure carrée.

Regardons à présent les résultats d'un autre groupe. Les élèves de ce deniers ont uniquement utilisé des ficelles.

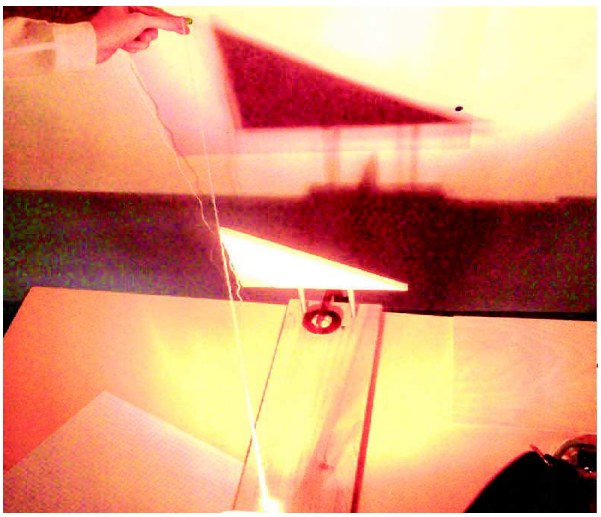


Illustration 29: Résolution à l'aide de ficelles

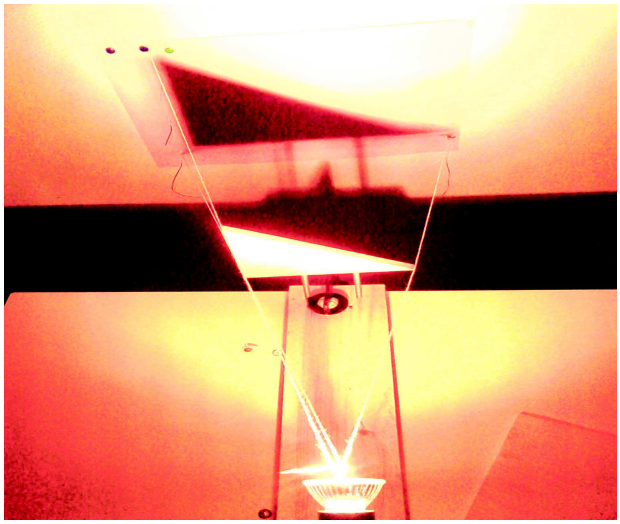


Illustration 28: Résolution à l'aide de ficelles.

Ces élèves ont rapidement compris que l'on pouvais (je cite) « Remplacer les rayons de lumière par du fil » . Cette remarque très pertinente les a conduits à modéliser les rayons lumineux avec du fil et à pouvoir ainsi positionner sur le papier les sommets de la figure. On pourrait ici encore voir la naissance d'un nouvel outil puisque la ficelle est à l'origine conçue pour d'autres usages.

Ce groupe avançant particulièrement vite, je leur ai proposé de travailler avec la figure courbe.

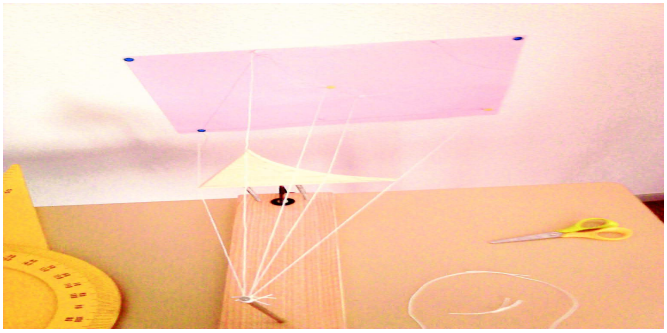


Illustration 30: Travail avec la figure courbe.

Ici encore, leur méthode reste pertinente. Il ont choisi d'approximer la courbe en plaçant deux ficelles intermédiaires entre les deux sommets. Ils ont ensuite effectué le tracé à main levée. Le résultat final n'est pas de mauvaise qualité mais reste quand même approximatif. Ils ont cependant eu conscience de ce phénomène et ont suggéré de placer un nombre plus important de points avec la ficelle.

Ce groupe à donc eu une représentation des phénomènes naturels d'une assez bonne qualité et se sont montrés très à l'aise avec la manipulation du matériel. La façon dont ils visualisent les choses est assez juste. Ils se sont d'ailleurs souvenus de la configuration de la pyramide de la toute première expérience qui leur rappelait ce qu'ils venaient de créer.

Voici à présent un autre point de vue avec la transposition d'un problème en trois dimensions en plusieurs problèmes en deux dimensions. Le groupe suivant a choisi d'effectuer un nombre important de mesures pour appliquer le théorème de Thalès et ainsi calculer les dimensions de l'ombre.

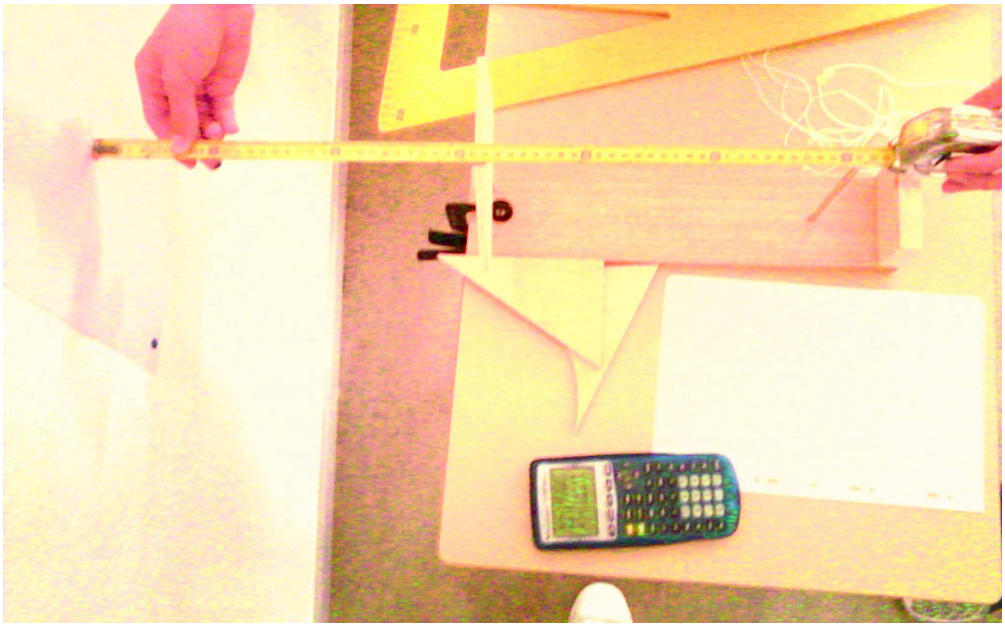


Illustration 31: Mesures pour l'application du théorème de Thalès.

Les premières tentatives ont été un échec puisque les élèves avaient oublié de vérifier que la figure soit bien parallèle à la feuille, mais très vite, en calculant les rapports ils se sont aperçus du problème qu'ils ont très vite su rectifier pour pouvoir avancer. Ils ont ensuite mesuré les angles de la figure de base et ont ainsi pu reproduire la figure sur la feuille. Il ne leur restait plus qu'à la positionner correctement. Pour cela, ils ont effectué deux visées à l'œil pour aligner le bas de leurs schémas avec le bas du solide. Le résultat obtenu était satisfaisant. Ils se sont tout de même assez vite rendus compte que les étapes finales (visées) auraient suffi à résoudre le problème.

Toutefois cette façon de procéder est vraiment différente des autres et permet de traduire une autre façon de voir les choses et de se représenter les situations en trois dimensions. En effet, ici les élèves ont cherché de passer de l'espace au plan, (ce qui est l'opposé de la toute première activité avec la pyramide). Ils ont donc traité les problèmes avec des instruments calculatrice et mètre qu'ils n'ont absolument pas détournés. Ici, ils avaient pleinement conscience des étapes de traitement qu'ils devaient réaliser. Ce qui résume la mise en place d'un processus de planification qui s'est opéré assez rapidement avec l'analyse de la situation et la prise en main des différents instruments.

Voici un dernier exemple de situation où la figure n'était pas parallèle au mur. Après avoir essayé d'utiliser l'équerre en la plaçant sur le mur et en s'alignant sur chaque sommet, les élèves se sont rendus compte qu'ils commettaient une erreur et qu'il fallait procéder autrement . Il ont très vite utilisé un autre procédé qui fonctionnait correctement.

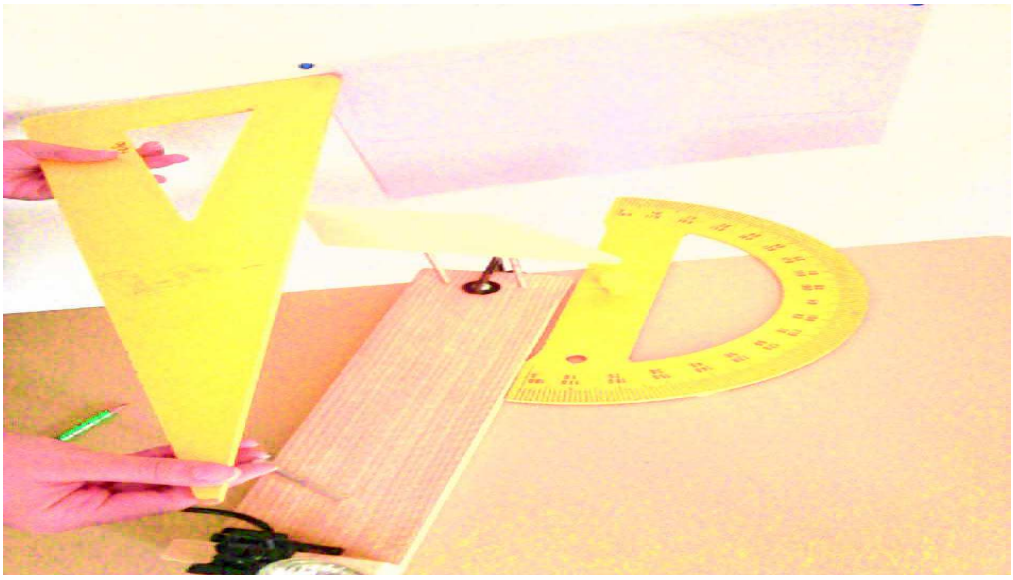


Illustration 32: Modification d'un paramètre.

6. Conclusion de la seconde expérience.

Cette erreur commise par les élèves illustre assez bien les difficultés que peut présenter un changement de cadre. Ce groupe d'élèves avait réussi parfaitement à modéliser l'ombre de la figure lorsqu'elle était parallèle au mur, mais une fois ce paramètre changé, ils ont décidé de changer leur technique. On peut imaginer que cette modification du comportement découlerait des actions pré réfléchies qu'ils ont pu engager à la première étape.

Ces quelques exemples illustrent assez bien que les schèmes diffèrent d'un individu à un autre et que les actions possibles et les caractéristiques d'un objet ne seront pas systématiquement perçues de la même façon. Il ressort également de ces expériences que le rôle du pédagogue est essentiel pour que l'activité puisse être mise en œuvre dans les conditions les plus favorables. J'ai pu constater que les interactions entre l'élève, la situation et les outils, évoluaient au fur et à mesure que l'activité progressait. Les apports du médiateur, ici l'enseignant sont très importants et il faut des fois peu de chose pour faire évoluer le rapport de l'élève à l'outil et à la situation. J'ai également pu remarquer que la médiation était essentielle dans le sens ou certains élèves un peu en difficultés ont sus tirer profit de l'appropriation d'instrument et aller bien au delà de ce qu'ils pouvaient imaginer car ils avaient perçu correctement les contraintes du problème.

Certaines actions presque quasi automatiques qu'accomplissent les élèves nous montre aussi qu'il est parfois possible pour un élève d'accomplir une action sans même en comprendre le fonctionnement ni le but. On peut ici se rattacher au concept de « pré-réfléchi »

D. Bilan de l'expérience.

Les deux expériences que nous venons d'exposer ont été d'une grande richesse tant du point de vue des renseignements qu'elles ont pu nous apporter sur la façon dont nos élèves abordent des situations mathématiques diverses que du lien social qui à pu se créer lors de la mise en place de ces activités et des échanges que j'ai pu construire avec les élèves.
Il est vrai que l'exploitation des résultats reste assez délicate et que les diverses productions n'ont pas toujours été réalisées de la façon la plus précise qu'il soit. Il est donc difficile de savoir si réellement l'utilisation d'outils ou d'instruments à eu un impact sur la construction du savoir chez les élèves. Néanmoins, il reste possible d'émettre quelques éléments de réponse à cette question. Bien plus que de se cantonner aux seuls éléments qui servent cette problématique, il parait aussi très intéressant d'exposer quelques éléments qui sont apparus lors de ces diverses expérimentations et qui ne font que conforter certains propos exposés dans la première partie, n'entachant en rien l'ensemble de ce travail.
Parmi les divers constats que l'on peut tirer de ces deux expériences, nous avons pu remarquer que les outils permettent d'appréhender diverses situations soit en permettant de modéliser le problème et d'effectuer un changement de registre comme nous avons pu le remarquer au travers de la première activité, mais aussi en en tant qu'indicateur comme la règle pour vérifier l'alignement de points ou encore le mètre pour mesurer la distance séparant deux points.
Nous retiendrons également de cette expérience un détail assez remarquable. Bien qu'un artefact soit conçu en réponse à une problématique donnée et qu'il soit fait pour « agir » dans une zone fonctionnelle définie par la société, la genèse instrumentale a permis ici la création d'instruments qui n'entrent pas dans zone fonctionnelle socialement définie,mais plutôt dans zone fonctionnelle potentielle. L'exemple du carré, qui à l'origine était une figure et qui a été utilisé comme équerre en est un assez bon exemple. Nous remarquons ainsi que les objets induisent différentes applications.
Cela ne fait qu'illustrer le concept de non neutralité des instruments et d'ailleurs, bien que ce phénomène puisse être d'une certaine façon avantageux, il peut être à l'origine d'erreurs parfois difficiles à expliquer.
Les différentes réalisations des élèves ont permis de mettre en évidence le principe de système d'instruments. En effet, il n'a pas été rare de voir les élèves combiner simultanément plusieurs outils pour résoudre une tâche précise mais aussi pour revenir à ce qu'ils maîtrisent ou ce qu'ils connaissent.
Il reste assez abscons de percevoir si les connaissances dépendent réellement des outils qui ont étés

mis en œuvre pour les constructions comme nous l'expose Kant. On pourrait peut-être rappeler deux cas qui semblent correspondre à cela. Ces derniers ont été rencontrés lors de la toute première activité. Les élèves concernés n'avaient pas reconnu la situation qui était une configuration du théorème de la droite des milieux, mais après avoir modélisé le problème, ce théorème leur est apparu comme évident. Nous pouvons alors nous questionner pour savoir si les outils utilisés et si la nouvelle configuration ne se rapprochaient pas du contexte initial dans lequel les élèves ont découvert ce théorème. Cela illustrerait également que l'apprentissage des connaissances s'effectue généralement dans un contexte précis, qu'elles ne se transfèrent pas automatiquement à d'autre type de situations. Un élément découlant de ces expériences vient apporter un contre exemple à cela. En effet, lors de la deuxième activité avec le travail sur les ombres, un groupe d'élèves a créer explicitement un lien entre la situation qu'ils étaient en train de vivre et des éléments qu'ils avaient retenus dans une situation différente qui était celle de la pyramide de la première expérience.

Les situations qui ont été traitées pendant cette expérience ont créé pour les élèves un cadre qui je l'espère à été propice à l'apprentissage. Il est certain que les activités accomplies par les élèves ont eu une influence sur leur conception de la géomètrie spatiale et sur le développent des connaissances qui en découlent. La plus-part des élèves ayant pris a cœur ce travail , parce qu'ils y trouvaient un coté attrayant, il est possible que les notions apprises soient assez durables.

Conclusion

Pour conclure ce mémoire, je ne ferai que rappeler toute l'importance accordée aux instruments, que se soit dans la scolarité de nos élèves que dans notre vie quotidienne. Ce mémoire a été l'occasion d' appréhender et de mesurer la diversité des outils et des artefacts mis à disposition des élèves ainsi que les avantages et contraintes liés à leur utilisation. Nous avons également pu constater toute l'importance et la diversité des contextes d'apprentissage aux seins d'environnements et de situations adaptées, propices à l'apprentissage ainsi qu'à l'appropriation de nouvelles compétences. Il à été particulièrement intéressant de découvrir le fonctionnement de l'apprentissage en mettant en exergue les principes de schèmes d'actions, de genèse instrumentale et de zone proximale de développement. Nous avons pu expérimenter plusieurs protocoles qui nous ont fournis quelques éléments de réponse quand à l'influence que générait l'utilisation d'instrument sur la construction du savoir mais également sur la diversité des actions que ces outils suggéraient. Même si les résultats ne nous ont pas permis de répondre clairement à la problématique posée, ils ont pu nous montrer combien tous les propos tenus dans ce mémoire avaient du sens et étaient présent dans nos parcours.

Il me reste simplement à exprimer combien il a été intéressant de pouvoir découvrir et apprendre des liens qui nous unissent aux outils. Ces objets auxquels je suis confronté plus que quotidiennement que se soit pour mon enseignement ou pour mes passions personnelles, n'ont cessé de m'intriguer tant par leur conception que par l'utilisation que l'on en fait. Bien souvent détournés de leurs fonctionnalités premières, maintes fois sortis de leurs zone fonctionnelle socialement définie, ils nous permettent de résoudre bien des problèmes, souvent avec une force insoupçonnée.
Je me dois aussi de rappeler toute la richesse des situations vécues pour ce mémoire. Bien plus que de servir ce travail, ces moments ont été réellement constructifs, que ce soit du point de vue social par le biais des liens que l'on arrive à créer avec sa classe, mais aussi de tous ces éléments qui nous instruisent sans que l'on y songe et qui ne font que parfaire cet ensemble de choses utiles au quotidien. Je terminerai ce travail par une citation d'Aristote: « *L'outil est le prolongement de la main de l'homme.* »

Bibliographie

Articles et ouvrages:

- Luc TROUCHE 2003: *Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations*

- Luc TROUCHE: *Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques.*

- Pierre RABARDEL: *Éléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques.*

- Pierre RABARDEL 1995: *Qu'est ce qu'un instrument? Appropriation, conceptualisation, mise en situation, Les dossiers de l'ingénierie éducative, des outils pou r le calcul et le traçage des courbes.*

- Michel GRANGEAT: Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique.

Sites web:

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Zone_proximale_de_d%C3%A9veloppement
- http://webcom.upmf-grenoble.fr/sciedu/pdessus/cours/siteue26/21_quelques_dfinitions.html
- http://carnets2psycho.net/dico/sens-de-maturation.html
- http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2011.chevallier_c&part=293976

Citations tirées des ouvrages suivants:

- Régis DEBRAY: Dieu un itinéraire 2001
- Ferdinand BUISSON: Dictionnaire pédagogique, article du boulier 1887

Résumé

Dans notre quotidien, nous avons tous affaire à des situations relevant de la géométrie spatiale. Mais de quoi disposons nous pour permettre à nos élèves de développer des compétences dans ce domaine. Est-ce qu'une approche instrumentale permet de développer chez l'élève les compétences relatives à la géométrie dans l'espace ? Pour parvenir à éclaircir ces questions, nous serons amené ici à découvrir et à mesurer toute la diversité des outils et des artefacts mis à disposition des élèves ainsi que les avantages et contraintes liés à leur utilisation. Nous constaterons également toute l'importance des contextes d'apprentissages propices à l'appropriation de nouvelles compétences et de nouveaux savoirs. Nous serons amené à nous interroger sur l'influence générée l'utilisation d'instrument sur la construction du savoir, mais également sur la diversité des actions suggérée par ces outils. Après avoir éclairci le fonctionnement de l'apprentissage en mettant en exergue les principes de schèmes d'actions, de genèse instrumentale et de zone proximale de développement, il ne nous restera plus qu'a tirer profit des éléments apportés par deux expériences réalisées avec une classe de seconde. Nous y découvriront alors comment les élèves manipulent les outils mis à leur disposition pour modéliser des problèmes ou pour anticiper l'ombre induite par un solide.

Mots clefs :

Instrument, artefacts, outils , apprentissage, développement, savoirs, compétences, géométrie dans l'espace.