Initiation aux TIC par Geogebra dans des classes de mathématiques

Herinaina Elysé RAJAONARIMANANA*, André Totohasina**
*Université d'Antananarivo. elyseaina2@gmail.com
**Université d'Antsiranana, IREMI MADAGASCAR.andre.totohasina@gmail.com

ENTREES D'INDEX

Mots-clés : TIC, coniques, enseignement-apprentissage, géométrie dynamique.

Keywords: ICT, conics, teaching-learning, dynamic geometry.

RESUME

L'apport positif de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'enseignement-apprentissage n'est plus à discuter car, non seulement cette utilisation « favorise des approches pédagogiques plus actives, voire socio-constructivistes, et incite les enseignants à faire évoluer leurs pratiques dans ce sens mais va permettre aux élèves d'être plus actifs, productifs et créatifs… » (Bullat-Koelliker et Staf, 2003, p. 6)

Cet article rapporte les résultats des expériences menées dans des classes de Madagascar. Il propose des activités conçues à partir des courbes coniques et de leurs propriétés pour, d'une part, initier et/ou familiariser les élèves et les enseignants avec le logiciel de géométrie dynamique GeoGebra et, d'autre part, provoquer la soif envers la manipulation, voire la possession d'un outil informatique, et parallèlement fait émerger des représentations erronées quant aux technologies de l'information et de la communication. La représentation des enseignants quant à leur rôle dans le processus d'enseignement a subi des modifications : ils sont surtout là pour accompagner les élèves dans leur apprentissage.

ABSTRACT

Positive contributions from the use of information and communication technologies in teaching - learning is no longer to be discussed because it not only "promotes more active and even socio-constructivist pedagogical approaches, and encourages teachers to change their practices in this direction but will allow students to be more active, productive and creative... "(Bullat-Koelliker & Staf, 2003, p. 6)

This article reports the results of experiments conducted in Madagascar classes. It proposes activities based on the concepts and properties of conic curves to, on the one hand, initiate and / or familiarize pupils and teachers with the GeoGebra dynamic geometry software, and on the other hand to provoke the thirst for manipulation, even the possession of a computer tool, and at the same time brings out misrepresentations regarding information and communication technologies. Teachers' representation of their role in the teaching process has changed: they are especially there to support students in their learning.

TEXTE INTEGRAL

1. Introduction

Presque partout, la série scientifique attire de moins en moins d'élèves des lycées. Madagascar n'y fait pas exception, car 8 % seulement des candidats au baccalauréat optent pour la série scientifique, dont le taux moyen de réussite est d'environ 40 %[1]. Le constat est analogue pour le brevet d'études du premier cycle (BEPC) qui sanctionne la fin du collège. Une étude que nous avons conduite sur la réussite des élèves pendant deux années consécutives a montré que, sur 1500 copies d'examen de mathématiques, 5.3% seulement des notes sont supérieures ou égales à 30/60 parmi des notes qui varient de 01.5/60 à 59/60. Face à un tel constat, nous faisons l'hypothèse qu'une intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'enseignement-apprentissage des mathématiques est nécessaire : d'une part, pour apporter un changement dans la représentation de l'enseignement-apprentissage des mathématiques chez les apprenants et d'autre part, pour étoffer la culture des enseignants et améliorer leur pratique pédagogique. Nous nous posons alors les questions suivantes : « comment faire une initiation de l'usage des TIC à des enseignants et élèves qui, en majorité ont un accès limité ou n'ont jamais utilisé un des outils informatiques qu'est l'ordinateur ? Quelles sont les valeurs ajoutées dans l'enseignement-apprentissage des mathématiques en utilisant les TIC à Madagascar?

Nous pensons que l'enseignement de la géométrie au travers le thème des coniques est l'un des moyens permettant d'apporter des éléments de réponse à ces interrogations. En effet, d'une part l'enseignement de la géométrie aurait au moins deux avantages selon Bkouche (1997): « tout d'abord, l'apprentissage de la géométrie construit chez l'enfant l'intelligibilité ou la compréhension du monde sensible, ainsi que celle de l'intuition géométrique ; ensuite, la géométrie est riche d'applications ultérieures dans d'autres domaines de la science. » (p. 54)

Ces intérêts sont confirmés par Brousseau (2000):

> … la géométrie intervient, par ses objets, par ses énoncés, par ses méthodes, et par les représentations qu'elle propose dans de très nombreuses branches des mathématiques et des sciences, et quelque fois de façon inattendue. De plus l'enseignement de la géométrie entraîne les élèves au raisonnement mathématique, c'est-à-dire à un mélange de raisonnement déductif et d'imagination inductive, activé par une manipulation familière des images. De ce fait elle prépare les élèves à aborder d'autres théories mathématiques. (p. 2)

D'autre part, le thème des coniques permet de mobiliser et/ou choisir différents registres qui constituent des leviers au fonctionnement cognitif de la pensée améliorant ainsi la qualité de l'enseignement apprentissage (Duval, 1993)

Depuis que nous étions chargé d'études à l'UERP[2], rehausser le niveau en géométrie des élèves malgaches était notre plus vif désir. Pour beaucoup, les mathématiques sont des sciences abstraites faites pour une minorité. Parmi *les défis de l'enseignement des mathématiques dans l'éducation de base* (UNESCO, 2011), un enseignement scientifique pour tous est l'une des priorités. Or, parler d'un enseignement scientifique pour tous, c'est faire allusion à un enseignement mathématique pour tous dont la géométrie en est un terrain de prédilection. Mais toujours selon l'UNESCO, « une éducation mathématique de qualité pour tous ne peut se réaliser sans la production de ressources de qualité :

[1]Source : Office du Baccalauréat de l'université d'Antananarivo

[2]Unité d'Étude et de Recherches Pédagogiques : Unité créée en 1990 au sein du Ministère de l'Éducation Nationale afin de s'occuper du curriculum d'enseignement et de formation.

des ressources pour les élèves et des ressources pour les enseignants » (p. 44) qui constituent un des piliers de tout système éducatif.

Desgent et Forcier (2004) ; Depover, Karsenti et Komis (2007) ainsi que Higgins, Xiao et Katsipataki (2012) soutiennent que l'usage des TIC impacte positivement sur la qualité de l'enseignement-apprentissage. Dans ce cadre, notre article, moyennant des activités qui s'appuient sur les courbes coniques vues comme enveloppes de droites propose des éléments de réponse à notre problématique. Après notre méthodologie de recherche, nous évoquerons la place des TIC dans l'enseignement-apprentissage puis un survol historique et contextuel des coniques et de leur apprentissage. Les analyses a priori seront ensuite rapportés. Nos résultats et les analyses a posteriori feront l'objet d'une dernière partie précédant les perspectives.

2. Méthodologie de recherche

Nous nous plaçons dans le cadre d'une recherche action et nous opterons pour une ingénierie didactique comme outil pour valider nos résultats. Nous avons alors mené des expérimentations au sein d'un établissement secondaire qui possède une infrastructure informatique et aussi avec deux établissements post secondaires dans lesquels les conditions de réalisation des expérimentations sont remplies.

Les activités proposées ont été conçues à partir d'un contenu géométrique du programme de mathématique Malagasy : *les coniques.* Même si ce contenu ne figure qu'au programme de terminale scientifique, l'étude épistémologique des coniques permet de voir que ces dernières peuvent être abordées comme enveloppe de droites, la notion de droite que les élèves ont vue depuis l'école primaire (Selon le programme scolaire de la classe de 10ème ou CE1, les élèves devraient être capables de tracer et de reconnaître des droites).

Durant les séances expérimentales, nous avons joué tantôt le rôle d'observateur dans les cas de l'établissement secondaire et d'un institut universitaire privé ; tantôt en tant qu'acteur de l'expérimentation avec nos étudiants de l'école normale supérieure.

Des questionnaires ainsi que des entretiens directifs ou semi-directifs nous ont permis de récolter des données durant les expérimentations. Des interprétations et études statistiques des résultats et observations seront ensuite fournies.

3. Les TIC dans l'enseignement-apprentissage.

3.1. GÉNÉRALITÉS

Le monde éducatif ne peut pas rester indifférent face à un monde numérique qui évolue très vite et embrasse tous les secteurs (politique, économique, social, technologique, environnemental...). En ce XXI^{e} siècle, celui ou celle qui ne sait pas utiliser l'ordinateur est quasiment considéré comme illettré. Alors que de précieux outils et ressources numériques sont développés dans le domaine de l'éducation, ne pas en tirer profit dans l'acte d'enseignement-apprentissage serait une erreur

puisque : « les TIC donnent l'occasion de repenser et de délocaliser, dans l'espace et dans le temps, les échanges entre les enseignants et les élèves, et favorisent ainsi de nouvelles avenues pour les activités d'apprentissage ou de formation »(Depover, Karsenti et Komis, 2007, p. 179, cité par Oudrhiri, 2016a).
Par ailleurs,

> … les TIC permettent d'autre part, aux apprenants, d'être plus motivés et plus actifs à participer dans la construction du savoir, de suivre facilement les cours, de comprendre plus vite, d'être plus innovateurs, plus autonomes, de pouvoir manipuler et d'exécuter des fonctions seuls.(Maouni, Mimet,Khafor, Madrane et Moumene, 2014, p. 4)

Outre la motivation accrue des élèves dans l'apprentissage et le nouveau type de relation qui s'établit entre apprenants et enseignant, le TACT (Télé-apprentissage communautaire et transformatif) (1997), basé principalement à l'Université Laval, sous la direction de Thérèse Laferrière, souligne d'autres apports des TIC dans l'enseignement-apprentissage. Mentionnons, entre autres :

- le nouveau statut du professeur : « si on utilise les technologies nouvelles en misant sur leurs possibilités, l'enseignant ou l'enseignante agit auprès des élèves, bien davantage que dans la classe traditionnelle, comme un animateur, un « facilitateur », un mentor, un guide dans la découverte et la maîtrise progressive de connaissances, d'habiletés et d'attitudes » ;
- le nouveau statut du savoir : « dans un contexte où les technologies nouvelles jouent un rôle important, l'enseignant et l'enseignante envisagent de moins en moins le savoir comme un ensemble de connaissances à transmettre et de plus en plus comme un processus et une recherche continus dont ils partagent avec les élèves les difficultés et les résultats » ;
- la conception de l'évaluation dans laquelle les apprenants sont acteurs : « les nouvelles technologies permettent d'associer de manière positive et étroite les élèves à l'évaluation de leurs propres apprentissages, ainsi que d'utiliser et de gérer des modes d'évaluation beaucoup plus exigeants que ce n'est le cas, en règle générale, en ce moment » ;
- ainsi qu'un enseignement devenu plus collaboratif : « les nouvelles technologies facilitent la collaboration de l'enseignant ou de l'enseignante avec des collègues, ainsi qu'avec d'autres personnes, de l'intérieur ou de l'extérieur du système d'enseignement, pour la planification ou l'élaboration d'activités d'apprentissage destinées aux élèves ».

Pour l'enseignement-apprentissage des mathématiques, les TIC pourraient servir à le rendre plus accessible grâce aux différentes présentations imagées qu'elles permettent puisque, selonDubinsky (1991), les mathématiques deviennent difficiles quand elles concernent un domaine pour lequel il n'existe pas de représentations visuelles ou physiques simples ; du point de vue d'Oudrhiri (2016b), les visualisations sont en mathématiques une aide pour rendre plus concrète une pensée abstraite.
En particulier, les logiciels de géométrie dynamique sont bien adaptés pour aider les apprenants à visualiser des objets mathématiques, à décrire ou construire une figure donnée, à mettre en évidence des propriétés géométriques de façon vivante et concrète, et à émettre ou vérifier des conjectures.
Si tels sont les avantages que peut apporter l'utilisation des TIC, voyons ce qu'il en est dans la situation de Madagascar.

3.2. CAS DE MADAGASCAR

Du point de vue de l'équipement en outils numériques, seule une infime partie des lycées des grandes villes de Madagascar ont une salle informatique. De plus, faute d'une formation sur l'usage des TIC dans l'enseignement-apprentissage et de l'absence d'une prescription sur l'utilisation des outils numériques dans l'exécution des programmes scolaires, les enseignants n'y emmènent pas leurs élèves. Un très faible pourcentage des enseignants possède un ordinateur, dont l'usage est essentiellement bureautique, et peu d'élèves ont la chance de manipuler les machines dans la salle informatique pour des raisons évoquées précédemment.

Si vers 1986, lorsque nous avons commencé à enseigner au lycée, des notions sur l'ordinateur – son fonctionnement et ses périphériques – avaient figuré au programme de la classe de seconde, actuellement aucune allusion n'est faite dans le programme de mathématiques quant à l'usage des TIC. Comme l'UNESCO (2011) l'a signalé, même si la décennie écoulée a connu le développement et la production de précieux outils, nous ne savons pas et/ou nous ne pouvons pas encore en jouir.

Depuis quelques années, pour rattraper le temps perdu, le ministère de l'Éducation nationale (MEN) déploie des efforts pour doter les collèges et lycées de tablettes, mais des formations devraient être entreprises pour qu'elles servent effectivement de support dans l'enseignement-apprentissage et concourent à l'amélioration de la qualité de l'éducation. Pour apporter notre contribution et accompagner le MEN dans cette entreprise, nous allons nous servir des coniques et de leurs propriétés.

4. *Les coniques*

4.1. RAPPELS HISTORIQUES

La découverte des courbes coniques, vers 350 av. J.-C., revenait à Menechme (380-320 av. J.-C.) dans ses recherches sur les sections planes d'un cône. Ces courbes ont contribué à la résolution des deux grands problèmes solides – comme les géomètres grecs les ont nommés – que sont la duplication du cube et la trisection de l'angle.

Elles ont fasciné les mathématiciens (Rincon, 2011) pour leurs applications dans différents domaines : optique, astronomie, arts militaires, mathématiques. Le traité en huit livres d'Apollonius de Perge (262-190 av. J.-C.) est une preuve de l'intérêt que leur étude a engendré dans l'Antiquité. Les différentes machines à construire rapportées dans le livre Les constructions mathématiques avec des instruments et des gestes (Barbin, 2014) et la légende des miroirs ardents créés par Archimède (287-212 av. J.-C.) lors du siège de Syracuse vers l'année 213 av. J.-C. (Walbank, 1970) montrent que les coniques ont été à la source de plusieurs avancées technologiques.

La définition des courbes coniques a connu deux étapes. Au début, elles étaient définies comme section de cône par un plan perpendiculaire à une génératrice. La section dépendait donc de l'angle au sommet du cône :

- si l'angle au sommet était aigu, les géomètres grecs appelaient la section oxytome (ellipse) ;

- si l'angle au sommet était droit, ils appelaient la section orthotome (parabole) ;

- si l'angle au sommet était obtus, ils appelaient la section amblytome (hyperbole).

Puis vers 210 av. J.-C., Apollonius a défini les coniques comme intersection d'un cône par un plan, sans que celui-ci soit nécessairement perpendiculaire à une génératrice. Il a distingué trois cas et leur a donné les noms que nous utilisons actuellement, selon que le plan sécant :

- coupe deux génératrices (la section est une antobole ou ellipse),

- est parallèle à une génératrice (la section est une parabole),

- est parallèle à deux génératrices et ne passe pas par le sommet (la section est une courbe à deux branches : l'hyperbole).

Apollonius a de même montré les propriétés fondamentales des sections coniques moyennant la méthode pythagoricienne de l'application des aires (Euclide, 1819), qui s'énoncent de notre temps sous les formes:

$y^2=px$ pour la parabole (parabole signifie application, donc idée de comparaison),

$y^2=px+p/ax^2$ pour l'hyperbole (hyperbole signifie dépassement, une idée de jeter au-dessus),

$y^2=px-p/ax^2$ pour l'antobole (ou ellipse qui signifie défaillant, une idée d'insuffisance).

Dans ces égalités, y désigne l'ordonnée d'un point de la section conique, x son abscisse, p est la mesure d'un segment qu'Apollonius appelait « côté droit » ou « latus rectum » et a la longueur du grand axe ou de l'axe transverse.

L'étude des sections coniques ne s'est pas cantonnée chez les Grecs, mais a traversé la Méditerranée. Les frères Banû Mûsâ (Muhammad, ca. 873 ; Ahmed et al-Hassan, IX^{e} siècle) ont écrit le *Traité de la figure arrondie et allongée* (Bouzari, 2015). Grâce aux lemmes et propositions qu'ils ont apportés, la théorie des sections coniques a tenu une place importante dans les mathématiques arabes. La construction de l'ennéagone régulier, la théorie géométrique des équations algébriques de degré inférieur ou égal à trois furent trouvées par le mathématicien AlKhayyâm (m. 1131) comme applications des courbes coniques. « Par les tracés de coniques, il détermine le nombre des racines réelles et les évalue approximativement » (Bouzari, p. 46).

De nos jours, la majorité des enseignants et des élèves de la classe scientifique associent uniquement les coniques aux courbes du second degré, d'équation générale : $Ax^2+2Bxy+Cy^2+2Dx+2Ey+F=0$ où A, B, C, D, E, F sont des réels tels que (A, B, C) ≠ (0, 0,0). Ce point de vue algébrique a été surtout développé par René Descartes (1596-1650), Pierre de Fermat (1601-1665) et Leonhard Euler (1707-1783).

Qu'est-ce qui nous a motivé pour le choix du thème conique ?

4.2. DES RAISONS DU CHOIX

4.2.1. Des défis àrelever

Le souci d'améliorer l'enseignement-apprentissage des mathématiques à Madagascar sous-tend notre recherche et, pour cela, nous nous fixons deux défis majeurs à relever.

Le premier défi est de donner à la société une image plus positive des mathématiques et des mathématiciens. Nous devons montrer que les mathématiques contribuent au développement de l'individu et de la société en prenant part à la résolution des problèmes qui nous préoccupent à l'aide d'outils technologiques appropriés. Pour cela, elles doivent s'ouvrir à toutes les disciplines et vaincre le cloisonnement qui existe en leur sein même.

Le second défi est de faire évoluer les pratiques d'enseignement. Actuellement, l'enseignement dispensé à l'école est peu stimulant d'après les enquêtes et les observations que nous avons faites. Former des enseignants qualifiés, capables de faire face à l'imprévu et d'aider les élèves à créer des liens entre les connaissances dispensées à l'école et ce qu'ils voient dans leur vie de tous les jours, est un grand challenge.

Deux grands domaines du système éducatif doivent être tenus en compte si l'on veut apporter des changements, c'est pourquoi nous pensons qu'un aperçu de la formation initiale et continue des enseignants, ainsi que du programme scolaire de mathématiques à Madagascar s'avère nécessaire.

Selon le constat, toujours d'actualité, rapporté dans le document de travail de la Banque mondiale concernant le secteur éducation à Madagascar,

> … la qualité de l'enseignement en général et de l'enseignement secondaire en particulier est médiocre et cette situation s'explique par le manque de matériel didactique, mais aussi et surtout par le manque de qualification des enseignants. En 2004, seuls 20 % des professeurs des collèges et 33 % des professeurs des lycées possèdent les diplômes d'enseignement requis. (Ramanantoanina, 2008, p.xv)

C'est à dire au moins le diplôme Bac+2 pour le collège et Bac+3 pour le lycée.

Selon l'UNESCO (2011, p. 27), « les enseignants sont le maillon clé de toute évolution positive et durable des systèmes éducatifs ». Qu'en est-il de leur formation initiale et continue à Madagascar ?

Le système de formation initiale est assuré par deux établissements : l'INFP[3]et les ENS[4].L'INFP a la charge de la formation initiale des enseignants du primaire, des professeurs de collège et des conseillers pédagogiques de l'enseignement primaire. Les ENS, au nombre de trois, ont la charge de former les enseignants des lycées, et l'École normale supérieure de l'enseignement technique (ENSET) d'Antsiranana forme les enseignants des lycées techniques et professionnels. Les recrutements pour la formation à l'INFP et ses centres régionaux (CRINFP) se font sur concours parmi les bacheliers. Les étudiants formés dans les ENS et ENSET sont aussi recrutés par voie de concours après le Bac et suivent des formations pendant cinq ans, mais avec le système LMD mis en place au sein des universités de Madagascar, ils peuvent enseigner directement après la licence ou continuer jusqu'au master. Si les enseignants du primaire et du collège bénéficient de formation continue durant les pauses scolaires ou des encadrements par des conseillers pédagogiques grâce à l'INFP, leurs homologues du lycée n'en jouissent pas à cause d'une absence de structure bien définie.

En tant qu'enseignant dans des lycées, formateur d'enseignants de mathématiques des collèges et de conseillers pédagogiques du primaire à l'INFP depuis de nombreuses années, il nous parait intéressant de faire état des représentations que les enseignants de mathématiques ont de leur métier. Notre vécu au contact des enseignants des collèges et des lycées nous permet de décrire une

[3]Institut National de Formation Pédagogique : créé en 1995 pour la formation du personnel enseignant du ministère de l'éducation nationale.

[4]École Normale Supérieure, dénommée ainsi en 1993, pour désigner l'École Normale Niveau III créée en 1980 pour la formation des professeurs des lycées.

de leur conception. En début de carrière, il y a un gros travail de préparation qui s'inspire, en grande partie, des cours de professeurs chevronnés ou encore de leurs propres cours quand ils étaient collégiens ou lycéens. Ensuite, cela devient généralement de la routine : on reprend les cours et les exercices des années précédentes. L'enseignement des mathématiques est alors une éternelle répétition, et pour le professeur et pour les élèves : des leçons à apprendre par cœur, des méthodes à appliquer sur des exercices stéréotypés, des démarches à reproduire en classe et à l'examen. Des pratiques pédagogiques du style transmissif durant lesquelles, d'un côté les élèves ne font généralement qu'accepter ce que le professeur dicte et donne, de l'autre côté des professeurs qui ne tiennent pas, ou ne veulent pas tenir compte des représentations que leurs élèves ont des savoirs à faire acquérir.

Cette situation et cette conception de l'enseignement-apprentissage vont à l'encontre des résultats des recherches en psychologie de l'apprentissage et démotivent les apprenants, qui ne sont plus considérés comme acteurs de leur apprentissage. Ce manque de motivation influe beaucoup sur leur niveau et est une entrave dans leur choix pour une série scientifique.Pourtant les professeurs rejettent la responsabilité de cette baisse de niveau sur le dos des élèves qui selon eux, n'apprennent pas les leçons, ne font pas les exercices qu'on leur propose et n'ont aucun raisonnement logique. Si l'un des objectifs de l'éducation mathématique est de permettre aux élèves d'exercer à leur niveau les moyens de la pensée mathématique que sont l'abstraction, la généralisation, le raisonnement logique et la preuve, la symbolisation mathématique, et d'en comprendre la puissance (UNESCO, 2011, p. 16), n'est-il pas alors vrai que ces professeurs font eux-mêmes leur propre jugement d'échec dans l'acte d'enseigner ?

En ce qui concerne le programme de mathématiques, il date de 1999 dont le contenu est calqué en grande partie sur le programme français de ce temps, même si Madagascar a fait partie des pays francophones qui ont opté pour le programme harmonisé des mathématiques (HPM). Depuis, les aménagements—lorsqu'il y en a—se limitent en général à la suppression ou à la circonscription de certains intitulés ou notions. En effet, il existe un vaste fossé entre ce qui est prescrit et ce qui est réellement mis en œuvre (Ramanantoanina, 2008, p. 73), ce qui nécessite une révision des programmes et une réflexion profonde sur les méthodes d'enseignement-apprentissage des mathématiques.

Le programme du collège accorde plus d'importance à l'enseignement de la géométrie[5] ; cependant, parmi les parties qui constituent le programme, celle qui concerne la géométrie est traitée en dernier par la majorité des enseignants. Neuf élèves sur dix de la classe de seconde du lycée Rabearivelo pensent que la géométrie est essentiellement analytique, donc calculatoire. Ce résultat était prévisible, car c'est ainsi qu'ils en ont fait l'apprentissage. En effet, les professeurs ont appris la géométrie analytiquement, les sujets d'examen au brevet vont essentiellement dans la même direction, et rares, voire inexistantes, sont les formations en géométrie synthétique. En conséquence les enseignants éprouvent des difficultés pour enseigner à leurs élèves ce qu'ils n'ont pas eux-mêmes appris.

Nous allons maintenant exposer les raisons pour lesquelles nous avons choisi les coniques comme thème de notre expérimentation didactique.

4.2.2. Une notion dans le programme scolaire malagasy

[5] Sur 100 heures d'enseignement des mathématiques en 6ème et 5ème, le ratio activités géométriques/activités numériques est ce 60/40 s'il est de 70/55 en classes de 4ème et 3ème

L'étude des coniques figure dans la partie géométrique du programme scolaire malagasy (MEN, 1999) et elle doit être traitée en classe terminale scientifique. Le contenu du programme sur les coniques est le suivant :

« Les coniques : - Définition géométrique : bifocale, foyer et directrice. - Équation cartésienne réduite des coniques propres. - Équations paramétriques d'une ellipse, d'une parabole. - Tangente en un point d'une conique. - Régionnement d'un plan par une conique ».

La logique du programme serait de définir géométriquement les coniques par foyer, directrice et excentricité, puis de donner une définition bifocale des coniques à centre. C'est seulement après que viendraient les équations cartésiennes, paramétriques et les tangentes. Ainsi, une approche géométrique des coniques comme lieu de points, suivie de l'étude des expressions analytiques des courbes coniques, correspondrait à la démarche chronologique suggérée dans le programme scolaire. Cependant, le manque de formation des enseignants en géométrie ne leur permet pas d'assumer convenablement cette approche géométrique. Comme illustration de cette lacune, on peut citer le débat qui eut lieu lors de la correction de l'épreuve de mathématiques du baccalauréat scientifique de 2012, dans laquelle une centaine de professeurs de mathématiques de la région d'Antananarivo avaient discuté de la pertinence de la question : « Déduire la nature de la courbe Γ formée par l'ensemble des points M du plan vérifiant $2MF^2=MH^2$ où F est un point fixe n'appartenant pas à une droite donnée D, et H le projeté orthogonal de M sur D ». La détermination de la nature de Γ, qui n'est autre qu'une ellipse de foyer F et d'excentricité $\frac{1}{\sqrt{2}}$— mais que beaucoup de professeurs ne savaient pas reconnaître— avait pris une bonne partie du temps de la commission d'entente.

En cette veille d'une réforme du programme scolaire malagasy, il nous incombe de sensibiliser les concepteurs de programme sur l'importance de la géométrie qui figure encore dans le programme actuel, mais qui, par manque de formation des enseignants, tend à être négligée, voire supprimée. Relever le défi d'assurer une formation initiale et continue des enseignants de mathématiques en géométrie, d'abord au sein des CRINFP et des ENS, puis par des informations-formations dans le cadre de groupes IREMI[6],serait alors la tâche cruciale de tous les formateurs en mathématiques à Madagascar.

Dans sa thèse, Trgalova (1995) a montré que les problèmes de l'enseignement des coniques étaient surtout dus à une insuffisance de formation et à un manque d'outils permettant aux enseignants de mener une étude profonde de leurs propriétés géométriques. Elle proposait alors l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique, Cabri-géomètre, pour contourner ces problèmes.

4.2.3. Des intérêts didactiques

De par les multiples registres (géométrique, algébrique, transformations, métrique, analytique, calculatoire, etc.) que l'on peut mobiliser, l'enseignement-apprentissage des coniques comporte au moins cinq intérêts didactiques :

a) le rôle d'interface entre plan, solide et espace que les courbes coniques peuvent jouer rejoint bien la psychologie de la géométrie.

[6] IREMI : Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques et de l'Informatique

> Nous considérons comme essentiel le fait qu'un élève apprenne les propriétés de l'espace où il vit et qu'il perçoit par ses sens, en particulier le toucher et la vue. La base de l'apprentissage doit donc être l'expérience tirée d'activités pré-mathématiques (jeux avec des modèles, constructions, etc.) ainsi que d'activités mathématiques (dessin, établissement de plans, tris, etc…). (Morris, 1987, p. 83)

Nous voudrions alors apporter des changements dans la conception, chez les élèves et des enseignants, selon laquelle la géométrie se restreint à des calculs sur les coordonnées et est donc analytique. Selon l'angle sous lequel on aborde les coniques, on peut étudier les solides : cône, cylindre, quadriques (donc l'espace) ; ou les courbes planes (donc le plan).

b) les possibilités offertes aux collégiens et lycéens d'acquérir des savoirs et savoir-faire en géométrie synthétique constituent le deuxième avantage de l'enseignement-apprentissage des coniques. Les activités que l'on y conçoit permettraient de combler des lacunes, offriraient une vue transversale et verticale des mathématiques et apporteraient une nouvelle façon de concevoir l'interdisciplinarité et l'intradisciplinarité.

c) selon Rincon (2011, p. 8), « les constructions des coniques mettent en jeu de nombreuses figures géométriques premières, basées sur des droites et des cercles. Et pour l'accessibilité aux démonstrations portant sur des propriétés métriques qui les caractérisent», les figures géométriques aideraient mieux les élèves dans l'apprentissage puisqu'en manipulant ces courbes, un raisonnement « visio-déductif » – comme Brousseau l'a qualifié – puis déductif et finalement mathématique se développerait chez les élèves. En les abordant selon une approche géométrique, on cultiverait chez les élèves des habitudes d'esprit comme l'envie constante de poser et résoudre les problèmes, de chercher des modèles, de noter des liens et par-dessus tout de prouver des conjectures (French,2004).

d) le quatrième intérêt que nous pouvons tirer de l'étude des coniques est qu'elle nous permet d'accorder une place à l'histoire des mathématiques. Longuement absente dans l'enseignement-apprentissage, rappelons juste qu'« il est important de pouvoir analyser le présent et penser le futur à la lumière d'un regard historique, qu'il s'agisse ici d'histoire des mathématiques ou d'histoire de l'éducation. » (Unesco, 2011, p. 54). En ce qui nous concerne, nous avons pu trouver « une riche source d'inspiration pour concevoir des activités motivantes » (Tournès, 2012, p. 2) en faisant une étude historique des coniques.

e) un dernier point, que nous pensons pertinent dans le choix des coniques est qu'elles se prêtent favorablement à l'initiation et/ou à la familiarisation avec les outils informatiques. En effet, apprendre avec une nouvelle technologie une notion réservée auparavant à une minorité d'élèves serait motivant pour beaucoup. L'apprentissage sort du contexte classique, car les activités de construction avec le logiciel de géométrie dynamique permettront aux élèves d'apprendre, d'expérimenter et de percevoir d'eux-mêmes l'intérêt et l'utilité des avancées technologiques dans l'enseignement-apprentissage. Comme disait Cazzaro et al. (2001, p. 103, cité dans Rincon, 2011, p. 34-35) « le fait de pouvoir construire de façon assez précise et, en un temps raisonnable, des figures de qualité est de nature à aider puissamment à la formation de concepts, notamment en dégageant les propriétés qui justifient les constructions ».

5. Protocole de recherche et analyses a priori

5.1. LES CLASSES DE L'EXPÉRIMENTATION

Trois classes de seconde du lycée Jean Joseph Rabearivelo—un des rares lycées équipés de salles informatiques—ont participé à notre expérimentation. Le nombre d'élèves concernés est de 164.

Établissements	Classes	Effectifs	Professeurs responsables
Lycée J.-J. Rabearivelo	2^{de} 4	54	Madame Z
Lycée J.-J. Rabearivelo	2^{des} 6 et 13	110	Monsieur T
ENS	L2 S4	20	Monsieur E
IFRP	S1	11	Madame N

Pour voir ce qu'il en est pour des étudiants en formation initiale dans l'enseignement scientifique, 20 étudiants en L2 semestre 3 de l'ENS et 11 en première année d'un Institut privé de formation et de recherches pédagogiques (IFRP) ont accepté de faire les activités avec nous.

Signalons que seuls monsieur T et monsieur E sont les seuls à avoir suivi une formation en mathématiques. Madame Z est physicienne de formation et madame N de formation en gestion.

5.2. LES ACTIVITÉS ET LES OBJECTIFS

Pour les activités, choisies comme *milieu et situation d'apprentissage*, nous avons opté pour celles qui permettent aux élèves de voir et de manipuler afin de solliciter les mémoires visuelles et kinesthésiques et de favoriser l'apprentissage.

Le principe sur lequel nous nous basons dans la conception des activités est donc de *faire voir* à l'aide d'un dispositif lumineux les formes coniques, puis d'amener les élèves à les *recenser* dans leur quotidien, enfin de les *faire construire* à l'aide des outils classiques de géométrie —crayon, équerre, règle, compas —au travers de leur définition comme antipodaire ou orthocaustique de droite ou de cercle par rapport à un point. Une fois franchies ces étapes, nous les ferons manipuler le logiciel GeoGebra.

Cependant, par souci de cohérence entre nos objectifs, nos méthodes et nos outils, nous ferons travailler les élèves avec le logiciel de géométrie dynamique par l'intermédiaire *des mêmes activités* que dans l'environnement papier-crayon, car : « si on ne sait pas traduire avec un crayon et une feuille de papier, on ne saura certainement pas traduire avec les outils informatiques les plus performants» (Mossop, 2003, p. 20, cité par Giesemann, 2014, p. 10).

Ainsi notre stratégie est de placer les apprenants dans une situation où seul l'outil utilisé est nouveau, alors que le milieu, les exercices et les consignes leur sont familiers, afin de mieux réussir l'acte d'enseignement-apprentissage par réduction des variables didactiques intéressantes.

Les objectifs à atteindre sont alors :

- pour la grande majorité, de les *initier au logiciel de géométrie dynamique GeoGebra* ;

- pour certains, de *se familiariser avec le logiciel* ;

- de faire *voir les intérêts de l'usage de la technologie* dans l'enseignement-apprentissage de la géométrie ;

- de faire *découvrir les fonctions « trace », « lieu », « animation »* ;

- de *changer une représentation erronée de l'ordinateur*.

Un travail préparatoire sur ordinateur était nécessaire et nous (surtout l'enseignant) allons utiliser un rétroprojecteur pour guider la classe entière dans les consignes communes. Une pédagogie différenciée sera mise en œuvre pour chaque groupe d'élèves.

Les fiches des activités — après remplacement du mot « feuille » par « écran » dans les activités proposées lors du travail dans l'environnement papier-crayon — étant encore avec les élèves, nous n'afficherons pas le contenu des activités. D'ailleurs, ils connaissent par cœur les consignes de par leurs répétitions durant les activités dans l'environnement papier-crayon : *marque un point*, *trace en pointillé*, *trace la droite*.

Après avoir vu et tracé dans l'environnement papier-crayon les trois coniques propres, les quatre activités à faire dans l'environnement technologique sont donc les suivantes.

ACTIVITÉ 1 1°) Trace une droite(d) en bas de l'écran. 2°) À 2 cm au-dessus de (d), dans l'axe de l'écran,marque un point S. 3°) Marque un point A_1 sur la droite (d). 4°) Trace en pointillés le segment [SA_1]. 5°) Trace la droite perpendiculaire au segment [SA_1] et qui passe par le point A_1. 6°) *Recommence les étapes 3) 4) et 5) beaucoup de fois*, appelle les points A_2, A_3, A_4, etc., jusqu'à ce que tu voies apparaître une forme « harmonieuse ».	ACTIVITÉ 2 1°) Trace un cercle de centre O et de rayon R = 8cm. 2°) Place un point S tel que OS = 5cm. 3°) Prends un point A_1sur le cercle. 4°) Joins en pointillés les points S et A_1. 5°) Trace la droite perpendiculaire au segment [SA_1] et qui passe par le point A_1. 6°) *Reprends les étapes 3) 4) et 5) beaucoup de fois,*appelle les pointsA_2, A_3, etc., jusqu'à ce que tu voies apparaitre une forme « harmonieuse ».
ACTIVITÉ 3 1°) Trace un cercle de rayon 3 cm au centre de l'écran. 2°) Marque un point S à l'extérieur du cercle (pas trop loin, au plus à 3 cm du cercle). 3°) Marque un point A_1sur le cercle.	ACTIVITÉ 4 1°) Trace une droite (d) en bas de l'écran. 2°) À 2 cm au-dessus de (d), dans l'axe de l'écran,marque un point S. 3°) Marque un point A_1 sur la droite (d).

4°) Trace en pointillés le segment [SA$_1$]. 5°) Trace la droite perpendiculaire au segment [SA$_1$] et qui passe par le point A$_1$. 6°) *Recommence les tracés effectués pour* A$_1$*avec de nombreux points* A$_2$, A$_3$, A$_4$, etc., choisis sur le cercle, jusqu'à ce que tu voies apparaitre une forme « harmonieuse ».	4°) Trace en pointillés le segment [SA$_1$]. 5°) Construis la médiatrice du segment [SA$_1$]. 6°) *Recommence les étapes 3) 4) et 5) beaucoup de fois*, appelle les points A$_2$, A$_3$, A$_4$, etc., jusqu'àce que tu voies apparaitre une forme « harmonieuse ».

La toute première activité nécessitera une trentaine de minutes, car les élèves prennent en main pour la première fois le logiciel. Les trois autres se feront chacune en moyenne en quinze minutes.

5.3. LES ANALYSES A PRIORI

Les élèves ont déjà fait les activités de manipulation et de construction papier-crayon – que nous rapportons dans l'annexe 1– avant de manipuler pour la première fois le logiciel de géométrie dynamique. Ils auront certainement des appréhensions devant les ordinateurs et a fortiori dans la manipulation de GeoGebra.

Le clic gauche, clic droit, annulation d'une frappe, ainsi que le choix de l'onglet qui contient l'instruction prendront du temps pendant la première activité. En effet, « il y aura toujours dans la classe quelques personnes quelque peu effrayées par le clavier» (Vandaele, 2011, p. 13).

Les élèves et les étudiants vont exécuter pas à pas et dans l'ordre les consignes dans les activités.

Ils percevront par eux-mêmes les avantages et intérêts de l'usage de la technologie dans l'enseignement-apprentissage des mathématiques : construction précise et rapide, des droites qui remplissentautomatiquement l'écran (lors des activités papier-crayon l'enseignant n'arrête pas de leur dire de prolonger les droites).

Ils auront des difficultés pour placer les points quand l'espace sur l'écran est réduit et on introduira la fonction « zoom » du dernier onglet du logiciel.

Les élèves seront étonnés qu'on les encourage à travailler en groupe – technique pédagogique peu pratiquée en classe de mathématique – à aider ceux qui sont en difficultés et qu'ils peuvent faire appel au professeur dont le statut commence à changer. Il sera vu commeun facilitateur, une personne ressource dans la construction du savoir.

Un type d'enseignement associatif sera mis en place par le professeur à travers le travail de groupe. En effet, soit par l'emplacement contigu des machines, soit par leur insuffisance, les élèves doivent s'associer pour faire les activités et auront la possibilité de comparer leurs productions ou de demander de l'aide à leurs voisins. Par suite, un apprentissage collaboratif se manifestera normalement : « les apprenants collaborent aux apprentissages du groupe et en retour, le groupe collabore à ceux des apprenants». (France et Karin-Lundgren, 2001, p. 42)

Ce sera l'occasion pour le professeur d'emmener pour la première fois ses élèves dans la salle informatique. Bien que le lycée possède des salles informatiques, certains professeurs de mathématiques ne savent pas quelles activités proposer avec les ordinateurs. Pour l'expérimentation, il ou elle aura certainement peur d'échouer dans la conduite de la séance, mais le nombre réduit d'instructions à utiliser et le travail préparatoire minimiseront ce risque.

Les étudiants possèderont GeoGebra et auront l'occasion de le manipuler car « à tous les niveaux, il est essentiel que les élèves apprennent en faisant ». (SIF, 2016, p. 11)

6. Les résultats et analyses a posteriori

Les deux salles informatiques du lycée Rabearivelo sont équipées en tout de 24 ordinateurs, dont 21 opérationnels, lors de l'expérimentation. Les élèves, d'une cinquantaine par classe, se sont donc mis par groupe de deux ou trois devant les machines. Nous nous sommes partagés pour l'encadrement des groupes : le professeur s'est occupé d'un groupe et nous de l'autre (mais nous sommes passé de temps en temps voir si tout allait pour le mieux dans l'autre groupe).

Comme nous n'avons amené qu'un seul vidéoprojecteur, nous ne l'avons pas tellement utilisé, car des interventions par machine ont été plus pratiques. En effet, dès qu'on intervient ou qu'on donne une indication auprès d'un groupe, les membres des autres groupes qui se trouvent autour tendent aussi l'oreille, ce qui réduit considérablement le temps d'intervention pour le groupe classe.

Nous sommes étonnés de constater que les ordinateurs sont allumés ; ceux qui savent comment faire apprennent aux autres. Un climat de travail collaboratif s'annonce déjà. De même, quand nous avons annoncé qu'on allait utiliser GeoGebra, qui est installé sur chaque ordinateur, il nous a suffi d'indiquer comment l'ouvrir en cliquant sur l'icône qui se trouve sur le bureau de la machine d'un groupe. Très vite, tous les groupes l'ont ouvert.

Une deuxième surprise – constatée chez le groupe des étudiants – est le fait qu'ils ont téléchargé préalablement GeoGebra sur leur smartphone et qu'ils ont pu y faire les activités. Ce qui a augmenté le nombre de machines que nous avons pu utiliser. Quand nous leur avons posé la question : « comment vous avez fait ? », ils ont répondu : « dès que Monsieur a dit la dernière fois que nous allons travailler sur le logiciel Geogebra, nous avons cherché par internet et avons téléchargé le logiciel ». Cette situation confirme le fait que l'enseignant n'est pas le seul détenteur du savoir, ce dernier est disponible pour les apprenants via les TIC.

Nous avons fait apprendre comment cacher le repère et la grille, car ils sont figurés par défaut sur chaque machine ; une éventualité que nous n'avions pas prévue, mais les élèves ont vite su par la suite comment les cacher et les afficher. Ainsi, une bonne préparation est nécessaire mais elle n'est jamais suffisante. Tout enseignant doit s'attendre et être formé à faire face et à gérer des imprévues lors des séances d'enseignement-apprentissage.

Pour « l'activité 1 », nous n'avons pas exigé la position de S selon la distance fixée dans l'activité, car nous avons pensé qu'il était encore trop précoce d'utiliser l'outil compas. Nous avons donné la priorité à la familiarisation par clic gauche des huit premiers onglets de GeoGebra (figure 1), à la nomination des points (placer le point avec le deuxième onglet, le nommer puis valider) et à l'effacement (clic droit à l'endroit que l'on souhaite effacer puis clic gauche sur « effacer »). Le sixième onglet et le huitième nous serviront respectivement à tracer le cercle de rayon donné et à placer les points à la distance souhaitée. Chaque groupe a donc placé son point S dans l'axe à l'endroit souhaité (environ à deux centimètres), car ils peuvent déplacer le point S grâce au premier onglet (maintenir la souris appuyée et déplacer).

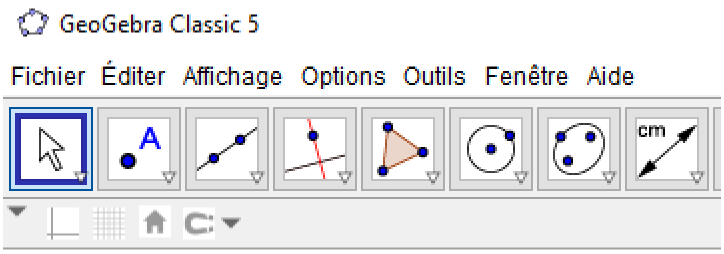

Figure 1 : Les huit premiers onglets dans le logiciel Geogebra Classic 5

L'apprentissage du traçage d'une droite a pris du temps à cause de la qualité du matériel (le déplacement de la souris et le curseur ne sont pas en phase), car un clic puis un déplacement engendre une droite et les élèves doivent annuler. Nous ne leur avons pas encore appris l'annulation par les touches « Crtl z ». Finalement, presque toute la classe a fini par placer la droite et le point S après cinq ou dix minutes.

Comme ils ont déjà vu dans les activités papier-crayon qu'il est judicieux de prendre des points de part et d'autre du point S, la grande majorité l'a fait, mais nous avons attiré leur attention sur la consigne « segment [SA_1] en pointillé », et le choix des styles des traits est apparu. Certains ont vu qu'on peut choisir la couleur des segments ou droites. Les droites perpendiculaires ont commencé à figurer petit à petit, sur l'écran des ordinateurs (figure 2) ou sur les smartphones des étudiants (figure 3). Pour « l'activité 4 », l'emplacement du point S à deux centimètres n'étant pas bien adapté, nous l'avons changé en quatre centimètres ou cinq centimètres.

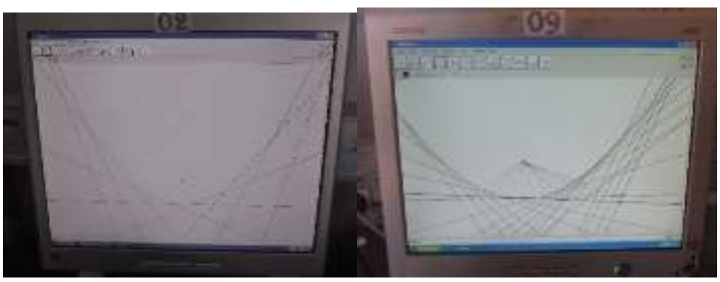

Figure 2 : Photos des étapes dans les productions des élèves au lycée Rabearivelo.

Figure 3 : Photos des étapes dans les productions des étudiants sur smartphone.

Nous avons remarqué une forte concentration chez les élèves pour la construction pas à pas et dans l'ordre des consignes. Ayant constaté que les gestes, avec la pratique, se font machinalement (Bullat-Koelliker et Staf, 2003), nous leur avons suggéré d'exécuter les constructions par *lot* de quatre ou cinq points.Le processus répétitif, le contexte de travail de groupe aidant, les élèves se sont lancés des défis quant au nombre de points placés (donc de perpendiculaires tracées) pour avoir les mêmes ou les meilleures courbes coniques.

L'occasion est ainsi offerte aux enseignants de faire manipuler un ordinateur et utiliser les fonctions de bases du logiciel GeoGebra. Pour les groupes les plus avancés, nous leur avons montré les fonctions « trace », « animer » et « lieu » qui permettent d'obtenir plus vite les figures (figure 4).

Figure 4 : Photos des productions élèves dans la manipulation du logiciel GeoGebra moyennant la fonction « trace » et « animer ».

La joie des élèves ayant réussi à tracer les courbes avec GeoGebra est plus que réconfortante pour eux et pour le professeur.

Quelques élèves ont demandé s'ils peuvent aller en salle d'informatique pour s'exercer avec GeoGebra. Certains même ont demandé à avoir le logiciel (alors qu'ils n'ont pas d'ordinateur !!! mais pour le futur, disent-ils).

Une troisième surprise : un des groupes d'élèves a déplacé la position du point S de l'activité 3 et a constaté que l'on retrouve l'ellipse de l'activité 2. Tous se sont mis à déplacer le point S et c'était la joie dans la salle informatique. Nous sommes intervenus auprès du professeur en disant que pour les courbes coniques, on peut passer de l'une à l'autre par une transformation que l'on appelle homographie harmonique.

Quant à l'animation de classe et la technique d'enseignement-apprentissage, les jeunes professeurs ont vu qu'il y a d'autres façons d'enseigner, que c'est toujours bénéfique pour eux de laisser les élèves travailler, de les laisser prendre des initiatives, de les encourager à se lancer, à prendre des risques et des responsabilités. Ne pas avoir peur du silence, donc laisser du temps de réflexion aux élèves. Jouer pleinement le rôle d'accompagnateur en apportant au temps opportun les aides nécessaires pour que ces derniers réussissent.

Une enquête sur la représentation des élèves concernant l'ordinateur montre que, pour la majorité d'entre eux (pour presque 75 % des 153 réponses obtenues sur les 164 enquêtés), c'est une machine formidable qui peut *tout faire* à la place de l'homme. Nous pensons qu'une des explications vient du nom en malagasy « solosaina » — littéralement « qui remplace le cerveau ou l'esprit » —qu'on attribue à l'ordinateur, une fausse idée sur laquelle le Professeur Totohasina André[7] milite, car un outil ne pourrait pas remplacer le cerveau humain. Ensuite l'ordinateur est vu comme une *machine à calculer* très performante ; d'ailleurs dans la vie courante, une personne qui *calcule vite*estadmirée et est surnommée *« ordinateur ambulant »*.

Le tableau ci-dessous relate les avis des élèves, avant et après l'expérimentation, quand nous leur avons posé la question : « *Selon vous l'ordinateur est-elle une machine qui peut tout faire ? ».*

	L'ordinateur peut tout faire		
	OUI	NON	Total
Avant l'expérimentation	120	33	153
Après l'expérimentation	63	90	153
Total	183	123	306

Tableau 1 : Evolution de la représentation de l'ordinateur au cours de l'expérimentation
Source : Auteur

Environ la moitié des enquêtés ont changé d'avis sur le fait que l'ordinateur peut tout faire et le nombre de ceux qui ont pensé que l'ordinateur ne peut pas tout faire a presque triplé après l'expérimentation. À notre avis les élèves ont vu, pendant l'expérimentation, que l'ordinateur ne fonctionne pas tout seul mais qu'il ne fait qu'exécuter les instructions venant des membres du groupe selon les consignes dans les activités.

Une idée assez répandue de l'ordinateur aussi est le fait que c'est une machine qui peut stocker beaucoup de données comme les chansons, les films, les photos etc… Ceci peut s'expliquer par la présence aux environs du lycée Rabearivelo des personnes qui font comme métier le chargement des téléphones et des clés USB avec des chansons, des films, des photos, des livres, des clips vidéo et même des logiciels.

[7] Directeur de l'équipe d'accueil « Education et didactique des mathématiques et de l'informatique » au sein de l'Ecole doctorale « Problématiques de l'éducation et didactiques des disciplines » à l'Université d'Antananarivo

Statistiquement, le test du Chi deux nous permet de conclure au seuil de 95 % que l'expérimentation a influencée l'avis des élèves en ce qui concerne cette idée que l'ordinateur est une machine qui peut tout faire. En effet, le chi deux observé est de 44.17 alors que le chi deux donné par la table avec un degré de liberté de un (ddl = 1) est de 3.84.

Si les représentations de d'ordinateur et de ses fonctions ne diffèrent pas trop pour les lycéens et les étudiants en S1 de l'institut supérieur privé, elles ont changé chez les étudiants du niveau L2 de l'ENS. Une explication vient certainement du fait que ces étudiants font déjà une unité d'enseignement *algorithme et programmation*qui fait que pour eux l'ordinateur fait des calculs formels et exécute des programmes.

Nous rapportons un entretien qui à notre avis, reflète généralement les changements qui se sont produits chez les élèves quant à leur représentation de l'ordinateur et leur conception des relations professeur-élève et élève-élève.

Nous représentons par C le chercheur et par E l'élève.

C : Qu'est-ce que vous avez appris concernant l'ordinateur?

E : L'ordinateur ne peut pas inventer, il attend des instructions et commandes de ma part pour fonctionner et les exécuter.

C : Mais il a fait des beaux et précis traçages, n'est-ce pas ?

E : Oui, mais sa précision vient de moi. Si je place (et il m'est arrivé de le faire) mon curseur au mauvais endroit il trace une droite qui n'est pas harmonieuse avec toute les autres droites déjà tracées.

C : Qu'est-ce qui a changé en vous, après les activités?

E : Beaucoup.

C : Quoi par exemple ?

E : Premièrement, ma peur d'être devant l'ordinateur a disparu. J'ai plus d'assurance en moi car je peux commander (je donne l'instruction et l'ordinateur exécute. Je suis plus fort que l'ordinateur (rire)). Ensuite j'ai vu que notre professeur est devenu gentil, il s'est occupé de tous les élèves qui ont fait appel à lui (peut-être parce que vous étiez là (rire)).

C : Avez-vous rencontré des difficultés dans les activités?

E : Oui

C : Pouvez-vous m'en citer ?

E : La souris était difficile à manipuler, je l'ai déplacée mais la petite flèche sur l'écran ne bougeait pas. Puis j'ai dû supprimer des points car un clic au mauvais moment ou au mauvais emplacement a généré des points là où je ne voulais pas. Notre groupe a alors perdu beaucoup de temps pour faire les activités ?

C : Concernant les activités, comment les trouvez-vous ?

E : Nous les avons déjà faites mais sur feuille, elles ne sont pas nouvelles pour moi et pour les membres de mon groupe.

C : Ce n'était pas la peine de les faire alors !

E : Je n'ai pas dit ça Monsieur. J'ai dit que les activités nous étaient familières car toutes les consignes étaient enregistrées dans notre mémoire puisque nous les avions répétées plusieurs fois.

C : N'est-ce pas une perte de temps de refaire les mêmes activités ?

E : Si nous les avons faites avec du papier-crayon j'aurai dit oui mais nous les avons faites avec l'ordinateur et c'était nouveau.

C : À propos de l'ordinateur qu'est-ce qu'il a apporté de plus dans les activités ?

E : Beaucoup Monsieur, beaucoup…

C : Pouvez-vous donner quelques exemples ?

E : Le temps que nous avons mis pour faire apparaitre les coniques était plus court comparé à celui pendant lequel nous avons utilisé le crayon et la règle (environnement papier-crayon). Ensuite, à part les erreurs que nous avons commises à cause de la souris, comme je l'ai dit précédemment, les figures obtenues étaient plus précises donc plus belles. Enfin le fait que nous étions plusieurs sur une machine m'a beaucoup aidé.

C : Pouvez-vous expliquer car je ne comprends pas le fait que vous êtes plusieurs sur une machine et vous avez bénéficié des choses.

E : Parce que quand j'ai eu des difficultés (et j'en ai eu), mes camarades m'ont expliqué comment faire et il m'est arrivé aussi d'aider mes camarades. C'est-à-dire nous nous sommes entraidés durant les activités, le prof nous a même encouragés à le faire. Et j'ai mieux compris comment manipuler le logiciel Geogebra.

C : Que souhaitez-vous dans l'avenir ?

E : Avoir un ordinateur et être très fort en informatique. Mais en attendant cela, que le prof nous emmène encore à la médiathèque pour faire d'autres activités sur Geogebra. Vous pouvez encore revenir ? (rire)

7. *Conclusion et perspectives*

Si nous nous reportons aux apports des TIC dans l'enseignement-apprentissage évoqués dans la partie III, le *processusformer* s'est nettement distingué puisque l'enseignant a pleinement joué son rôle d'accompagnateur tout au long de l'apprentissage de l'élève en apportant les soutiens nécessaires lors des problèmes rencontrés. Un nouveau type de relation enseignant-enseigné s'est établi. Un apprentissage en autonomie et collaboratif s'est développé tout au long de l'expérimentation puisque beaucoup d'élèves ont trouvé qu'un processus itératif peut être fait par l'ordinateur, et les entraides mutuelles permettent d'avancer dans l'apprentissage individuel et du groupe. Une grande motivation s'est remarquée chez les élèves, car apprendre avec des technologies nouvelles les a rendus plus actifs et beaucoup plus participatifs, un constat qui va dans le sens des propos de Oudrhiri (2016a) « l'usage du numérique rend les élèves plus autonomes, réactifs et intéressés. En pratiquant eux-mêmes, ils deviennent les acteurs principaux de leur propre savoir, ce qui constitue une motivation accrue chez les élèves».

Nous pensons que la stratégie adoptée pour l'initiation et la familiarisation dans la manipulation du logiciel GeoGebra est efficiente de par le fait que les trois pôles du triangle pédagogique de Jean Houssaye (Savoir – Enseignant – Apprenant) voire les quatre pôles du tétraèdre pédagogique de Faerber (2002) (Savoir – Enseignant – Apprenant – Groupe) sont mis en synergie durant l'expérimentation. Les activités offrent un moyen de prendre en main un logiciel de géométrie dynamique et de saisir l'avantage de l'outil informatique, rien que pour la rapidité et la précision dans les figures par rapport au traçage dans l'environnement papier-crayon.

Nous pensons aussi que fournir toute une panoplie d'exercices sur les coniques en mettant en jeu différentes registres (numérique, algébriques, graphique, géométrique : transformation, lieux…) et faisant appel à leurs propriétés tangentielles, métriques et calculatoires, aideront les enseignants et les élèves dans l'utilisation des TIC dans l'enseignement-apprentissage des mathématiques et la familiarisation avec le logiciel GeoGebra qui en est un parmi tant d'autres. Le prochain objectif serait de familiariser les enseignants et les élèves dans l'utilisation du tableur excel (dans microsoft office ou dans le logiciel geogebra même) pour parvenir à une initiation à l'algorithmique.

Cependant,

> … deux conditions sont nécessaires pour pouvoir discuter le sujet d'intégration des TIC dans un cours quelconque ; d'abord la présence suffisante de l'infrastructure informatique, ensuite la maîtrise, la motivation et la volonté à l'autoformation en TICet à l'exploitation pédagogique et didactique des outils informatiques dans les activités pédagogiques d'apprentissage. (Maouni *et al*. 2014, p. 4).

Aurions- nous alors la volonté de mettre en place une politique éducative et institutionnelle pour l'intégration effective des outils numériques dans l'enseignement-apprentissage à Madagascar ?

> Par contre, on ne risque guère de se tromper en disant que l'usage des TIC n'est en rien une panacée, si cet usage n'est pas raisonné et balisé, et si le mode d'accès (y compris la configuration physique de la salle de classe !) n'est pas pensé en fonction des contraintes pédagogiques. (Vandaele, 2011, p.10)

Nous aurons donc fort à faire quant à la formation initiale et continue des enseignants si nous voulons bénéficier et faire bénéficier nos élèves des bienfaits de l'usage des TIC dans l'enseignement-apprentissage, en d'autres termes en profiter pour améliorer l'enseignement traditionnel. En effet, les TIC sont des outils qui resteront des outils et comme le dit Lebrun (2012) : « un outil ne fera jamais apprendre pas plus qu'un enseignant », propos appuyé par Kadiyala et Crynes (2000) « les technologies de l'information peuvent augmenter l'apprentissage quand la pédagogie est de bonne qualité et quand il y a une bonne cohérence entre les outils, les méthodes et les objectifs ». Mais une première étape serait donc de faire figurer dans le curriculum de formation l'informatique.

Pour terminer, nous pensons que tenir compte des expériences des pays avancés quant à la mise en œuvre des TIC dans l'enseignement apprentissage nous aiderait beaucoup dans les voies et moyens à adopter et à appliquer pour la réussite de l'intégration des TIC au sein de notre système éducatif, en d'autre terme, nous devons trouver des réponses à la question « quel usage faut-il faire des TIC pour qu'ils deviennent effectivement des outils d'enseignement-apprentissage mais pas seulement d'information ? ».

Références

Bkouche, R. (1997). Quelques remarques sur l'enseignement de la géométrie. *Repères-IREM*, 26, 49-71.

Bouzari, A. (2015). Les sections coniques d'Apollonius dans la tradition mathématique arabe : un exemple de circulation. Dans E.Barbin et J. L. Maltret (dir.), *Les mathématiques méditerranéennes : d'une rive et de l'autre* (p.43-55). Paris, France: Ellipses.

Brousseau, G. (2000). Les propriétés didactiques de la géométrie élémentaire. L'étude de l'espace et de la géométrie. Dans *Actes du Séminaire de Didactique des Mathématiques* (p. 67-83).Réthymnon, Université de Crète, Département des sciences de l'Éducation, Grèce.

Bullat-Koelliker, C. et Staf, G. (2003). *Les apports des TIC à l'apprentissage: ce qu'en pensent les enseignants qui utilisent les ateliers d'informatique avec leurs élèves.* Analyse qualitative menée dans le cadre du projet 'Apprendre à Communiquer' au PO/Genève.

Depover, C., Karsenti, T. et Komis, V. (2007). Enseigner avec les technologies. Favoriser les apprentissages, développer des compétences. *Enseigner avec les technologies* (p. 1-38). Presses de l'Université du Québec, Canada.

Desgent, C. et Forcier, C. (2004*). Impact des TIC sur la réussite et la persévérance. 2004*.(Rapport de recherche PAREA). Collège de l'Outaouais, Gatineau. Récupéré de http://www.cdc.qc.ca/parea/desgent_outaouais_2004_rapport_PAREA.pdf

Dubinsky, E. (1991). *Reflective abstraction. In advanced mathematical thinking* (éd. Dordrecht Kluwer) p.95-123.

Duval, R. (1993). *Registres de représentation sémiotique et fonctionnement de la pensée.* Annales de Didactique et de Sciences Cognitives, 5, 37-65. IREM de Strasbourg, France

Euclide (1819). *Les Œuvres d'Euclide, traduites littéralement d'après un manuscrit grec très ancien, resté inconnu jusqu'à nos jours*, par F. Peyrard. Rééd. Blanchard, Paris, 2004.

France, H. et Karin-Lundgren, C. (2001). *Apprentissage collaboratif à distance: pour comprendre et concevoir les environnements d'apprentissages virtuels*. Presses de l'Université du Quebec. Canada.

French, D. (2004). *Teaching and learning Geometry.*Continuum International : Publishing Group.

Geogebra (version 5.0.44) [logiciel]. Récupéré de https://geogebra.soft32.fr › Windows › Logiciel de formation.

Giesemann, A. K. (2014). *L'utilité d'une mémoire de traduction dans une équipe de traducteurs et non-traducteurs.* Une étude réalisée dans le cadre d'un projet de traduction au sein de l'entreprise Manpower SA. Université de Genève, Suisse. Récupéré de https://archive-ouverte.unige.ch/unige:39960

Higgins, S., Xiao, Z., et Katsipataki, M. (2012). *The impact of digital technology on learning: A summary for the education endowment foundation*. Durham, UK: Education Endowment Foundation and Durham University.https://pdfs.semanticscholar.org/d26b/b59f2536107b57f242b8289b1eb6f51d8765.pdf

Kadiyala et Crynes (2000). A review of literature on effectiveness of use of information technology, in *Education Journal of engineering education.*

Lebossé, C. et Hémery, C. (1961). *Géométrie, classe de Mathématiques*. Programme 1945 . Paris, France : Nathan. .Rééd. Gabay, 1990. Paris,France.

Lebrun, M. (2012, 28 et 29 juin). Apprendre et enseigner à l'ère numérique. Conférence donnée lors de *TICE Alpes 2012*, Grenoble. [Vidéo]. Récupéré de https://www.youtube.com/watch?v=3eAyvzPFmf0

Maouni, A., Mimet, A., Khaddor, M., Madrane, M. et Moumene, M. (2014, janvier). L'intégration des TIC dans l'enseignement des SVT au Maroc : réalité et attentes. *RADISMA*, 10., Récupéré de https://www.researchgate.net/publication/289994213

MEN (1999). *Programmes scolaires*; Antananarivo, Madagascar : CNAPMAD.

Morris, R. (dir.) (1987). *Études sur l'enseignement des mathématiques : L'enseignement de la géométrie*, 5, UNESCO.

El Mhouti, A., Nasseh, A. et Erradi, M. (2012). Les Technologies de l'Information et de la Communication au service d'un enseignement-apprentissage socioconstructiviste. *Première rencontre des jeunes chercheurs de l'Association Abdelmalek Essaâdi Pour la Recherche Scientifique (ASSARS).* Tétouan, Maroc, le 23 juin 2012.

Nourby, J. D. et Morel, V. (2005). Coniques et Cardioïdes, deux thèmes à exploiter sur toute l'année de sixième. *IREM* de la Réunion.

Oudrhiri, M. (2016a). De l'usage pédagogique du numérique dans l'enseignement des mathématiques au Maroc. *Revue EPI* ,185, i. Récupéré de https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1605c.htm

Oudrhiri, M. (2016b). Etude de l'apport d'un imagiciel pour l'enseignement de quelques concepts abstraits. *Revue EPI*, 186, Juin 2016. Récupéré de https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1606c.htm

Ramanantoanina, P. P. (2008). Les défis de l'expansion de l'enseignement secondaire et de la formation à Madagascar. *Document de travail de la Banque Mondiale N°143*. Série : Le développement humain en Afrique. USA: Banque Mondiale.

Rincon, B. (2011). *Démonstration des propriétés métriques sur les coniques avec un outil de géométrie dynamique*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Canada. Récupéré de https://archipel.uqam.ca/4629/1/M12269.pdf

SIF (2016, septembre 2016). Enseigner l'informatique de la maternelle à la terminale. Dans *Bulletin de la société informatique de France*, 9, 9-17.

TACT (Télé-apprentissage communautaire et transformatif). (1997, 16 Janvier). *L'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication (ntic) à l'apprentissage des élèves du primaire et du secondaire.*T., Laferrière (dir.). Université Laval. Récupéré de http://www.tact.fse.ulaval.ca/fr/html/apport_court.html

Trgalova, J. (1995). Étude historique et épistémologique des coniques et leur implémentation informatique dans le logiciel Cabri-Géomètre. (Thèse de doctorat en didactique des Sciences, Université Joseph-Fourier, Grenoble, France).

Tournes, D. (2012). Calculer avec des hyperboles et des paraboles. DansE. Barbin (dir.). *Des mathématiques éclairées par l'histoire. Des arpenteurs aux ingénieurs(*p. 131-148). Paris, France : Vuibert.

UNESCO (2011). *Les défis de l'enseignement des mathématiques dans l'éducation de base*. Paris, France: UNESCO.

Van Hiele, P. M. (1988). The Van Hiele Model of thinking in geometry among adolescents. National Concil of Teacher of Mathematics. In *Journal for research in mathematics education*. *Monograph number* 3, USA. Second printing 1995.

Vandaele, S. (2011). (Nouvelles) technologies et enseignement : progrès ou illusion ?. *ILCEA* [En ligne], 14. Récupéré de http://ilcea.revues.org/1033

Walbank, F. W. (1970). *A Historical Commentary on Polybius, II*. Oxford.

Annexes

Annexe 1 : Les activités de manipulation et de construction dans l'environnement papier-crayon.

ACTIVITÉ 1 : Activité de manipulation

Matériel à disposition : une lampe de poche LED, un classeur avec un trou circulaire, un écran blanc en carton.

1°) Placer la lampe allumée à 20 cm (environ) au-dessus du classeur troué, et l'écran à 10 cm (environ) au-dessous du classeur troué.

a) Quelle forme a le contour de la lumière projetée sur l'écran lorsque l'écran et le classeur sont parallèles ? (Comparer la grandeur du contour obtenu avec celle du trou du classeur)

b) Incliner lentement l'écran jusqu'à ce que sa position soit perpendiculaire au classeur troué. Esquisser la (les) forme(s) possible(s) du contour de la lumière projetée au cours de l'inclinaison.

(Pour chaque différente position de l'écran, chaque élève esquisse le type de contour obtenu)

2°)Trouver des objets dans votre environnement, où des courbes coniques sont visibles.

ACTIVITÉ 2 : Ce sont les activités du protocole de recherche mais le mot *écran* est remplacé par *feuille*