UNE SEQUENCE D'ENSEIGNEMENT/APPRENTISSAGE DANS L'ENVIRONNEMENT GEOGEBRA

Sinaly DISSA*

Résumé – Comment pour le professeur acquérir des compétences liées à l'usage pédagogique des T.I.C.E (technologie de l'information et de la communication pour l'enseignement) dans l'enseignement des mathématiques au Mali et faire bénéficier de ces compétences à nos élèves dans leur apprentissage ? Dans cette communication, nous décrivons et étudions une séquence d'enseignement apprentissage sur la fonction trinôme du second degré avec des élèves de 1ère C (élèves de 16 -17 ans) à travers deux types de comparaison : d'une part entre les aspects algébriques et les aspects graphiques, d'autre part entre l'environnement papier/crayon et l'environnement du logiciel de géométrie dynamique GeoGebra.

Mots-clefs : géométrie dynamique, GeoGebra, séquence d'enseignement, équation quadratique, parabole

Abstract – How in the context of Mali, can teachers acquire skills related to pedagogical uses of ICT (information technology and communication for teaching) in mathematics education and benefit from these skills to improve students' learning? In this paper, we describe and study a teaching sequence about the quadratic equation for students in a sceintific orientation at grade 11 (16 -17 years old students) through two types of comparative study: one between the algebraic and graphical aspects, and one between paper/pencil environment and the dynamic geometry software GeoGebra.

Keywords: dynamic geometry, GeoGebra, teaching sequence, quadratic equation; parabola

I. INTRODUCTION

Durant notre formation à l'École Normale Supérieure (ENSup.) de Bamako, nous avons découvert l'environnement de géométrie dynamique à travers l'usage pédagogique des logiciels. Notre premier constat est que ces logiciels nous permettent de faire les constructions de figures courantes en géométrie avec facilité, rapidité. Mais ce qui nous a beaucoup davantage intéressés, c'est l'aspect dynamique des figures obtenues par rapport à celles du papier/crayon. En effet, en faisant varier l'emplacement des points libres et/ou les paramètres numériques, on peut mettre en évidence (ou non) les invariants géométriques (alignement, parallélisme, perpendicularité, isométries…). Ceci nous permet, dans nos pratiques de classe, de décrire et d'explorer avec/par les élèves une large partie de l'univers des représentations d'un objet géométrique. Cet environnement propose ainsi une source intéressante de conjectures et de questionnements.

La présence d'une salle d'ordinateurs dans notre lycée et l'intérêt que portent les élèves à ces appareils (en tant qu'environnement d'apprentissage) sont venus renforcer notre motivation à les utiliser dans notre enseignement. Cependant il faut remarquer que les textes officiels (programmes et savoir-faire) de mathématiques du Mali ne mentionnent pas l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement.

Le projet que nous présentons ici vient d'un souci d'auto-formation professionnelle : il s'agit d'acquérir des compétences liées à l'usage pédagogique des T.I.C.E (Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement) dans l'enseignement des mathématiques au Mali. Nous espérons ainsi faire bénéficier de ces compétences à nos élèves dans leur apprentissage des mathématiques.

Notre intérêt porte en particulier sur l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique GeoGebra qui associe géométrie et algèbre comme des domaines des mathématiques d'égale importance qu'il va falloir faire interagir. Cette possibilité est offerte, car GeoGebra permet la

* Lycée Dioba Diarra de Koulikoro – Mali – dissasinaly@gmail.com

double perception des objets : chaque fois qu'on construit un objet (point, droite, polygone, segment…) dans la « Fenêtre Géométrie », il est présent aussi dans la « Fenêtre Algèbre » avec sa « définition algébrique » (pour un point : ses coordonnées ; pour une droite : son équations ; pour un polygone : son aire ; pour un segment : sa longueur…). Il admet aussi un outil très intéressant : « Le champ de saisie » qui permet de faire tout ce qui est fait avec la souris (et bien plus) avec le clavier.

Ainsi, nous nous sommes posé la question suivante : quel(s) usage(s) faire de GeoGebra dans un projet d'enseignement-apprentissage des mathématiques en conformité avec les programmes et les savoir faire en vigueur au lycée ? En vue de chercher des réponses à cette question, nous avons construit une séquence d'enseignement/apprentissage que nous avons expérimentée et analysée.

Notre objet d'étude pour l'expérimentation est la fonction trinôme du second degré dans $\mathbb{R}$ à travers deux types d'interactions :

- entre les aspects algébriques et les aspects graphiques ;
- entre l'environnement papier/crayon et l'environnement d'un logiciel de géométrie dynamique.

Nous avons comme objectifs généraux de :

- faire apprendre aux élèves à utiliser au moins deux registres dans les problèmes liées à la fonction trinôme du second degré dans $\mathbb{R}$;
- faire apprendre aux élèves à utiliser de façon articulée deux environnements de représentation et de traitement des mathématiques.

II. CONTEXTE D'ETUDE

1. Situons notre établissement

Fondé en 1800, Koulikoro, qui signifie village au pied de la colline, s'étire sur environ 8 km le long du fleuve Niger. La population est de 25000 habitants aujourd'hui. Commune urbaine en plein exercice depuis 1966, la ville de Koulikoro est devenue en 1979 chef-lieu de la 2ème région administrative du Mali. Elle est aussi l'une des villes maliennes les mieux désenclavées :

- route bitumée jusqu'à Bamako (60 km à l'Est de Bamako) ;
- terminus de la voie ferrée Dakar-Niger ;
- début de la partie navigable du fleuve Niger jusqu'à Mopti puis par Gao en passant par Tombouctou.

Le lycée Dioba Diarra est l'établissement public d'enseignement secondaire général de la ville de Koulikoro. Il compte 1034 élèves (745 garçons, 279 filles) qui sont repartis dans 21 classes (moyenne 50 élèves par classe). Nous sommes 8 professeurs de mathématiques (Ratio Elève/Prof de math : 129,25). Chaque professeur effectue en moyenne 12 heures de cours par semaine.

2. Contexte pédagogique

L'établissement admet une salle d'informatique de 12 ordinateurs connectés à l'Internet. L'apprentissage de l'utilisation de l'ordinateur aux élèves n'est pas dans le programme. La salle d'informatique est fréquentée par des enseignants et par certains élèves initiés pour les saisies et la recherche sur Internet. Nos cours de mathématiques sont réalisés en papier/crayon (tableau, craie et instruments de géométrie) sans support informatique.

Notre étude a lieu avec les élèves de 11ème SE (1ère C, 16-17 ans), effectif 10 élèves compte tenu du nombre d'ordinateurs disponibles. Les mathématiques représentent la matière principale de cette classe. Les élèves suivent 8 heures de cours de mathématiques par semaine.

3. *Equipement et environnement de travail*

Dans la salle informatique du lycée, le système d'exploitation utilisé est Windows 2003. Sur les ordinateurs, il n'y a pas d'applications spécifiquement orientées vers l'enseignement des mathématiques. Nous avons installé la dernière version stable du logiciel GeoGebra (pour Windows). Les tables sont disposées en forme de « U ». Le professeur dispose d'une table de travail avec un ordinateur et d'un tableau. Nous n'avons pas de vidéo projecteur. Les élèves travaillent individuellement avec des « fiches élèves » (feuille sur laquelle figurent les tâches et les consignes des activités).

III. DESCRIPTION ET ETUDE DE LA SEQUENCE

Nous rappelons que cette expérimentation constitue un premier essai d'enseignement/apprentissage dans un environnement informatique. Le type d'organisation pédagogique que nous avons adoptée dans ce travail est le TP (Travaux pratiques) de mathématiques. Ce choix tient du fait que les TP fournissent suffisamment de temps aux élèves pour permettre une appropriation conséquente d'un problème de mathématiques et au professeur pour analyser plus finement les difficultés. L'élève peut s'apercevoir que dès qu'on s'intéresse à la mise en pratique d'une tâche autonome, les pistes de résolution, les méthodes, ne sont plus aussi évidentes que ce qu'ils auraient pu sembler à première vue.

Les activités proposées sont définies à partir de la tâche en papier/crayon de « La recherche des coordonnées du sommet d'une parabole à partir de son équation ».

Pour la mise en œuvre pratique, nous avons divisé la séquence en trois sous-séquences avec des objectifs pédagogiques fixés :

- Sous-séquences 0 (SS0) : stabilisation du milieu.

Les élèves doivent être capable de :

- Calculer les coordonnées du sommet d'une parabole ;
- Trouver la forme canonique du trinôme $f(x) = ax^2 + bx + c$, avec $a \neq 0, b, c \in \mathbb{R}$.

- Sous-séquence 1 (SS1) : recherche des coordonnées du sommet d'une parabole définie par trois points distincts.
- Sous-séquence 2 (SS2) : recherche des coordonnées du sommet d'une parabole en utilisant la forme non familière $ax^2 + bx + c = a(x-h)^2 + k \;\; avec\, h, k \in \mathbb{R}$.

Les trois sous-séquences ainsi définies sont composées de deux séances de deux heures chacune (1 séance pour les deux premières sous séquence, 1 séance pour la troisième sous-séquence).

Le savoir en jeu porte sur la fonction trinôme du second degré dans $\mathbb{R}$ dans le cadre des programmes et savoir-faire et des pratiques de classes de 11e SE.

La fonction trinôme du second degré dans ℝ est abordée dans le chapitre « Fonctions polynômes et fonctions rationnelles ». On peut souligner les savoir-faire suivants tirés du programme.

Les élèves doivent être capable de :

- manipuler des expressions littérales avec une certaine aisance ;
- calculer l'image d'un réel quelconque ;
- faire la représentation graphique point par point ;
- Factoriser si possible.

La fonction trinôme du second degré dans ℝ est aussi abordée dans le chapitre « Etude de fonction ». Ici, la détermination d'extremums éventuels d'une fonction polynôme fait partie des savoirs faire exigibles des élèves. L'étude formelle des paraboles n'est pas dans le programme. Dans les pratiques de classe, les trinômes du second degré dans ℝ sont souvent utilisés lors des résolutions d'équations et d'inéquations dans ℝ.

1. L'enjeu pédagogique de la séquence

Pour nous-mêmes, il s'agit d'apprendre à construire et à conduire en salle, des TP de mathématiques dans un environnement numérique (celui de GeoGebra).

Pour les élèves, il s'agit d'apprendre à construire des connaissances significatives du trinôme du second degré dans ℝ à travers d'une part, les interactions entre le registre algébrique de l'écriture mathématique et le registre graphique et d'autre part, à travers des tâches à réaliser alternativement dans les environnements papier/crayon et GeoGebra.

2. Sous-Sequence 0 (SS0) : stabilisation du milieu

Durant toute la sous-séquence, les élèves travaillent en papier/crayon. Deux objectifs sont particulièrement travaillés :

- Apprendre à calculer le calcul des coordonnées du sommet $S\left(-\frac{b}{2a}, f\left(-\frac{b}{2a}\right)\right)$d'une parabole définie par : $f(x) = ax^2 + bx + c$, avec $a \neq 0, b, c \in \mathbb{R}$.
- Apprendre à passer de la forme classique à la forme canonique pour $f(x) = ax^2 + bx + c$, avec $a \neq 0, b, c \in \mathbb{R}$.

Voici l'activité proposée aux élèves :

On donne des fonctions suivantes : $f(x) = x^2 - 6x + 8$; $g(x) = 3x^2 + 9x + 1$; $P(x) = -x^2 + 4x - 4$.

Pour chacune de ces paraboles :

1. Déterminer les coordonnées du sommet.
2. Déterminer la forme canonique.

Rappel :
- Le sommet d'une parabole $f(x) = ax^2 + bx + c$ est le point où elle atteint son extremum (maximum ou minimum) : c'est le point d'abscisse $-\frac{b}{2a}$.
- La forme canonique d'un polynôme est :

$$P(x) = ax^2 + bx + c = a\left[\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{\Delta}{(2a)^2}\right], \text{où } \Delta = b^2 - 4ac.$$

***Figure 1** – Enoncé de l'activité 1 donné pendant la SS0*

Ce dernier rappel se justifie par le fait que les années scolaires sont tronquées depuis ces dernières années. En conséquence, les programmes sont rarement achevés.

L'analyse des résultats de la sous-séquence 0 (SS0) montre qu'avec le rappel que nous avons effectué, la plupart des élèves ont retrouvé, sans trop de difficultés, les solutions de l'activité. Quelques-uns ont mal utilisé la formule de la forme canonique au niveau de « $\frac{\Delta}{(2a)^2}$ ». En fait, sur la fiche d'activité, nous avions donné la formule avec « $\frac{\Delta}{4a^2}$ ». Ces élèves mettent les « 4 » aussi au carré. Ils ont des difficultés dans le calcul avec les exposants. Nous y avons remédié par des exemples en leur faisant remarquer que $ab^n \neq (ab)^n$. La sous séquence nous a permis de déceler et de remédier à certaines difficultés des élèves dans l'utilisation des trinômes du second degré et l'application de formules mathématiques (contenant des exposants et des fractions). Mais elle nous a pris plus de temps que prévu dans le scénario de notre analyse a priori.

3. *Sous-Séquence 1 (SS1) : recherche des coordonnées du sommet d'une parabole définie par trois points distincts*

Dans cette sous-séquence, les élèves travaillent alternativement avec GeoGebra et en papier/crayon. Les objectifs sont :

- construire une parabole passant par trois points quelconque avec GeoGebra ;
- retrouver dans l'environnement papier/crayon et par calcul algébrique la preuve mathématique à la solution proposée par GeoGebra : l'expression d'une parabole passant par trois points distincts dont les coordonnées sont données en papier/crayon.

Présentation de l'activité

Dans un repère orthonormal, on donne trois points $A(0;-1)$, $B(-3;5)$, $C(1;1)$ par lesquels passe la parabole (Γ).

Partie 1 : recherche avec GeoGebra
En utilisant le fichier « Parabole.ggb » (Qui se trouve dans le dossier « TP » du « Bureau ») :

1. Taper dans le « champ de saisie » : f(x)= polynôme [A, B, C]. Valider par la touche « Entrée ».

2. Choisir l'outil « déplacer ».

- « Déplace » la courbe de f. Que remarques-tu ?

3. Taper dans le « champ de saisie » : E=extremum[f]. Valider par la touche « Entrée »
- Que peux-tu conclure ?

Consigne : Ne pas activer la « Fenêtre Algèbre ».

En papier/crayon

4. Etablir l'expression, $f(x) = ax^2 + bx + c$, avec $a \neq 0, b, c \in \mathbb{R}$ associée à la parabole (Γ).

5. Déterminer les coordonnées de son sommet S.

Partie 2 : bilan avec GeoGebra

6. Construire le point S dans le fichier « Parabole.ggb ».

7. Taper dans le « champ de saisie » : relation[S, E]. Valider par la touche « Entrée ».
Qu'obtiens-tu ?

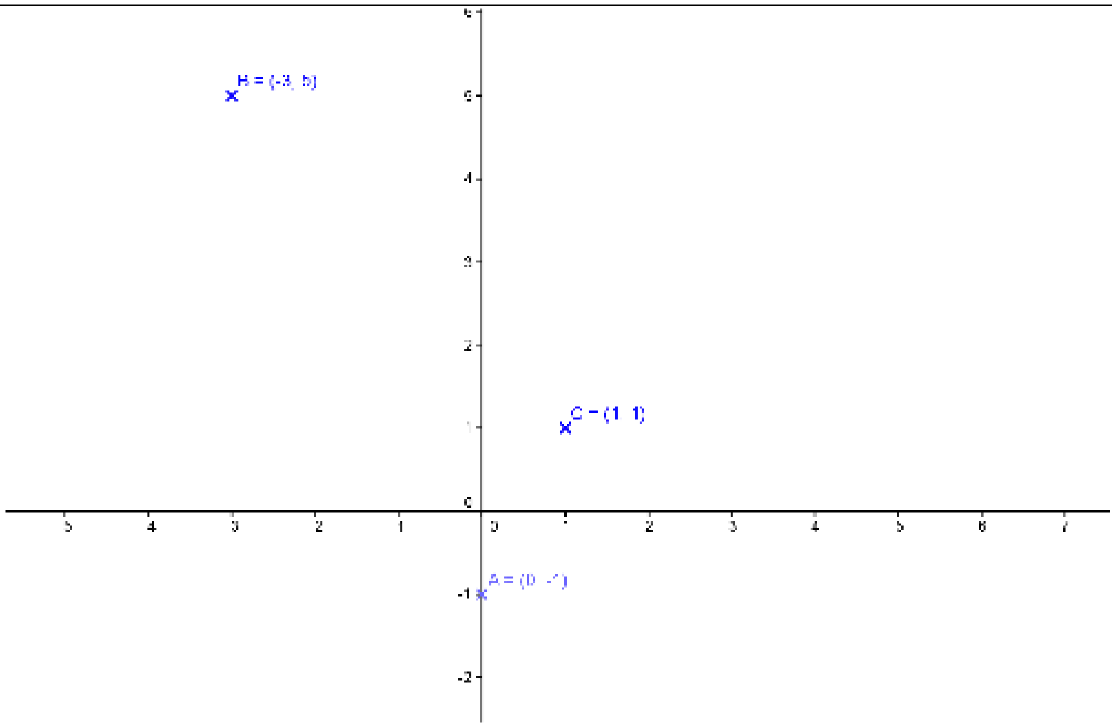

Figure 1

Feuille de travail du fichier "Parabole.ggb"

***Figure 2** – Enoncé de l'activité 2 de la SS1*

Solutions attendues

Avec GeoGebra

Le fichier « Parabole.ggb » est dans le dossier « TP » du « Bureau ». Nous y avons construit les points $A(0;-1)$, $B(-3;5)$, $C(1;1)$. Nous avons défini ces points comme « objet fixe » (Dans les propriétés) afin qu'ils ne soient pas modifiés par les élèves.

Utilisation des commandes :

- f(x)=polynôme [A, B, C] : construit la courbe passant par les trois points A, B, C.
- Extremum[Polynôme f] : construit tous les extremums locaux du polynôme f (en tant que points).
- relation[Objet a, Objet b] : affiche un message indiquant la relation entre l'objet a et l'objet b.

En papier/crayon

1. Détermination de $f(x) = ax^2 + bx + c$

D'après l'énoncé :

$$A(0;-1) \in (\Gamma) \Leftrightarrow f(0) = -1 \Leftrightarrow c = -1\,;$$

$$B(-3;5) \in (\Gamma) \Leftrightarrow f(-3) = 5 \Leftrightarrow 9a - 3b + c = 5\,;$$

$$C(1;1) \in (\Gamma) \Leftrightarrow f(1) = 1 \Leftrightarrow a + b + c = 1$$

On résout le système : $\begin{cases} \quad\quad\quad\quad c = -1 \\ 9a - 3b + c = 5 \\ a + b + c = 1 \end{cases}$ on obtient : *a = 1, b = 1, c = -1*

En conclusion : $f(x) = x^2 + x - 1$

1. On utilise la formule $S\left(-\frac{b}{2a}, f\left(-\frac{b}{2a}\right)\right)$ en remplaçant a, b par leur valeur.

D'où : $S\left(-\frac{1}{2}, -\frac{5}{4}\right)$

Nous pensons que les élèves ne doivent pas avoir des difficultés dans la résolution du système de trois équations à trois inconnues (*a, b* et *c*). La détermination de la valeur de c n'est pas très difficile. Ils ne doivent pas avoir de difficulté non plus avec GeoGebra car nous rappelons que nous avons initié nos élèves à la manipulation de l'ordinateur et à la prise en main du logiciel GeoGebra (dont l'utilisation de la barre de saisie).

Le rôle du professeur est de faire respecter les consignes de travail (respect de ne pas activer « Fenêtre Algèbre », du travail individuel et de la durée). A la fin de l'activité, il doit récupérer les productions et faire l'évaluation.

L'analyse des résultats de la sous-séquence 1 montre que lors de la recherche de l'activité1, l'utilisation de GeoGebra a posé des difficultés à certains élèves, ce que nous n'avions pas prévu même si nos élèves n'ont pas l'habitude d'utiliser l'ordinateur. En effet certains avaient du mal à retrouver facilement sur le clavier les caractères des différentes commandes. D'autres obtenaient des messages d'erreurs après l'exécution de leur commande. Ces derniers ne respectaient pas les caractères en majuscule/minuscule pour les noms d'objet pourtant nous l'avions signalé lors de la prise en main de GeoGebra. Nous avions remédié à ces difficultés des élèves, puis relancer l'activité. A la fin un élève est passé au tableau pour la correction. Tout le monde a suivi.

Après l'exécution de la commande : E=extremum[*f*], seul un élève a répondu précisément que *E* est le sommet de la parabole *f*. Pour les autres c'était : le point minimum, l'extremum, le point le plus bas...

GeoGebra rend dépendant au « déplacement » deux objets géométriques construits qui sont liés par une propriété. Nous avions beaucoup insisté sur l'utilisation de cet outil du logiciel lors de l'initiation des élèves. Les élèves l'ont utilisé à la suite de la construction du polynôme, de son sommet comme un outil de « contrôle ».

Nous remarquons que GeoGebra a parmi aux élèves de mieux appréhender la notion du sommet d'une parabole.

En papier/crayon, quatre élèves ont répondu correctement. Les autres avaient des difficultés soit pour interpréter algébriquement les données de l'énoncé, soit dans la résolution du système. Nous trouvons que cette phase a été déterminante. Les élèves ont pu raisonner, argumenter, pour trouver la preuve mathématique du problème dont la solution a été préalablement visualisée avec GeoGebra.

A la fin de l'activité, chaque élève pouvait facilement savoir s'il a eu la bonne réponse à travers les messages affichés par GeoGebra. On pouvait entendre « Monsieur, j'ai eu » ou « Monsieur, j'ai raté ».

4. *Sous-séquence 2 (SS2) : Retrouver les coordonnées du sommet d'une parabole en utilisant une forme non familière du trinôme du second degré dans IR*

La forme factorisée qui est appelée « forme canonique du trinôme » $ax^2 + bx + c$ qui est utilisée dans les pratiques de classes au Mali est :

$$ax^2 + bx + c = a\left[\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{\Delta}{(2a)^2}\right], \text{où } \Delta = b^2 - 4ac.$$

L'enjeu de la sous-séquence 2 est de pouvoir retrouver les coordonnées du sommet à partir de la forme suivante (nouvelle pour les élèves) : $ax^2 + bx + c = a(x-h)^2 + k \;\; avec \; h,k \in \mathbb{R}$. Les élèves travaillent alternativement avec GeoGebra et en papier/crayon.

Les objectifs de cette nouvelle activité sont de mettre un trinôme du second degré sous la forme non familière : $ax^2 + bx + c = a(x-h)^2 + k \;\; avec \; h,k \in \mathbb{R}$, puis de déduire de cette écriture les coordonnées du sommet de la parabole et enfin d'utiliser GeoGebra comme outil de contrôle.

En utilisant les résultats de l'activité 1 :
Partie1 (recherche)
En papier/crayon

1. Ecrire la fonction f sous la forme : $f(x) = a(x-h)^2 + k \;\; avec \; h,k \in \mathbb{R}$.
2. Soit le point $S'(h,k)$. Comparer S' et S calculer en activité1.

Avec GeoGebra

3. On pose $g(x) = a(x-h)^2 + k \;\; avec \; h,k \in \mathbb{R}$.

Dans le fichier « Parabole.ggb » :

Construire la représentation graphique de g puis le point S'.
Que peux-tu conclure ?
Consigne : Ne pas activer la « Fenêtre Algèbre ».

Partie 2 (bilan)

4. Taper dans le « champ de saisie » : relation [f, g]. Valider par la touche « Entrée ». Qu'obtiens-tu ?

***Figure 3** – Enoncé de l'activité 3 de la SS2*

Solutions attendues

1. D'après l'activité 1 : $f(x) = x^2 + x - 1$.

Mettons le polynôme $x^2 + x - 1$ sous la forme non familière $f(x) = a(x-h)^2 + k \;\; avec \; h,k \in \mathbb{R}$, nous obtenons : $f(x) = \left(x + \frac{1}{2}\right)^2 - \frac{5}{4}$

2. On déduit de 1) : $S'\left(-\frac{1}{2}; -\frac{5}{4}\right)$ et $S = S'$.
3. On tape dans le « champ de saisie » : g(x)=(x+1/2)^2-5/4 pour construire g.

   Pour S', on tape : S'= (-1/2,-5/4).

Nous pensons que les élèves devront, pour la recherche de la forme canonique, retrouver que $x^2 + x$ est le début de la forme développée de l'expression $\left(x + \frac{1}{2}\right)^2$ et nous ne prévoyons pas de difficultés dans l'utilisation du logiciel.

Le rôle du professeur est de faire respecter les consignes de travail (respect de ne pas activer « Fenêtre Algèbre », du travail individuel et de la durée. A la fin de l'activité, il doit récupérer les productions et faire la correction.

L'analyse des résultats de la sous-séquence 2 montre que nous avons retrouvé dans les productions d'élèves deux méthodes de résolution pour mettre le polynôme sous la forme $f(x) = a(x-h)^2 + k$. En général, ils ont utilisé la forme canonique de f puis l'ont identifié à cette nouvelle forme d'écriture de f (non sans difficulté) pour avoir les valeurs de h et de k. Certains étaient perturbés par le signe « - » de la formule. En effet, la forme canonique donne $f(x) = \left(x + \frac{1}{2}\right)^2 - \frac{5}{4}$ et $h = -\frac{1}{2}$; $k = -\frac{5}{4}$.

Un élève a tenté de résoudre par la méthode des coefficients indéterminés (utilisée à d'autres occasions). Il a développé la forme $f(x) = a(x-h)^2 + k$ et l'identifié à $f(x) = x^2 + x - 1$. Il n'a pas pu retrouver les valeurs correctes.

Cette deuxième méthode de résolution n'est pas ressortie dans notre analyse a priori. Nous constatons que le rappel effectué sur la forme canonique (en Sous séquence 0) du trinôme du second degré a incité la majorité des élèves à l'utiliser dans cette activité.

Les élèves ont utilisé GeoGebra à la suite du travail en papier/crayon. Le logiciel les a permis de vérifier rapidement leurs résultats du papier/crayon.

L'utilisation de GeoGebra n'a pas posé de difficulté aux élèves comme prévu dans notre analyse a priori. De la même façon qu'en sous-séquence 1, à la fin de l'activité chaque élève pouvait savoir s'il a eu la bonne réponse à travers les messages affichés par GeoGebra : il n'avait pas besoin de l'avis du professeur.

IV. SYNTHESES DES RESULTATS DE LA SEQUENCE

A la suite de nos analyses, nous constatons d'abord que pendant les séances, les élèves ont été beaucoup plus concentrés et motivés dans la résolution des exercices. En ce qui concerne le logiciel GeoGebra, nous avons constaté qu'il facilite l'engagement actif des élèves dans les tâches à réaliser. Il les incite à être plus rigoureux dans l'exécution des tâches que lors des séances classiques en papier/crayon.

L'utilisation de GeoGebra nous a permis aussi d'associer facilement les points de vues numériques et graphiques sur une parabole (sommet, formes d'écritures).

Un autre point à souligner est le changement de notre rôle dans cet environnement de travail. En effet, au lieu de « mener le jeu » comme lors des séances « traditionnelles », nous faisons des suggestions et nous relançons les activités. De plus, l'appropriation des problèmes par les élèves est plus rapide. On pouvait entendre lors des phases bilan « Monsieur, c'est facile… ». Par ailleurs, l'expérimentation a induit chez les élèves la précaution liée au contrôle de résultat obtenu soit par GeoGebra soit en papier/crayon. En revanche, nous avions eu beaucoup de difficultés à avoir l'attention des élèves lorsqu'on donne des consignes ou lors des phases bilan. Nous pensons qu'il serait utile de mettre les machines en mode veille pendant de telle phase.

V. CONCLUSION

L'élaboration de cette séquence nous a permis d'entamer un travail de réflexion et d'auto-formation sur l'utilisation de l'ordinateur dans notre enseignement des mathématiques.

Nous avons fait des choix et nous nous sommes confrontés à des difficultés. Nos élèves ont pu apprendre des connaissances significatives sur le trinôme du second degré dans $\mathbb{R}$ à travers d'une part, les interactions entre le registre de l'écriture mathématique et le registre graphique et d'autre part, en utilisant alternativement les environnements papier/crayon et GeoGebra.

Dans nos activités, nous n'avons exploité dans l'ensemble que les fonctionnalités analytiques du logiciel GeoGebra à travers le « champ de saisie ».

Nous pensons qu'il est intéressant d'engager nos élèves dans des activités de recherche dans un environnement de logiciel de géométrie dynamique. Mais, avant tout, il faudrait que l'enseignant se demande à quel moment utiliser le logiciel ? Pour illustrer quelle notion ? De quelle manière ?

Les élèves ont beaucoup apprécié les séances sur ordinateur. Mais l'utilisation de l'ordinateur ne doit pas avoir pour objet de faire de l'élève un expert dans l'utilisation d'un logiciel. Il faudrait surtout qu'il sache reconnaître certaines questions susceptibles d'être illustrées ou résolues grâce à l'ordinateur et qu'il sache interpréter les réponses que l'ordinateur fournit.

Quant à l'intégration effective des outils informatiques dans notre enseignement, beaucoup d'efforts devront être fournis. En effet, Il n'est pas toujours aisé pour l'enseignant d'avoir du matériel (assez d'ordinateurs dans les salles) à sa disposition ou encore de bien connaître les logiciels (l'apprentissage des T.I.C.E n'est pas dans le programme de l'ENSup). De plus, il faudrait des manuels avec des activités utilisant les T.I.C.E à la disposition des enseignants ; intégrer l'enseignement de ces logiciels dans les programmes et dans les évaluations. Puis que les élèves peuvent voir les T.I.C. comme un divertissement et non comme une aide à l'acquisition des connaissances mathématiques. On pourra alors se demander s'il est possible d'intégrer les T.I.C.E dans l'enseignement des mathématiques au Mali. Il s'agit là d'une problématique pédagogique qui est loin d'être élucidée.

REFERENCES

Textes officiels

- Ministère de l'Education Nationale – Inspection Enseignement Secondaire, Programmes de mathématiques de l'enseignement secondaire général technique et professionnel classes 11ème toutes séries 2004
- Opération Mathématiques, Projet Rénovation de l'Enseignement Scientifique (COOPÉRATION FRANCE – MALI), Savoir-Faire 11ième, Juin 1992.

Sur Internet

Site officiel du logiciel GeoGebra : www.geogebra.org