



HAL
open science

Impact de l'utilisation de GeoGebra sur l'apprentissage des élèves : Cas de la compréhension du concept de fonctions numériques au lycée

Abdoul Massalabi Nouhou

► To cite this version:

Abdoul Massalabi Nouhou. Impact de l'utilisation de GeoGebra sur l'apprentissage des élèves : Cas de la compréhension du concept de fonctions numériques au lycée. Education. Université de Cergy Pontoise, 2019. Français. NNT : 2019CERG1007 . tel-02524612

HAL Id: tel-02524612

<https://theses.hal.science/tel-02524612>

Submitted on 30 Mar 2020

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

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

Thèse de doctorat

Pour l'obtention du titre de
DOCTEUR EN SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Délivré par

L'Université de Cergy – Pontoise

École Doctorale N°284 : Droit et Sciences Humaines (DSH)

LABORATOIRE BONHEURS (EA 7517), Chaire UNESCO

« FRANCOPHONIE ET RÉVOLUTION DES SAVOIRS »

*Impact de l'utilisation de Geogebra sur l'apprentissage des
élèves*

Cas de la compréhension du concept de fonctions numériques au lycée

Préparée et présentée par

Abdoul Massalabi NOUHOU

Le 17/ 12/ 2019

DIRECTEUR de thèse : Monsieur Alain JAILLET

Jury :

M. Thierry KARSENTI, Professeur, à, Université de Montréal	Président
Mme Rodica AILINCAI, Professeur, à, Université de la Polynésie Française	Examineur
Mme Nana Aicha GOZA, Professeur, à, Université de Niamey	Rapporteur
Mme Véronique KAMGANG KABEYE, Professeur, à, Université de Ngaoundéré	Rapporteur
M. Alain JAILLET, Professeur, à, université de Cergy Pontoise	Directeur de thèse

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	2
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	14
REMERCIEMENTS.....	16
RESUMÉ.....	18
ABSTRACT	20
INTRODUCTION GÉNÉRALE	23
CHAPITRE I : CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	33
1 <u>PRESENTATION DU NIGER.....</u>	33
2 <u>PRESENTATION SOMMAIRE DU SYSTEME EDUCATIF DU SECONDAIRE NIGERIEN.....</u>	35
2.1 LE PREMIER CYCLE DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE.....	36
2.2 LE SECOND CYCLE DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE.....	36
2.3 LA SITUATION DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE AU NIGER	37
3 <u>INTEGRATION PEDAGOGIQUE DU NUMERIQUE DANS LE SYSTEME EDUCATIF NIGERIEN.....</u>	39
3.1 PROJETS D'INTEGRATION DU NUMERIQUE EN EDUCATION.....	39
3.2 PREENQUETE SUR L'UTILISATION DU NUMERIQUE PAR LES ACTEURS DE L'EDUCATION AU NIGER.....	41
3.2.1 ACCES AUX TECHNOLOGIES NUMERIQUES	41
3.2.2 UTILISATION DES LOGICIELS DE MATHEMATIQUES.....	42
4 <u>HISTOIRE DU CONCEPT DE FONCTION ET SON APPRENTISSAGE AU LYCEE</u>	44
5 <u>SYNTHESE DU CHAPITRE 1</u>	45
CHAPITRE II : ETAT DE LA QUESTION	47
1 <u>LES TIC DANS L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE DE MATHEMATIQUES AU SECONDAIRE.....</u>	47

1.1 INTRODUCTION DES CALCULATRICES EN ENSEIGNEMENT – APPRENTISSAGE DES MATHEMATIQUES.....	47
1.2 INTRODUCTION DES ORDINATEURS EN ENSEIGNEMENT ET L’APPRENTISSAGE DES MATHEMATIQUES.....	48
1.3 LOGICIELS EDUCATIFS POUR L’ENSEIGNEMENT ET L’APPRENTISSAGE DE MATHEMATIQUES 49	
1.4 ENSEIGNER ET APPRENDRE LES MATHEMATIQUES AVEC LA TECHNOLOGIE	53
1.4.1 UTILISATION DU POTENTIEL DU LOGICIEL, L’APPRENTISSAGE DE MATHEMATIQUE ET LA REUSSITE DES ELEVES	54
1.4.2 UTILISATION DU LOGICIEL, LA COMPREHENSION DU CONCEPT MATHEMATIQUE ET LA PERFORMANCE DES ELEVES	65
1.5 ATTITUDES DES ELEVES ET APPRENTISSAGE DES MATHEMATIQUES AVEC LE NUMERIQUE..	71
1.6 LE CONCEPT DE FONCTION ET SON APPRENTISSAGE.....	74
<u>2 CADRE THEORIQUE</u>	<u>75</u>
2.1 ELEMENTS DE CADRAGE DE NOTRE RECHERCHE	76
2.1.1 LE DEVELOPPEMENT PROFESSIONNEL DE L’ENSEIGNANT	76
2.1.2 LES MODELES D’APPRENTISSAGE ET LE NUMERIQUE EN EDUCATION	78
2.1.3 L’ENSEIGNEMENT ET L’APPRENTISSAGE DES MATHEMATIQUES AU SECONDAIRE.....	83
2.1.4 INTEGRATION DU NUMERIQUE DANS LE SYSTEME EDUCATIF SECONDAIRE	84
2.1.5 LE CHANGEMENT DE PRATIQUE ENSEIGNANTE ET DES ACTIVITES MATHEMATIQUES DES ELEVES AVEC LE NUMERIQUE.....	87
2.1.6 LE NUMERIQUE EDUCATIF POUR LA CONSTRUCTION D’APPRENTISSAGE SOCIOCONSTRUCTIVISTE	90
2.1.7 LE CONTRAT DIDACTIQUE, LE MILIEU ET CE QUI GUIDE L’ACTIVITE MATHEMATIQUE DES ELEVES AVEC GEOGEBRA	92
2.2 THEORIES EXPLICATIVES DU SUJET DE NOTRE THESE	93
2.2.1 THEORIE DE LA MEDIATIQUE SEMIOTIQUE ET L’APPROCHE INSTRUMENTALE	94
2.2.2 APPROCHE SUR LES ACTIVITES MATHEMATIQUES DES ELEVES AVEC LES TECHNOLOGIES NUMERIQUES	95
2.2.3 APPROCHES SUR LES ATTITUDES DES ELEVES ENVERS LES MATHEMATIQUES ET LES TECHNOLOGIES	98
<u>3 SYNTHESE DU CHAPITRE 2.....</u>	<u>101</u>
<u>CHAPITRE III : PROBLEMATIQUE.....</u>	<u>103</u>
<u>1 LES FONCTIONS NUMERIQUES COMME OBJET D’APPRENTISSAGE AU LYCEE</u>	<u>103</u>
1.1 ETUDE DES FONCTIONS NUMERIQUES AU LYCEE	103
1.2 LES DIFFICULTES DES ELEVES NIGERIENS A ETUDIER LES FONCTIONS NUMERIQUES	103
<u>2 CONSTATS DES RECHERCHES SUR L’UTILISATION DU LOGICIEL DYNAMIQUE EN APPRENTISSAGE DES MATHEMATIQUES.....</u>	<u>105</u>
<u>3 LES QUESTIONS DE LA RECHERCHE</u>	<u>110</u>

3.1	QUESTION GENERALE	110
3.2	QUESTIONS SPECIFIQUES.....	110
4	<u>HYPOTHESES ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE.....</u>	111
4.1	HYPOTHESES DE LA RECHERCHE.....	111
4.1.1	HYPOTHESE GENERALE	111
4.1.2	HYPOTHESES SPECIFIQUES	111
4.2	OBJECTIFS DE LA RECHERCHE.....	112
4.2.1	OBJECTIF GENERAL DE LA RECHERCHE.....	112
4.2.2	OBJECTIFS SPECIFIQUES	112
5	<u>DESCRIPTION DES VARIABLES ET AXES DE LA RECHERCHE</u>	113
5.1	DESCRIPTION DES VARIABLES.....	113
5.1.1	VARIABLES INDEPENDANTE ET DEPENDANTE.....	113
5.1.2	VARIABLE PARASITE	116
5.2	DESCRIPTION DES AXES DE LA RECHERCHE.....	117
6	<u>SYNTHESE DU CHAPITRE 3.....</u>	119
<u>CHAPITRE IV : CADRE MÉTHODOLOGIQUE</u>		121
1	<u>METHODOLOGIE DE NOTRE RECHERCHE</u>	121
1.1	TERRAIN D'ETUDE.....	121
1.2	PARTICIPANTS	122
1.3	LE POTENTIEL EDUCATIF DU LOGICIEL DYNAMIQUE DE MATHEMATIQUES GEOGEBRA	124
1.3.1	FONCTIONNALITES DU LOGICIEL GEOGEBRA	124
1.3.2	LE ROLE DE GEOGEBRA POUR LA COMPREHENSION DES FONCTIONS	126
1.4	LE SCENARIO D'APPRENTISSAGE DU CONCEPT DES FONCTIONS AU LYCEE	127
1.4.1	DEFINITION DU SCENARIO D'APPRENTISSAGE.....	127
1.4.2	CARACTERISATION DES SCENARII D'APPRENTISSAGE DE LA FONCTION NUMERIQUE.....	130
1.4.3	SCENARIO CONÇU POUR LES ELEVES DE LA SECONDE.....	130
1.4.4	SCENARIO CONÇU POUR LES ELEVES DE LA PREMIERE	135
1.4.5	SCENARIO CONÇU POUR LES ELEVES DE LA TERMINALE.....	141
1.5	INSTRUMENTS ET METHODES DE COLLECTE DES DONNEES	147
1.5.1	QUESTIONNAIRES DE CONNAISSANCES MATHÉMATIQUES DES ELEVES	148
1.5.2	QUESTIONNAIRE DE MESURE D'ATTITUDES MATHÉMATIQUES ET TECHNOLOGIES.....	149
1.5.3	GRILLES D'OBSERVATION DES SITUATIONS DE CLASSE	150
1.5.4	ENTRETIENS SEMI – DIRECTIFS AVEC LES ENSEIGNANTS ET LES ELEVES	154
1.5.5	ANALYSE DOCUMENTAIRE	156
1.6	METHODES ET TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES DONNEES	157
2	<u>LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....</u>	159
2.1	LE TEST EXPERIMENTAL	159

2.2	PLANIFICATION DE L'EXPERIMENTATION.....	163
2.2.1	PLANIFICATION DE LA PHASE UNE DE L'EXPERIMENTATION.....	164
2.2.2	PLANIFICATION DE LA PHASE DEUX DE L'EXPERIMENTATION	166
2.3	DEROULEMENT DE LA PHASE UNE DE L'EXPERIMENTATION.....	166
2.3.1	PREMIERE PHASE EXPERIMENTALE	167
2.3.2	DEUXIEME PHASE EXPERIMENTALE	168
2.4	PLAN DE LA RECHERCHE	169
2.5	METHODOLOGIE DE LA PREMIERE PARTIE.....	172
2.6	METHODOLOGIE DE LA DEUXIEME PARTIE.....	176

3 FORCES ET LIMITES METHODOLOGIQUES..... 177

4 SYNTHÈSE DU CHAPITRE 4..... 179

CHAPITRE V : RESULTATS..... 183

1 ANALYSE DESCRIPTIVE DE NOS ECHANTILLONS..... 183

1.1	CARACTERISTIQUES DU GENRE.....	183
1.2	CARACTERISTIQUES DE L'ÂGE.....	184
1.3	CARACTERISTIQUES PROFESSIONS ET CATEGORIE SOCIOPROFESSIONNELLE (PCS).....	185
1.4	CARACTERISTIQUES CONFIANCES EN MATHÉMATIQUES.....	186
1.5	CARACTERISTIQUES CONFIANCES AUX TECHNOLOGIES.....	186
1.6	CARACTERISTIQUE ENGAGEMENT AFFECTIF	187
1.7	CARACTERISTIQUE ENGAGEMENT COMPORTEMENTAL	188
1.8	CARACTERISTIQUES ATTITUDES A L'EGARD DE L'APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES AVEC LES TECHNOLOGIES	189

2 ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION..... 191

2.1	ANALYSE DES RESULTATS RELATIFS A LA PROGRESSION GLOBALE DES ELEVES	191
2.1.1	COMPARAISON DES GROUPES EN FONCTION DES MODALITES D'APPRENTISSAGE	191
2.1.2	EFFET DU NIVEAU AU DEPART DES ELEVES SUR LEUR PERFORMANCE AUX SCORES.....	196
2.1.3	EFFET DE LA SERIE DES ELEVES SUR LEUR PERFORMANCE AUX SCORES	197
2.1.4	EFFET GENRES DES ELEVES SUR LEUR PERFORMANCE AUX SCORES.....	202
2.1.5	EFFET DES ATTITUDES DES ELEVES SUR LEUR PERFORMANCE AUX SCORES.....	207
2.1.6	EFFET DE LA DYNAMIQUE D'APPRENTISSAGE EN FONCTION DES DEUX MODALITES D'APPRENTISSAGE	208
2.2	ANALYSE DES RESULTATS RELATIFS A LA PROGRESSION AUX SCORES SELON LE NIVEAU D'APPRENTISSAGE DES ELEVES.	210
2.2.1	COMPARAISON DES GROUPES CLASSES SELON LES PERFORMANCES AUX SCORES	210
2.2.2	DESCRIPTION DES SCORES DES GROUPES CLASSES NIVEAU ACADEMIQUE	213
2.2.3	ANALYSE DE PROGRESSIONS EFFECTUEES PAR LES ELEVES SELON LE NIVEAU D'APPRENTISSAGE	218
2.2.4	ANALYSE DE PROGRESSIONS EFFECTUEES PAR CATEGORIE D'ELEVES DE MEME NIVEAU ACADEMIQUE	229
2.2.5	ANALYSE DE PROGRESSIONS EFFECTUEES SELON LE GENRE DES ELEVES.....	233

2.3	ANALYSE DES ACTIVITES DES ELEVES SUR LES FONCTIONS NUMERIQUES EN RELATION AVEC LES ACTIVITES ENSEIGNANTES DANS L'ENVIRONNEMENT GEOGEBRA.....	238
2.3.1	ANALYSE DE TACHES INSTRUMENTEES EN LIEN AVEC DES TACHES MATHEMATiques POUR L'APPRENTISSAGE FONCTIONS PAR LES ELEVES.....	238
2.3.2	ANALYSE DES DIFFICULTES PERÇUES POUR LES ELEVES MOBILISANT GEOGEBRA DANS LEUR APPRENTISSAGE DU CONCEPT DE FONCTIONS.....	241
2.3.3	EFFET DU POTENTIEL DU LOGICIEL SUR LES PERFORMANCES DES ELEVES.....	286
2.4	ANALYSE DES RESULTATS DES PRATIQUES DES ENSEIGNANTS EN RAPPORT AVEC L'APPRENTISSAGE DES ELEVES	293
2.4.1	EFFET DE L'ENSEIGNANT MOBILISANT GEOGEBRA.....	293
2.4.2	EFFET DE L'INTERVENTION PEDAGOGIQUE DE L'ENSEIGNANT	298
2.5	ANALYSE DES RESULTATS RELATIFS AUX ATTITUDES DES ELEVES ENVERS L'APPRENTISSAGE DES MATHEMATiques AVEC LA TECHNOLOGIE.....	306
2.5.1	CARACTERISTIQUE DE L'ECHELLE DES ATTITUDES ENVERS LES MATHEMATiques ET LA TECHNOLOGIE.....	306
2.5.2	LES SCORES DE MTAS AVANT LA SEQUENCE DU COURS SELON LE NIVEAU D'APPRENTISSAGE	308
2.5.3	LES SCORES DE MTAS AVANT LA SEQUENCE DU COURS SELON LE GENRE	310
2.6	LES SCORES DE MTAS AVANT LA SEQUENCE DU COURS SELON LA PROGRESSION DES ELEVES	312

3 INTERPRETATION DES RESULTATS PRINCIPAUX DE CETTE RECHERCHE **315**

3.1	INTERPRETATION DES RESULTATS RELATIF A LA PERFORMANCE DES ELEVES	315
3.2	INTERPRETATION DES RESULTATS RELATIFS A LA DYNAMIQUE D'APPRENTISSAGE DES ELEVES	317
3.3	INTERPRETATION DES RESULTATS RELATIFS AUX ATTITUDES DES ELEVES ENVERS L'APPRENTISSAGE DES MATHEMATiques AVEC LA TECHNOLOGIE.....	319

4 SYNTHESE DE CHAPITRE 5 **320**

CHAPITRE VI : DISCUSSION DE RESULTATS ET PERSPECTIVES..... **325**

1 RAPPELS DES QUESTIONS ET DES HYPOTHESES DE NOTRE RECHERCHE **325**

1.1	RAPPELS DES QUESTIONS DE NOTRE RECHERCHE	325
1.2	RAPPELS DES HYPOTHESES DE NOTRE RECHERCHE.....	325

2 LES RESULTATS DE NOTRE RECHERCHE **327**

2.1	LES PRINCIPAUX RESULTATS DE NOTRE RECHERCHE	327
2.1.1	RESULTATS RELATIFS A LA PERFORMANCE DES ELEVES EN TERME DE PROGRESSION	327
2.1.2	RESULTATS RELATIFS A LA DYNAMIQUE D'APPRENTISSAGE DES ELEVES	327
2.1.3	RESULTATS RELATIFS AUX ATTITUDES DES ELEVES	329
2.2	RESULTATS RELATIFS AUX EFFETS D'AUTRES VARIABLES	329
2.2.1	RESULTATS RELATIFS A L'EFFET DES CONNAISSANCES DE DEPART DES ELEVES	329

2.2.2 RESULTATS RELATIFS A L'EFFET DE MANQUE DE MAITRISE DES FONCTIONNALITES DU LOGICIEL.....	330
---	-----

3 DISCUSSIONS DES RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION 331

3.1 LA PERFORMANCE DES ELEVES EN TERME DE PROGRESSION.....	331
3.2 LA DYNAMIQUE D'APPRENTISSAGE DES ELEVES.....	340
3.3 LES ATTITUDES DES ELEVES.....	342
3.4 EFFETS D'AUTRES VARIABLES.....	344
3.4.1 EFFET DES CONNAISSANCES DE DEPART DES ELEVES	344
3.4.2 EFFET DE MANQUE DE MAITRISE DES FONCTIONNALITES DU LOGICIEL.....	347

4 PERSPECTIVES 350

4.1 IMPLICATION POUR LES PRATIQUES DES CLASSES DE MATHEMATIQUES	350
4.2 IMPLICATION POUR DES RECHERCHES FUTURES	352

5 SYNTHESE DU CHAPITRE 6..... 352

CONCLUSION GÉNÉRALE 355

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 360

ANNEXES..... 384

1 ANNEXES : FICHES DE LEÇONS..... 384

1.1 ANNEXE A1 : FICHE PEDAGOGIQUE DU MODELE ASEI/PDSI	384
1.2 ANNEXE A2 : LES FICHES DE LEÇONS ELABOREES PAR LES ENSEIGNANTS EN UP.....	386
1.2.1 LES FICHES DE DEUX LEÇONS DES CLASSES DE 2 ^{NDE}	386
1.2.2 LES FICHES DE DEUX LEÇONS DES CLASSES DE 1 ^{ERE}	394
1.2.3 FICHE DE DEUX LEÇONS DES CLASSE DE T ^{LE}	400

2 ANNEXES : QUESTIONNAIRES..... 406

2.1 ANNEXE A3 : PRETEST ET POSTE DE CONNAISSANCES MATHEMATIQUES DES ELEVES DE 2 ^{NDE} 406	406
2.2 ANNEXE A4 : PRETEST ET POSTE DE CONNAISSANCES MATHEMATIQUES DES ELEVES DE 1 ^{ERE} 407	407
2.3 ANNEXE A5: PRETEST ET POSTE DE CONNAISSANCES MATHEMATIQUES DES ELEVES DE T ^{LE} 409	409
2.4 ANNEXE A6 : QUESTIONNAIRE DE MESURE D'ATTITUDES MATHEMATIQUES ET TECHNOLOGIES	411

3 ANNEXE : KIT DE CODAGE..... 413

3.1	ANNEXE A7 : GRILLE D'OBSERVATION DU COMPORTEMENT DE L'ELEVE	413
3.2	ANNEXE A8: GRILLE D'ENCODAGE	414
3.3	ANNEXE A9: GRILLE D'OBSERVATION DE COMPORTEMENT DE L'ENSEIGNANT ADOPTE DE NGUNU (2013).....	414
4	<u>ANNEXES : ENTRETIENS</u>	<u>415</u>
4.1	ANNEXE A10 : ENTRETIEN AVEC LES ENSEIGNANTS.....	415
4.2	ANNEXE A11: ENTRETIEN AVEC LES ELEVES	421
4.3	ANNEXE A12 : LETTRE D'ENTENTE AVEC LES PROFESSEURS DE MATHEMATIQUES.....	440
4.4	ANNEXE A13 : LETTRE DE DEMANDE D'AUTORISATION DE RECHERCHE.....	443
4.5	ANNEXE A14 : LETTRE D'AUTORISATION DE LA RECHERCHE.....	444

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte administrative du Niger.....	34
Figure 2 : Structure de l'enseignement au Niger (PASEC, 2014)	36
Figure 3 : Courbes de l'évolution du taux de réussites au BAC au Niger	38
Figure 4: Le modèle d'usage pédagogique des outils à potentiel cognitif de Depover, Karsenti et Komis (2007).....	82
Figure 5: Modèle socioconstructiviste	90
Figure 6: Triangle pédagogique de Houssaye (1988)	91
Figure 7: Tétraèdre centré de Jaillet (2004b)	92
Figure 8: schématisations associées à la théorie de la médiation sémiotique et à l'approche instrumentale (Gueudet & Vandebrouck, 2009)	95
Figure 9: Schéma de la réalité de la classe de mathématiques comprenant des éléments théoriques, adapté de Abboud et al. (2017).....	100
Figure 10: Relations d'enseignement – apprentissage entre l'enseignant et les élèves dans une classe de mathématiques avec Geogebra (adapté de Mehanovic, 2011).....	105
Figure 11: Schématisation des hypothèses, questions et axes de recherche en fonction de l'objectif	119
Figure 12: Geogebra est utilisable sur table, ordinateur ou smartphone	124
Figure 13: Quelques fonctionnalités importantes de Geogebra	126
Figure 14: L'écran de Geogebra montrant les fonctions polynômes f, g et h.....	132
Figure 15: L'écran de Geogebra montrant la fonction polynôme f.....	135
Figure 16: L'écran de Geogebra montrant les fonctions usuelles f et g.....	137
Figure 17: L'écran de Geogebra montrant les fonctions usuelles f et g.....	138
Figure 18: L'écran de Geogebra montrant les fonctions élémentaires.....	140
Figure 19: L'écran de Geogebra montrant les limites fonctions élémentaires.....	141
Figure 20: L'écran de Geogebra montrant l'étude de la fonction polynôme.....	144
Figure 21: L'écran de Geogebra montrant l'étude de la fonction homographique.....	147
Figure 22: schéma de la méthodologie de recherche (inspiré de la présentation orale de Hal Ahassanne, 2018)	159
Figure 23: Comparaison des moyennes au prétest et au posttest	191
Figure 24: Comparaison des gains relatifs par catégorie d'élèves	196
Figure 25: Comparaison des moyennes au prétest et au posttest par serie	198
Figure 26: Gain relatif selon le genre.....	205
Figure 27: Gain relatif par comportement affectif	207
Figure 28: Comparaison des moyennes au prétest par groupe classe de 2nde.....	213
Figure 29: Comparaison des moyennes au prétest par groupe classe de 1ère.....	214
Figure 30: Comparaison des moyennes au prétest par groupe classe de Tle	215
Figure 31: Comparaison des moyennes au posttest par groupe classe de 2nde	216
Figure 32: Comparaison des moyennes au posttest par groupe classe de 1ère	217
Figure 33: Comparaison des moyennes au posttest par groupe classe de Tle.....	217
Figure 34: Comparaison des moyennes du prétest au posttest par groupe classe de 2nde.....	219
Figure 35 : Comparaison des moyennes du prétest au posttest par groupe classe de 1ère	220
Figure 36: Comparaison des moyennes du prétest au posttest par groupe classe de Tle.....	221
Figure 37: Comparaison de gains relatifs entre groupe classe de 2nde.....	222
Figure 38: Comparaison de gains relatifs entre groupe classe 1ère	224
Figure 39: Comparaison de gains relatifs entre groupe classe Tle.....	226
Figure 40: Gain relatif par catégorie d'élèves en 2nde Littéraire	229

Figure 41: Gain relatif par catégorie d'élèves en 2nde Scientifique.....	230
Figure 42: Gain relatif par catégorie d'élèves en 1ère scientifique	231
Figure 43: Gain relatif par catégorie d'élèves en 1ère littéraire	231
Figure 44: Gain relatif selon le genre en 2nde littéraire.....	234
Figure 45: Gain relatif selon le genre en 2nde scientifique.....	234
Figure 46: Gain relatif selon le genre en 1ère littéraire.....	235
Figure 47: Gain relatif selon le genre en 1ère Scientifique.....	236
Figure 48: Comparaison de moyennes aux scores par groupe classe.....	287
Figure 49: Comparaison des gains relatifs moyens par groupe classe	290
Figure 50: comparaison de moyennes aux prétests et posttests	293
Figure 51: comparaison de gains relatifs moyens des deux groupes par enseignant	294

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Accès au numérique	41
Tableau 2 : utilisation des logiciels de mathématiques	42
Tableau 3: Hypothèses et variables de recherches	116
Tableau 4: Répartition des enseignants et élèves de notre recherche.....	123
Tableau 5: Progression selon programme mathématique en vigueur depuis de 2015 au Niger	128
Tableau 6: Mesure du degré d'accord de trois (3) correcteurs.....	149
Tableau 7 : Le coefficient K et interprétation	153
Tableau 8: Le test K de Cohen pour mesurer le degré d'accord entre codeurs.....	153
Tableau 9: Plan de l'expérimentation de notre recherche	164
Tableau 10: planification des séquences de cours.....	165
Tableau 11 : Les différentes étapes de notre recherche	170
Tableau 12 : Caractéristiques du genre	183
Tableau 13: Caractéristiques de l' âge	184
Tableau 14 : Caractéristiques professions et catégorie socioprofessionnelle	185
Tableau 15 : Caractéristiques confiances en mathématiques	186
Tableau 16 : Caractéristiques confiances aux technologies	187
Tableau 17 : Caractéristique engagement affectif.....	188
Tableau 18: Caractéristique engagement comportemental	189
Tableau 19: Caractéristiques attitudes à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les technologies.....	190
Tableau 20: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le test préliminaire des deux groupes	192
Tableau 21: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le posttest des deux groupes	193
Tableau 22: Résultats de test W de Wilcoxon sur la différence entre prétest et le posttest des deux groupes	193
Tableau 23: Résultats du test U de Mann - Whitney sur les gains relatifs des deux groupes	194
Tableau 24: Résultats du test de corrélation entre gain relatif au score et prétest	195
Tableau 25: Résultats du test H de Kruskal Wallis sur les gains relatifs par catégorie d'élèves	196
Tableau 26: Résultats de test U de Mann - Whitney sur la différence entre les prétests des deux groupes scientifique et littéraire	198
Tableau 27: Résultats de test U de Mann - Whitney sur la différence entre les prétests des groupes scientifiques et des groupes littéraires	199
Tableau 28: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le posttest des deux groupes scientifiques.....	200
Tableau 29: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le posttest des deux groupes littéraires	201
Tableau 30: Comparaison des moyennes au prétest et posttest des groupes par série.....	202
Tableau 31: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le test préliminaire selon le genre...	203
Tableau 32: Résultats de test t sur le posttest des deux sous – groupes expérimentaux	204
Tableau 33: Résultats de de test U de Mann - Whitney sur le posttest des deux sous - groupes témoins	205
Tableau 34: Comparaison des gains relatifs par genre d'élèves	206

Tableau 35: corrélation entre les attitudes, niveau au départ et niveau d'acquisitions des élèves mobilisant Geogebra	208
Tableau 36 : Fréquences des comportements d'apprentissage observables.....	208
Tableau 37: corrélation entre les 3 items de la dynamique d'apprentissage	209
Tableau 38: Présentation des résultats des moyennes, des écarts - types, des coefficients de variation, des variations des moyennes et des taux de variation à partir du prétest et du poste des élèves des groupes classe de premiers.	217
Tableau 39: Comparaison des moyennes en prétest et posttest de chaque classe de 2nde	223
Tableau 40: Comparaison des gains relatifs en prétest et posttest de chaque classe.....	225
Tableau 41: Comparaison des gains relatifs en prétest et posttest de chaque classe de Tle ..	227
Tableau 42: corrélation entre prétest et le gain relatif.....	228
Tableau 43: Comparaison des gains relatifs en prétest et posttest par catégorie d'élèves	231
Tableau 44: Comparaison des gains relatifs par genre d'élèves par niveau d'apprentissage.	237
Tableau 45: L'analyse thématique et séquentielle de l'entretien d'Omar.....	242
Tableau 46: Analyse thématique et séquentielle de l'entretien d'Ali	246
Tableau 47: Analyse thématique et séquentielle des entretiens des élèves E1 et E2	252
Tableau 48: Analyse thématique et séquentielle des entretiens des élèves E3, E4 et E5.....	257
Tableau 49: Analyse thématique et séquentielle des entretiens des élèves E6, E7, E8, E9, E10 et E11.....	262
Tableau 50: Analyse thématique et séquentielle des entretiens des élèves E12 et E13	269
Tableau 51: analyse croisée des entretiens des enseignants et des élèves.....	277
Tableau 52: Résultats de test H de Kruskal Wallis sur le prétest des trois groupes.....	287
Tableau 53: Résultats de test H de Kruskal Wallis sur le posttest pour les trois groupes classes	288
Tableau 54: Résultats du test H de Kruskal Wallis sur les gains relatifs pour les trois groupes classes.....	290
Tableau 55: corrélation entre prétest et le gain relatif pour les trois groupes classes	291
Tableau 56: Comparaison des moyennes au prétest et posttest pour les trois groupes classes	292
Tableau 57: Présentation des résultats des gains relatifs par enseignant	294
Tableau 58: Fréquences d'occupation d'espace et de communication orale des enseignants	298
Tableau 59: Comparaison de la différence de nombre d'occurrence d'occupation de l'espace par l'enseignant dans les deux modalités	304
Tableau 60: Comparaison de la différence de nombre d'occurrences de communication orale par l'enseignant dans les deux modalités	304
Tableau 61: Caractéristique de l'échelle d'attitudes envers les maths et technologie	306
Tableau 62: Corrélation entre scores MTAS et progression des élèves.....	308
Tableau 63: Scores des Attitudes envers les mathématiques et les technologies des élèves avant la séquence du cours au niveau 2nde.....	308
Tableau 64: Scores des Attitudes envers les mathématiques et technologie des élèves avant la séquence du cours au niveau 1ère	309
Tableau 65: Scores des Attitudes envers les mathématiques et technologie des élèves avant la séquence du cours au niveau Tle.....	310
Tableau 66: Attitudes envers les maths et technologie des élèves ayant travaillé dans un environnement numérique chez les garçons.....	310
Tableau 67: Attitudes envers les maths et technologie des élèves ayant travaillé dans un environnement numérique chez les filles	311

Tableau 68: Corrélation entre scores MTAS et progression des élèves au niveau 2nde.....	312
Tableau 69: Corrélation entre scores MTAS et progression des élèves au niveau 1ère	313
Tableau 70: Corrélation entre scores MTAS et progression des élèves au niveau Tle.....	313

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ASEI : Activity, Student, Experiment, Improvisation

AUF : Agence Universitaire de la Francophonie

BAC : Baccalauréat

BEPC : Brevet d'Etude du Premier Cycle

CAS: Computer Algebra System

CONFEMEN : Conférence des ministres de l'Education des pays ayant le français en partage

DADE : Double Approche Didactique et Ergonomique

DFIC : Direction de la formation initiale et continue

DGS: Dynamic Geometry Software

EAMT: Échelle d'Attitudes Mathématiques et Technologie

EAO: Enseignement Assisté par Ordinateur

GPM: Graphical Partitioning Model

HC/NTIC : Haut-Commissaire aux Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

IFADEM : Initiative Francophone pour la Formation à Distance des Maitre

IGS : Logiciel Interactif de Géométrie

INS : Institut Nationale de la statistique

LOSEN : Loi d'Orientation du Système Educatif Nigérienne

NCTM : National Council of Teachers of Mathematics

MEN : Ministère de l'enseignement national

MES : Ministre des enseignements secondaires

MTAS: Mathematics and Technology Attitudes scale

OIF : Organisation Internationale de la Francophonie

OPERA : Observations des Pratiques Enseignantes dans leur Rapport avec les Apprentissages des élèves

PASEC : Programme d'analyse des systèmes éducatifs de la confemen

PDSI : Plan, Do, See, Improve

PNUD : Programme des Nations Unis pour le Développement.

PSEF : Programme Sectoriel de l'Education et de la formation

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

RIFEFF: Réseau International Francophone des Etablissements de formation de Formateurs

SMASS : Amélioration de l'enseignement des mathématiques et des sciences au Secondaire au Niger

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication

TICE : Technologies de l'Information et de la Communication pour l'éducation

TBS : Taux Brut de Scolarisation

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

UP: Unité Pédagogique

REMERCIEMENTS

Au le Professeur Alain Jaillet, mon directeur de thèse et responsable de la chaire UNESCO « Francophonie et révolution des savoirs : éducation et connaissances à l'ère du numérique et des réseaux internationaux », pour son implication et son soutien depuis le Master ACREDITE en 2014, Le Master TechEdu en 2015 et cette thèse de doctorat de 2016 à 2019.

A mes collègues pour tous les échanges fructueux, plus spécifiquement à Bapindie Ouattara, Hal Alhassanne DEMBA, Sylvain AGBANGLANON, Thierno DIAOUNE, Sandrine NYEBE, Jean David, Gundeea NARRAINEN, Benjamin NKWANUI, Najat BOUMEHRAZ pour les échanges et validation de mes outils de traitements de données. A Celestin TAPTUE PIERRE, Faiza EL METENNANI, Mireille LEA WEL, Thierno Moussa DIAOUNE et TIENIN Bélibi René pour avoir pris le temps de relire ce travail et faire des remarques et suggestions.

Aux membres du laboratoire BONHEURS pour leur sens d'accueil et l'accompagnement dans cette équipe pluridisciplinaire de recherche, plus particulièrement, la directrice du laboratoire BONHEURS, le Professeur Beatrice MABILON – BONFILS sans oublier M. Jeannin LAURANT, M. Thomas LECORRE, Mme Line NUMA - BOCAGE. A Fatiha LOGRADA et Charlène MERCIER respectivement ancienne Ingénieur d'étude et nouvelle Ingénieur d'étude du laboratoire BONHEURS.

Aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail.

A Mr Ahemd Birga, conseiller de mathématiques et directeur départemental des enseignements secondaires d'Arlit, Mr. Ibrahim Attoumane, proviseur du complexe d'enseignement Sanda Maigari, et les enseignants de mathématiques qui ont volontairement accepté de participer à cette expérience pendant les trois ans.

Je dédie cette thèse à ma famille au sens africain du terme, plus précisément à *mon père Elhadji Malam Nouhou Ibrahim Djari*, Imam et chef traditionnel africain et *ma mère Nana Mariama*. Ils ont toujours cru en ma capacité à franchir n'importe quel obstacle de la vie, *ma très chère femme Almadina RABIDINE* qui a accepté de m'accompagner sur ce chemin tortueux et plein d'obstacles, dans ma modeste vie d'élève, d'étudiant puis de doctorant et de chef de famille ainsi que *nos deux adorables enfants Salim et Maryam*, sources de ma joie et de mon bonheur.

RESUMÉ

L'étude de fonctions numériques est centrale dans le programme de mathématiques au lycée au Niger. Néanmoins, des rapports d'évaluation sur les acquis des élèves, ont montré que ces derniers ont un niveau en mathématiques non satisfaisant. Des recherches en didactique de mathématiques ont montré que les élèves rencontrent des difficultés de compréhension du concept de fonctions numériques lors de son introduction au lycée. Ils rencontrent difficultés pour travailler les multiples représentations des fonctions numériques et pour résoudre des problèmes. Des recherches sur l'intégration pédagogique des technologies numériques en enseignement – apprentissage ont montré que, l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques améliore significativement l'apprentissage et la réussite des élèves. Les avantages de l'utilisation de ces logiciels sont dus au fait que l'environnement d'apprentissage dynamique offre la possibilité aux apprenants d'exploiter les multiples représentations d'un concept mathématiques, de visualiser et de manipuler ses propriétés mathématiques. D'autres recherches ont montré que, l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques n'améliore pas significativement l'apprentissage et la réussite des élèves comparativement aux élèves des classes traditionnelles. En effet, l'introduction des logiciels rend l'environnement d'apprentissage plus complexe. La question de recherche est de savoir si l'utilisation Geogebra au cours du processus d'enseignement – apprentissage favorise significativement l'apprentissage des concepts mathématiques des élèves du lycée. L'objectif est d'examiner l'impact de l'utilisation du logiciel dynamique de mathématiques Geogebra sur l'apprentissage des élèves ordinaires de lycée du système éducatif du Niger plus particulièrement sur la compréhension des fonctions numériques. Cette recherche quasi expérimentale a porté sur un échantillon non probabiliste de 419 élèves dans un établissement public au titre des deux années scolaires, 2017 – 2018 et 2018 – 2019. Ses élèves ont été répartis au hasard en deux groupes non équivalents, expérimental et témoin. La procédure de cette recherche comprenait trois (3) phases. La première phase est celle de prétest, qui a été administré aux élèves de cette expérimentation. La deuxième phase est celle d'intervention pédagogique où les élèves du groupe expérimental ont appris le concept de fonction à l'aide de Geogebra et les élèves du groupe témoins ont appris le même concept dans une classe ordinaire. Il est important de souligner que chaque enseignant est intervenu dans deux classes, avec des élèves du même niveau d'enseignement et de la même série. La troisième phase est celle de posttest, qui a été administré aux élèves de cette expérimentation. Au regard de la première partie de notre expérimentation, il est ressorti des résultats obtenus que l'utilisation

du logiciel mathématique Geogebra n'a pas contribué significativement à l'apprentissage des élèves ni à leurs performances aux scores. Et que ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que ses élèves n'avaient pas appris à utiliser le potentiel dynamique Geogebra avant l'intervention de l'enseignant. Au regard de la deuxième partie des résultats de notre expérimentation, il est ressorti que la mobilisation de Geogebra dans un environnement numérique structuré a contribué significativement à l'apprentissage des élèves et à leurs performances aux scores et que ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que, les élèves ont appris à utiliser le potentiel dynamique de Geogebra approprié aux résolutions des problèmes sur l'étude de fonctions numériques avant l'intervention pédagogique de l'enseignant. Il ressort des résultats obtenus que, pour que l'impact de l'utilisation du logiciel Geogebra soit positif sur le processus d'apprentissage des fonctions numériques, en mathématiques et les performances aux scores des élèves, il faut que l'environnement numérique soit bien structuré. Ce qui signifie que les élèves doivent maîtriser les fonctionnalités de GeoGebra en lien avec la notion mathématique avant l'intervention de l'enseignant. De plus, ce dernier doit adapter sa méthode et sa stratégie d'enseignement à l'environnement numérique.

Mots clés : Enseignement - apprentissage de mathématiques, concept de fonctions, logiciel dynamique de mathématiques Geogebra, développement professionnel, système éducatif du Niger

ABSTRACT

The study of numerical functions is central to the mathematics program at the Niger High School. Nevertheless, evaluation reports, on student's achievements, have shown that they have an unsatisfactory level in mathematics. Research in mathematics teaching has shown that students encounter difficulties in understanding the concept of numerical functions during its introduction at high school. Students find difficult to work the multiple representations of numerical functions and to solve problems. Research, on the pedagogical integration of digital technologies in teaching – learning, has shown that the use of dynamic math software significantly improves student learning and success. The advantages of using this software are that the dynamic learning environment offers to students the opportunity to exploit the multiple representations of mathematical concept, to visualize and manipulate its mathematical properties. Other research has shown that the use of dynamic math software does not significantly improve student learning and achievement compared to students in traditional classes. The introduction of software makes the learning environment more complex. The research question is whether the use of Geogebra during the teaching process – learning significantly promotes the learning of the mathematical concepts of high school students. The aim is to examine the impact of the use of Geogebra's dynamic mathematics software on the learning of ordinary high school students in the Niger education system, particularly on the understanding of digital functions. This quasi-experimental research included a non-probability sample of 419 students in a public school for the two school years, 2017 – 2018 and 2018 – 2019. His students were randomly divided into two non-equivalent groups, experimental and control. The procedure for this research consisted of three (3) phases. The first phase is the pre-test, which was administered to the students of this experiment. The second phase is the pedagogical intervention where the students of the experimental group learned the concept of function using Geogebra and the students of the control group learned the same concept in an ordinary class. It is important to note that each teacher intervened in two classes, with students of the same level of education and series. The third phase is the posttest, which was administered to the students at the end of this experiment. With regard to the first part of our experiment, the results showed that the use of the mathematical software Geogebra did not contribute significantly to the students' learning or their performance at the scores. And these results can be explained by the fact that his students had not learned to use the Geogebra dynamic potential before the teacher's intervention. With regard to the second part of the results of our experiment, It was found that

the use of Geogebra in a structured digital environment contributed significantly to the students' learning and performance in scores and that these results can be explained by the fact that, students learned to use the dynamic potential of Geogebra appropriate to solving problems on the study of numerical functions before the teacher's pedagogical intervention. It is clear from the results obtained that, in order to have a positive impact on the learning process of numerical functions, in mathematics and in student scores, the digital environment must be well structured. Which means, the students have to master the functionalities of Geogebra in connection with the mathematical notion before the teacher's intervention. In addition, the teacher must adapt its teaching method and strategy to the digital environment.

Key words: Mathematics teaching / learning, concept of functions, dynamic software of mathematics Geogebra, professional development, Niger educational system

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'enseignement secondaire est une phase importante dans le développement de la vie des jeunes citoyens d'un pays. Il se situe entre l'enseignement primaire et l'enseignement supérieur, mais aussi avec le monde travail (CONFEMEN, 2008). L'enseignement secondaire joue un rôle important pour la transformation de la vie des jeunes, le développement de leurs habilités et de leurs attitudes pour les rendre aptes à apprendre tout au long de la vie (Ibid.). En effet, l'enseignement des mathématiques au secondaire a pour objectif la formation intellectuelle du jeune citoyen (MES, 2015). Cet ordre d'enseignement doit lui permettre à chaque élève de développer ses capacités d'expérimentation, de raisonnement, d'imagination et de communications. Les rapports d'évaluation des acquis dans les matières fondamentales, en mathématiques et en français, ont montré que les élèves nigériens du lycée, ont un niveau non de connaissances et de compétences mathématiques non satisfaisant dans les deux matières (DEFIC, 2017). La série C, des mathématiques et sciences physiques, accueille de moins en moins d'élèves, particulièrement dans les établissements. Ce qui témoigne le malaise de l'enseignement-apprentissage de mathématiques au lycée au Niger. L'étude des fonctions numériques est centrale dans le programme d'enseignement – apprentissage de mathématiques au lycée (Lagrange & Psycharis, 2013). La compréhension du concept de fonction par les élèves est fondamentale, surtout ceux qui inspirent de faire des études supérieures dans les domaines de mathématiques, des sciences et d'ingénieurs (MES, 2015). Oehrtman, Carlson et Thompson (2008) et Lagrange et Psycharis (2013) ont montré que, les élèves du lycée rencontrent des difficultés à travailler sur les multiples représentations des fonctions numériques dans les registres de représentations du concept de fonctions au lycée, mais aussi à comprendre et à résoudre des problèmes mathématiques sur les fonctions numériques. Mais en dépit de ces difficultés que rencontrent les élèves, l'enseignement – apprentissage de mathématiques reste fondamental pour le développement d'un pays comme le Niger. En effet, l'amélioration de la qualité de l'enseignement-apprentissage des mathématiques, peut favoriser formation des futures cadres responsables et capables de relever le défi du développement du Niger (MES, 2015), pays classé parmi les moins avancés au monde. Pour qu'un tel objectif soit atteint, il faut qu'un environnement d'enseignement – apprentissage de mathématiques favorables soit créé au niveau du lycée. Un environnement d'apprentissage qui peut permettre aux élèves de travailler les multiples représentations des concepts mathématiques. Un environnement d'apprentissage qui peut répondre au besoin de

chaque élève en matière d'apprentissage des concepts mathématiques et qui permet à chacun de pouvoir développer son potentiel en mathématiques.

C'est dans cette optique que ce projet de recherche de thèse tentera d'étudier le rôle possible que, les technologies numériques en particulier les logiciels dynamiques de mathématiques, peuvent jouer pour améliorer significativement l'apprentissage des élèves. Notre étude portera plus spécifiquement sur l'enseignement – apprentissage des mathématiques dans le système éducatif du secondaire du Niger. Cette étude sera à la croisée de deux champs de la recherche, les sciences de l'éducation et des technologies éducatives et la didactique des mathématiques.

Tous les résultats de recherche s'accordent sur le fait que les élèves réussissent moins en mathématiques et en français. Cela peut même s'étendre sur les pratiques des enseignants qui ont parfois du mal à faire comprendre aux élèves les plus timorés des notions mathématiques. C'est pourquoi, notre projet de recherche intervient dans un contexte éducatif nigérien, en particulier celui du sous – secteur secondaire, cherchent à trouver les moyens en vue de répondre aux exigences d'un enseignement de qualité au secondaire et aussi dans les autres secteurs de l'éducation. Une telle volonté politique de la part de ces décideurs, n'est pas due au hasard, mais il est fruit des réflexions sur le problème de qualité de l'éducation au Niger dont les conséquences sont senties dans tous les secteurs de développement comme le témoigne les différents rapports de PNUD, sur de l'indice de développement humain au Niger faible et qui varie lentement, 0,294 en 2007 à 0.351 en 2017.

Il est important de rappeler que, depuis les années de l'indépendance jusqu'à un passé récent, les responsables nigériens se sont préoccupés plus d'aspects quantitatifs, avec un recrutement massif d'enseignants non qualifiés et des créations de nombreux établissements d'enseignement secondaire au détriment de la qualité du système éducatif nigérien (Kadir et Coulibaly, 2017 ; PASEC, 2016). À titre illustratif, une enquête menée en 2006 par le projet SMASS, en collaboration avec le ministère en charge des enseignements secondaires, a révélé que plus de 80% des enseignants de mathématiques et sciences n'ont pas reçu de formation pédagogique initiale ou continue (ibid.). Les observations des pratiques des enseignants de mathématiques, pendant les premières années de formations menées dans le cadre de ce projet, ont révélé que beaucoup d'enseignants de mathématiques éprouvent des difficultés à formuler les objectifs pédagogiques pendant l'élaboration des fiches de leçons. Les objectifs d'apprentissage mal formulés engendrent des problèmes dans le processus d'apprentissage des élèves et de l'évaluation des connaissances des élèves (Kadir et Coulibaly, 2017).

Depuis 1999, des efforts ont été consentis pendant deux décennies par le ministère en charge de l'enseignement secondaire pour adapter les programmes et les méthodes d'enseignement des mathématiques au Niger (MES, 2019), voire même dans la sous-région afin de les harmoniser. Le ministère des enseignements secondaires a notifié dans la note introductive du nouveau programme d'enseignement secondaire que « l'évaluation *des programmes* a révélé de nombreuses insuffisances, parmi lesquelles, des coquilles, de mauvaises formulations, des répétitions, des contenus non adaptés au niveau des apprenants, des programmes irréalisables, des savoirs et certaines stratégies de mise en œuvre vétustes » (MES, 2019, p. 4). Fort malheureusement, on note aussi des insuffisances au niveau de certains enseignements qui engendrent des résultats peu efficaces (MES, 2019 ; Kadir et Coulibaly, 2017 ; Halaoui, 2005). Par conséquent, des échecs, des redoublements et des cas d'abandon voire même des exclusions au programme, sont enregistrés çà et là qui complétait les tas de problèmes du système éducatif. Les recherches de Halaoui (2005) et Kadir et Coulibaly (2017) illustrent bien cet état de fait. En 2006, les résultats d'enquête du projet «*amélioration de l'enseignement des mathématiques et sciences au Niger, au secondaire (SMASS)*», soulignaient aussi un enseignement des mathématiques centré sur l'enseignant et les contenus. Au jour d'aujourd'hui, la littérature a démontré que cette méthode pédagogique est jugée peu adaptée au contexte de construction des savoirs. À vrai dire, de nombreux programmes nigériens ont opéré des ruptures avec cette approche par les objectifs pour viser la construction et le développement des compétences (MES, 20015 ; MES, 2019).

En 2010, SMASSE – NIGER a conduit une évaluation de la première phase dans le cadre du projet «*amélioration de l'enseignement des mathématiques et sciences au Niger, au secondaire*». Les résultats ont révélé que 86% des élèves du secondaire n'obtiennent pas de moyennes au test de mathématiques (PASEC, 2016) même si des avancées ont été enregistrées en matière de maîtrise de plusieurs thèmes de la discipline, des méthodes d'enseignement par les enseignants de mathématiques et d'implication des élèves dans les activités d'enseignement – apprentissage (MESSRS, 2010).

L'étude menée en 2018 par le ministère en charge des enseignements secondaires sur les compétences des enseignants, a révélé que, le niveau des acquisitions des connaissances des élèves, n'est toujours pas satisfaisant, plus particulièrement en mathématiques (MES, 2018). À titre illustratif, la direction de la formation initiale et continue (DFIC) du ministère des enseignements secondaires a conduit également une évaluation du niveau des élèves du secondaire en mathématiques. Les résultats de cette évaluation ont révélé que, les élèves ont

atteint le seuil de réussite de 2,9% en 6^{ème}, 0,8% en 5^{ème}, 1,4% en 4^{ème} et 0,7% en 3^{ème}. Des résultats faibles ont également été constatés à l'examen de fin du premier cycle du secondaire (BEPC) et celui de la fin de second cycle du secondaire, au baccalauréat (BAC) (ibid.). Pour l'examen du BEPC, le taux de réussite est de 30,24% en 2016, 30% en 2017 et 39,61% en 2018 malgré la légère hausse constatée, ces résultats des élèves du premier cycle du secondaire restent faibles. Pour ce qui est de l'examen du BAC, le taux de réussite est de 27,82% en 2016, 26,73% en 2017 et 18,73% en 2018, ces résultats pour les élèves du second cycle du secondaire sont également restés faibles (ibid.).

L'espoir est permis puisque depuis les réformes de 2009 qui ont abouti par l'élaboration du programme qui a été mis en vigueur en 2015, suivis d'une période expérimentale d'un an, 20015 – 2016 (MES, 2019), des avancées ont été constatées sur le contenu du programme d'enseignement – apprentissage, ainsi que sur le contenu de la formation des enseignants de mathématiques. Sur le programme d'enseignement – apprentissage de mathématiques, plusieurs réformes ont été réalisées dans le but d'adapter le contenu l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques aux réalités sociales et économiques et culturelles des élèves du secondaire, pour donner plus de sens aux concepts mathématiques et les motiver dans leur processus d'apprentissage (MES, 2018). Plusieurs réformes du curriculum ont été adaptées dont la dernière a été faite en 2015 (MES, 2015). Les méthodes d'enseignement ont été revues en privilégiant la méthode participative. Les professeurs de mathématiques ont été formés à cette nouvelle approche pédagogique et ils ont été invités tout naturellement à passer d'une didactique des mathématiques, traditionnelle à une autre qui convoque plus les technologies numériques (Kouawo, 2011, Nouhou, 2017 et 2018 ; Agaïssa (2018).

Les technologies numériques à l'école constituent l'un des facteurs les plus marquants du vingt – et – unième siècle. À cet effet, la nécessité d'intégrer les TIC en éducation ne semble plus un objet de débats en soi et cela est valable partout à travers le monde. L'intégration des TIC en éducation a fondé l'espoir pour qu'il puisse contribuer significativement à l'amélioration de l'éducation où la plupart des pays se sont dotés de programmes à la matière. Des investissements importants sont en train d'être consentis aujourd'hui pour une intégration réussie des TIC dans le système éducatif, que ce soit dans les pays développés ou dans les pays en voie de développement comme le Niger.

La littérature scientifique a montré que, les technologies numériques se développent de plus en plus au profit de l'enseignement – apprentissage des mathématiques. Des chercheurs

se sont intéressés aux évolutions des technologiques numériques favorables à l'enseignement-apprentissage des mathématiques. C'est le cas avec par exemple de (Guin et Trouche 2002) sur les calculatrices graphiques ou formelles, de (Laborde 1999, Vanderbrouk et Robert 2017) sur les logiciels de géométrie dynamique. On trouve également d'autres outils numériques qui ne sont pas a priori développés dans un but d'enseignement, comme le tableur, le tableau interactif (Haspekian 2005, Lagrange et Erdogan 2009) ou même les téléphones intelligents.

Cette recherche, s'intéresse plutôt au potentiel des logiciels dynamiques de mathématiques tels que, Geogebra et leur effet sur l'enseignement et l'apprentissage des concepts mathématiques. Selon Depover et al. (2007), les logiciels dynamiques de mathématiques sont des environnements d'apprentissage à fort potentiel cognitif offrant aux élèves la possibilité de s'engager significativement dans le processus de découverte et de résolution des problèmes mathématiques. Du point de vue de Betancourt (2007), les logiciels dynamiques mathématiques auraient facilité les représentations sémiotiques. Il sera vérifié au cours de cette recherche, l'assertion de cet auteur qui affirme que ces outils didactiques offrent la possibilité de construire la représentation graphique de la fonction numérique plus facilement, avec plus de précision comparativement à un travail papier – crayon et rendre ces visualisations graphiques interactives (Ibid.). Ils permettraient également aux élèves de manipuler et de réutiliser des représentations et d'interagir avec les multiples représentations au cours du processus d'apprentissage. Ils rendraient également possible la visualisation graphique interactive mais aussi de visualiser les propriétés de la fonction et de faire la conjecture.

Des travaux de recherche en enseignement – apprentissage en situation de classe de mathématiques avec le logiciel dynamique de mathématiques Geogebra par les élèves ont montré que ces derniers peuvent utiliser les multiples représentations d'un même objet mathématique au cours du processus d'apprentissage à savoir les représentations : algébrique, symbolique, numérique et graphique (Ozgun-Koca, 2000). L'ensemble de ces représentations est dynamiquement connecté. Ce qui permet aux élèves d'aller et venir rendant ainsi ces représentations facilement plus compréhensibles pour ces derniers (Ibid.).

Des travaux de recherche, au plan international, en enseignement – apprentissage avec Geogebra, en nombre suffisamment important, ont montré que ce logiciel dynamique pouvait avoir un effet statistiquement significatif sur l'apprentissage et les performances aux scores des élèves (Dogan, 2010; Arbain et Shukor, 2015 ; Saha, Ayub et Tarmizi, 2010). Ainsi, Dogan (2010) a montré, à propos du rôle de Geogebra dans le processus de l'apprentissage

des mathématiques, en situation de classe, que ce logiciel peut contribuer à l'apprentissage et aux performances aux scores des élèves. Selon l'auteur, les principales raisons de l'effet significatif sur les performances aux scores des élèves sont liées au fait que le logiciel Geogebra a permis aux élèves de construire, d'explorer et d'observer les propriétés géométriques dans des conditions suffisantes d'utilisation du logiciel qui ont été préalablement préparées et testées.

Des travaux de recherche sur le plan africain, en enseignement – apprentissage avec Geogebra, en nombre relativement faible, sont parvenus également aux conclusions que l'utilisation de Geogebra, en situation de classe, peut avoir un effet statistiquement positif et significatif sur le processus d'apprentissage et la réussite des élèves (Mwingirwa et Miheso – O'Connor's, 2016; Tay et Mensah –Wonkyi, 2018 ; Williams, Charles-Ogan et Adesope 2017). Williams, Charles-Ogan et Adesope (2017) ont mené une recherche dans un lycée de l'État Rivers (Nigeria). Les résultats de cette étude ont révélé que l'utilisation de Geogebra peut toutefois aux élèves de progresser au cours de l'apprentissage des mathématiques en situation de classe et d'obtenir des meilleurs scores aux tests comparativement au groupe témoin. Deux chercheurs Tay et Mensah –Wonkyi (2018) du Ghana ont mené une étude pour examiner l'effet de l'utilisation de Geogebra sur les performances des élèves du lycée. Les résultats de cette recherche ont montré que l'utilisation de ce logiciel, en situation de classe, a pu permettre aux élèves de progresser au cours de l'apprentissage et de réussir aux tests. Ces auteurs ont alors conclu que l'utilisation de Geogebra peut toutefois rendre les leçons de mathématiques plus intéressantes, pratiques et faciles à comprendre pour les élèves. La recherche, qui a été menée en 2016 par Mwingirwa et Miheso –O'Connor's (2016) sur l'utilisation de Geogebra en enseignement apprentissage de mathématiques au secondaire, a montré que ce logiciel pouvait permettre aux élèves de comprendre des concepts plus difficiles en mathématiques. Les auteurs ont observé que malgré la progression significative des élèves en apprentissage, l'utilisation de Geogebra n'a pas empêché les enseignants qui ont dispensé les cours d'avoir des difficultés pour démontrer des concepts mathématiques difficiles à enseigner.

Des travaux de recherche en enseignement – apprentissage avec Geogebra en classe de mathématiques, en nombre suffisamment réduit, ont montré que ce logiciel dynamique n'avait pas eu un effet statistiquement significatif sur le processus d'apprentissage et la réussite des élèves comparativement à la classe traditionnelle (Vasquez, 2015 ; Mehanovic, 2011). Vasquez (2015) a mené une recherche sur l'intégration pédagogique de Geogebra dans les

classes de mathématiques au lycée, et les résultats ont montré que la performance aux scores n'est pas significative dans les classes où Geogebra a été introduit. Selon l'auteur, ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les élèves qui ont travaillé avec Geogebra, ne l'ont jamais utilisé auparavant. Et en plus, ils n'avaient pas été préparés pour son utilisation avant les séances de cours instrumentés. Selon Mehanovic (2011), l'introduction de Geogebra rend la situation didactique plus complexe dans les classes mathématiques par rapport aux classes traditionnelles. Les difficultés de l'enseignant à utiliser efficacement le potentiel didactique du logiciel de mathématiques, ont eu pour conséquence d'augmenter les difficultés de réalisation des tâches par les élèves au cours de l'apprentissage (Mehanovic, 2011). En effet, dans ce contexte, les élèves ne seront pas en mesure de réaliser les tâches mathématiques instrumentées (Vanderbrouck et Robert, 2017) proposées par l'enseignant et ce dernier ne sera pas en mesure de leur apporter l'aide guidée attendu pour qu'ils puissent comprendre et maîtriser la résolution du problème (Olsson, 2017). Selon toujours Mehanovic (2011), pour que l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques contribue significativement à l'apprentissage des élèves, l'enseignant doit être capable de surmonter les obstacles techniques, épistémologiques et didactiques.

Mais les recherches qui ont été menées par Saha, Ayub et Tarmizi, (2010), Poh et Leong, (2014), Ogonnaya et Alfred (2017) et Ngunu (2013), ont montré que la maîtrise des fonctionnalités de Geogebra, certes, peut toutefois faciliter la résolution du problème mathématique et la visualisation des résultats (Saha, Ayub et Tarmizi, 2010), mais cela ne peut pas forcément être le seul facteur de réussite des élèves au cours de leur apprentissage. Dans une étude d'intégration pédagogique de Geogebra en apprentissage de mathématiques, Poh et Leong (2014) ont révélé, malgré le fait que les élèves savent manipuler le logiciel de mathématiques, que leur apprentissage n'a pas été significatif. Ogonnaya et Alfred (2017) et Ngunu (2013) ont également révélé que, utilisation du logiciel de mathématiques par les élèves ne suffit pas à faire progresser au cours de l'apprentissage des notions mathématiques et non plus de leur permettre d'obtenir des résultats statistiquement significatifs. Cependant, rares sont des rapports de recherches qui évaluent les preuves de l'efficacité des activités mathématiques des élèves avec Geogebra et leur effet sur l'apprentissage des élèves (Arbain et Shukor, 2015) et plus particulièrement en Afrique francophone.

C'est au regard de toutes ses recherches sur l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques en particulier Geogebra, que notre projet de recherche a tenté d'analyser

l'impact de l'utilisation de Geogebra sur l'apprentissage des élèves du concept de fonctions numériques à variables réelles dans les classes du lycée public au Niger.

Le présent document de thèse de recherche doctorale est structuré en six (6) chapitres :

Le chapitre I, présente le contexte nigérien dans lequel cette recherche a été réalisée. Il s'agit premièrement de la situation géographique et démographique du Niger ; deuxièmement d'un bref aperçu du sous-secteur de l'enseignement secondaire concerné dans notre étude ; enfin, du contexte de l'intégration du numérique dans le système éducatif nigérien.

Le chapitre II, présente l'état de la question de l'enseignement – apprentissage des mathématiques avec le numérique. Il s'agit dans une première partie d'une revue de littérature sur l'évolution historique de l'intégration des outils numériques dans l'enseignement-apprentissage des mathématiques ; des avantages de l'utilisation des outils numériques en enseignement pour améliorer l'apprentissage des élèves et des difficultés de l'intégration pédagogique des outils numériques en apprentissage des concepts mathématiques. La deuxième partie, présente les concepts clés de cette recherche à travers un inventaire d'écrits sur le développement professionnel comme une perspective professionnalisante, l'intégration du numérique dans le système éducatif, l'usage pédagogique du numérique pour soutenir l'apprentissage des concepts mathématiques des élèves. Enfin, la troisième partie présente le cadre théorique de cette recherche. Elle est à la croisée de deux champs de recherches à savoir celui des technologies numériques pour l'éducation et la didactique de mathématiques.

Le chapitre III, présente la problématique de cette recherche. Il s'agit premièrement des constats tirés des recherches sur l'étude de fonctions numériques, sa place dans le programme mathématique du lycée et les difficultés des élèves pour l'apprentissage de ce concept et l'intérêt de l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques pour l'apprentissage des élèves ; deuxièmement de la précision du domaine de l'enseignement et de l'apprentissage du secondaire moyen concerné par cette recherche ; troisièmement du logiciel dynamique de mathématiques Geogebra plus précisément de l'intérêt de son utilisation dans le cadre de cette recherche; enfin de la formulation du problème de recherche sous forme des questions, des hypothèses, des objectifs et des axes de recherche.

Le chapitre IV, présente le schéma méthodologique de notre recherche. Il s'agit dans la première partie du choix méthodologique des méthodes d'échantillonnage, d'élaboration et de validation des outils et de traitements statistiques adaptés dans le cadre de cette recherche

quasi expérimentale. La deuxième partie décrit le dispositif expérimental mis en place pour l'apprentissage du concept mathématique de fonction au lycée d'enseignement général. Enfin, la troisième partie présente les forces et les faiblesses du cadre méthodologique de cette recherche.

Le chapitre V présente les résultats de cette recherche. Premièrement, il s'agit des caractéristiques de l'échantillon de cette recherche. Deuxièmement, Il s'agit d'une analyse descriptive des deux groupes sélectionnés de manière non probabiliste et qui a nécessité leur comparaison avant l'intervention pédagogique, afin de contrôler les effets des variables latentes et une synthèse des résultats de cette recherche en fonction des questions de recherches et des questions statistiques suivit d'une interprétation des résultats principaux obtenus.

Le chapitre VI présente les discussions des résultats de cette recherche et les perspectives. Il s'agit dans une première partie d'un bref rappel des questions et des hypothèses de notre recherche, et dans une deuxième partie, du rappel des principaux résultats. Dans une troisième partie, des résultats obtenus, en comparant ces résultats avec ceux des recherches antérieures. Dans une quatrième partie, il est présenté des perspectives de recherche, des implications pour la pratique et des implications pour des recherches ultérieures.

CHAPITRE I : CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Dans ce chapitre, présente le contexte dans lequel notre recherche a été menée. Primo, il présente la situation géographique et démographique du Niger ; secundo, il donne un bref aperçu du sous-secteur de l'enseignement secondaire concerné dans notre étude ; enfin, il précise le contexte de l'intégration du numérique dans le système éducatif nigérien, des initiatives au niveau du sommet en particulier par les institutions en charge de l'amélioration de la qualité de l'enseignement – apprentissage des mathématiques au secondaire; puis au niveau local à partir des résultats d'une étude préliminaire menée au cours de la première année pour comprendre le degré d'intégration physique des technologies numériques chez les enseignants de mathématiques et leurs élèves dans les zones urbaine et rurale (nomade) qui sont loin de la capitale.

1 Présentation du Niger

Le Niger est un pays de l'Afrique de l'Ouest, ayant une superficie de 1 267 000 Km² et une population estimée à 17. 129. 076 d'habitants (INS, -RGPH 2012). La densité moyenne de la population est de 12,4 habitants au kilomètre carré. Le Niger, terre de contact entre l'Afrique subsaharienne et l'Afrique du Nord, se situe à l'Est du Tchad et du Nigeria, au Sud du Bénin, au Sud – Ouest du Burkina Faso, à l'Ouest du Mali et au Nord de la Libye et de l'Algérie. C'est un pays enclavé, la mer la plus proche est à 700km dans le golfe de Guinée (voire la *figure 1*).

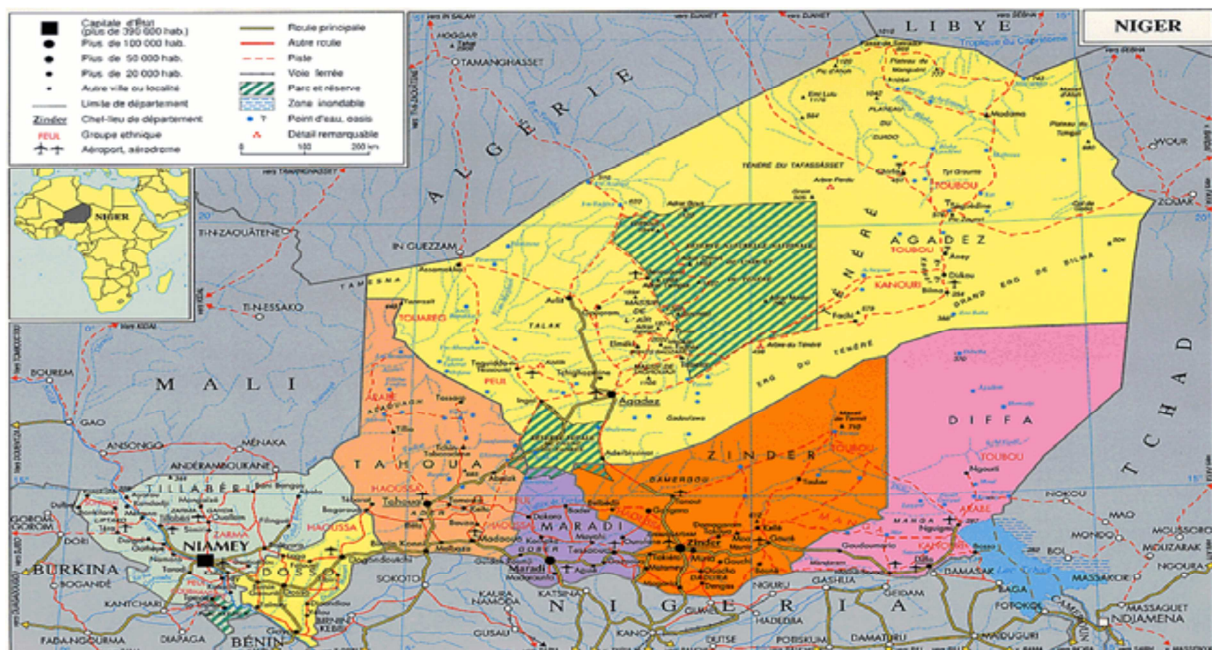


Figure 1 : Carte administrative du Niger

Comme la carte administrative l'indique (voire la **figure 1**), le Niger est subdivisé en huit (8) régions qui sont Agadez, Diffa, Dosso, Maradi, Tahoua, Tillabérie, Zinder et la capitale Niamey.

Le Niger est devenu une république le 18 décembre 1958 et a acquis son indépendance de la France le 3 août 1960. C'est un pays multiethnique, à forte diversité culturelle, composé des populations noires et blanches, des sédentaires et des nomades réparties dans huit (8) groupes ethniques. Sa population vit en toute harmonie malgré la distinction de l'identité culturelle de chaque groupe. La langue officielle du pays est le français. Le Niger est membre de l'assemblée parlementaire de la francophonie et de l'Organisation internationale de la francophonie, ce qui fait de lui un pays francophone. Mais à cela il s'ajoute les langues nationales reconnues par l'État, qui sont au nombre d'une dizaine dont les plus majoritaires sont: Haoussa (55,6%), Djarma et songhai (19,5%), Tamajeq ou Touareg (8,4%), Peul ou Fulfuldé (8,3%), Kanouri (4,8%) et Arabe dialectal (1,2%). En plus de ces langues nationales officiellement reconnues, il convient d'ajouter d'autres langues parlées par une faible partie de la population telles que le Gourmanché, le Toubou et le Goudouma. Il convient également de préciser la présence de l'Anglais qui s'est fortement développé grâce est aux liens d'échanges entre le Niger et le Nigeria.

Le Niger est subdivisé en deux zones climatiques. Au Nord, on a la partie saharienne qui couvre les deux tiers (2/3) du pays et composé essentiellement du désert (Ténéré, Aïr), où la pluie est très rare, voire inexistante dans certains endroits. Au Sud, on a la partie sahélienne qui couvre le reste d'un tiers (1/3) et composé essentiellement de la savane qui comprend deux saisons. Une saison sèche qui dure huit (8) mois soit d'octobre à Mai et une saison pluvieuse ou hivernage de 4 mois soit de juin à septembre. Il est l'un des pays les plus chauds au monde avec une température annuelle moyenne de 30°.

Le Niger est l'un des pays les plus pauvres du monde ou plus de 60% de sa population vit sous le seuil de la pauvreté. La consommation énergétique par habitant est la plus faible de la planète et la moitié de sa population n'a pas accès à l'eau potable.

Le Niger possède le taux de fécondité le plus élevé au monde avec 7,6 enfants par femme en moyenne. Le pays enregistre un taux annuel de croissance démographique de 3,9% (INS, RGPH 2012) et le nombre des jeunes de la classe d'âge comprise entre 7 et 12 ans serait passé de 1,84 million en 2001 à 2,35 millions en 2008 et passerait à 3,37 millions en 2020. Il convient de notifier que les effectifs du cycle de l'enseignement primaire sont passés de 464 267 en 1996 – 97, soit un taux Brut de scolarisation (TBS) de 30,1% à 980 033 en 2003 – 2004, soit un TBS de 50%. En huit (8) ans, l'effectif des élèves à l'école primaire est passé du simple au double ce qui a pour conséquence directe le doublement du nombre d'enseignants du primaire. Des constats similaires peuvent être faits au niveau du secondaire et particulièrement au niveau du cycle moyen. Le premier cycle du secondaire (collège) compte 571 117 en 2015- 2016 contre 253 643 élèves en 2009 – 2010 donc en sept (7) ans, l'effectif des élèves est passé du simple au double. Le second cycle secondaire (lycée) compte 91 532 en 2015- 2016 contre 33 134 élèves en 2009 – 2010 donc en sept (7) ans, l'effectif des élèves au secondaire moyen est passé du simple au triple. La conséquence directe de cet accroissement des effectifs au secondaire est le doublement voire le triplement du nombre d'enseignants, des matériels et de l'espace d'enseignement avec la création des nouveaux établissements secondaires. Un tel défi a relevé ne fera que réduire les efforts que l'État consenti pour l'attente des objectifs de qualité pour tous surtout dans les zones rurales et nomades.

2 Présentation sommaire du système éducatif du secondaire nigérien

Le système éducatif de l'enseignement secondaire composé de deux cycles : le premier cycle de la sixième à la troisième (cycle de base II) et le second cycle de la seconde à

la terminale (cycle moyen) (MEN, LOSEN 1998). La fin du second cycle est couronnée par l'obtention d'un baccalauréat.

2.1 Le premier cycle de l'enseignement secondaire

Le premier cycle de l'enseignement secondaire comprend trois filières : l'enseignement général, l'enseignement technique et professionnel et la formation aux métiers. Les élèves sont admis au premier cycle du secondaire (le collège) par un passage automatique après obtention d'une moyenne sur 10 après les évaluations en classe de CM2. Les élèves du collège ont un âge compris entre 13 et 16 (Modibo, 2009). La fin du premier cycle est sanctionnée par un diplôme, le brevet d'études du premier cycle (BEPC).

Les élèves ayant obtenu ce diplôme peuvent continuer leurs études au second cycle ou faire une formation professionnelle.

2.2 Le second cycle de l'enseignement secondaire

Le second cycle de l'enseignement secondaire comprend deux filières : l'enseignement général, l'enseignement technique et professionnel. Les élèves sont admis au second cycle du secondaire (le lycée) après l'obtention du BEPC. Ils ont un âge compris entre 17 et 19 ans.

Les élèves ayant obtenu ce diplôme peuvent continuer les études supérieures à l'université ou dans les instituts d'enseignements supérieurs.

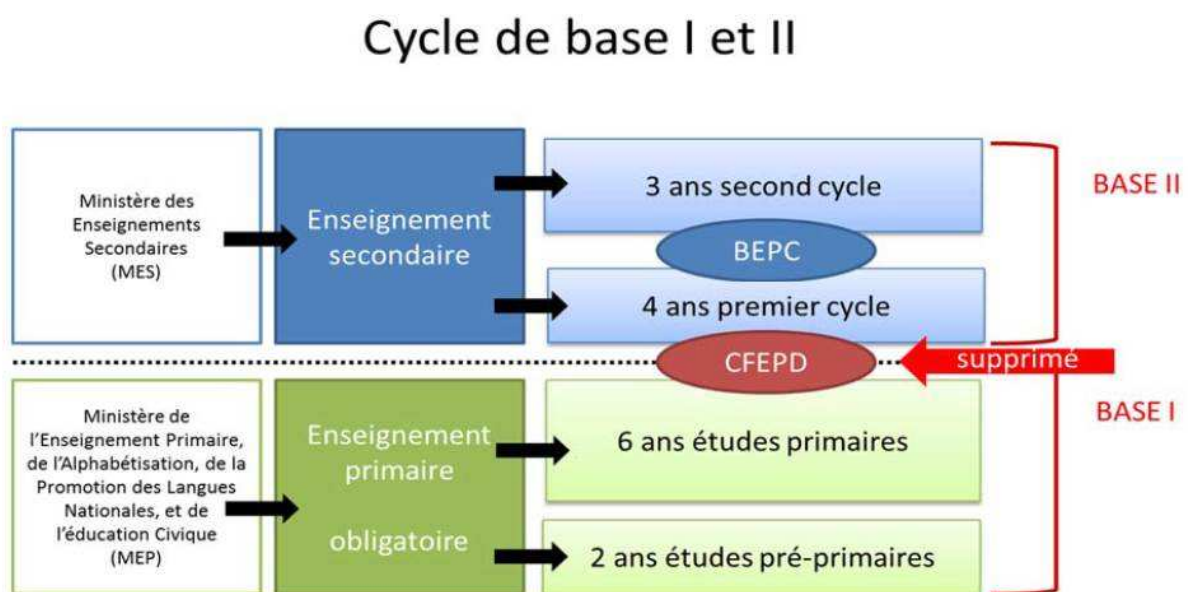


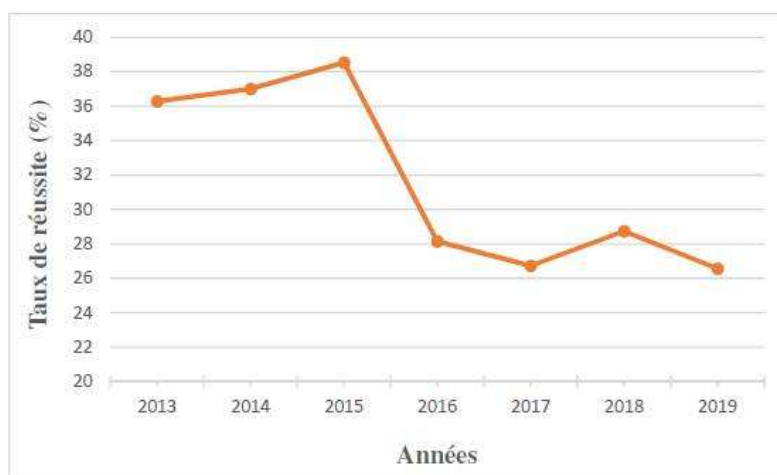
Figure 2 : Structure de l'enseignement au Niger (PASEC, 2014)

La *figure 2* renseigne sur la structuration du système éducatif nigérien du primaire et du secondaire. Le ministère de l'enseignement primaire (MEP) est composé de 2 secteurs, l'enseignement obligatoire du pré – scolaire et le primaire. Les enfants nigériens font 2 ans d'études obligatoires au pré - scolaire avant d'être inscrit au niveau primaire. Après 6 ans d'études primaires, les élèves ayant obtenu la moyenne générale de 5 sur 10 sont directement orientés au premier cycle du secondaire. Il faut noter que l'État a supprimé l'examen du CFEPD. Le ministère des enseignements secondaire (MES) est composé de deux sous-secteurs, le premier cycle et le second cycle du secondaire. Les études du premier cycle durent 4 ans et sont sanctionnées par un diplôme de BEPC. C'est ce diplôme qui ouvre la possibilité à un élève de rentrer au second cycle. Les études du second cycle durent 3 ans.

2.3 La situation de l'enseignement secondaire au Niger

La direction de la formation initiale et continue (DFIC) du ministère des enseignements secondaires du Niger a conduit une évaluation des acquis scolaires dans les deux disciplines fondamentales : les mathématiques et le français (DFIC, 2017). Les résultats de cette étude ont montré que, le niveau d'acquisition des élèves du secondaire n'est pas satisfaisant à tous les niveaux. D'autres rapports d'études extérieures au ministère des enseignements secondaires confirment que la qualité de l'enseignement de mathématiques au niveau du secondaire n'est pas satisfaisante (PSEF, 2013). Même si à l'état actuel la politique éducative mise en œuvre a permis de réaliser des progrès significatifs en matière d'accès à l'éducation, elle tarde toujours à permettre au système éducatif nigérien d'accéder à la qualité de l'enseignement – apprentissage plus particulièrement au secondaire. La présentation par le ministère des enseignements secondaires du Niger (MES, 2016), apporte plus d'éclaircissement sur l'évolution des effectifs des élèves du secondaire et des indicateurs de qualité de ce système éducatif. Le taux de redoublement très important témoigne de ces difficultés. Au premier cycle du secondaire, il passe de 19% en 2009 – 2010 à 18,6% en 2015 – 2016, un taux qui est relativement import puisque 1 sur 5 élèves redouble au niveau premier cycle et dont la diminution en 7 est de l'ordre de 0.4%. Au second cycle du secondaire, il passe de 15% en 2009 – 2010 à 15,8% en 2015 – 2016, un taux qui est relativement import puisque plus de 1 élève sur 10 redouble le second cycle au cours de sa scolarité et que le taux de redoublement à augmenter de 0.8%. Ces taux de redoublement révèlent les malaises du système éducatif nigérien au niveau secondaire en général.

À titre illustratif, l'observation la courbe de l'évolution (voire *la figure 3*), montre une courbe ascendante caractérisant ainsi une baisse croissante du taux de réussite. Ce qui illustre un faible niveau des élèves du lycée plus particulièrement au niveau des classes de la terminale. Ce résultat est particulièrement faible au niveau des quatre dernières années comme l'illustre la figure 2. Un tel résultat montre une fois de plus le malaise que vit le système éducatif du Niger particulièrement au niveau du sous-secteur secondaire moyen.



COURBE D'ÉVOLUTION DU TAUX DE REUSSITE AUX EXAMENS DU BACCALAUREAT DE 2013 A 2019.

Figure 3 : Courbes de l'évolution du taux de réussites au BAC au Niger

Au nombre des difficultés du système éducatif du secondaire présentées par direction de la formation initiale et continue du ministère des enseignements secondaires nigériens dans son rapport (DFIC, 2017), on peut citer :

- L'absence de formation initiale pour plusieurs enseignants recrutés dans l'enseignement secondaire ;
- la contractualisation au sein des enseignements secondaires au Niger des diplômés formés en d'autres disciplines (sciences, physiques, chimies etc.) pour enseigner les mathématiques ;
- l'insuffisance d'inspecteurs et des conseillers pédagogiques pour l'encadrement pédagogique des enseignants de mathématiques qui sont sur le terrain ;
- la rareté des formations continues pour le renforcement des capacités des enseignants de mathématiques ;

- le dysfonctionnement des unités pédagogiques au sein des établissements secondaires pour l'autoformation des enseignants de mathématiques ce qui favorise l'abandon des enseignants nouvellement engagés tant dans l'élaboration des fiches pédagogiques et dans la pratique de classe ;
- l'insuffisance des matériels didactiques en mathématiques. Ainsi, le même trousseau des outils géométriques fait le tour des classes et est partagé entre les enseignants faisant le cours de mathématiques aux heures identiques ;
- le manque des compétences en mathématiques chez les élèves.

3 Intégration pédagogique du numérique dans le système éducatif nigérien

3.1 Projets d'intégration du numérique en éducation

Au regard de cette évolution quant à l'apport des technologies numériques sur l'enseignement et l'apprentissage, il est indispensable de mieux comprendre les expérimentations menées sur le numérique éducatif afin de se préparer à une conceptualisation des retombées positives (Barrette, 2005; Forget, 2005; Karsenti, 2003a, 2003b; Macedo-Rouet et al. , 2006, Moussa, 2011) au profit du système éducatif.

Au niveau du système éducatif du Niger, plusieurs projets d'intégration des technologies numériques de l'éducation et de la formation ont été réalisés ces dernières années par les ministères en charge de l'éducation en partenariat avec d'autres institutions publiques ou privées. C'est le cas en 2014 du «projet éducation numérique au Niger » dont l'objectif est de familiariser les élèves à l'utilisation des technologies éducatives et leur permettre d'améliorer leurs résultats scolaires avec une méthode d'enseignement – apprentissage ludique par l'usage de TIC. Il concerne trente (30) écoles primaires du Niger et particulièrement les élèves des classes du cours élémentaire première année (CE1) et deuxième année (CE2). Les établissements pilotes ont été dotés en tablettes numériques (1500), soixante serveurs (60) et trente vidéos projecteurs (30). Le projet « tablettes numériques au Niger » est une expérimentation de l'usage de cet outil mobile mené en 2013 – 2014. Vingt (20) enseignants du secondaire ont été formés à l'utilisation des tablettes numériques dans deux (2) établissements pilotes et plus de cent cinquante (150) élèves du niveau 4^{ème} ont reçu des tablettes numériques équipées de logiciels plus précisément des dictionnaires anglais – français, des cahiers d'exercices en mathématiques, et des livres numériques d'auteurs classiques français. L'objectif de ce projet d'expérimentation de

tablettes numériques au collège est de répondre à la faiblesse des ressources pédagogiques dont souffre le système éducatif du secondaire nigérien (Le Quantrec et al.; 2015). Le projet « initiative francophone pour la formation à distance des Maitres » (IFADEM) a permis au cours de sa phase pilote en 2014 – 2015 de former en tutorat vingt (20) tuteurs préalablement sélectionnés parmi les conseillers pédagogiques du primaire et six cents (600) enseignants contractuels exerçant sur le terrain sans formation initiale ont été formés en informatique de base, en pédagogie et en enseignement du français et en français (Nouhou, 2017).

Un autre projet fort intéressant, est fruit de la coopération entre l'université de Niamey au Niger et de l'université de Cantabrie en Espagne intitulé « utilisation des nouvelles technologies dans l'enseignement des mathématiques ». Ce projet est piloté par l'Institut Geogebra du Niger (IGN) et consiste à former les enseignants de mathématiques du lycée, les superviseurs pédagogiques et les étudiants en mathématiques à utiliser le logiciel de géométrie dynamique Geogebra. Les séries de formations sont axées sur le contenu des matières enseignées dans les écoles secondaires, à savoir les statistiques, la trigonométrie, les transformations et les équations. En 2013, l'IGN totalise cent (100) enseignants et inspecteurs de l'enseignement secondaire et plus de 8000 étudiants formés. De telles initiatives montrent la volonté institutionnelle en faveur de l'intégration des TIC dans l'enseignement (HC/NTIC, 2005). Ce qui montre une volonté des décideurs de la politique éducative dans le processus d'intégration des technologies numériques pour améliorer la qualité du système éducatif nigérien plus particulièrement l'enseignement – apprentissage des mathématiques au secondaire.

Une étude menée par selon Kouawo (2011) sur les représentations sociales du numérique par les enseignants et les élèves des établissements secondaires du Niger. Les résultats de cette recherche ont révélé que les enseignants nigériens du secondaire ont une attitude positive envers l'utilisation du numérique pour l'éducation. Même si un certain nombre d'enseignants ont affirmé avoir une attitude négative envers les outils numériques éducatifs. Les résultats ont également révélé que d'une part les élèves du secondaire développent des représentations sociales des technologies numériques indépendamment du fait de recevoir ou non des formations aux outils numériques et d'autre part ses élèves ont une attitude positive à l'égard des TIC. Au regard des conclusions de cette étude, il ressort que les élèves du secondaire au Niger ont une attitude positive pour l'utilisation des outils numériques ce qui peut favoriser l'intégration pédagogique des technologies numériques en éducation

(Kouawo, 2011). Néanmoins, l'étude menée par Agaissa (2018) a montré que les élèves des établissements nigériens font plus des usages non pédagogiques des TIC comparativement aux usages pédagogiques.

3.2 Prénquête sur l'utilisation du numérique par les acteurs de l'éducation au Niger

Une prénquête a été réalisée au début de ce travail de thèse, elle a fait l'objet d'une communication lors du colloque international RIFEFF 2018 (Nouhou, 2018). Cette étude préliminaire réalisée par questionnaire sur 5 établissements d'enseignements secondaires de la région d'Agadez pour a permis de dresser une typologie d'usage du numérique par les enseignants de mathématiques du secondaire moyen (lycée) et leurs élèves.

3.2.1 Accès aux technologies numériques

Pour connaître l'accès au numérique des enseignants de mathématiques et leurs élèves du lycée, des questions ont été posées à ces acteurs pour connaître les types des outils numériques dont ils ont accès.

Tableau 1 : Accès au numérique

Acteurs	Pourcentage d'accès aux outils numériques			
	Ordinateur de bureau	Ordinateur portable	Tablette	Smartphone
Enseignants	55%	60 %	25%	90%
Elèves	26%	42 %	12%	79%

Le **tableau 1**, il présente le pourcentage d'enseignants et d'élèves ayant accès aux outils numériques mobiles dans les établissements du secondaire. Il ressort de ce tableau que les enseignants et les élèves du lycée ont dans une forte majorité accès à des technologies mobiles. En ce qui concerne l'accès à un ordinateur de bureau 55 % d'enseignants et 26% d'élèves du lycée ont accès à un ordinateur portable. Pour l'accès à un ordinateur portable, 60 % d'enseignants et 42% d'élèves du lycée ont accès à un ordinateur portable. Pour ce qui est

de la tablette numérique 25% des enseignants et 12% des élèves possèdent une tablette numérique. Enfin, 90% des enseignants et 79% des élèves du lycée possèdent un smartphone.

3.2.2 Utilisation des logiciels de mathématiques

Pour connaître le type d'usage pédagogique du numérique que les enseignants de mathématiques et leurs élèves du lycée ont développé, il a été demandé à ces acteurs s'ils utilisent ces technologies numériques à des fins pédagogiques.

Tableau 2 : utilisation des logiciels de mathématiques

Pourcentage d'utilisateurs	Acteurs	
	Enseignants	Elèves
utilisant des logiciels de mathématiques sur ordinateur	50%	13%
utilisant des applications de mathématiques sur tablette ou smartphone	60%	51%

Le **tableau 2**, il présente le pourcentage d'enseignants et d'élèves ayant accès aux outils numériques mobiles dans les établissements du secondaire. Il ressort de ce tableau que les enseignants et les élèves du lycée utilisent plus des logiciels de mathématiques sur des supports mobiles. Cela peut leur permettre de maîtriser certaines fonctionnalités utiles pour le développement d'un certain nombre de compétences pédagogiques telles que résoudre des équations ou des fonctions numériques à l'aide des applications. En ce sens, 50 % d'enseignants et 13% d'élèves du lycée utilisation des logiciels de mathématiques sur l'ordinateur. Par contre 60 % d'enseignants et 51% d'élèves du lycée utilisation des applications de mathématiques sur tablette ou smartphone.

En résumé, les résultats de cette étude préliminaire sur l'utilisation du numérique développé par les enseignants de mathématiques et les élèves du secondaire ont montré que plus de la moitié des enseignants de mathématiques interrogés ont affirmé avoir accès à un ordinateur de bureau ou un ordinateur portable et neuf enseignants sur dix possèdent un téléphone intelligent, ce qui montre un taux important d'accès aux outils numériques chez les enseignants et qui signifie que la possession des outils numériques est une réalité chez les enseignants (Jaillet, 2004a), même dans les pays en voie de développement comme le Niger. Les résultats ont révélé qu'un tiers des élèves ont seulement accès à un ordinateur du bureau

et deux cinquièmes ont affirmé avoir accès à un ordinateur portable par contre huit élèves sur dix ont affirmé posséder un téléphone intelligent. Ces résultats ont montré d'une part que l'accès aux ordinateurs par les élèves du secondaire reste faible alors qu'il est de plus en plus facile à un élève de posséder un téléphone portable. C'est une réalité qui ne peut pas être négligée pour une intégration pédagogique efficace et efficiente des outils technologiques dans l'enseignement – apprentissage de mathématiques au secondaire au Niger.

Les résultats ont également montré que plus de la moitié des enseignants de mathématiques interrogés ont affirmé utiliser les logiciels mathématiques sur l'ordinateur alors que soixante pour cent utilisent les applications mathématiques sur tablette ou téléphone intelligent. Ce qui signifie que, seule une partie des enseignants utilise des technologies numériques pour l'enseignement – apprentissage de mathématiques, il semble qu'une majorité de ces enseignants ont attitudes positives à l'égard des logiciels de mathématiques même si d'autres résistent à cette utilisation quoiqu'ils possèdent des supports appropriés. Ce qui va dans le même sens que la recherche menée par Kouawo (2011), qui a révélé chez les enseignants une attitude positive vis-à-vis des technologies numériques pour l'éducation. Les résultats ont également montré également que seul un élève sur dix utilise les logiciels de mathématiques sur un ordinateur alors que la moitié de ses élèves utilisent les applications mathématiques sur le support mobile (tablette ou téléphone). Ce résultat montre que les élèves du secondaire restent favorables à l'utilisation des logiciels de mathématiques sur des supports mobiles (ibid.).

Au regard de ces résultats, on peut conclure que les enseignants des mathématiques et les élèves sont favorables à l'utilisation des technologies numériques pour l'éducation ce qui peut favoriser l'intégration pédagogique des logiciels dynamiques de mathématiques en enseignement – apprentissage des concepts mathématiques au secondaire. Mais leurs intentions pour l'utilisation pédagogique du numérique sont loin d'être généralisée puisqu'au moment où certains sont passés à l'utilisation du numérique pour l'éducation par manque de moyen, par manque de familiarisation, par manque de pratique ou de l'expérience, ne font pas l'usage des outils numérique pour l'éducation (Pacurar et Abbas, 2014).

Selon Modibo (2010), le numérique peut être utilisé dans l'enseignement secondaire nigérien comme mesure pour améliorer la qualité de formation des enseignants mais également la qualité de l'éducation car contrairement aux modes d'enseignements traditionnels, les TIC offrent des nouvelles modes d'enseignement plus coopératif et plus collaboratif ce qui peut favoriser l'apprentissage des élèves du secondaire. L'enquête

préliminaire renseigne que la plupart des acteurs principaux de l'éducation ont pu adapter TICE de manière informelle au Niger (Nouhou, 2018). Pour améliorer la qualité de l'enseignement au secondaire et plus particulièrement l'enseignement - apprentissage des mathématiques, il est nécessaire de faire converger les deux formes d'intégration pédagogique, celle issue du sommet (les institutions éducatives) et celle de la base (au niveau des acteurs : enseignants et élèves) vers une pratique pédagogique du numérique dans les classes ordinaires de mathématiques. Mais cela doit passer par des mesures susceptibles de faciliter et de favoriser les activités pédagogiques des enseignants de mathématiques mais aussi faire évoluer leurs pratiques à travers des usages efficaces des technologies numériques créant ainsi un environnement de l'apprentissage favorable aux activités mathématiques des élèves du secondaire.

4 Histoire du concept de fonction et son apprentissage au lycée

Le terme de fonction a été inventé par Leibniz, à la fin du XVII^{ème} siècle mais depuis l'Antiquité le concept de fonction apparaît sous formes des idées de la vie quotidienne dont l'objectif est de faciliter les calculs (Kiem, 2011). Les Babyloniens utilisaient ainsi les idées de fonctions sous formes tables numériques pour exécuter les calculs par ou des tables astronomiques pour déterminer les jours (Ibid.). Grâce au développement de la trigonométrie, le concept fut également utiliser sous la forme des tables de cordes permettant ainsi aux Hindous de déterminer l'équivalent des tables de sinus.

C'est au moyen Âge le concept de fonction ont commencé à émerger avec des idées du type fonctionnel et la fonction est définie soit par ses propriétés ou à partir d'un graphe. C'est à partir de la fin du XVI^{ème} siècle que la relation fonctionnelle a été exprimée explicitement sous forme d'une formule algébrique (Kiem, 2012). Descartes a ainsi exposé l'idée d'une équation entre x et y , pour introduire la notion de dépendance fonctionnelle c'est-à-dire la connaissance d'une valeur d'une variable permet de déterminer la valeur de l'autre variable. En effet, cette méthode de Descartes a constitué une étape importante dans le développement des mathématiques par l'application de sa méthode dans les résolutions graphiques des équations. On doit à Leibniz l'introduit du mot « fonction » pour désigner des quantités qui sont dépendants d'une variable. C'est lui qui a également introduit les termes de constante, de variable, de coordonnées et de paramètre en mathématiques. Mais la notion d'une fonction à une variable ou à plusieurs variables a été introduite par à Bernouilli. Il a aussi introduction la nation de fonction sous forme algébrique de x . C'est Euler qui a introduit pour la première

fois la notation $f(x)$ pour dénoter une fonction numérique à variable réelle x . Il a également distingué les fonctions une variable x qui donnent une seule image de celles qui donne plusieurs images. Euler a été le premier mathématicien qui a étudié toutes les fonctions élémentaires.

L'apprentissage des fonctions au lycée est fondamental pour tous les niveaux d'enseignement et pour toutes les séries. Dans les programmes mathématiques du lycée au Niger, c'est à partir des résolutions des problèmes des fonctions de références que les élèves du lycée parviennent à construire peu à peu le concept mathématique de fonctions (MES, 2015 et 2019). C'est pour cela que les programmes de mathématiques au Niger de 2015 et 2019, visent à chaque fois la construction de ce concept à partir de l'étude de propriétés des fonctions en mobilisant les multiples représentations (Duval, 2002 ; Pavlopoulou, 1993).

5 Synthèse du chapitre 1

Le présent chapitre a permis de présenter le contexte dans lequel notre projet de thèse a été réalisé. Il s'agit dans cette première partie de la situation géographique et démographique du Niger. Pour ce qui est du contexte géographique, il ressort que le Niger est un pays vaste en terme de superficie, enclavé et dont la majeure partie est désertique. Le Niger est un pays qui a une forte diversité culturelle avec plusieurs langues nationales avec le français comme langue officielle de l'administration. Il ressort de l'examen du contexte, que le Niger est un pays à démographie galopante et surtout une forte concentration de population jeune. Cela a pour conséquence, une forte demande en l'éducation de base. Mais à cela s'ajoute le niveau de pauvreté au Niger, qui ne permet pas à l'État de répondre aux défis de l'accès à l'éducation pour tous et de qualité.

La deuxième partie du contexte a permis de dresser un bref aperçu du système éducatif actuel du Niger. Il s'agit d'une brève présentation du sous – secteur secondaire. Cette partie a apporté également des précisions sur le processus de l'intégration des technologies numériques dans le système éducatif nigérien en particulier pour la discipline de mathématiques.

La troisième partie du contexte, a permis de dresser un bref aperçu sur l'historique du concept de fonction de l'antiquité à nos jours et de situer brièvement le contexte l'apprentissage des fonctions dans le programme de mathématiques au lycée au Niger.

CHAPITRE II : ETAT DE LA QUESTION

Ce chapitre présente l'état de la question de l'enseignement – apprentissage des mathématiques avec le numérique. Il présente une revue de la littérature sur la question de l'utilisation des technologies numériques en enseignement – apprentissage des mathématiques, le cadre conceptuel ainsi que le cadre théorique de notre recherche.

Dans la première partie, il présente l'évolution historique de l'intégration des outils numériques dans l'enseignement-apprentissage des mathématiques ; les avantages de l'utilisation des outils numériques en enseignement pour améliorer l'apprentissage des élèves et les difficultés pour l'intégration pédagogique des outils numériques en apprentissage des concepts mathématiques.

1 Les TIC dans l'enseignement et l'apprentissage de mathématiques au secondaire

1.1 Introduction des calculatrices en enseignement – apprentissage des mathématiques

Les premières révolutions technologiques de l'information et de la communication dans l'enseignement – apprentissage des mathématiques ont commencé par la production de calculatrices de poche dans les années 1970. L'introduction des calculatrices de poche dans les écoles n'a pas été retardée beaucoup plus longtemps et dès la fin des années elles ont été utilisées par les élèves (Weigand et Weth, 2002). À cet effet, les attentes concernant les changements dans la pédagogie et le contenu des mathématiques étaient devenues très élevées (ibidem).

En outre, l'introduction des calculatrices de poche a soulevé beaucoup de questions pédagogiques qui sont très semblables à celles discutées de nos jours concernant l'introduction des ordinateurs et des logiciels éducatifs (Weigand et Weth, 2002). Ces questions se portent d'une part sur la maîtrise des fonctionnalités de l'outil numérique et sur son utilisation pour l'enseignement et apprentissage de mathématiques.

Dans nombreux établissements d'enseignement secondaire, les professeurs de mathématiques ne sont pas vraiment préparés pour la mise en place de ce nouvel outil pour l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques et le plein potentiel des calculatrices de poche n'ont pas été dus tout exploité. Néanmoins, des idées nouvelles et novatrices ont été mises en œuvre et l'utilisation effective des calculatrices de poche a augmenté dans les écoles au cours des décennies (Weigand et Weth 2002). Mais force est de constater que, bien que l'enseignement de plusieurs sujets mathématiques ait été influencé par l'introduction de ce

nouvel outil, les calculatrices de poche n'ont pas vraiment changé les objectifs, les méthodes, ou l'évaluation dans l'enseignement des mathématiques (Weigand et Weth 2002 ; Ellington, 2003, NCTM, 2011).

En général, ce processus d'introduction de nouvelles technologies sous la forme de calculatrices de poche dans les écoles a montré que le simple fait de fournir un nouvel outil ainsi que plusieurs exemples de meilleures pratiques ne pouvaient pas changer fondamentalement l'enseignement des mathématiques, seuls la formation des enseignants et le perfectionnement professionnel sont nécessaires pour apporter un changement aussi bien dans le but de préparer les enseignants à ce nouvel outil méthodologique et leur apprendre à l'intégrer de manière effective et efficace dans leur enseignement quotidien. La revue de recherche menée par Ellington (2003) des effets des calculatrices sur le rendement des élèves et leurs niveaux d'attitudes à l'égard des mathématiques, révèle que les compétences opérationnelles et la résolution de problèmes des élèves s'amélioraient lorsque les calculatrices faisaient partie intégrante du processus d'apprentissage en classe. Mais également, les élèves qui utilisaient les calculatrices avaient de meilleures attitudes positives à l'égard des mathématiques que leurs camarades qui ne faisaient pas usage.

1.2 Introduction des ordinateurs en enseignement et l'apprentissage des mathématiques

Environ dix (10) ans après l'introduction des calculatrices de poche à l'école, c'est suivi celle des ordinateurs personnels avec un regard attendu de son impact dans l'avenir sur la vie quotidienne. Ainsi, la culture informatique est devenue le mot-clé et les écoles étaient censées préparer les élèves à relever ce nouveau défi et dans ce contexte, l'accent était donné dans un premier temps à la familiarisation des ordinateurs en général par les élèves et non leur utilisation pour enseigner des contenus de bases mathématiques. Comme le soulignent Weigand et Weth (2002) dans leurs travaux de recherche, les aspects pédagogiques ont pris de l'importance à la fin des années 1980, ainsi causantes un appel pour plus d'un logiciel convivial afin de permettre de se concentrer sur le contenu mathématique au lieu de la technologie. Une intégration significative des TIC dans l'enseignement est alors devenue l'objectif général et il a été soutenu par le développement du premier logiciel dynamique de mathématiques Cabri (Weigand et Weth, 2002). En outre, les programmes de l'enseignement assisté par ordinateur (Kaput, 2007, Kaput et Thompson, 1994), qui ont été les premières applications d'ordinateurs pour l'apprentissage des mathématiques (Hurme et Järvelä, 2005),

ont été au fil du temps remplacés par des environnements d'apprentissage multimédia. Ainsi, l'utilisation des technologies numériques, comme outil cognitif afin de permettre aux élèves de construire des connaissances individuelles, a été favorisée (Gerjets et Hesse, 2004).

Une fois encore, les discussions sur l'utilisation effective de ces nouveaux outils ont eu lieu et des questions sur l'intégration sélective des nouvelles technologies dans l'enseignement et de son rôle dans l'évaluation ont été soulevées. Toutefois, les attentes concernant les changements potentiels de l'enseignement des mathématiques en matière d'objectifs, le contenu et les méthodes d'enseignement ont été plus réalistes cette fois : les nouvelles technologies étaient censées être successivement intégrées dans l'enseignement et l'apprentissage, en soutenant une évolution au lieu de provoquer une révolution (Weigand et Weth, 2002).

1.3 Logiciels éducatifs pour l'enseignement et l'apprentissage de mathématiques

Cette étude s'intéresse aux principaux types de logiciels éducatifs actuellement utilisés pour l'enseignement - apprentissage des mathématiques, les systèmes informatiques d'algèbre, les logiciels de géométrie dynamique et des feuilles de calcul (Drijvers et Trouche 2007, Fuglestad 2005, Leuders et al, 2005). Chacun de ces programmes a ses propres avantages et il est particulièrement utile pour le traitement d'un certain choix des sujets mathématiques ou soutient certaines approches pédagogiques. Néanmoins, les frontières entre les types de logiciels deviennent de plus en plus floues et leurs caractéristiques d'un type sont souvent ajoutées les uns aux autres. Ainsi, un nouveau type de logiciels éducatifs, que l'on appelle un logiciel dynamique de mathématiques, a été conçu dans le but de rejoindre les avantages de types de logiciels de mathématiques de différentes manières à devenir un outil polyvalent pour l'enseignement – apprentissage des mathématiques et de l'apprentissage qui peut être utilisé pour un plus large éventail de contenus mathématiques, pour les niveaux de qualité, ainsi que les méthodes d'apprentissage des concepts mathématiques.

Le système de calcul formel ou « Computer Algebra System (CAS) » est un logiciel de calcul formel qui permet le calcul sur les expressions mathématiques et qui est similaire aux calculs manuels des expressions mathématiques. Le développement du système de calcul formel dans la seconde moitié du XX^e siècle fait partie de la discipline de l'algèbre informatique ou calcul symbolique, ce qui a stimulé le travail des algorithmes sur des objets mathématiques tels que les polynômes. Le système de calcul formel peut être divisé en deux catégories : celles spécialisées et celles à usage général. Ceux spécialisés sont consacrés à une

partie spécifique des mathématiques, comme la théorie des nombres, la théorie des groupes, ou l'enseignement des mathématiques élémentaires par exemple Derive (Texas Instruments Inc., 2008), Maple (Maplesoft, 2008), et Mathematica (Wolfram Research Inc., 2008). Ces applications permettent de manipuler une variété d'expressions et de fonctions algébriques, et peuvent traiter, par exemple les opérations mathématiques de base, simplification, factorisation, dérivées, intégrales, des séquences et des matrices (Fuchs, 2007). Ils permettent également de tracer des graphiques de fonctions et d'équations. Ainsi, le système de calcul formel est généralement exploité en utilisant le saisi clavier et permettant aux utilisateurs de mettre en œuvre leurs propres algorithmes utilisant des commandes et une syntaxe spéciale. En outre, la plupart des systèmes de calcul formel permettent graphiquement l'affichage explicite et parfois même des équations implicites, de sorte que ces représentations graphiques ne peuvent généralement pas être modifiées directement à l'aide de la souris (Hohenwarter, 2002).

Le logiciel interactif de géométrie (IGS) ou « Dynamic Geometry Software (DGS) » est utilisé comme un terme générique pour décrire une famille de logiciels qui sont principalement utilisés pour la construction et l'analyse des tâches et des problèmes en géométrie élémentaire (Sträßer, 2002). En fait, ce sont des programmes informatiques qui permettent de créer et de manipuler des constructions géométriques principalement dans la géométrie plane. Dans la plupart de ces logiciels, on commence la construction en mettant quelques points et de les utiliser pour définir de nouveaux objets tels que les lignes, les cercles ou d'autres points. Le logiciel pour la géométrie dynamique fonctionne principalement avec la souris en activant différents outils géométriques et de les appliquer à la feuille de travail ou déjà des objets existants. Des exemples de logiciel de géométrie dynamique sont Cabri (Cabrilog SAS, 2007) et Geometer's Sketchpad (Key Curriculum Press, 2008). Bien que ces programmes légèrement différents en matière de fonctionnalité et d'utilisation, dans le logiciel général de géométrie dynamique fournissent trois principales caractéristiques qui ne peuvent généralement pas être trouvées dans les systèmes de calcul formel ou feuilles de calcul : mode de déplacement, des outils personnalisables, et trace ou locus d'objets (Graumann et al., 1996). Le logiciel de géométrie dynamique permet la création de constructions géométriques et d'autres figures dynamiques par exemple des graphiques de fonction à l'aide de la souris de l'ordinateur et une variété d'outils géométriques et des éléments de menu. Les relations et les dépendances entre les objets sont maintenues alors qu'un objet est déplacé avec la souris en mettant à jour leurs positions dynamiquement. Le test

dit de traînée est un concept important qui permet aux utilisateurs non seulement de vérifier la robustesse d'une construction en faisant glisser les différents objets avec la souris, mais aussi d'explorer une variété de constructions similaires et des cas particuliers qui ne sont pas possibles dans une construction papier -crayon. En dehors des mouvements dynamiques, un type de logiciel permet également à l'utilisateur d'appliquer des transformations aux objets et mesurer des longueurs et des angles. Les dispositifs additionnels incluent l'insertion de texte et parfois des images dans la feuille de travail, qui peuvent être utilisées pour améliorer une construction dynamique.

Les outils géométriques disponibles sont généralement organisés en boîtes d'outils et peuvent être activés en cliquant sur l'icône correspondante dans la barre d'outils ou en sélectionnant les commandes appropriées dans le menu. En outre, une séquence d'étapes de construction peut être regroupée et enregistrée en tant que nouvel outil. Ainsi, les utilisateurs peuvent définir leurs propres outils de construction géométrique et les enregistrer dans la barre d'outils. La trace d'un objet par rapport à un objet parent peut être affichée. Cela permet aux utilisateurs d'examiner les mouvements et les dépendances entre les objets mathématiques. De cette façon, la ligne de locus peut être créée manuellement en déplaçant des objets correspondants avec la souris, ou créé automatiquement par le logiciel lui-même. Le logiciel de géométrie dynamique fournit habituellement les objets mathématiques de base suivants : points, segments, lignes, cercles, vecteurs, et des sections coniques. En outre, il est possible de faire la géométrie analytique en utilisant un système de coordonnées, et de travailler avec des graphiques de fonction en créant le lieu d'un point donné dont coordonnée y est calculée en utilisant une expression donnée. Bien que l'entrée au clavier de chiffres et expressions soit possible dans les programmes de logiciels de géométrie les plus dynamiques, il est généralement limité à une gamme de commandes spéciales et expressions prédéfinies. Cette entrée est principalement utilisée pour effectuer des calculs dont les résultats peuvent être intégrés dans le processus de construction. Selon Sträßer (2002) le logiciel de la géométrie dynamique peut être l'un des meilleurs sinon le meilleur au sein de didactique des mathématiques.

Le tableur ou « Spreadsheets » construit un pont idéal entre l'arithmétique et l'algèbre et permet la libre circulation des étudiants entre les deux mondes. Les étudiants recherchent des modèles, construisent des expressions algébriques, généralisent les concepts, justifient conjectures, et d'établir l'équivalence des deux modèles en fonction des besoins intrinsèques et significatifs plutôt qu'exigences arbitraires posées par l'enseignant (Friedlander, 1998). Les

tableurs sont des applications informatiques qui permettent l'affichage du texte alphanumérique où des valeurs numériques dans les cellules de table qui sont organisées en ligne et en colonnes. Les formules peuvent être utilisées pour calculer de nouvelles valeurs en se référant à d'autres cellules. Chaque fois que le contenu d'une cellule est modifié, toutes les autres cellules associées sont automatiquement mises à jour. Par conséquent, des feuilles de calcul électroniques sont principalement utilisées comme outils de calcul mathématiques et statistiques, permettant "aux élèves de se concentrer sur le raisonnement mathématique en les libérant de la charge de calculs et manipulations algébriques (Ozgun-Koca, 2000). Les tableurs sont généralement exploités en utilisant la saisie du clavier, des formules et des commandes. Ils permettent de tracer des données dans les types de différentes de graphiques qui adaptent automatiquement aux modifications des données. Des exemples de feuilles de calcul sont MS Excel (Microsoft Corporation, 2007) et Calc (CollabNet Inc., 2008a).

En 2000, Schumann et Green ont déclaré qu'il est nécessaire de poursuivre le développement de logiciels pour fournir un package unique combinant les caractéristiques souhaitées (Schumann et Green, 2000). Le logiciel de mathématiques dynamiques est conçu pour combiner certaines fonctionnalités du logiciel dynamique géométrie, système de calcul formel, et des feuilles de calcul aussi dans un seul paquet. Les progiciels de mathématiques dynamiques diffèrent dans leur gamme de fonctionnalités combinées, ainsi que dans le degré d'interaction dynamique entre ses caractéristiques. C'est l'exemple de Geogebra (Hohenwarter, 2008), de GEONExT (Universität Bayreuth, 2007), de cabri (Cabrilog SAS, 2007) et Geometer's Sketchpad (Key Curriculum Press, 2008).

Pour ce qui est du cas de Geogebra, différentes représentations du même objet mathématique, algébrique, symbolique, numérique et graphique, sont connectées dynamiquement, ce qui permet aux utilisateurs d'aller et venir entre eux des relations rendant ainsi les représentations facilement plus compréhensibles pour les élèves (Ozgun-Koca, 2000). Chaque fois que l'une des représentations est modifiée, tous les autres adaptent automatiquement afin de maintenir les relations entre les différents objets. De nouveaux objets peuvent être créés soit en utilisant des outils de géométrie dynamique ou de saisie du clavier algébrique.

En somme, les recherches ont montré que l'introduction des outils numériques en enseignement – apprentissage des mathématiques ne se limite pas à faciliter des opérations de calcul ou à faire des dessins rapidement. L'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques permet aussi à l'enseignant et aux élèves de résoudre des problèmes

mathématiques en utilisant plusieurs approches et pour faire la conjoncture des résultats sans perdre suffisamment de temps. Cette utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques libère ainsi l'enseignant et les élèves, d'une résolution des problèmes mathématiques à la main, qui est peu motivante et qui occupe beaucoup de temps. Ainsi, l'utilisation de ces logiciels dynamiques de mathématiques peut inspirer les élèves à mieux apprendre en rendant l'environnement d'apprentissage plus dynamique et développant leur pensée critique. Ainsi, le logiciel de mathématiques peut être un outil de support cognitif (Bétrancourt, 2007) qui peut permettre aux élèves de représenter et de visualiser les différentes représentations de la fonction numérique à variable réelle. Selon Bétrancourt (2007), l'utilisation des technologies numériques en situation d'apprentissage présente deux avantages : faciliter la représentation graphique et offrir la possibilité de rendre la visualisation graphique interactive. Pour ce qui est de la facilitation de la représentation graphique, l'utilisation du logiciel de mathématiques peut permettre aux élèves de construire la représentation graphique de la fonction plus facilement et avec plus de précision qu'en version papier – crayon. Il peut également permettre la manipulation et la réutilisation de la représentation graphique au cours du processus d'apprentissage. Pour ce qui est de la possibilité de rendre la visualisation graphique interactive, l'utilisation du logiciel de mathématiques peut permettre aux élèves de visualiser les propriétés de la fonction et de faire la conjoncture. L'étude s'intéresse particulièrement à l'utilisation du logiciel de l'apprentissage de mathématiques Geogebra, incluant à la fois les fonctionnalités du logiciel calcul formel (CAS) et ceux du logiciel de géométrie dynamique. C'est un logiciel permet de concevoir des dispositifs d'apprentissage de mathématiques permettant d'engager les élèves dans le processus cognitif de haut niveau (Depover et al., 2007).

1.4 Enseigner et apprendre les mathématiques avec la technologie

L'utilisation de technologie dans l'enseignement – apprentissage des mathématiques est devenue essentielle avec la disponibilité de nouveaux logiciels de mathématiques téléchargeables gratuitement sur internet et surtout du fait de leur adaptabilité à des supports mobiles tels que les tablettes et les smartphones. Ces technologies ont été développées dans l'optique de fournir un environnement d'enseignement et d'apprentissage promettant ainsi l'interaction sociale et le développement de la pensée critique. Ainsi cette compréhension globale de ces expériences d'apprentissage a permis l'incorporation de ces logiciels dynamiques de mathématiques dans les salles de classe pour inspirer les élèves à mieux apprendre les concepts mathématiques.

1.4.1 Utilisation du potentiel du logiciel, l'apprentissage de mathématique et la réussite des élèves

L'étude s'intéresse également au potentiel des logiciels d'apprentissage de mathématiques et leurs effets sur la réussite des élèves. Selon Depover et al. (2007), les logiciels d'apprentissage dynamique sont des environnements d'apprentissage à fort potentiel cognitif offrant aux élèves la possibilité de s'engager significativement dans le processus de découverte et de résolution de problèmes. Plusieurs recherches consultées dans ce cadre de cette étude, ont exploré l'effet de l'utilisation du logiciel dynamique de mathématiques sur le processus de l'apprentissage des élèves et leurs réussites en mathématiques.

Dogan (2010) a mené une étude en Turquie pour examiner le rôle de Geogebra dans le processus d'apprentissage de mathématiques. Les résultats de cette recherche ont révélé que le logiciel Geogebra a eu un effet positif sur l'apprentissage et les performances aux scores des élèves. Mais également, il a été observé que son utilisation dans le processus d'apprentissage a eu un impact positif sur la motivation des élèves et à conserver leurs connaissances pendant une période plus longue. La recherche a été de conception expérimentale en utilisant un prétest et un posttest pour évaluer le succès des élèves apprenant les propriétés de construction d'un triangle à l'aide du logiciel Geogebra et ceux n'ayant pas utilisé le logiciel. Il s'agissait d'un cours de douze heures de temps réparti sur deux semaines comprenant deux classes d'élèves de la dernière année au titre de l'année académique 2009 – 2010 dans une école primaire. Les groupes, expérimental et témoin, sont équivalents. Soient 20 élèves mais le premier groupe à 9 filles alors que le second ne compte que 7. Un test préliminaire (prétest) a été administré aux élèves de deux groupes pour déterminer leur niveau au départ. Le prétest est composé de 13 questions élaborées puis évaluées analytiquement en fonction des objectifs d'apprentissage. Les deux groupes ont suivi les différentes sessions de cours au même moment. L'intervention a porté sur douze (12) heures de cours au total, repartit sur deux semaines. Au cours de cette intervention, 12 activités principales ont été prévues avec pratiques sur les objectifs d'apprentissage énoncées et planifier conformément au programme officiel de mathématique. Ces mêmes activités ont été préparées avec Geogebra en prenant soin de rendre le sujet plus dynamique, concret et visuel pour les élèves du groupe expérimental. L'apprentissage des caractéristiques du Geogebra pour les élèves du groupe expérimental a été introduit dans l'heure de l'introduction du cours. Toutes les activités planifiées et construites à l'aide de Geogebra avec les fonctionnalités visuelles et dynamiques du logiciel ont été partagées avec les élèves pendant le processus d'enseignement et

d'apprentissage. En plus, des exemples, des exercices et des dessins ont été construits au cours des sessions sur des manuels. Après les deux semaines d'intervention, un posttest comportant des questions sur les objectifs d'apprentissage énoncés a été administré au même moment à ces deux groupes. Ensuite, un mois après l'intervention, un test de rappel a été administré aux deux groupes d'élèves. Les données recueillies ont permis de faire des comparaisons entre groupes mais aussi entre tests. Les résultats ont montré qu'il n'y a pas une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin globalement avant l'intervention. Par contre, les résultats du posttest ont montré une différence significative en faveur du groupe expérimental qui a été confirmée lors du test de rappel. Ces résultats globaux ont montré que l'utilisation de Geogebra dans le processus d'enseignement – apprentissage a considérablement augmenté le niveau de performances des élèves et il a permis à ses élèves de conserver leur succès pour un certain temps plus long. Le chercheur a estimé que les principales raisons de cette différence significative en faveur du groupe expérimental sont dues au fait que les élèves se sont bien familiarisés avec le logiciel Geogebra et les élèves ont eu la chance de pouvoir construire, explorer et observer les propriétés géométriques dans des conditions suffisantes d'utilisation du logiciel préalablement préparées et testées. Ainsi, cette stratégie d'intervention a facilité la réflexion de haut niveau des élèves en mettant en place une situation d'apprentissage qui dépasse le simple fait de dessiner les formes géométriques, un signe d'un haut niveau d'apprentissage. Contrairement à la situation d'apprentissage traditionnel au cours de laquelle les élèves dessinent des formes géométriques sans tenir compte de conditions factuelles. En comparant ces résultats de recherche, il ressort clairement que les élèves du groupe expérimental de notre recherche n'ont pas suivi un cours sur les fonctionnalités de Geogebra pour qu'ils puissent se familiariser efficacement avec le nouvel environnement d'apprentissage. En plus les activités ont été proposées sur la base des objectifs d'apprentissage selon le programme de mathématique en vigueur, il apparaît clair que ces activités n'ont pas été élaborées et préparées en prenant en compte les fonctionnalités du logiciel pour que les élèves puissent les utiliser de manière efficace dans cet environnement d'apprentissage dynamique.

Tay et Mensah –Wonkyi (2018) prévoyait dans une recherche menée au Ghana de déterminer l'effet de l'utilisation de Geogebra sur les performances des élèves du niveau lycée sur les théorèmes du cercle. Les résultats de cette recherche ont mis en évidence une différence significative en faveur du groupe expérimental. Ce qui a permis aux deux chercheurs de conclure que l'utilisation de Geogebra a eu un effet positif et statistiquement

significatif sur les élèves et la méthode Geogebra a rendu les leçons sur les théorèmes du cercle, plus intéressantes, pratiques et faciles à comprendre par les élèves. C'est une étude quasi expérimentale avec un groupe témoin non équivalent qui a été menée par ces chercheurs dont l'échantillon est constitué de 49 élèves de niveau première à titre de l'année académique 2016 - 2017 par un échantillonnage à un choix raisonné de deux écoles de la région centrale du Ghana. Une classe entière a été utilisée dans chacun des deux établissements, l'une pour être une classe expérimentale et l'autre pour être une classe témoin. Les élèves du groupe expérimental sont au nombre de 25 élèves ont été enseignés les théorèmes par la méthode d'enseignement avec Geogebra alors que les élèves du groupe témoin aux nombres 24 élèves a été enseignés le même contenu par la méthode d'enseignement traditionnelle. Un prétest et posttest ont été réalisés par l'enseignant dont le format est basé sur le programme du service d'éducation de Ghana. Le prétest, composé de 12 questions, a été élaboré sur la base du programme mathématique en vigueur du Ghana et couvrant les cinq théorèmes du cercle traité, a été administré simultanément aux deux groupes avant le cours. Le posttest, composé de 12 questions différentes de celles du prétest mais mesurant le même niveau des élèves, a été administré simultanément aux deux groupes.

Williams, Charles-Ogan et Adesope (2017) ont mené une étude sur *l'intérêt et la réussite des élèves du secondaire ayant reçu un enseignement de mathématiques avec le logiciel Geogebra*. Les résultats ont montré que l'utilisation de Geogebra en enseignement a augmenté l'intérêt des élèves pour les mathématiques. En plus, les résultats de tests aux scores ont indiqué une influence significative sur la réussite des élèves et cette influence peut être attribuée à l'utilisation de Geogebra. Cette étude a été menée sur un plan quasi expérimental avec un échantillon de 120 élèves du lycée de l'état Rivers (Nigeria) au titre de l'année 2016 – 2017. Soixante (60) élèves ont constitué le groupe expérimental et le choix de ce nombre est dû à la disponibilité des ordinateurs dans le laboratoire. Deux enseignants ont participé à cette expérimentation et chaque enseignant a enseigné le même contenu à un groupe expérimental et un groupe témoin. Deux instruments de collecte de données ont été utilisés par ces chercheurs. Le questionnaire élaboré sur une échelle de likert a permis aux chercheurs de mesurer le niveau d'intérêt des élèves pour l'utilisation de Geogebra et des tests de performance aux scores. L'expérimentation a été réalisée en quatre phases. La première phase a consisté à l'administration du prétest à l'ensemble des élèves avant les séances de cours. La deuxième phase a été celle des séances de cours avec Geogebra pour le groupe expérimental et sans Geogebra pour le groupe témoin, elle a duré 4 semaines. La troisième phase a été celle

d'administration de posttest à l'ensemble des élèves. Au cours de la quatrième phase les chercheurs ont administré le questionnaire aux élèves du groupe expérimental.

Arbain, et Shukor, (2015) ont mené une étude en Malaisie pour examiner l'efficacité de l'utilisation du logiciel Geogebra sur l'apprentissage des élèves en mathématiques et les résultats de la recherche révèlent que les élèves ayant utilisé ce logiciel obtiennent des meilleurs résultats d'apprentissage. Cette recherche quasi expérimentale portait sur un échantillon de 62 élèves reparti au hasard en deux groupes dont l'un expérimental et l'autre témoin. Les élèves du groupe expérimental ont appris à résoudre des problèmes de la statistique à l'aide de Geogebra alors que les élèves du groupe témoin ont appris à résoudre les problèmes de la statistique par la méthode traditionnelle. La procédure de cette recherche comprend quatre (4) phases. La première phase est celle de prétest, administré à l'ensemble des élèves de l'expérimentation. La deuxième a été la phase d'intervention ou le groupe expérimental a suivi le cours avec une méthode d'enseignement en utilisant Geogebra alors que le groupe témoin a suivi le cours avec la méthode traditionnelle. La troisième phase a été celle du posttest pour les deux groupes, administré deux semaines après l'intervention. À la quatrième phase, les élèves du groupe expérimental ont répondu à un questionnaire pour mesurer leur perception à l'égard de l'utilisation de Geogebra. Saha, Ayub, et Tarmizi (2010) qui ont mené une étude en Malaisie sur les effets de l'utilisation de Geogebra dans l'apprentissage des coordonnées géométriques parmi les élèves classés comme élèves ayant une forte capacité visuelle et les élèves ayant une faible capacité visuelle. Les résultats de cette recherche révèlent une différence significative en matière de moyenne aux scores entre le groupe Geogebra et le groupe témoin au profit des élèves du groupe expérimental. En plus les résultats ont indiqué que les élèves ayant une forte capacité visuelle ont obtenu des résultats supérieurs à ceux des élèves ayant une faible capacité visuelle. Néanmoins ces résultats n'ont pas révélé une différence significative entre les élèves fortes capacités visuelles des deux groupes. Cette étude quasi expérimentale, avec un groupe témoins non équivalent, est conduite sur un échantillon de 60 élèves âgés de 16 à 17 ans d'un établissement secondaire mais seul 53 élèves ont réussi à bien mener les tâches demandées. Les élèves du groupe expérimental ont suivi le cours sur les coordonnées géométriques grâce à une méthode d'enseignement mobilisant Geogebra alors que les élèves du groupe témoin ont suivi le cours par une méthode traditionnelle. Un prétest a été administré aux différents groupes d'élèves deux semaines avant le début de la première phase qui consistait à la prise en main du logiciel Geogebra au groupe expérimental. À la deuxième phase, les deux groupes ont suivi le cours

d'introduction des concepts de base de coordonnées géométriques et des sessions de résolution de problèmes mathématiques. À la troisième phase, les élèves du groupe expérimental ont suivi le cours sur les coordonnées géométriques en utilisant Geogebra alors que les élèves du groupe témoins ont continué à suivre le cours avec la méthode traditionnelle. Au total, sept (7) modules ont été élaborés dans ce cadre et enseignés aux élèves dont chacun prend 40 minutes pour être complété. À la phase finale, un posttest a été administré aux élèves.

Leong (2013) a mené une recherche en Malaisie pour déterminer les effets de l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique, GSP (Geometer's Sketchpad), sur l'enseignement – apprentissage des fonctions graphiques des élèves. Les résultats de cette étude ont montré qu'il y a une différence significative en termes de moyenne aux scores au profit du groupe expérimental. Ce qui signifie que l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique en classe de mathématique a eu un effet positif sur les résultats des élèves et a amélioré l'attitude des élèves à l'égard de l'apprentissage de la représentation graphique de fonctions. C'est une recherche quasi – expérimentale avec un groupe témoin non équivalent qui a été réalisée par le chercheur en sélectionnant au hasard 22 élèves d'une classe ordinaire expérimentale et 21 élèves une autre classe ordinaire témoin soit au total 43 élèves du niveau lycée dans un établissement secondaire qui compte 1600 élèves. Il faut noter que la plupart des élèves de cet établissement sont issus d'une famille à revenu moyen et qu'ils sont admis suite au bon niveau académique au primaire. Deux instruments de collecte de données ont été élaborés par le chercheur, un test de connaissances et un test d'attitude. Un test de réalisation des graphiques des fonctions a été créé pour mesurer et jauger les connaissances et la capacité des élèves à comprendre et à résoudre des problèmes mathématiques relatifs aux représentations graphiques des fonctions et un test de performance de représentations graphiques de fonction, ce dernier est à viser papier crayon pour tous les élèves. Pour préparer et valider le contenu de test de connaissances, le chercheur a fait appel à la contribution de deux enseignants de mathématique expérimentés ayant en moyenne 10 ans de carrière dans l'enseignement. Ainsi le test contient des questions sur la fonction graphique, la fonction trigonométrique et la fonction valeur absolue. Avant de commencer le test, les élèves ont été éduqués sur la nature et l'importance de cette recherche et la coopération des élèves a été fortement sollicitée. Un prétest essentiellement pour mesurer le niveau des connaissances préalables des élèves qu'ils possèdent sur les représentations graphiques de fonctions de sujet a été administré le même jour aux élèves de deux groupes pour une durée d'une (1) heure. Il est demandé aux élèves de montrer toutes les étapes nécessaires à l'obtention de la réponse.

Puis après un test d'attitude a été administré aux élèves de deux groupes. Au cours de l'intervention d'une durée de dix (10) semaines, les élèves de la classe témoin ont été enseignés par le chercheur à l'aide d'une approche traditionnelle alors que les élèves de la classe expérimentale ont suivi le cours avec l'aide du logiciel de la géométrie dynamique. Les élèves du groupe expérimental ont exploré eux-mêmes le logiciel avant d'avoir appris les fonctionnalités de base et au fur et à mesure qu'ils progressent dans leur apprentissage l'enseignant partage les fonctionnalités de cet outil numérique. Quant aux élèves du témoin, ils ont appris à l'aide de méthode traditionnelle, de la discussion en utilisant le manuel scolaire de mathématiques. Puis après cette intervention, les élèves de deux groupes ont été soumis à un posttest pour mesurer la progression après avoir été exposés à ces deux formes d'apprentissage et le test d'attitude. En plus les deux groupes d'élèves ont été soumis à des questionnaires pour connaître leur avis sur l'utilisation du logiciel la géométrie dynamique Sketchpad Geometer. Le chercheur a estimé que les principales raisons qui ont fait que les élèves du groupe expérimental ont statistiquement progressé comparativement au groupe témoin, ce qu'ils utilisent le logiciel de la géométrie dynamique dans leurs activités d'apprentissage des représentations graphiques des fonctions, ils ont pu visualiser et explorer le concept mathématique enseigné, ils ont été capables de tester leurs propres conjectures et leur apprentissage était devenu amusant. En plus l'apprentissage avec le logiciel de géométrie dynamique a encouragé les élèves à interagir entre paire, ce qui certainement a amélioré leur communication entre eux.

Mehanovic (2011) a mené une recherche pour étudier le potentiel et les défis de l'utilisation du logiciel dynamique Geogebra chez les élèves du second cycle du secondaire en Suède. Les résultats ont révélé que Geogebra est un outil mathématique qui peut jouer un rôle important dans la main des élèves pour soutenir les activités d'apprentissage et dans les mains des enseignants pour soutenir les pratiques enseignantes. Les résultats ont également révélé que l'introduction des logiciels dans les classes mathématiques rend la situation didactique plus complexe par rapport aux classes traditionnelles. Pour certains élèves, l'utilisation de Geogebra semblait prendre en charge leurs travaux alors que pour d'autres élèves, il semblait être facteur de perturbation de leur progression en apprentissage. Les difficultés observées sont liées aux manques d'expériences en termes d'utilisation de Geogebra par conséquent ses élèves manquent de connaissances sur la façon d'exploiter le potentiel du logiciel dans leurs activités mathématiques. Les enseignants ont rencontré plusieurs obstacles qui leur ont empêché d'utiliser le potentiel du logiciel Geogebra. Parmi ces obstacles le chercheur a

identifié trois types : l' « obstacle technique » c'est-à-dire que l'enseignant ne peut pas utiliser le logiciel de manière appropriée, l' « obstacle épistémologique », l'enseignant ne connaît pas le potentiel didactique de Geogebra et comment l'exploiter de manière à soutenir l'apprentissage des élèves et l' « obstacle didactique », l'enseignant n'est pas conscient de la complexité des environnements numériques ou bien il n'a pas les compétences nécessaires pour intégrer le logiciel sans une aide extérieure.

Il ressort des résultats des recherches précitées un effet positif et statistiquement significatif sur le processus d'apprentissage et la réussite des élèves.

Néanmoins, il ressort d'autres recherches que l'utilisation du logiciel n'a pas permis aux élèves de progresser significativement dans le processus d'apprentissage. Ogbonnaya et Alfred (2017) ont exploré dans une recherche menée en Afrique l'effet de l'intégration de Geogebra en enseignement du cercle géométrique sur la réussite des élèves du lycée. La théorie de Van Hiele pour tant sur cinq niveaux de compréhension géométrique a été utilisée comme cadre de référence pour cette étude. Globalement les résultats ont révélé une différence significative en matière de résultats en faveur des élèves enseignés avec Geogebra. Mais l'analyse des résultats par niveaux de compréhension géométrique, a révélé une différence significative en matière de résultat en faveur du groupe expérimental pour ce qui est des niveaux de visualisation et d'analyse (niveau 1 et 2). Par contre les résultats de cette étude ont révélé qu'il n'y a pas de différence significative en matière de réussites entre groupe expérimental et groupe témoin sur 3 des cinq niveaux de la théorie de Van Hiele de compréhension géométrique à savoir l'abstraction, la déduction et la rigueur (niveaux 3, 4 et 5). Cette étude a examiné l'effet de l'intégration de Geogebra dans l'enseignement de la géométrie sur la réussite des élèves du niveau lycée en comparant deux méthodes d'enseignement et d'apprentissage différentes. L'une des méthodes est traditionnelle et l'autre méthode mobilise le logiciel Geogebra. L'étude a été réalisée dans une approche quasi – expérimentale et elle a utilisé deux échantillons non équivalents, un groupe expérimental de tailles $n = 22$ et groupe témoin de taille $n = 25$ prélevés dans deux classes dans deux écoles secondaires dans la province de Limpopo en Afrique du Sud. Les résultats des trois niveaux (abstraction, déduction et rigueur) ne montraient aucune différence de réalisation statistiquement significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin.

Ngunu (2013) a mené une recherche au Kenya, sur l'impact des logiciels éducatifs dans l'enseignement de sciences. Les résultats obtenus ne révèlent pas de différence significative entre les performances aux scores entre les élèves ayant utilisé le logiciel

éducatif et les élèves du groupe témoin. Cette étude expérimentale est conduite sur un échantillon de 723 élèves de deux établissements secondaires urbains sur une période de mois. Trente (30) séances de cours sur la biologie, la chimie et la physique ont été observées. Un prétest et un posttest sont respectivement administrés au début et à la fin de chaque séance. Seules les réponses de 178 élèves, dont 42 représentants le groupe témoin, ont été exploitables. Même si, les logiciels éducatifs utilisés dans cette recherche, n'ont pas permis aux élèves de progresser significativement dans leur apprentissage, les points forts et les obstacles ont pu être décelés. Parmi les points forts, l'utilisation de logiciels éducatifs a permis aux enseignants de surmonter des problèmes techniques de certains cours, d'illustrer à partir des exemples pratiques certains cours qui, dans l'enseignement traditionnel, sont restés théoriques et trop difficiles à comprendre par les élèves. L'utilisation des logiciels éducatifs a permis une visualisation concrète du cours enseigné. Pour ce qui est des points faibles, les enseignants, peu expérimentés, n'ont pas pu utiliser le logiciel dans sa dimension interactive dans leur cours et ont tendance à se laisser guider par le logiciel au lieu d'exploiter son potentiel, ce qui ne permet pas de stimuler la réflexion des élèves.

Ljajko (2017) a mené une recherche en Serbie, l'auteur a constaté qu'il n'y a pas de différence significative en matière de performance aux scores entre les élèves du groupe expérimental et les élèves du groupe témoin. Les travaux de ce chercheur portent sur deux aspects de l'enseignement de la géométrie analytique à l'aide de Geogebra à savoir les résultats des élèves aux différents tests de connaissances et les taux de décroissances de ces résultats. Les élèves du groupe expérimental et du groupe témoins, dont l'âge est compris entre 16 à 17 ans, ont suivi les mêmes séances de cours sur la même période et ont passé trois tests sur une période de 8 mois, un prétest au départ, un posttest et un test de confirmation. C'est au minimum 50 leçons qui ont été dispensées à ces groupes d'élèves. Lors des deux premiers tests, il a été observé que les élèves du groupe expérimental ont montré de performances inférieures lors de résolutions des problèmes dans un environnement autre que numérique. Le test de confirmation a indiqué des taux de décroissance des résultats aux scores qui ne sont pas statistiquement différents dans les deux groupes.

Herceg et Herceg (2010) ont mené une étude en Serbie sur l'intégration de Geogebra pour résoudre des équations numériques en testant comment intégrer l'apprentissage par ordinateur pour réduire le processus de travail de l'intégration numérique. Pour tester l'efficacité de résolution de problèmes par les élèves du niveau lycée avec et sans l'utilisation de Geogebra, les chercheurs ont mené une étude expérimentale sur une période de cinq (5)

années académiques de 2002 à 2007 dans un groupe expérimental et un autre témoin. Le groupe expérimental est enseigné par les chercheurs eux-mêmes dans une salle de classe qui dispose d'un ordinateur pour l'enseignant connecté à un projecteur et des dix – huit (18) ordinateurs où chaque élève en dispose d'un poste de travail. L'ensemble des postes de travail ont accès à l'internet et sont mis en réseau avec pour serveur l'ordinateur de l'enseignant. Ainsi, l'enseignant télécharge les exercices et les outils sur le serveur pour les mettre à la disposition des élèves. Lors de résolutions des problèmes, les élèves ont accès à l'internet et à discuter uniquement dans le leur apprentissage et ils ont accès à l'ordinateur de l'enseignant pour démontrer leur travail à la classe. Pour mesurer l'efficacité en résolution de problèmes d'équations numériques chez les élèves de deux groupes des tests peu modifiés ont été administrés dans des classes régulières au cours de ces cinq années d'expérimentation et les élèves du groupe expérimental ont été autorisés à utiliser l'ordinateur au cours des évaluations sauf au cours de la dernière l'année, 2006 – 2007. Les résultats de cette étude ont montré une évolution progressive des élèves du groupe expérimental en matière de scores tout au long des cinq (5) années et particulière significative au cours des deux dernières années de l'expérimentation. Les résultats des tests aux scores, ont montré que le groupe d'élèves ayant travaillé avec Geogebra a significativement progressé comparativement au groupe témoin. Ces résultats témoignent que les élèves du groupe expérimental ont acquis plus de connaissances et de compétences en matière de résolutions des équations numériques. Les résultats des tests de la dernière année ont montré que l'utilisation de Geogebra par les élèves uniquement ne suffit pas pour résoudre efficacement les équations numériques. Ils ont en plus besoin d'être encouragés par l'enseignant. Cette étude a également suggéré que l'utilisation de Geogebra est utile pour les élèves, qui rencontrent des difficultés pour résoudre des problèmes mathématiques, puisque cela leur permet de se libérer du problème de résolution manuelle peu motivant pour eux et d'avoir plus de temps à apprendre les aspects les plus importants.

Dans une recherche menée dans les établissements secondaires de Malaisie, Masri et all (2016) ont constaté qu'il n'y a pas de différence significative en termes de performances aux scores entre groupe expérimental et groupe témoin. Cependant, les élèves du groupe expérimental ont montré une attitude positive en vers l'utilisation de Geogebra en apprentissage, ce qui indiquait que cette stratégie d'apprentissage peut être utilisée pour permettre aux élèves d'apprendre les concepts mathématiques mais aussi pour améliorer leurs performances à long terme. En effet, ces chercheurs ont examiné les effets de l'utilisation de Geogebra dans l'apprentissage du cercle chez les élèves de l'enseignement secondaire. Une

étude quasi expérimentale ou un groupe témoin de 17 élèves et un groupe expérimental de 29 élèves ont été choisis au hasard. Les deux groupes d'élèves ont été tenus par le même enseignant, ainsi le groupe expérimental a suivi un apprentissage en utilisant la stratégie d'enseignement de Geogebra, tandis que le groupe témoin a suivi un apprentissage en utilisant la stratégie d'enseignement traditionnel. Il faut noter les deux groupes d'élèves n'utilisaient pas Geogebra avant cette expérimentation. Pour collecter les données permettant d'analyser les performances de ses élèves des tests de connaissances ont été organisés avant et à la fin de l'expérimentation. Ainsi un prétest a été administré, avant la séance aux deux groupes au même moment et un posttest, dans le même format que prétest mais avec des questions différentes, a été administré à la fin de l'expérimentation. Les résultats révèlent qu'il n'y avait pas de différence significative entre les performances aux scores moyennes des élèves du groupe expérimental et ceux des élèves du groupe témoin.

Vasquez (2015) a mené une étude dans un lycée situé dans une communauté urbaine de Californie du Sud aux USA sur l'utilisation du logiciel Geogebra dans un environnement riche en technologie pour améliorer les résultats des élèves. Les résultats de cette recherche révèlent qu'il n'y a pas globalement de différence significative en termes de performances aux scores entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Néanmoins, il ressort que cette étude porte sur 112 élèves d'un lycée repartis sur les différents niveaux d'apprentissage. Pour éviter l'effet enseignant, toutes les classes ont été enseignées par le même enseignant sur quatre cours de géométrie et les participants étaient inscrits à l'un des quatre cours. Les deux groupes, contrôle et expérimental, ont été choisis au hasard parmi les quatre périodes de cours. Les périodes deux et cinq ont été choisies au hasard pour constituer le groupe expérimental alors que les périodes trois et six ont été sélectionnées pour constituer le groupe témoin. Toutes les périodes de cours n'ont pas la même durée d'instruction et les temps des interventions variaient entre 45 mn et 75 mn selon les périodes. Les données quantitatives ont été collectées par l'administration des trois évaluations : prétest, test et posttest. Cette étude a débuté sept (7) semaines après le début de l'année scolaire 2014 – 2015. Le prétest a eu lieu douze (12) jours avant le début de l'expérimentation et de deux semaines avant le test. L'enseignant chargé du cours a administré le prétest à tous les élèves participants sur environ 10 à 15 minutes. Le test portait les mêmes questions que le prétest. Le posttest a été administré une semaine avant la fin de la semaine du semestre.

Une étude menée en Belgique par Temperman et al. (2014) pour évaluer l'effet du dispositif d'apprentissage en mathématiques des élèves du primaire mobilisant le logiciel

Scratch mais aussi étudier les effets de cet environnement sur la progression de la maîtrise de compétences de ses élèves. Les résultats de cette étude ont montré que le dispositif mis en place a eu un effet réduit pour les compétences liées à la résolution de problèmes et pour le raisonnement logique. Ces chercheurs ont observé des effets positifs de cet environnement d'apprentissage sur le domaine de grandeurs, des nombres et de la structuration spatiale. Les résultats ont montré que le scénario a eu un effet d'équité sur l'apprentissage des élèves du groupe expérimental. Cette étude expérimentale, de type prétest et posttest avec uniquement un groupe expérimental, a été mise en place. L'échantillon est de 19 élèves d'une classe de primaire de la province de Hainaut en Belgique. Le choix de l'établissement n'a pas été fait au hasard mais du fait qu'il dispose des matériels informatiques et que les enseignements ont accepté de participer à cette recherche. La phase expérimentale, a duré 4 mois et dix (10) séances de 2 heures chacune et des travaux collaboratifs entre élèves ont été envisagés.

Au regard des différentes recherches antérieures, il ressort que l'utilisation du logiciel peut avoir un effet statistiquement significatif sur le processus de l'apprentissage des élèves et sur la réussite en mathématiques. Il ressort aussi que l'utilisation du logiciel a un effet significatif sur les élèves à faible niveau de connaissances requises et qui rencontrent des difficultés pour résoudre des problèmes mathématiques, en les libérant de la résolution manuelle pour qu'ils puissent avoir le temps nécessaire à apprendre les aspects les plus importants.

Mais pour pouvoir observer un impact de l'utilisation du logiciel dynamique de mathématiques sur l'apprentissage et la réussite des élèves en mathématiques, l'apprentissage doit être conçu dans une approche constructiviste avec des activités d'apprentissage basées sur la découverte et la résolution de problèmes (Depover et al. 2007). L'approche pédagogique de l'enseignant doit être en congruence avec l'apprentissage des apprenants doivent se familiariser aux différentes fonctionnalités du logiciel, ils doivent adapter les fonctionnalités du logiciel à leurs stratégies de résolution de problèmes, ils ont besoin du soutien et de l'encouragement de l'enseignant pour plus s'engager dans les tâches mathématiques avec le numérique. En plus, le temps de l'intervention pédagogique devrait être suffisamment long.

1.4.2 Utilisation du logiciel, la compréhension du concept mathématique et la performance des élèves

Cette étude s'intéresse également au développement des connaissances des élèves dans un environnement d'apprentissage leur permettant d'apprendre significativement des nouvelles connaissances mathématiques et d'augmenter significativement leurs performances. Plusieurs recherches consultées ont exploré en effet l'utilisation du logiciel sur la compréhension conceptuelle et procédurale au cours de l'apprentissage des élèves et leurs performances.

Dans une étude menée sur les élèves du secondaire moyen en Turquie par Bakar, Tarmizi, Ayub et Yunus (2009), aucune différence statistiquement significative n'a été signalée pour la compréhension conceptuelle ou la connaissance procédurale des fonctions quadratiques entre un groupe témoin enseigné avec une approche traditionnelle et un groupe de traitement enseigné avec le logiciel de géométrie dynamique, en termes de performance des élèves après les interventions pédagogiques. Le but de l'étude mené par ces chercheurs était d'étudier l'impact de l'enseignement des limites et de continuité d'une fonction dans un environnement soutenu par Geogebra sur la compréhension conceptuelle des élèves et leurs attitudes à l'égard de l'apprentissage des mathématiques par la technologie. L'étude a été menée dans un plan quasi expérimental et elle a porté sur un échantillon, de 34 élèves du secondaire moyen, répartis dans deux groupes. Le groupe expérimental, ayant suivi l'intervention pédagogique avec Geogebra est composé de 15 élèves alors que le groupe témoin, ayant suivi l'intervention pédagogique traditionnelle avait 19 élèves tous issus d'un établissement. Les élèves de cet établissement sont sélectionnés sur le mérite de tous les horizons de la Turquie offrant ainsi même aux élèves vivant dans des difficultés économiques et sociales un environnement d'apprentissage favorable à travers des bourses d'études offertes aux élèves méritants du milieu défavorisé et un internat. Deux instruments de mesure ont été administrés à l'ensemble de participants, un prétest sur le prérequis des limites et continuité et une échelle d'attitude envers les mathématiques et la technologie. Les élèves deux groupes ont suivi chacun deux séances de six (6) heures au total sur notions de limites et continuité de fonction par deux enseignants différents. Ainsi, le chercheur, étant un des enseignants de l'établissement, est intervenu dans classe du groupe expérimental alors qu'un collègue de celui – ci a enseigné avec la méthode traditionnelle les élèves du groupe témoins. Après l'intervention pédagogique, deux instruments ont été administrés aux élèves, un posttest d'évaluation sur les limites et continuité et l'échelle d'attitude envers les mathématiques et la

technologie. Ces chercheurs ont estimé que la principale raison de cette différence non significative est leur intervention, qui était limitée à six heures d'instruction, y compris le temps passé à apprendre les caractéristiques de base du système de gestion, dans le groupe expérimental. Les chercheurs ont estimé que pour pouvoir observer un impact en termes d'apprentissage, le temps de l'intervention devait être plus long. Comparativement au contexte de notre expérimentation, le temps de l'intervention y compris celui d'apprentissage des caractéristiques de Geogebra est des trois (3) heures soit la moitié du temps utilisé par ces chercheurs. Cela pour donc être l'une des raisons qui justifie que le groupe d'élèves ayant mobilisé le logiciel Geogebra pour l'apprentissage du concept mathématique n'ait pas significativement progressé comparativement aux élèves du groupe témoin.

Bell (2001) a mené une étude aux USA pour déterminer si les élèves utilisant un logiciel offrant un environnement d'apprentissage multi – représentation pour apprendre le concept des fonctions développeront une meilleure compréhension conceptuelle des fonctions que les élèves apprenant dans un environnement traditionnel, tout en maintenant égale la maîtrise des compétences procédurales. Les résultats ont révélé qu'il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les compétences procédurales des deux groupes, leur capacité à modéliser des applications réelles et leur capacité à résoudre des problèmes en utilisant le logiciel. Selon Belle (2001), comprendre les effets des technologies numériques sur les capacités des élèves à résoudre des problèmes et à déterminer si l'apprentissage dans un environnement multi représentationnel influence la compréhension conceptuelle des fonctions par les élèves et leur image conceptuelle d'une fonction. Ce qui permettra aussi de comprendre la relation entre les connaissances procédurales et conceptuelles et la transition de l'utilisation des connaissances procédurales à l'utilisation des connaissances conceptuelles.

Poh et Leong (2014) ont mené une recherche en Malaisie pour examiner l'utilisation du sketchpad du géomètre sur le niveau de compréhension de la théorie de Van Hiele des élèves. Les résultats de cette étude ont révélé qu'il n'y a pas de différence significative en termes de résultats entre le groupe expérimental et le groupe témoins. L'étude révèle aussi qu'il n'existe aucune corrélation entre l'alphabétisation en matière de l'utilisation du numérique des élèves et leur pensée géométrique après l'utilisation du logiciel éducatif. Cette étude expérimentale est conduite sur un échantillon de 32 élèves de la troisième année d'une école de primaire dont 16 élèves du groupe expérimental et 15 élèves du groupe témoin ont été répartis au hasard. Les élèves du groupe expérimental ont suivi six leçons à l'aide du logiciel éducatif alors que les élèves du groupe témoin ont suivi les mêmes leçons avec une

approche traditionnelle. Les deux groupes ont été enseignés par un même enseignant, le chercheur lui-même. Le chercheur a élaboré trois séries de tests, un prétest, un posttest et un test de confirmation après la période d'intervention. Ces chercheurs ont montré que le fait que les élèves ont su utiliser le logiciel de Géométrie dynamique au cours de l'apprentissage n'a pas eu d'effet sur leur pensée géométrique après l'intervention avec Geogebra.

Des nombreuses études ont montré l'effet de l'utilisation du logiciel sur la performance des élèves.

Mwingirwa et Miheso –O'Connor's (2016) prévoyait dans une étude menée au Kenya par sur l'utilisation de Geogebra dans l'enseignement de mathématiques au secondaire pour que les élèves conceptualisent les concepts mathématiques de la géométrie. Les résultats ont montré utilisation de Geogebra a permis aux élèves de comprendre des concepts mathématiques difficiles et qu'en plus les enseignants de cette étude ont été très enthousiastes à l'idée de son utilisation dans les classes du secondaire. En plus les résultats de cette étude ont montré que Geogebra a été révélé comme le logiciel le plus approprié comme outils d'enseignement et d'apprentissage de la géométrie néanmoins cela n'a pas empêché les enseignants d'avoir du mal à enseigner la géométrie voire accentuer des difficultés lorsqu'ils sont sollicités pour démontrer des concepts mathématiques difficiles à enseigner. Cette étude a été menée dans des établissements du secondaire du Kenya, un échantillon de 33 enseignants de plusieurs écoles, soit 22% de la population cible a été sélectionnée par un échantillonnage aléatoire simple et stratifié. Les enseignants ont d'abord été formés sur l'utilisation de Geogebra sur une période de six (6) semaines, ensuite ils ont été observés en situation de classe lors de leur enseignement avec le logiciel. Les données ont été collectées auprès de ces enseignants.

Aydos (2015) a mené une étude en Turquie portant sur *l'impact de l'enseignement des mathématiques avec Geogebra sur la compréhension conceptuelle des limites et de la continuité chez les élèves du secondaire*. Les résultats ont révélé que les élèves du groupe expérimental ont obtenu des résultats aux tests au score, sur la compréhension conceptuelle, statistiquement supérieure à ceux des élèves du groupe témoin. Cette étude porte sur 34 élèves doués et talentueux d'un établissement secondaire et qui sont reparti dans deux groupes, expérimental et témoin. Les élèves du groupe expérimental ont été enseignés par une méthode d'enseignement avec Geogebra alors que ceux du groupe témoins avec la méthode

traditionnelle. Avant l'intervention, un prétest a été administré aux deux groupes. Puis deux groupes s'en est suivi le cours des deux concepts mathématiques sur une période de deux semaines totalisant 6 heures de travail, avec Geogebra pour les élèves du groupe expérimental et par la méthode traditionnelle pour les élèves du groupe témoin. Deux semaines après l'intervention les élèves de ces deux groupes ont été soumis à un posttest. Le chercheur a estimé que parmi les raisons qui expliquent les performances aux scores des élèves du groupe expérimental a été la possibilité de faire construire des notions mathématiques de limites et continuités à l'aide de Geogebra, en plus Geogebra offre aux élèves d'explorer plusieurs perspectives d'une même construction et la dernière est l'opportunité appropriée y comprise celle de Geogebra offerte aux élèves.

En plus, Turkun et Ozturk (2013), ont mené une étude en Turquie pour spécifier l'effet d'un environnement d'apprentissage enrichi le logiciel éducatif dans lequel Geogebra a été utilisé pour la réussite des élèves et de leur niveau de compréhension dans le processus d'enseignement de trigonométrie et pente au niveau du primaire. Les résultats ont montré globalement que le logiciel Geogebra a un effet significatif sur l'apprentissage des élèves et un effet positif sur leur rétention de l'apprentissage. Néanmoins les résultats ont montré que le logiciel Geogebra n'a pas un effet significatif sur la compréhension de la géométrie des élèves en plus il n'y a pas de différence significative entre les acquis des niveaux des connaissances et d'application du groupe expérimental appliquant le logiciel Geogebra en termes de scores entre les deux groupes. D'autre part, les résultats ont révélé qu'il existe une différence significative entre les élèves ayant utilisé le logiciel Geogebra. Cette recherche expérimentale avec un groupe témoin équivalent sur un échantillon de 52 élèves d'une école primaire soit 26 élèves pour le groupe expérimental et 26 élèves pour le groupe témoin. Pour déterminer les élèves du groupe expérimental et du groupe témoin, un test pilote a été organisé sur quatre classes de ce même établissement pour déterminer les deux classes de l'expérimentation. Pour collecter les données deux tests ont été utilisés, le premier sur le test de réalisation de la géométrie et le second est le test des niveaux de compréhension de Van Hiele.

Turkun (2013) a mené une autre étude en Turquie pour analyser l'effet du logiciel de la géométrie dynamique Geogebra sur le niveau de compréhension de la géométrie de Van Hiele par les élèves du lycée (âgé de 16 à 17 ans). Les résultats ont montré que l'utilisation de Geogebra a un effet positif et significatif sur le niveau de compréhension de la géométrie de Van Hiele par les élèves du lycée. Selon ce chercheur, ce résultat obtenu par cette recherche peut s'expliquer par la méthode d'enseignement appliquée pour le groupe expérimental et par

l'environnement d'apprentissage fourni par le logiciel. Les élèves du groupe expérimental ont eu l'occasion au cours de l'enseignement avec Geogebra de créer eux-mêmes des formes géométriques données, de déplacer des formes, de manipuler les formes, de tester et de construire leurs propres connaissances. En plus, grâce aux activités dans l'environnement numérique d'apprentissage, les élèves du groupe expérimental ont eu également la possibilité de participer activement au processus d'apprentissage, de partager des idées, de discuter avec leurs camarades des résultats obtenus et de construire leurs propres connaissances. Cette recherche quasi expérimentale, réalisée au cours de l'année académique 2011 – 2012, avec un groupe témoin équivalent sur un échantillon de 42 élèves d'une école du fait qu'elle se situe dans un quartier socio-économique de classe moyenne et ayant un laboratoire informatique. La classe expérimentale est constituée de 24 élèves alors que la classe témoin a 18 élèves. Tous les participants de cette étude étaient capables d'utiliser efficacement l'ordinateur. Les élèves du groupe expérimental ont été enseignés avec un contenu d'enseignement de l'unité du cercle élaboré par le chercheur sur le programme de géométrie au lycée. Les activités pédagogiques ont été réalisées dans le laboratoire avec au moins deux élèves par ordinateur sur une période de trois (3) semaines. Les groupes des élèves ont reçu des feuilles de travail et le processus d'enseignement a été mené de telle sorte que l'enseignant joue le rôle de guide, encourage les élèves à travailler en groupe et de mener à bien leurs activités et de les laisser partager leurs connaissances par le biais de discussions. Les élèves du groupe témoin ont été enseignés avec le même contenu mais sans utilisation du logiciel. Le processus d'enseignement a été mené de telle sorte que le déroulement du cours est laissé à l'enseignant, méthode habituelle d'exposition du contenu à enseigner et de questionnement. Dans ce groupe, aucune activité en dehors de celle prévue par le manuel scolaire n'a été proposée, des exemples sont tirés de la vie courante et des objets ambiants de la classe. Deux tests, un prétest et un posttest, ont été administrés aux élèves sur la base du test de Van Hiele de 5 niveaux de compréhension de la géométrie. Le test est composé de 25 questions soit 5 questions par niveau. Les bonnes réponses ont été notées sur 1 point alors que les mauvaises sur 0 point. L'élève doit répondre à au moins 3 sur les 5 questions du niveau pour considérer que le niveau est atteint.

Zakaria (2012) a mené une étude en Indonésie pour identifier les connaissances conceptuelles et procédurales sur le concept mathématique des fonctions en fonction des groupes et du genre. Les résultats de cette recherche révèlent une différence significative dans les connaissances conceptuelles et procédurales des élèves en fonction des groupes et cela au

profit des élèves utilisant Geogebra dans leur apprentissage. Cependant, il n'y avait pas de différence significative entre les connaissances conceptuelles et procédurales des élèves en fonction du sexe. Cette étude quasi expérimentale porta sur 284 élèves de deux établissements du lycée parmi lesquels 138 élèves sont placés dans le groupe expérimental c'est-à-dire utilisant Geogebra et 146 élèves sont dans le groupe témoins. Les données sont collectées à l'aide du test conceptuel et procédural sur le thème de fonction. Un prétest a été administré aux deux groupes avant les séances et un posttest à la fin. Les élèves du groupe expérimental ont suivi 8 heures de cours en utilisant Geogebra, trois fois par semaine alors que les élèves du groupe témoin ont suivi les cours avec la méthode traditionnelle.

Zakaria (2014) a également mené une étude en Indonésie pour déterminer l'efficacité de l'utilisation de Geogebra sur les connaissances conceptuelles et procédurales des élèves. Les résultats de cette étude ont montré une différence significative en matière de connaissances conceptuelle et procédurale du concept de fonction entre les élèves de différents niveaux de compétence. Les résultats ont montré une différence significative en matière de connaissances conceptuelles en fonction du niveau des élèves. Ainsi, ce sont les élèves ayant un niveau de compétences faibles et ceux ayant un niveau de compétence élevé, qui ont plus amélioré leurs connaissances conceptuelles comparativement aux élèves ayant un niveau de compétence moyen. Les résultats ont aussi montré une différence significative en matière de connaissances procédurales en fonction du niveau des élèves. Les élèves ayant un niveau de compétences élevé avaient un niveau de connaissances supérieur à celui des élèves de niveau de compétence faible ou moyen. Cette étude est quasi expérimentale avec un groupe témoin non équivalent puisque les participants n'ont pas été choisis au hasard et elle a été portée sur 284 élèves de deux établissements du lycée. Les élèves ont été divisés en deux groupes dont 138 élèves ont été placés dans le groupe expérimental et 146 élèves ont été placés dans le groupe témoin. Des tests de connaissances conceptuelles et procédurales des fonctions ont été élaborés puis un test de fiabilité a été réalisé et la valeur de l'indice de fiabilité a indiqué un excellent niveau de fiabilité des éléments du test.

Fakomogbon et al. (2014) ont mené une étude au Nigeria pour déterminer l'effet de l'EAO sur la performance des élèves du secondaire en mathématiques. Quarante (40) élèves ont été sélectionnés au hasard dont quarante (40) garçons et quarante (40) filles dans deux écoles secondaires pour participer à cette étude. Les élèves de cet échantillon ont été répartis au hasard dans deux groupes dont l'un est expérimental et l'autre témoin. Les élèves du groupe expérimental ont été suivis un cours de mathématiques sur l'équation quadratique à

l'aide d'un EAO tandis que le groupe témoin a été enseigné en utilisant la méthode pédagogique traditionnelle. Deux hypothèses ont été postulées dans cette étude. La première hypothèse postule qu'il y a une différence significative entre les scores de réussite des élèves du groupe expérimental et ceux du groupe témoins. La seconde hypothèse quand elle postule qu'il y a une différence de résultats des élèves garçons et filles ayant participé au cours des mathématiques à l'aide de l'EAO. Les résultats de cette étude ont révélé qu'il y a une différence significative entre les scores de réussite des deux groupes par contre il n'y a pas de différence significative entre les moyennes de réussite de garçons et filles du groupe expérimental. Sur la base de ces résultats, ces chercheurs recommandent que les enseignants de mathématiques du secondaire doivent être encouragés à l'utilisation des EAO pour l'enseignement - apprentissage des concepts mathématiques.

Au regard de ses différentes recherches consultées, il ressort que l'utilisation du logiciel peut avoir un effet sur la compréhension du concept mathématique des élèves et leur performance aux scores. Mais pour observer un impact positif de l'utilisation du logiciel dynamique de mathématiques sur les connaissances conceptuelles et procédurales des élèves, les apprenants doivent eux – même créer, déplacer, manipuler, tester et construire leurs propres connaissances (Vanderbrouk et Robert, 2017), en interagissant avec les multiples représentations de l'objet mathématique à l'aide du numérique. Mais également, les apprenants doivent avoir les connaissances requises au préalable (Ibid.) pour que l'utilisation du logiciel ait un effet positif et significatif sur les nouvelles connaissances conceptuelles et procédurales du concept mathématique et sur leur performance aux scores.

1.5 Attitudes des élèves et apprentissage des mathématiques avec le numérique

Cette étude s'intéresse également aux attitudes des élèves envers les mathématiques et l'apprentissage des mathématiques avec des outils numériques et leurs effets significatifs sur le processus d'apprentissage des concepts mathématiques et la performance des élèves. Plusieurs recherches consultées ont exploré l'effet des attitudes des élèves envers les mathématiques et l'apprentissage des concepts mathématiques dans un environnement numérique.

Pierce, Stacey et Barkatsas (2007) ont mené une recherche en Australie pour déterminer les changements affectifs résultant de l'utilisation du numérique et leur effet sur l'apprentissage des élèves du secondaire moyen. Les résultats ont montré que les EAO facilitent un apprentissage constructiviste et permettent à la majorité des élèves de développer

une attitude positive à l'égard des mathématiques et de son enseignement. Les chercheurs ont estimé que l'utilisation du logiciel peut aider les élèves à la résolution des problèmes mathématiques, leur apporter un soutien pour l'exploration de concepts mathématiques, leur fournir des représentations dynamiquement liées. Ils peuvent également encourager le développement des capacités métacognitives. Cette recherche porte en effet sur l'élaboration d'une échelle simple de mesure d'attitudes des élèves du secondaire moyen en vers l'apprentissage de mathématiques avec la technologie et pour rendre compte des réponses de 350 élèves de 6 écoles secondaires ayant participé à cette étude. L'échelle de mesure est composée de cinq (5) variables utiles à l'apprentissage de mathématiques, la confiance en mathématiques, confiance à la technologie, attitude d'apprentissage de mathématiques avec la technologie, l'engagement affectif et l'engagement comportemental dans l'apprentissage de mathématiques.

Reed, Drijever et Kirschner (2010) ont mené une étude aux Pays Bas pour déterminer les effets des attitudes et des comportements déclarés des élèves sur les processus et les résultats d'apprentissage de mathématiques avec le numérique. Un logiciel a été utilisé pour permettre aux élèves de développer des connaissances sur le concept de fonction. Les résultats de l'ensemble de l'échantillon de 521 élèves, ont révélé que les attitudes des élèves peuvent expliquer la différence entre les individus dans les résultats des tests. Ainsi, l'attitude générale à l'égard des mathématiques prédit de manière positive les résultats des tests. Les élèves les plus aptes et bien disposés pour les outils numériques obtiennent des résultats inférieurs. Les comportements auto – déclarés des élèves n'étaient pas liés aux résultats des tests. Les résultats, d'une observation détaillée d'un petit nombre d'élèves, soient 8 élèves, ont révélé que les attitudes positives à l'égard des mathématiques et des outils numériques pour faire les mathématiques augmentaient les comportements d'apprentissage, ainsi qu'une attitude positive à l'égard des outils numériques pour faire mathématiques et les comportements d'apprentissage favorisaient la maîtrise du numérique. Bien que la maîtrise des outils et les résultats des tests soient intimement liés, des processus de réflexion semblent médiés cette relation. L'expérimentation a été réalisée en deux phases. La première phase, elle a consisté à un échantillonnage de 521 élèves répartis dans vingt-trois (23) classes de deux écoles secondaires Belge et sept (7) néerlandaise. Les classes sélectionnées dans cette étude proviennent de 3 niveaux d'enseignement, l'enseignement professionnel, l'enseignement secondaire moyen et l'enseignement pré-universitaire et plusieurs classes ont combiné plus d'un de ces niveaux conformément à la réglementation. Onze (11) professeurs de

mathématiques ont volontairement participé à cette expérimentation. La deuxième phase, elle a consisté à une sélection des élèves pour obtenir des informations sur le processus d'apprentissage de fonction avec le numérique. Ainsi huit (8) élèves, quatre (4) garçons et 4 filles, de deux classes combinées des niveaux d'enseignement secondaire moyen et pré – universitaire. L'intervention pédagogique a consisté en huit (8) séances de cours avec le numérique qui a remplacé la méthode traditionnelle d'apprentissage habituellement utilisée par les élèves. Un contenu d'apprentissage composé des cahiers électroniques accessibles par internet sur des environnements interactifs et des cahiers d'exercices imprimés a été élaboré par l'équipe de recherche. Les tâches étaient présentées de manière à obliger les élèves de construire une chaîne d'opération en utilisant plusieurs registres de représentation de la fonction, écriture algébrique, tableau de valeurs, représentation graphique et des descriptions verbales. Pour permettre aux élèves de se familiariser à l'environnement interactif, quatre (4) leçons ont été structurées autour de son utilisation et des travaux à teneur limitée sur le fonctionnement de l'outil numérique ont été prévus dans les autres séances de cours. En plus chaque leçon comprenait une phase de travail collaboratif de la classe portant sur la discussion des résultats et de synthèse des points d'apprentissages. Ces chercheurs fournissent un aperçu sur l'influence des attitudes et comportements sur l'utilisation des outils numériques en apprentissage des concepts mathématiques en mettent en évidence la relation complexe qui existe entre l'utilisation du numérique, les processus d'apprentissage, les résultats d'apprentissage et les facteurs de médiation individuelle qui se traduit sous forme d'attitudes et de comportements d'apprentissage déclaratif et observable.

Ces chercheurs ont donc estimé que promouvoir l'apprentissage des mathématiques avec le numérique doit prendre en compte, en plus de la familiarisation de l'utilisation de l'outil numérique par les apprenants et la capacité des élèves à explorer efficacement les rétroactions du milieu numérique au cours de leur apprentissage (Artigue, Lenfant, & Roditi, 2003), d'autres facteurs, notamment l'amélioration de l'attitude des élèves, l'augmentation des comportements d'apprentissage et la possibilité suffisante de construire de nouvelles connaissances mathématiques dans le cadre d'un discours mathématique significatif.

En résumé, il ressort des différentes recherches précitées que l'utilisation des technologies numériques « en classe de mathématiques continue à se développer mais cette utilisation reste complexe et demeure régie par des incertitudes lors des mises en place avec les élèves même quand les séances sont bien préparées en amont » (Abboud, Clark-Wilson, Jones, & Rogalski, 2018, p2). Ses recherches mettent en évidence la nécessité de prendre en

compte plusieurs facteurs pour que l'utilisation du numérique ait un effet positif et significatif sur le processus d'apprentissage et la performance des élèves du secondaire moyen mobilisant le logiciel pour apprendre le concept mathématique de fonction. Notre recherche porte sur les avantages de l'utilisation du logiciel en enseignement – apprentissage des mathématiques pour améliorer la réussite scolaire des élèves du secondaire, particulièrement l'amélioration des connaissances du concept mathématique de fonctions, les processus d'apprentissage et les performances mathématiques des élèves du lycée pour mieux les préparer aux études supérieures. Il ressort de cette revue de littérature la complexe relation entre l'utilisation du logiciel, la maîtrise des fonctionnalités du logiciel de la dynamique de mathématiques, le niveau de connaissances conceptuelle et procédurale requis au départ pour l'apprentissage des fonctions au lycée, des processus et des résultats d'apprentissage du concept, des attitudes et comportements d'apprentissage déclarés et observables. Pour l'analyse les activités mathématiques instrumentées par Geogebra des élèves du secondaire dans le système éducatif nigérien, la double approche didactique et ergonomique a été adaptée à l'environnement d'apprentissage numérique (Vanderbrouk & Robert, 2017).

1.6 Le concept de fonction et son apprentissage

Le terme de fonction a été inventé par Leibniz, à la fin du XVII^e siècle mais depuis l'Antiquité le concept fonction apparaît des formes tables numériques pour exécuter les calculs par les Babyloniens ou des tables astronomiques pour déterminer les jours. Grâce au développement de la trigonométrie, le concept fut également utilisé sous forme de tables de cordes permettant ainsi aux hindous de déterminer l'équivalent des tables de sinus.

C'est au moyen Âge le concept de fonction ont commencé à émerger avec des idées du type fonctionnel et la fonction est définie soit par ses propriétés ou à partir d'un graphe. C'est à partir de la fin du XVI^e siècle que la relation fonctionnelle a été exprimée explicitement sous forme d'une formule algébrique. Descartes a ainsi exposé l'idée d'une équation entre x et y , pour introduire la notion de dépendance fonctionnelle c'est-à-dire la connaissance d'une valeur d'une variable permet de déterminer la valeur de l'autre variable. En effet, cette méthode de Descartes a constitué une étape importante dans le développement des mathématiques par l'application de sa méthode dans les résolutions graphiques des équations. C'est Leibniz qui a introduit le mot « fonction » pour désigner des quantités qui sont dépendantes d'une variable. Il a également introduit les termes de constante, de variable, de coordonnées et de paramètre en mathématiques. Néanmoins, on doit la notion d'une fonction

à une variable ou à plusieurs variables à Bernouilli et l'introduction de notion de fonction sous forme algébrique de x . Euler a été le premier mathématicien qui a étudié toutes les fonctions élémentaires. Il a également distingué les fonctions qui a une valeur de la valeur donnent une seule image de celles qui donne plusieurs images pour distinguer les fonctions explicites des fonctions implicites. C'est également Euler qui a introduit pour la première fois la notation $f(x)$ et qui est utilisé pour dénoter une fonction de la variable X .

Dans les mathématiques modernes la fonction est définie par une relation entre un ensemble. Le concept de fonction est abordé dans le programme de mathématiques des élèves du lycée. Il est abordé à partir des notions de domaines définition, d'image, d'antécédent, de limites, de variation, de dérivée et de graphique.

Parmi les obstacles à l'apprentissage du concept de fonctions que les élèves rencontrent au lycée on peut citer : connaître les caractéristiques des registres de représentation de la fonction numérique, l'utilisation de jeu des registres des représentations d'une fonction pour résoudre des problèmes mathématiques, faire des conjectures des résultats algébriques ou graphiques d'une fonction (Bloch, 2003 ; Lagrange et Psycharis, 2013).

Pourtant pour l'enseignement du concept de fonction est introduit depuis le primaire par le calcul des aires et des volumes, puis au collège par les calculs de proportionnalités, des équations et des fonctions élémentaires, les élèves continuent à rencontrer des difficultés lors de l'enseignement de ce concept au lycée.

2 Cadre théorique

Le cadre théorique de notre recherche est à la croisée de trois champs, les TICE, la didactique professionnelle et la didactique de mathématiques. Ainsi la problématique de cette recherche tourne autour de d'usage pédagogique du logiciel d'apprentissage dynamique par l'enseignant pour actualiser ces pratiques professionnelles et améliorer l'efficacité de l'apprentissage des élèves du lycée.

Avant d'arriver au cadre théorique de cette étude, les concepts clés de cette recherche sont présentés à travers une recension d'écrits sur le développement professionnel comme une perspective professionnalisante, l'intégration du numérique dans le système éducatif, l'usage pédagogique du numérique pour soutenir l'apprentissage des concepts mathématiques des élèves.

2.1 Éléments de cadrage de notre recherche

2.1.1 Le développement professionnel de l'enseignant

Le développement professionnel des enseignants est devenu un sujet très présent dans les recherches en éducation. Ainsi, le développement professionnel est considéré comme une recherche d'efficacité faite par l'enseignant sur ses pratiques d'enseignement tout au long de sa vie à travers un processus de développement d'invariants dans l'activité située dans un contexte matériel et symbolique spécifique tout en prenant en compte l'inscription institutionnelle permettant à l'enseignant de construire une expertise professionnelle (Jeannin, Veillard, et Tiberghien, 2010). Pour ainsi dire, Il étudie, évalue et analyse de manière perpétuelle son travail et ses activités dans le but de les réajuster, de les renouveler pour rendre ses pratiques enseignantes plus efficaces ou d'apporter des remédiations lorsque des difficultés des élèves se présentent en lui. Day (1999), Lieberman et Miller (2001) précisent que le développement professionnel des enseignants est un processus non seulement constitué de la formation initiale et continue, mais aussi de l'interaction avec les pairs et par la réflexivité dans les situations professionnelles ou personnelles. Autrement dit l'enseignant développe son activité professionnelle de manière formelle à travers de dispositif de formation continue (unité pédagogique) ou informelle par les discussions avec les collègues, des expériences en dehors de l'école, des échanges de bonnes pratiques entre enseignants tout au long de son parcours professionnel. L'objectif visé par ses activités quotidiennes de l'enseignant, à travers ses actions et ses réflexions individuelles ou collectives, est l'amélioration de ses prestations en classe (Charlier et Daele, 2006).

En outre, Wells (1993) considère que le développement professionnel des enseignants comme une diversité de formes d'apprentissages professionnels au cours duquel l'enseignant s'engage librement à prévoir des solutions aux problèmes qu'il rencontre ou à concevoir des nouvelles pratiques et de nouvelles compréhensions de leur enseignement pour soutenir l'apprentissage des élèves (Brodeur, 2005). Selon Lieberman (1996, citée par Day, 1999) ces situations d'apprentissage professionnelles peuvent être formelles ou informelles, individuelles ou collectives (en interaction), à l'intérieur ou en dehors du contexte scolaire, en entendant des collègues parler de nouvelles pratiques d'enseignement, par l'implication des organes de décisions de son école, par la participation à des réseaux professionnels, dans le cadre des formations continues formelles, dans des situations informelles en classe ou en dehors de l'école, dans des groupes de travail à propos de réformes de l'enseignement, en

partenariats avec des institutions, par participation dans des centres de développement professionnel ou dans des groupes informels.

Par contre, Day, Bullough et Gitlin (1991), Lieberman et Wood (2001) ou Clark et Florio-Ruane (2001), affirment que les formations continues d'enseignants se centrent davantage sur des contenus (savoirs et savoir-faire) plutôt que sur les enseignants en tant que professionnels évoluant dans un contexte particulier de ce fait ces formations ne prennent pas en considération l'identité professionnelle de l'enseignant et ne touchent qu'à certains aspects du développement professionnel. C'est pourquoi Hargreaves et Fullan (1992 cités par Umayarami & Mulamurera, 2005) affirment que l'enseignant acquiert des connaissances dont il a besoin pour apprendre et maîtriser son métier, lorsqu'il y a coopération, collaboration et culture collective qui caractérisent le groupe d'enseignants. Ce processus d'acquisition de savoirs permet à l'enseignant de sortir de son isolement pour s'engager dans un travail collaboratif qui doit lui permettre de participer à un groupe ou à une communauté de travail afin de développer des dimensions réflexives garantes du développement professionnel des enseignants.

Donnay et Charlier (2006) affirment que le développement professionnel d'un enseignant est étroitement lié à son développement personnel. Il existe clairement un lien entre le développement professionnel et la construction et la clarification de l'identité personnelle de l'enseignant. *L'introduction des technologies numériques en éducation apparaît comme une opportunité pour développer de nouvelles approches pédagogiques visant l'amélioration de la qualité de l'enseignement de l'enseignant sur le terrain et l'apprentissage des élèves.*

En résumé, l'enseignant doit être capable de proposer à ses élèves des activités engageantes de sorte que les élèves soient engagés dans leur apprentissage, qu'ils puissent développer leur intérêt pour les mathématiques et développer des capacités en matière de résolution de problèmes. *C'est donc à l'enseignant de mathématiques de trouver la meilleure utilisation du logiciel de mathématiques qui sera au service des apprentissages de leurs élèves (Bétrancourt, 2017).*

2.1.2 Les modèles d'apprentissage et le numérique en éducation

Cette partie présente les modèles d'apprentissage selon quatre (4) courants : le modèle transmissif, le modèle behavioriste, le modèle constructiviste et le modèle socioconstructiviste.

Les différents modèles d'apprentissage fournissent les principes sur lesquelles s'appuieront et se mettront en œuvre l'apprentissage des concepts mathématiques par l'élève en utilisant le numérique.

2.1.2.1 Le modèle transmissif

Le modèle transmissif appelé aussi modèle d'enseignement direct est le modèle pédagogique le plus pratiqué dans les institutions éducatives et principalement dans l'enseignement secondaire (Faillet, 2014). Selon Barnier (2009), dans ce modèle, l'enseignant dispense le cours c'est-à-dire il expose et explique à l'ensemble des élèves un point du programme alors que ces derniers écoutent et prennent des notes sous la dictée de l'enseignant.

L'apprentissage était considéré comme un processus qui consiste à acquérir continuellement de nouvelles connaissances alors le rôle de l'enseignant est déterminant. C'est à lui de transmettre le savoir à ses élèves par son discours, ses exposés et ses démonstrations. En ce sens, il effectue un double travail centré sur les exigences de la discipline à enseigner. D'une part un travail de transposition didactique pour rendre le savoir savant en savoir à enseigner et d'autre part de mise en progression en fonction du programme. Selon Gagnebin, Guignard et Jaquet (1997, p.36) cité par Faillet (2014) « *pour apprendre, l'élève doit être attentif, écouter, suivre, imiter, répéter et appliquer* ». Même dans ce modèle « *l'acquisition d'automatismes, enseigner revient à inculquer des comportements, des attitudes, des réactions, des gestes professionnels* » Barnier (2009, p. 2). Pour être efficace, ce modèle requiert des élèves un prérequis nécessaire pour capter le discours de l'enseignant, un esprit d'écoute et une certaine motivation.

2.1.2.2 Le modèle behavioriste

Le behaviorisme est un terme créé en 1913 par l'Américain Watson à partir du mot « behavior » qui signifie comportement mais on doit les premières réflexions de ce modèle à

Skinner (Ourghanlian, 2006). Ce courant théorique de l'apprentissage a fortement marqué les domaines de l'éducation, de l'enseignement et de la formation.

Ce modèle considère les structures mentales comme une boîte noire à laquelle on n'a pas accès directement et qu'il est donc plus réaliste et efficace de s'intéresser aux « entrées » et aux « sorties » qu'aux processus eux-mêmes Barnier (2009). L'acquisition des connaissances s'effectue par paliers successifs et le passage d'un niveau à un autre s'opère par le renforcement positif des réponses et comportements attendus. Le rôle de l'enseignant s'attache à définir les connaissances à acquérir par les élèves non pas par des verbes mentalistes comme comprendre, savoir, réfléchir mais par des verbes d'action tels que distinguer, nommer, reconnaître etc. Dans ce contexte, le travail de l'enseignant est centré sur l'élève et sur la tâche intellectuelle que celui – ci doit réussir. En ce sens, il est attendu des élèves des comportements précis leur permettant d'identifier leurs erreurs et de travailler à les rectifier. Ce modèle privilégie « *le rapport aux élèves, enseigner revient à faire apprendre, faire étudier, guider, accompagner les élèves dans les mises en activité que l'on propose* » Barnier (2009, p. 3)

2.1.2.3 Le modèle constructiviste

Le modèle constructiviste développe une théorie de l'apprentissage selon laquelle les connaissances se construisent par ceux qui apprennent. Il valorise les activités d'apprentissage en mettant l'élève en position centrale dans l'acquisition des connaissances. Ainsi la situation d'apprentissage de base est la situation problème. Resnick (cité par Juhsua et Dupin, 1993, p. 92) suppose que « *l'apprentissage résulte de constructions mentales de l'apprenant* » ce qui implique que dans ce modèle d'apprentissage l'élève est toujours activement engagé dans le processus d'apprentissage pour élaborer ses connaissances (Dubois et Dagau, 2007). C'est pourquoi Piaget (cité par Juhsua et Dupin, 1993, p.93) affirme que « *l'enfant contribue activement à la construction de sa personne et de son univers* ». La situation problème, étant un outil pédagogique, favorise le développement d'un conflit cognitif capable de générer des changements conceptuels et de faire progresser les élèves.

Dans son aspect central, le modèle constructiviste se base sur une théorie de l'apprentissage mettant en profit la production d'un conflit cognitif par confrontation d'un apprenant à une situation problème, ce qui provoque un effet de déstabilisation capable de provoquer chez l'apprenant une réorganisation de ses connaissances (Altet, Pare-Kabore et Nacuzon, 2015) ou l'acquisition de nouveaux savoirs et savoirs – faire (Barnier, 2009). Cette

perspective a pour effet de modifier la conception traditionnelle de l'apprentissage puisque les savoirs ne peuvent plus être envisagés d'un point de vue extérieur ou bien détaché de celui qui les établit.

Dans cette optique, le rôle de l'enseignant est moins déterminant dans le processus d'acquisition du savoir pour ses élèves du moment où il doit accorder la priorité aux questions que les élèves se posent (Altet, Pare-Kabore et Nacuzon, 2015).

2.1.2.4 Le modèle socioconstructiviste

Le modèle socioconstructiviste ou socio-cognitivist est une théorie d'apprentissage qui introduit à l'approche constructiviste une dimension supplémentaire à savoir celle des interactions, des échanges, du travail de verbalisation, de Co – construction, de Co – élaboration (Barnier, 2009). En ce sens, l'apprentissage est considéré comme les produits d'activités sociocognitives qui sont liées aux échanges didactiques entre enseignant – élèves et entre élèves – élèves.

L'acquisition des connaissances passe par un processus appropriation des savoirs par l'apprenant à partir d'une démarche constructive allant des connaissances interpersonnelles (social) vers des connaissances intra – personnelles (individuelle) (Altet, Pare-Kabore et Nacuzon, 2015). Dans ce modèle d'apprentissage, une nouvelle connaissance acquise peut être propre à un individu (subjective) soit commun à un groupe (objective) et ces deux formes de connaissances contribuent chacune au renouvellement de l'autre (Gilly, 1995). Une connaissance subjective ou création personnelle du sujet peut être reconstruite par le sujet vers une connaissance objective ou acceptée par un groupe qui par la suite sera intériorisé par les sujets durant leur apprentissage pour laisser place à une nouvelle connaissance subjective.

Dans cette optique, l'interaction sociale joue un rôle dans le processus d'apprentissage des élèves " *les interactions dans lesquelles un sujet naïf est aidé par un sujet expert (adulte ou enfant plus avancé que le naïf) dans l'acquisition d'un savoir ou d'un savoir-faire* " (Gilly 1995, p. 136). Ainsi les élèves construisent un savoir, n'ont pas parce que l'enseignant transmet des connaissances à travers une confrontation de l'apprenant à des situations problèmes mathématiques mais plutôt par les interactions sociales entre enseignant – élèves et entre élèves – élèves.

2.1.2.5 Les modèles d'apprentissage pour concevoir des dispositifs d'apprentissage avec le numérique

La rencontre entre le numérique et les modèles d'apprentissage a permis aux spécialistes de technologies éducatives de faire émerger des nouvelles approches pour opérationnaliser ces modèles vers la conception des dispositifs adaptés (Depover et al., 2007). Ainsi, l'utilisation des logiciels d'apprentissage doit se reposer sur l'évolution d'un scénario d'apprentissage permettant une adéquation entre la conception du dispositif d'apprentissage et l'approche pédagogique (de Vries, 2001). C'est dans cette perspective que des chercheurs en sciences de l'éducation ont cherché à mettre en évidence, à travers des approches d'analyse, les liens complexes de potentialités cognitive des logiciels d'apprentissage et leurs effets sur la conception des dispositifs d'apprentissage pouvant servir de référence à une utilisation appropriée de ces outils à potentiel cognitif. Depover et al. (2007) ont examiné les liens possibles entre les modèles d'apprentissage et le numérique en éducation. Ces auteurs ont établi que :

- Le numérique éducatif peut être assimilé au fonctionnement de la classe ordinaire. Dans cette approche, l'utilisation qui sera faite du numérique dépend ainsi de la conception de l'apprentissage de l'enseignant.
- Le numérique éducatif peut être considéré comme un vecteur de changement. Dans cette approche l'utilisation du numérique éducatif peut créer un déséquilibre favorisant ainsi le changement sur le plan des pratiques pédagogiques et d'un apprentissage qui peut favoriser l'engagement des élèves.
- Le numérique éducatif peut être considéré comme outil à potentiel cognitif incarnant la richesse des modèles d'apprentissage qui peuvent être mis en œuvre en situation de classe. Dans cette approche, il consiste à la conception des environnements d'apprentissage constructivistes conformes aux ambitions des spécialistes de l'enseignement et qui prend en compte la dimension interactive à l'aide du numérique dans le processus d'apprentissage.
- Le numérique peut être considéré comme facteur pour opérationnalisation des modèles d'apprentissage permettant de favoriser l'apprentissage. Dans cette approche, il consiste à la conception des environnements d'apprentissage constructiviste capable de soutenir l'apprentissage des élèves individuellement en permettant en compte l'interaction sociale.

2.1.2.6 Vers un modèle d'usage pédagogique des outils à potentiel cognitif.

Le modèle d'usage pédagogique des outils à potentiel cognitif a été développé par Depover, Karsenti et Komis (2007). Pour construire ce modèle, ces auteurs partent de la différence entre un outil à potentiel cognitif (OPC) et un outil cognitif (OC). Selon ces auteurs un outil à potentiel cognitif désigne tout simplement un environnement informatique ayant des caractéristiques propres pour des usages pédagogiques qui peuvent entraîner des effets cognitifs positifs. L'outil cognitif qu'en lui, il désigne tout environnement informatique dont les effets cognitifs ont été vérifiés dans un contexte donné et pour un certain nombre d'usages pédagogiques (Depover et al., 2007). Pour ces auteurs, l'aménagement efficace du contexte humain et matériel par l'enseignant joue un rôle important dans l'engagement des élèves dans le processus d'apprentissage avec l'outil à potentiel cognitif, ce qui conduit ces derniers au développement de *compétences d'ordre cognitif* comme la résolution des problèmes, *social* comme apprendre à travailler avec les autres, *métacognitif* comme mettre en œuvre des méthodes efficaces et *affectives* comme développer son attitude ou sa motivation.

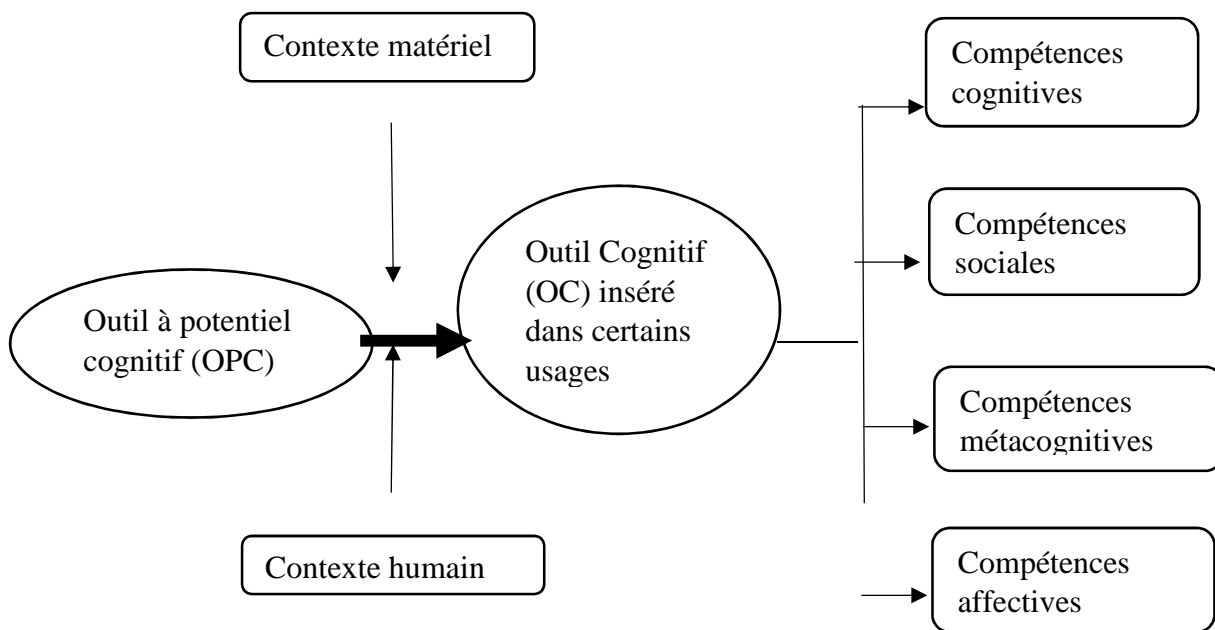


Figure 4: Le modèle d'usage pédagogique des outils à potentiel cognitif de Depover, Karsenti et Komis (2007)

La **figure 3**, présente le schéma de ce modèle d'usage pédagogique des outils à potentiels cognitifs, comme les logiciels dynamiques de mathématiques. Dans ce modèle, pour que l'utilisation du logiciel dynamique de mathématique comme Geogebra puisse avoir un effet positif sur l'apprentissage des élèves, il faut que l'enseignant propose à ses élèves un environnement d'apprentissage structuré. C'est-à-dire un environnement d'apprentissage qui

prend en compte l'utilisation efficace des fonctionnalités du logiciel par les élèves au cours de leur apprentissage. Mais aussi un environnement d'apprentissage dynamique, qui rend possibles toutes les formes des interactions sociales.

Dans le contexte de notre étude, ce modèle permettra d'observer les variables associées à l'utilisation pédagogique du potentiel cognitif de Geogebra au cours de l'apprentissage des élèves et les effets cognitifs produits. Les contextes matériel et humain, s'ils sont réunis, à savoir si l'environnement de l'apprentissage avec Geogebra est aménagé par les enseignants pour prendre en compte, les formes d'interactions sont possibles entre l'élève et l'outil Geogebra mais aussi les formes d'interactions sociales entre enseignant/élèves et entre les élèves. Dans ce contexte les élèves s'engagent dans les tâches mathématiques proposées avec le logiciel.

2.1.3 L'enseignement et l'apprentissage des mathématiques au secondaire

L'efficacité d'un enseignement mathématique se mesure non seulement à la capacité qu'acquiert les apprenants de résoudre des problèmes généraux relevant du domaine de l'enseignement reçu, mais aussi et surtout dans leur habileté à transférer ces connaissances dans la résolution de problèmes de la vie courante (Boro, 2011). Pelpel (2002) présente l'apprentissage comme une transformation progressive des idées et représentations par l'acquisition d'outils intellectuels permettant d'appréhender des situations réelles dans toute leur complexité. De ce fait, le rôle de l'enseignant de mathématiques serait donc de susciter et faciliter chez l'élève cet apprentissage qui se traduit par l'acquisition des compétences mathématiques. Verschaffel et De Corte (2005) décrivent la compétence mathématique comme « *une disposition à mathématiser le réel* ». À ce propos, un reproche couramment adressé à l'enseignement des mathématiques en Afrique est celui de transmettre des connaissances inadaptées aux besoins locaux et le Niger ne fait pas exception. Même si la loi d'orientation de l'éducation du Niger (MEN, LOSEN 1998) précise que le système éducatif de ce pays vise « *le développement des capacités intellectuelles, physiques et morales, l'amélioration de la formation en vue d'une insertion sociale et professionnelle et le plein exercice de la citoyenneté* ». Le nouveau programme de mathématiques de 2015 donne plus de précision sur le but de l'enseignement général des mathématiques au secondaire au Niger à savoir qu'il vise à « *favoriser les conditions pour le développement technologique, culturel et économique du pays, à faire acquérir aux futurs cadres des compétences leur permettant d'exercer leur citoyenneté...* » (Programme maths, 2015). Pourtant, l'enseignement

secondaire général visant la préparation des apprenants à la poursuite d'études ultérieures à travers l'acquisition de connaissances générales, ceux qui en sortent ont généralement peu d'aptitude à transférer ces connaissances dans la résolution de problèmes concrets.

L'enseignement secondaire a pour rôle de consolider les acquis de l'enseignement du primaire et de fournir à l'élève des outils pour la poursuite d'études supérieures ou contribuant à la formation de ressources humaines. Les mathématiques sont « *l'exercice de base du mécanisme intellectuel* » (Gasquet, 1991, p. 11), elles sont constituées d'outils fondamentaux pour la représentation et le raisonnement permettant à l'élève de progresser en apprentissage (Ibid., p.11). Depuis les mathématiques classiques jusqu'aux programmes actuels en passant par les mathématiques modernes, les soucis de l'école ont toujours été de former du mieux possible l'apprenant à l'efficacité des mathématiques tout en réduisant les taux d'échec. Les contenus aussi bien que les pratiques et les approches théoriques d'enseignement et d'apprentissage sont continuellement revues et rénovés dans ce souci, et la pédagogie ne cesse d'évoluer tendant de plus en plus vers une approche par compétences.

2.1.4 Intégration du numérique dans le système éducatif secondaire

La recherche d'une intégration réussie du numérique dans le système éducatif cadre avec les exigences en matière de compétences de l'environnement actuel où l'un des objectifs fondamentaux de l'éducation est la formation des personnes compétentes et compétitives sur le marché de l'emploi qui devient de plus en plus exigeant. C'est à ce titre que le numérique peut être un atout sur lequel compter pour atteindre cet objectif et particulièrement dans des pays en voie de développement pour mettre en place un enseignement dispensé sur la base de l'égalité de chances pour tous et un enseignement de qualité contribuant ainsi à l'intégration sociale des citoyens et au développement économique du pays. D'où l'urgence de l'intégration du numérique en éducation de manière effective et efficiente au Niger.

2.1.4.1 Approche d'intégration du numérique dans l'éducation secondaire

L'intégration au sens large selon Legendre (1993), peut être définie comme un processus qui consiste à faire interagir divers éléments dans un système et a des échelles de plus en plus élevées. Le concept de technologies de l'information et de la communication (TIC) ou le numérique fait référence aux équipements technologiques du type numérique pouvant servir d'outils pédagogiques comme par exemple l'ordinateur, la tablette numérique, le téléphone mobile, le téléphone intelligent, le serveur, la caméra vidéo numérique, le

scanneur, le projecteur, le lecteur de cédéroms, le lecteur de DVD, le graveur, l'imprimante, le modem, les logiciels, et la connexion internet pour ne citer que ceux-là.

L'intégration du numérique dans l'éducation signifie une cohésion harmonieuse entre les outils numériques et tous les maillons intervenant dans la chaîne éducative afin de produire un enseignement et un apprentissage de qualité. C'est ainsi, chaque acteur de la chaîne de l'éducation devra être capable d'utiliser le numérique de manière efficace et efficiente pour réaliser la tâche qui lui est attribuée. Pour justifier cette affirmation Dias (1999) affirme que les technologies numériques sont intégrées lorsqu'elles sont utilisées de manière continue pour soutenir les objectifs du programme scolaire et pour engager les élèves dans un apprentissage significatif. Allant dans le même sens les chercheurs tels que Hadley et Sheingold (1993), Parks et Pisapia (1994), Depover et Strebelle (1996) estiment que pour parler de l'intégration du numérique dans l'éducation, il devrait être utilisé de manière quotidienne, habituelle, régulier ou fréquent.

D'autres chercheurs tels que Fonkoua et al. (2006) ont affirmé que l'intégration du numérique en éducation, ne s'agit pas tout simplement de faire entrer les ordinateurs dans les écoles sans que les pratiques pédagogiques ne changent. D'autres chercheurs allant dans le même sens expliquent que l'intégration des TIC en éducation n'est pas seulement le fait de placer les équipements dans les classes (Bray, 1999 ; Dockstader, 1999), encore moins utiliser les ordinateurs (Dias, 1999); ni utiliser des logiciels sans but précis (Dockstader, 1999) et non plus enseigner comment utiliser les TIC (Bailey, 1997). L'enjeu important est surtout la question de l'appropriation des technologies numériques pour améliorer les pratiques pédagogiques.

Ainsi François (2000) propose une définition prenant en compte les préoccupations des chercheurs précités en disant que l'on parle de l'intégration du numérique en éducation quand l'outil informatique est mis au service des apprentissages de manière efficace. L'efficacité dont ce chercheur fait allusion est celle qui permet à l'enseignant de faire mieux que ce qu'il fait déjà ou lui permet d'enseigner autrement (Gregoire, Bracewell et Laferrière, 1996).

Selon Lauzon, Michaud et Forgette-Giroux, (1991) (citée par Raby, 2004, p. 20), il existe deux types d'intégration du numérique dans le système éducatif à savoir l'intégration physique et l'intégration pédagogique. En ce qui concerne l'intégration physique, ces chercheurs affirment qu'elle « *consiste à placer les équipements technologiques à la*

disposition des enseignants et des élèves et à amener ces deux groupes à s'en servir occasionnellement en vue de répondre aux demandes pédagogiques ponctuelles du milieu ». Allant dans le même sens Bray (1999) affirme que le simple fait de placer des outils numériques dans le laboratoire informatique ou la classe ne signifie pas que les enseignants sauront comment les utiliser ou que la pratique pédagogique sera améliorée par leur simple présence. De nombreux chercheurs comme Depover et Strebelle (1996); Dias (1999), conviennent tout de même que l'intégration physique est incontournable au prélude de l'intégration pédagogique mais seule cette dernière doit être visée par l'implantation du numérique en milieu scolaire. Dans la même perspective IsaBelle (2002) a affirmé que c'est l'aspect pédagogique qui est la pierre angulaire pour la réussite ou l'échec de l'intégration pédagogique des technologies numériques. En d'autres termes, l'intégration des technologies numériques dans le système éducatif est le fait de leur utilisation efficace et efficiente dans le processus d'enseignement-apprentissage. C'est-à-dire une intégration pédagogique des TIC réussie.

En résumé, l'intégration des TIC dans un système éducatif peut demeurer au niveau physique ou bien évoluer vers le niveau pédagogique, tout dépendant de l'appropriation faite par les enseignants. Il est donc important de conclure que l'intégration physique du numérique, qui consiste à mettre à la disposition des acteurs du système éducatif des outils numériques dont ils peuvent occasionnellement se servir n'est pas une approche suffisante pour améliorer la qualité de l'enseignement, mais plutôt il faut une intégration pédagogique qui prône une utilisation effective et efficace des outils numériques dans le processus d'enseignement et d'apprentissage. Ce qui amène à la question sur les méthodes d'intégration du numérique en éducation.

2.1.4.2 Les méthodes d'intégration des TIC dans le système éducatif

Il ressort des écrits de Depover, (1996) qu'il existe deux principales manières d'intégrer le numérique dans un système éducatif soit le top-down c'est-à-dire du sommet vers le bas, soit le bottom-up à savoir de la base vers le sommet.

Le top-down ou approche descendante est une technique d'intégration qui fait intervenir des décisions politiques pour initier l'intégration pédagogique en éducation. Les décisions sont prises par la hiérarchie et font l'objet de décrets définissant ses modalités d'application sur le terrain. De prime abord, on serait tenté de dire que c'est la meilleure

approche d'intégration, puisqu'elle vise le changement de tout le système éducatif, et semble de ce fait plus apte à entraîner des modifications au sein du curriculum puisque se fondant sur une décision centrale imposable à tous. Mais dans les faits, cette approche se heurte rapidement à la résistance des enseignants de terrain qui, par leurs pratiques refusent de légitimer un outil numérique dont les apports aux disciplines restent encore largement à démontrer et dans lequel a priori ils ne trouvent aucun intérêt. Par contre le bottom-up ou approche ascendante est la technique d'intégration par laquelle l'initiative d'intégration des TIC dans le système et notamment dans un établissement est le fait des acteurs directs de l'éducation les enseignants. Cette approche se caractérise par la conception par les enseignants de projets innovants, dans le but d'utiliser le numérique dans leurs enseignements et d'inciter leurs élèves à les utiliser également. Ces projets sont ceux qui ont une chance de succès, s'ils sont entrepris par tous les enseignants au même moment. À ce sujet, l'une des caractéristiques d'un environnement fertile au changement est le fait que les initiatives doivent surgir de la base pour aller vers le sommet à travers des contributions de chacun aussi minime soit-elle (Cavallo, 2004). Mais force est de constater que le fait qu'il ne s'agisse que d'initiatives personnelles et généralement individuelles où les enseignants ne démontrent pas tous la même motivation à utiliser le numérique dans les activités d'enseignement – apprentissage, ne permet pas d'obtenir un impact significatif dans le système éducatif.

En résumé, l'intégration du numérique en éducation peut commencer soit par le sommet, soit par la base selon la politique éducative adoptée dans un système éducatif mais tout dépend de l'appropriation faite dans le contexte africain (Moussa, 2011).

2.1.5 Le changement de pratique enseignante et des activités mathématiques des élèves avec le numérique

Les conclusions de nombreuses recherches ont montré que l'usage des TIC dans l'enseignement peut apporter des bénéfices (Balanskat, Blamire et Kefala, 2006 ; Kulik, 1994 ; Machin, McNally et Silva, 2006). Ainsi, le numérique peut offrir des nombreux moyens pour améliorer l'enseignement - apprentissage dans la classe (Lefebvre, Deaudelin et Loiselle, 2006). Pour Raby (2004), l'intégration pédagogique des TIC suppose une utilisation des technologies numériques pour soutenir et améliorer la qualité d'enseignement et de l'apprentissage. Cette utilisation des TIC en éducation doit être « *habituelle et régulière des TIC en classe par les élèves et les enseignants, dans un contexte d'apprentissage actif, réel et significatif* » (Ibid., p. 23). Une intégration réussit des TIC en éducation peuvent donc

contribuer à l'amélioration de la qualité de l'enseignement et l'apprentissage, à augmenter le taux de réussite scolaire, à renforcer la motivation des apprenants et leurs persévérances (Karsenti, 2006 et Glorya, 2005).

De ce fait, l'intégration des TIC en éducation suppose une remise en cause des méthodes traditionnelles centrées sur l'enseignement, et qui se reposent sur la transmission de connaissances par l'enseignant. L'utilisation des TIC dans l'enseignement bouleverse les pratiques pédagogiques en ramenant l'élève au centre de l'apprentissage, ce qui du coup affecte les activités des élèves et de l'enseignant en transformant profondément leurs rapports respectifs au savoir. À cet effet, les élèves peuvent bénéficier de différentes manières de l'intégration des TIC en éducation. Des nouvelles possibilités d'apprentissage sont fournies pour les élèves dans un environnement numérique engageant les élèves de différents niveaux de compréhension dans des tâches mathématiques et des activités (Hollebrands, 2007, Vanderbrouk & Robert, 2017 ; Abboud, Robert, Rogalski, et Vandebrouck, 2017). En plus, la visualisation des concepts mathématiques et leur exploitation dans un environnement multimédia peuvent favoriser la compréhension des élèves d'une nouvelle manière. Dans sa recherche Van Voorst (1999) a rapporté que les TIC aident les élèves à mieux visualiser certains concepts mathématiques. Il affirme également que les TIC sont utiles pour aider les élèves à considérer les mathématiques non pas comme un ensemble de procédures passives mais actives permettant le raisonnement, l'exploration, la résolution de problèmes, générer de nouvelles informations et se poser des nouvelles questions.

Il ressort également que l'intégration des TIC dans l'enseignement de mathématiques peut permettre aux enseignants d'adapter leur enseignement et les méthodes d'enseignement de manière efficace aux besoins de leurs élèves. Ainsi en intégrant les TIC dans leur pratique de l'enseignement quotidienne, ils peuvent offrir des possibilités créatives pour soutenir l'apprentissage des élèves et favoriser l'acquisition de connaissances et de compétences mathématiques. D'une part, les élèves doués peuvent être pris en charge plus efficacement que jamais en favorisant leurs intérêts individuels et leurs compétences mathématiques. D'autre part, les élèves les plus faibles peuvent être fournis avec des activités qui répondent à leurs besoins particuliers et les aider à surmonter leurs difficultés individuelles. C'est ainsi, les élèves peuvent développer et démontrer une meilleure compréhension des concepts mathématiques et seront capables de traiter des contenus mathématiques plus avancés que l'enseignement dans un environnement traditionnel.

À cet effet, plusieurs conditions sont nécessaires pour la réussite de tout projet d'intégration des TIC dans le système éducatif. Peraya et Viens (2005) affirment que « *Maîtriser l'outil ne revient pas à maîtriser la démarche d'intégration pédagogique* ». L'intégration physique est certes une condition fortement indispensable à toute intégration réussie de TIC en éducation comme l'installation de matériels, d'équipement technologiques et la mise en disposition en quantité et en qualité des logiciels et contenus numériques éducatifs mais c'est surtout l'intégration pédagogique qui conditionne la réussite de l'intégration des TIC en éducation (Karsenti, 2009). Cette intégration pédagogique est constituée sur deux facteurs importants à savoir enseigner avec les TIC nécessitant une pédagogie innovante basée sur des activités pédagogiques dans un environnement technologique qui favorise la collaboration entre enseignants, entre enseignant et élèves et entre les élèves. Amemado (2010) a eu à le souligné dans ses travaux, que cette intégration pédagogique des TIC a limité le rôle de transmettre de l'enseignant en privilégiant une méthode d'apprentissage plus active et participative des apprenants. Le second facteur est relatif au développement professionnel des acteurs en matière d'utilisation efficace des TIC dans leurs enseignements (Pelgrum et Anderson, 2001). Il est important de souligner que le niveau de compétences des enseignants en TIC ne doit pas se limiter uniquement au développement de qualifications en alphabétisation informatique mais plutôt de leur permettre d'utiliser de manière efficiente et efficace les TIC en éducation et de façon professionnelle et durable (Farelle et Shafika, 2007).

En résumé, l'enseignement de mathématiques à l'instar d'autres disciplines de l'éducation a été fortement influencé par l'intégration du numérique. Des nombreuses études ont été menées pour étudier la réussite de l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques de la question du développement des matériels didactiques, aux pratiques d'enseignement, à la conception des activités de développement professionnelles des enseignants. Dans leur étude Hoyles et Lagrange (2010) ont reconnu que la qualité du développement professionnel des enseignants de mathématiques est un facteur clé de toute évolution possible de l'intégration des TIC dans les systèmes éducatifs. C'est ainsi des chercheurs comme Lagrange et al. (2003) sont devenus plus conscients de l'importance du rôle de l'enseignant pour la réussite des élèves.

2.1.6 Le numérique éducatif pour la construction d'apprentissage socioconstructiviste

Le modèle d'apprentissage socioconstructiviste a été développé par Lev Vygotski en 1934 en s'appuyant sur le modèle constructivisme de Piaget, élaboré dès 1923. Le socioconstructivisme peut être défini comme une approche selon laquelle l'acquisition de connaissances durables est favorisée par la prise en compte du champ social dans laquelle elle est située. Particulièrement appropriés à cet égard, on trouve les processus de communication se produisant dans les situations où il y a au moins deux personnes essayant de résoudre un problème. Le monde social d'un apprenant est un concept central dans le socioconstructivisme. Il inclut les gens qui affectent directement cette personne, y compris des enseignants, collègues, apprenants, administrateurs, et participants à toutes les formes d'activités pédagogiques.

Le socioconstructivisme introduit dans la construction des savoirs une dimension supplémentaire, celle des interactions sociales multiples, des échanges, de co-construction, de Co-élaboration, etc.

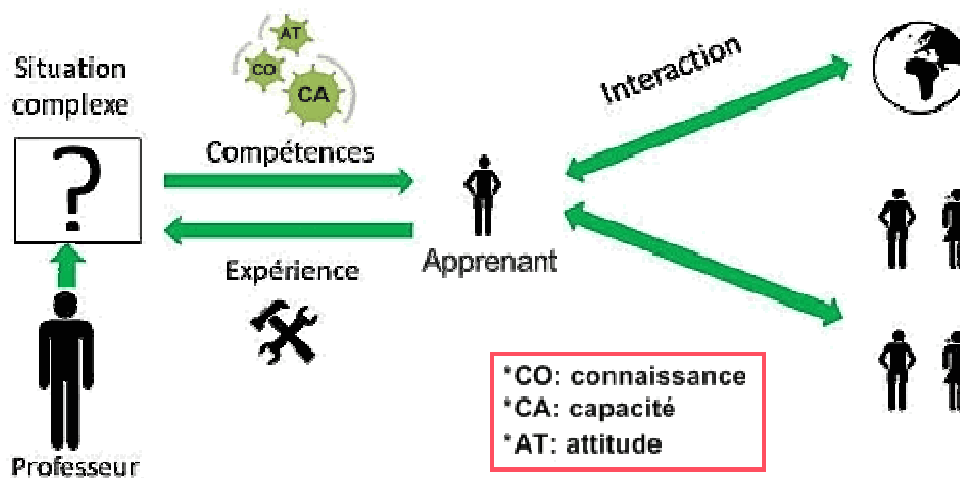


Figure 5: Modèle socioconstructiviste

La **figure 5**, présente l'apprentissage selon le modèle socioconstructiviste. Dans ce modèle, l'apprentissage des élèves est davantage comme le produit d'activités sociocognitives liées aux échanges didactiques enseignant-élèves et élèves-élèves tout en privilégiant la relation existant entre les trois pôles à savoir le savoir, l'enseignant et l'apprenant.

Ce modèle est important dans notre travail de recherche, puisqu'il permet de prendre en compte la complexité de l'apprentissage des mathématiques des élèves avec Geogebra. Pour que l'utilisation de Geogebra produit des effets sur l'apprentissage des élèves l'enseignant doit prendre en compte les compétences et l'expérience des élèves et les interactions.

Dans son modèle de compréhension pédagogique, Jean Houssaye (1988) définit tout acte pédagogique comme l'espace entre trois sommets d'un triangle à savoir l'enseignant, l'apprenant et le savoir. Toute pédagogie est articulée sur la relation privilégiée entre deux des trois éléments (voire la **figure 6**).

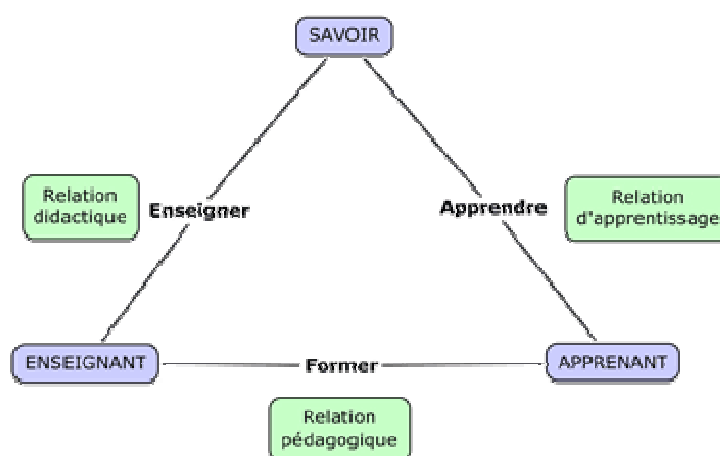


Figure 6: Triangle pédagogique de Houssaye (1988)

Dans un apprentissage socioconstructiviste, la construction du savoir s'opère en groupe et en équipe autour de situations problèmes dont la résolution exige que l'apprenant confronte sa solution à celles des autres.

L'analyse le modèle socioconstructiviste (voire la **figure 5**) à l'aide du triangle pédagogique de J. Houssaye (1988), on retrouve non seulement les relations pédagogiques classiques, mais on constate la nécessité de déboucher sur un nouveau paradigme fondé sur des nouvelles relations apprenantes savoir enseignants. Notamment, la prise en compte du groupe d'apprentissage et le médium utilisé (l'environnement technologique) ce qui fait que le triangle pédagogique classique évolue vers un tétraèdre centré sur les apprenants. Le tétraèdre centré de Jaillet (2004b) présente le fonctionnement des nouvelles dimensions socio – affective, technique, cognitive, méthodologique qui joue un rôle sur la persévérance de l'apprenant au cours de l'apprentissage (voire la **figure 7**).

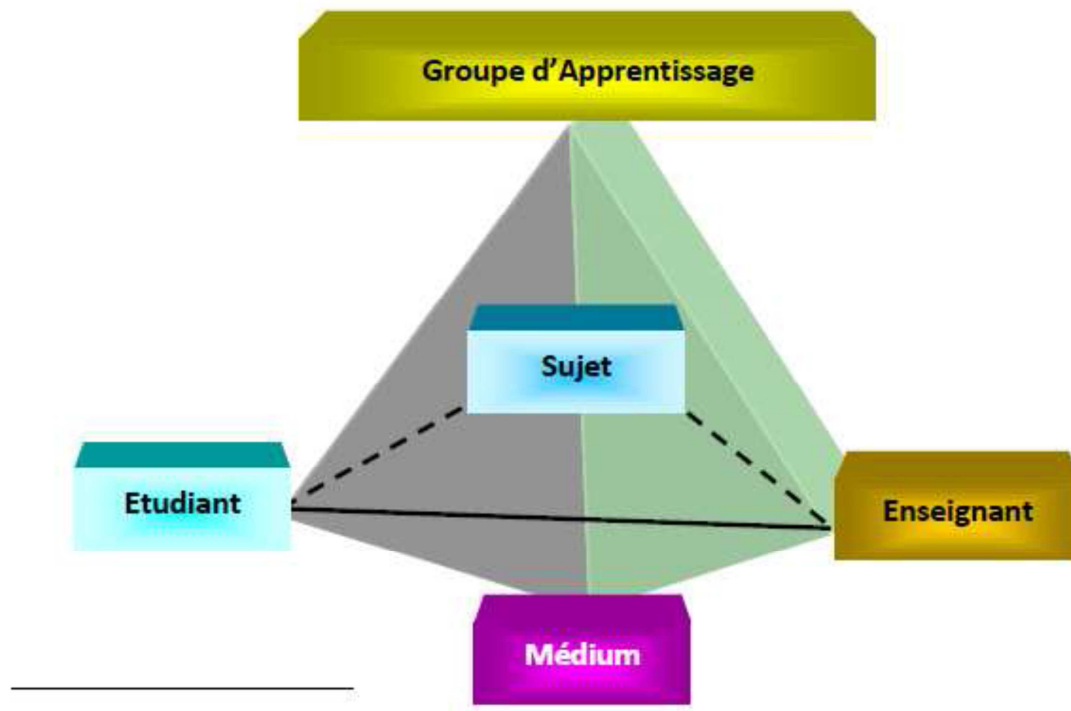


Figure 7: Tétraèdre centré de Jaillat (2004b)

Tous ces modèles montrent que l'utilisation pédagogique des logiciels dynamiques de mathématiques comme Geogebra doit être au service des pédagogies actives. L'approche participative, issue du modèle socioconstructiviste, incluant l'utilisation du logiciel comme ressources qui favorise les innovations dans les pratiques d'enseignement – apprentissage des mathématiques. Ainsi pour que l'utilisation pédagogique de Geogebra ait un effet sur l'apprentissage des élèves, il est important de considérer, dans le processus d'apprentissage, la coopération entre les élèves dans les différentes phases de la résolution des problèmes mathématiques et la compréhension des contenus mathématiques à partir d'une démarche structurée, logique et par étapes.

2.1.7 Le contrat didactique, le milieu et ce qui guide l'activité mathématique des élèves avec Geogebra

Le contrat didactique, concept de la didactique mathématique introduit par Guy Brousseau, est axé sur la manière par laquelle l'enseignant a organisé les activités mathématiques et auxquelles les élèves s'engagent. C'est qui permet de mettre en évidence l'interrelation entre les sommets du triangle didactiques (**voir figure 6**), le savoir, l'enseignant

et l'élève (Brousseau, 1990). Le contrat entre l'enseignant et les élèves se tisse dans un jeu d'interrelation avec le savoir mathématique appelé le milieu (ibid.). Selon Brousseau (1990), le milieu, joue un rôle central dans l'apprentissage de connaissances mathématiques des élèves, l'enseignant met en œuvre une situation didactique choisie par lui-même ou non et qui peut apparaître comme un moyen d'enseignement pour ses élèves. Quant à l'élève, il doit comprendre et maîtriser cette situation en interagissant avec d'autres pour pouvoir progresser dans son apprentissage (Olsson, 2017).

Ce travail de recherche s'intéresse à l'utilisation de Geogebra pour améliorer significativement l'apprentissage des élèves. On se focalisera sur les tâches mathématiques instrumentées par Geogebra qui doivent être réalisées par les élèves eux-mêmes en relation avec les tâches guidées ou non par l'enseignant (Olsson, 2017). L'interrelation entre ces deux tâches peut permettre aux élèves de s'engager dans un apprentissage dynamique, par contre les tâches non guidées par l'enseignant ne peuvent pas permettre aux élèves progresser au cours de l'apprentissage (ibid.).

Dans le contexte de résolution de problèmes de fonctions numériques avec Geogebra, les élèves sont censés être en interaction avec enseignant pour qu'il puisse les aider à comprendre les cadres et l'objectif de l'activité, les en encourageant à trouver leur propre solution et de contester la vérité des solutions qu'ils ont obtenue.

En résumé, cette étude s'adosse sur la théorie de l'activité pour analyser les pratiques enseignantes de l'enseignant de mathématiques, les activités de l'enseignant et les activités élèves du lycée dans un environnement numérique.

2.2 Théories explicatives du sujet de notre thèse

Cette étude est à la croisée de trois champs de recherches à savoir celui des TICE, la didactique de mathématiques et de la didactique professionnelle. Ainsi la problématique de cette recherche tourne autour de d'usage pédagogique du logiciel d'apprentissage dynamique par l'enseignant pour actualiser ces pratiques professionnelles et améliorer l'efficacité de l'apprentissage ses élèves du lycée. Le cadre théorique de notre recherche se situe dans la double approche didactique et ergonomique adaptée à environnement d'apprentissage numérique avec deux approches de la théorie de l'activité qui lui sont compatibles : la théorie de la médiation sémiotique et l'approche instrumentale (Abboud, Clark-Wilson, Jones, & Rogalski, 2018 ; Vandebrouck et Robert, 2017). Notre cadre théorique prendra également en compte l'approche des attitudes des élèves à l'égard des mathématiques et de l'apprentissage

des mathématiques avec le logiciel dynamique de mathématiques sur l'apprentissage des concepts mathématiques dans les classes ordinaires du lycée.

2.2.1 Théorie de la médiatique sémiotique et l'approche instrumentale

Cette partie intéresse à l'utilisation des artefacts numériques comme des ressources pour l'amélioration de l'apprentissage du concept mathématique de fonction en particulier la prise en main de l'artefact numérique par l'élève (processus d'instrumentation) et de la manière dont l'artefact numérique façonne les connaissances mathématiques des élèves (processus d'instrumentation) (Bussi et Mariotti, 2008). C'est dans cette perspective de décrire et de modéliser le processus d'apprentissage du concept mathématique de fonction avec le logiciel dynamique Geogebra qu'il a été fait recours à la théorie de la médiation sémiotique (Bussi et Mariotti, 2008) et l'approche instrumentale (Rabardel, 1995; Guin et Trouche, 2002 et Trouche 2005a), permettant ainsi d'étudier le processus d'apprentissage de mathématiques avec les technologies numériques (Artigue, 2002). La théorie de la médiation sémiotique prend en compte le potentiel sémiotique d'un artefact numérique et le cycle didactique mettant en relation les activités des élèves sur les tâches mathématiques et sur les artefacts produisant des signes individuels aux élèves plus ou moins axés sur artefacts (signes artefacts) ou plus ou moins axés sur les mathématiques (signes mathématiques) évoluant dans une discussion de classe promue par le professeur. Quant à l'approche instrumentale, elle permet de prendre en compte la relation entre l'usage de l'artefact numérique et les tâches mathématiques dans lesquelles cet artefact intervient théorisé par une orchestration instrumentale des activités mathématiques des élèves (Trouche, 2005b, Trouche 2007, Gueudet et Vandebrouck, 2009, Gueudet et Trouche, 2010). Le cadre de cette recherche s'intéresse plus particulièrement aux relations entre les signes dans les tâches mathématiques instrumentées sur les fonctions ou la dimension la syntaxe et les difficultés d'adaptation que rencontrent les élèves du lycée en situation d'enseignement – apprentissage de fonction instrumentée (Marquet & Coulibaly, 2011).

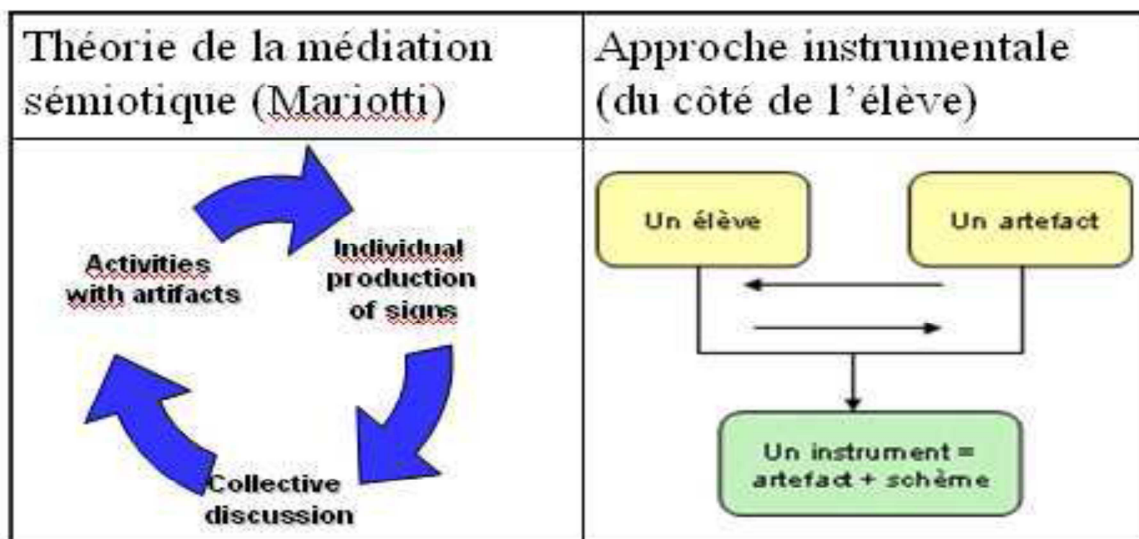


Figure 8: schématisations associées à la théorie de la médiation sémiotique et à l'approche instrumentale (Gueudet & Vandebrouck, 2009)

La **figure 8**, présente le schéma décrivant et modélisant le processus d'apprentissage possible avec le logiciel Geogebra. Le cycle didactique met en évidence la relation des activités des élèves sur les tâches mathématiques et sur les artefacts. Le modèle instrumental mettant en évidence le processus d'apprentissage des élèves avec Geogebra.

2.2.2 Approche sur les activités mathématiques des élèves avec les technologies numériques

Cette partie s'intéresse à la réalité de la classe de mathématiques ordinaire du secondaire moyen plus précisément aux activités des mathématiques des élèves en situation d'usage du logiciel pour résoudre des problèmes et à l'activité enseignante avec le numérique et son double impact sur l'apprentissage des élèves et sur le développement des compétences de l'enseignant lui-même, ce qui amène à situer notre travail dans la double approche didactique et ergonomique (DADE) développé par Robert et Rogalski (2002, 2005, Robert, 2008) adapté aux environnements numériques (Vandebrouck et Robert, 2017 ; Abboud, Robert, Rogalski, et Vandebrouck, 2017). Cette double approche se situe d'une part dans le cadre de la théorie des situations didactiques de Brousseau (1986) qui prend en compte le processus d'enseignement et d'apprentissage en situation (didactique et adidactique) et la théorie de l'activité développée par Vygotsky (1978). Ainsi l'approche ergonomique de l'activité de l'enseignant prend en compte le sujet enseignant dans sa situation de réalisation de sa mission d'enseignement dans le contexte institutionnel qu'il se trouve (Rogalski, 2003). L'approche instrumentale prend en compte conjointement les activités de l'enseignant et de

l'élève dans un processus d'enseignement – apprentissage en environnement numérique (Rabardel, 1995 ; Abboud, M., Robert, A., Rogalski, J. et Vandebrouck, F., 2017). Ainsi, toutes les théories de notre recherche sont compatibles et ils ont un ancrage dans la théorie générale de l'activité dans son adaptation à la didactique des mathématiques pour une analyse des activités mathématiques des élèves dans les classes ordinaires du secondaire avec le logiciel dynamique de mathématiques (Vandebrouck et Robert, 2017).

Les apprentissages des élèves sont en partie provoqués par leurs activités situation de classe. De ce point de vue, leurs activités sont influencées par les pratiques enseignantes et cela à partir des activités qu'elles provoquent particulièrement le choix des tâches mathématiques proposées aux élèves (Robert et Rogalski, 2002 et Rogalski, 2015). L'intérêt particulier de cette recherche est l'apprentissage des élèves de la notion de la fonction numérique d'une variable réelle avec le logiciel dynamique Geogebra dans la classe de mathématiques au lycée et les pratiques enseignantes. Alors le cadre théorique de notre thèse est construit à partir de la double approche didactique et ergonomique (DADE) développé par Robert et Rogalski (2002, 2005), Robert, (2008).

L'objet de cette théorie est l'activité finalisée et motivée du sujet qui vise l'atteinte de buts de son action et ce sont les mobiles de son activité qui sont le moteur de ses actions. La théorie vise l'analyse des processus mise en jeu par le sujet agissant, et les processus par lesquels son activité évolue et par lesquels il se développe. Elle s'appuie sur deux notions clés à savoir le sujet et la situation. Elle différencie par ailleurs la tâche du côté de la situation et l'activité du côté du sujet (Rogalski, 2008 et Chesnais, 2011).

Cette approche définit la tâche comme l'énoncé mathématique présenté par l'enseignant aux élèves avec les utilisations mathématiques qu'il peut induire. L'activité désigne tout ce que le sujet développe lors de la réalisation de la tâche que ça soit les actes extériorisés, les inférences, les hypothèses qu'il fait, les décisions qu'il prend dans ce qu'il fait et ce qu'il se retient de faire. L'activité comprend aussi son comportement métacognitif comme la manière dont le sujet gère son temps, et également son état personnel en matière de charge de travail, le plaisir prit au travail ainsi que ses interactions avec autrui dans la situation de travail.

Du point de vue des élèves, on peut retenir les facteurs qui influent sur les apprentissages des élèves comme la variété des adaptations des connaissances à mobiliser dans les tâches et la nature des échanges verbaux et non verbaux entre les élèves ou entre

l'enseignant et les élèves, les aides prodiguées par l'enseignant (Robert, 2008; Vanderbrouck et Robert, 2017). Du point de vue des tâches mathématiques traditionnelles ou instrumentées par le logiciel dynamique attendu, on retiendra les trois sous – activités sur les tâches complexes selon le modèle proposé par Vanderbrouck et Robert, (2017) à savoir les sous-activités de traitement interne, les sous-activités de reconnaissances d'outils ou d'objets mathématiques et les sous-activités d'organisation du raisonnement global.

Du point de vue des enseignants, les pratiques enseignantes désignent l'ensemble de ses activités avant, pendant et après la classe qui sont en lien avec son enseignement. Elles sont le produit de l'objectif didactique de faire apprendre les élèves un contenu de savoir mathématiques mais aussi dépendent aussi aspect ergonomique du fait que l'enseignant de mathématiques est un professionnel exerçant un métier (Robert, 2007, Vandebrouck et Robert, 2017). En ce sens, les pratiques enseignantes dépendent des individus, de leurs expériences, de leurs connaissances et de leurs représentations mais aussi elles sont liées aux contraintes d'ordre institutionnel, des programmes scolaires et documents d'accompagnement, des classes et des élèves, du métier, des habitudes, à l'établissement, au collectif des enseignants (Vandebrouck et Robert, 2017).

Le décodage *des pratiques enseignantes* dans les activités des élèves comporte deux phases. La première phase en lien avec *la composante cognitive des pratiques des enseignants* est le scénario d'apprentissage qui inclut le contenu, les exercices proposés et le cours, leur organisation et les prévisions de gestion. L'analyse du scénario comme le souligne Chesnais (2011) consiste à la conversion de l'énoncé choisi par l'enseignant en tâches mathématiques pour les élèves, puis l'analyse de ce dernier pour déterminer les activités qu'elles sont susceptibles de provoquer chez les élèves. La deuxième phase en lien avec *la composante médiative des pratiques enseignantes* est déroulement de la leçon, c'est-à-dire l'application effective du scénario d'apprentissage dans la classe. L'analyse du scénario consiste à la conversion de l'énoncé choisi par l'enseignant en tâches mathématiques pour les élèves puis l'analyse de ce dernier pour déterminer les activités qu'elles sont susceptibles de provoquer chez les élèves (Chesnais, 2011).

Dans notre contexte l'analyse du déroulement est réalisée à partir de vidéos de séances en classe. Cette observation vidéographique est guidée par la recherche de ce qui peut influencer sur les activités mathématiques avec le logiciel dynamique Geogebra que les élèves développent. Les séances sont découpées chronologiquement en épisodes selon la nature du

travail : cours, résolution du problème, restitution, synthèse etc. Il est également considéré dans cette recherche le temps et la forme de travail des élèves : individuel, en petit groupe, collective en classe entière en fonction des contenus du savoir mathématiques proposés par l'enseignant dans divers domaines comme le problème à résoudre, le genre de tâche, les échanges verbaux et non verbaux, les aides prodiguées par l'enseignant, (Rogalski, 2003). Les médiations proposées par le logiciel dynamique Geogebra pour l'apprentissage effectif des élèves, les activités possibles et l'adaptation attendues des nouvelles sous – tâches instrumentées pour la résolution de problèmes mathématiques de fonctions sont également prises en compte dans notre analyse (Vandebrouck et Robert, 2017).

Pour donner lieu à une analyse spécifique des activités mathématiques instrumentées des élèves, il est pris en compte des aspects affectifs (ibid.), notamment les attitudes des élèves à l'égard des mathématiques et l'apprentissage des mathématiques avec le logiciel dynamique.

2.2.3 Approches sur les attitudes des élèves envers les mathématiques et les technologies

L'attitude a fait l'objet de plusieurs débats en didactiques de mathématique. Ainsi, les définitions de l'attitude à l'égard des mathématiques ont évolué au fil du temps pour passer d'une définition à une seule dimension à une définition à plusieurs dimensions. Pour ce qui est de la définition unidimensionnelle, des chercheurs comme Haladyna, Shaughnessy, et Shaughnessy, (1983) affirment que l'attitude est une disposition émotionnelle positive ou négative envers les mathématiques. D'autre part, des chercheurs comme Legender (2005) définissent l'attitude comme un état d'esprit d'une personne à l'égard d'elle-même ou d'un objet et qui incite une manière d'être ou d'agir de manière favorable ou défavorable. Cette définition multidimensionnelle a permis à Pierce, Stacey et Barkatsas (2007) de définir les attitudes mathématiques et technologues sur les composantes de confiance envers les mathématiques, Confiance à l'égard de la technologie, attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie, l'engagement affectif et engagement comportemental.

2.2.3.1 La confiance en mathématiques

Pour Galbraith and Haines (1998) l'élève ayant une confiance positive à l'égard des mathématiques croit obtenir en valeur pour son effort, il ne s'inquiète pas d'apprendre des concepts mathématiques difficiles et s'attend à obtenir de bons résultats, et se sent bien à

propos des mathématiques en tant que sujet. Alors que l'élève ayant une faible confiance à l'égard des mathématiques est nerveux à propos de l'apprentissage de nouveaux concepts, il se sent naturellement faible en mathématiques et s'attend à ce que toutes les mathématiques soient difficiles et s'inquiète plus sur les mathématiques que tout autre sujet.

2.2.3.2 La confiance à la technologie

Selon Pierce, Stacey et Barkatsas (2007), la confiance à la technologie est considérée comme prédisposition des élèves à participer complètement aux leçons utilisant la technologie, avec un certain nombre de facteurs non spécifiés tels que l'équipement approprié, la disposition de l'enseignant à utiliser la technologie et sa capacité à l'utiliser.

2.2.3.3 L'attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie

Vale et Leder (2004) définissent l'attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie comme le degré auquel les élèves perçoivent que l'utilisation de la technologie en mathématiques fournit de la pertinence pour les mathématiques, facilite leur apprentissage des mathématiques et contribue à leur réussite en mathématiques. Dans le même ordre d'idées Galbraith et Haines (1998) postulent que l'élève, indiquant un degré d'interaction entre la technologie et les mathématiques, croit à son apport pour améliorer l'apprentissage des mathématiques comme par exemple que la technologie facilite l'articulation entre des propriétés algébriques et graphiques en apprentissage.

2.2.3.4 L'engagement affectif et comportemental

Fredricks, Blumenfeld et Paris (2004) définissent et mesurent l'engagement sur trois composantes. D'une part, l'engagement comportemental qui prend en compte la conduite positive à l'école et la participation aux activités d'apprentissage, scolaires et parascolaires. D'autre part l'engagement émotionnel qui se manifeste à travers une réaction affective telle que l'ennui, le bonheur et le sentiment d'appartenance en lien avec l'école et les activités d'apprentissage et enfin l'engagement cognitif comme un investissement psychologique dans l'apprentissage ou la cognition et l'apprentissage stratégique. Le contexte de l'étude s'intéresse sur ce que les élèves pensent des mathématiques (l'engagement affectif) et comment ils se comportent dans l'apprentissage des mathématiques (l'engagement comportemental).

Grille de lecture de la réalité de la classe de mathématiques

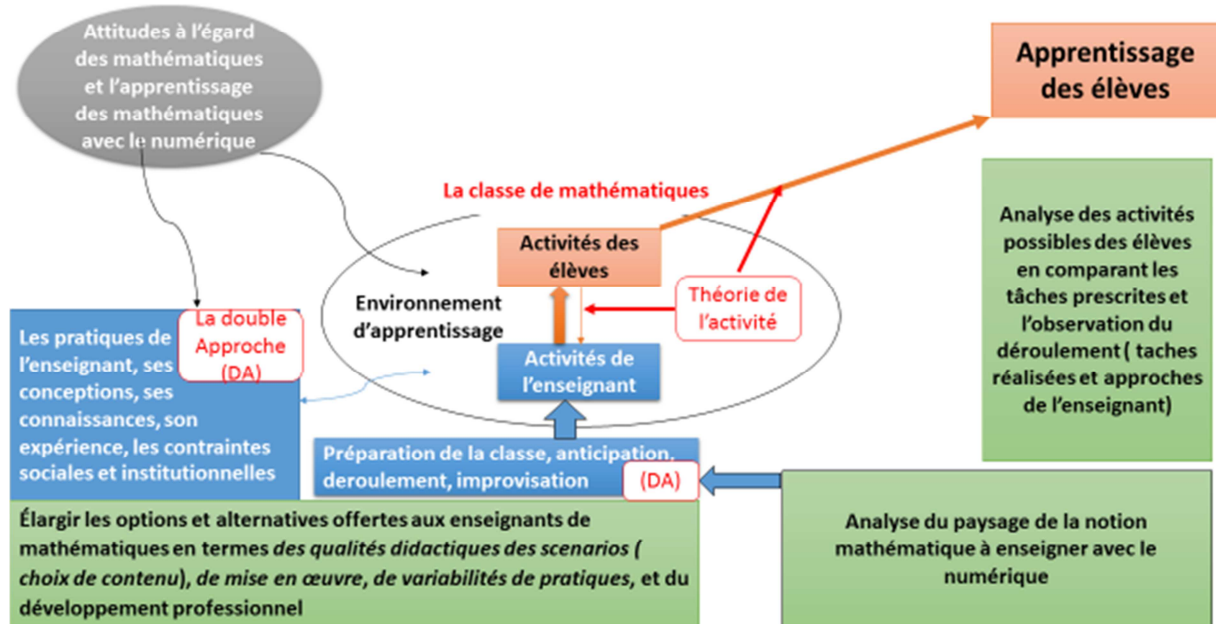


Figure 9: Schéma de la réalité de la classe de mathématiques comprenant des éléments théoriques, adapté de Abboud et al. (2017)

La **figure 9**, présente un schéma des théories explicatives de notre recherche. Pour étudier l'impact de l'utilisation de Geogebra sur l'apprentissage des élèves dans les classes ordinaires de mathématiques, il est important de prendre en compte les activités de l'enseignante et les activités des élèves. La double approche ergonomique et didactique, permet d'analyser les pratiques enseignantes et les activités favorables aux élèves en relation avec le savoir qui sera en jeu, à savoir le concept mathématique de fonctions numériques dans l'environnement d'apprentissage Geogebra. La théorie de l'activité dans son approche de la médiation sémiotique et l'approche instrumentale, permet d'analyser les activités possibles de l'enseignant et les activités possibles des élèves en relation avec le savoir en jeu, qui est le concept mathématique de fonctions numériques au niveau lycée. La grille permettra d'analyser la dynamique de l'apprentissage avec Geogebra à partir des liens possibles entre les attitudes envers les mathématiques et l'apprentissage de mathématique avec Geogebra et l'apprentissage avec Geogebra.

3 Synthèse du chapitre 2

L'état de la question de l'enseignement – apprentissage des mathématiques avec le numérique, a permis dans une première partie à présenter la revue de la littérature sur la question de l'utilisation des technologies numériques dans cette discipline. Il s'agit de l'évolution historique de l'intégration des outils numériques en l'enseignement-apprentissage des mathématiques, des calculatrices aux ordinateurs. Des outils numériques conçus pour enseigner et apprendre les mathématiques, comme les logiciels dynamiques de mathématiques, à ceux adaptés comme le tableur. Il a aussi été question, dans la revue littérature, de mettre en évidence les avantages et les défis de l'intégration pédagogique des technologies numériques en enseignement – apprentissage de mathématiques. Un regard sur l'intégration pédagogique des logiciels dynamiques de mathématiques, plus particulièrement Geogebra, sera pris.

L'état de la question de l'enseignement – apprentissage des mathématiques avec le numérique, a permis dans une deuxième partie de faire un cadrage théorique de cette recherche. Les concepts clés de cette recherche seront présentés avant les théories explicatives de l'étude. La revue de littérature sur l'intégration pédagogique des technologies numériques, a permis de faire une recension des écrits sur la perspective professionnalisante du développement professionnel des enseignants de mathématiques qui sont sur le terrain, de l'étude du processus l'intégration du numérique dans un système éducatif et de l'introduction des logiciels dynamiques de mathématiques pour soutenir l'apprentissage des élèves. La littérature des recherches a également permis de faire un cadrage théorique de notre projet de recherche sur l'impact de l'utilisation de Geogebra en apprentissage de fonctions numériques des élèves au lycée, à partir des éléments théoriques des champs des TICE et de la didactique des mathématiques.

CHAPITRE III : PROBLEMATIQUE

Ce chapitre présente la problématique de notre recherche. Primo, il présente les fonctions numériques comme objet de l'apprentissage dans cette recherche, la place des fonctions numériques dans programme mathématique du lycée au Niger et les difficultés des élèves lycéens nigériens à comprendre ce concept au cours de leurs apprentissages; secundo nous présenterons les constats des recherches sur le potentiel de l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques pour l'apprentissage des élèves ; tertio, il formule le problème sous forme de questions puis des hypothèses de recherche et des objectifs puis des axes de recherche.

1 Les fonctions numériques comme objet d'apprentissage au lycée

1.1 Etude des fonctions numériques au lycée

L'étude des fonctions est un thème central dans le programme d'enseignement – apprentissage de mathématiques au lycée (Lagrange & Psycharis, 2013) et le programme mathématique du secondaire moyen nigérien ne déroge pas à cette règle. Le concept général de fonction est introduit dès le collège et son apprentissage est consolidé et approfondi en seconde, première et terminale (MES, 2015).

La compréhension du concept de fonction par les futurs étudiants est essentielle, particulièrement pour ceux qui inspirent faire des études supérieures dans les domaines de mathématiques, des sciences et d'ingénieurs (Oehrtman, Carlson, & Thompson, 2008).

1.2 Les difficultés des élèves nigériens à étudier les fonctions numériques

Malgré la place qu'occupe les fonctions numériques dans le programme mathématique, les élèves nigériens ont un faible niveau de connaissances et de compétences dans cette matière à tous les niveaux du lycée (DFIC, 2017). Les faibles performances des élèves scientifiques lors des évaluations de leurs acquis dans cette matière fondamentale, et le manque d'attractivité pour les élèves pour les séries scientifiques comme la C, témoignent des difficultés que rencontrent élèves lors de l'apprentissage des concepts mathématiques, particulièrement celui des fonctions numériques à variable réelle. En effet, plusieurs recherches ont montré que les élèves rencontrent des difficultés lors de l'introduction du concept de fonctions au lycée (Bloch, 2003; Duffour, 2011; Duval, 2002; Kiem, 2011 et 12; Lagrange & Psycharis, 2013; Oehrtman, Carlson, & Thompson, 2008). Les élèves du lycée

rencontrent des problèmes à gérer les multiples représentations de la fonction dans les registres de représentations (Duval, 2002; Kiem 2011 et 2012). Ils rencontrent des difficultés tout au long du parcours pour la compréhension du concept et pour résolutions des problèmes sur les fonctions numériques (Bloch, 2003 ; Lagrange & Psycharis, 2013). Les difficultés de compréhension des élèves lycéens sont dues au manque d'utilisation et de coordination de plusieurs registres de représentations au cours de l'apprentissage puisque les enseignants se sentent plus alaise dans une approche avec prédominance du registre algébrique (Duffour, 2011). Or des recherches ont montré que l'enjeu fondamental à la compréhension du concept mathématique est la coordination de plusieurs registre de représentations améliorant la dynamique de l'apprentissage des élèves (Duval, 2002).

Les fonctions numériques d'une variable réelle sont toujours des outils de résolution de problèmes mais l'objet fonction acquiert une plus grande visibilité par l'étude de certaines de ses propriétés en distinguant les cadres formel, algébrique, numérique, géométrique et analytique pour la notion des fonctions (Bloch, 2003). Chaque registre de représentation n'explicite pas les mêmes aspects de la notion de fonction et l'absence d'une interaction des cadres fait éprouver aux élèves des difficultés de coordinations des différents contextes (ibid.). Dès lors, il est essentiel pour l'apprentissage des fonctions numériques de pouvoir mobiliser plusieurs registres de représentations sémiotiques (Duval, 2002) et d'insister particulièrement sur l'interaction entre cadres formel et cadre graphique pour valider des propriétés mathématiques (Bloch, 2003). Le logiciel dynamique de mathématiques offre la multiple – représentation de la fonction et sa visualisation, un potentiel qui peut contribuer à l'apprentissage des élèves du lycée (Kiem, 2011).

Dans le cadre de cette recherche, c'est par un travail par les élèves du lycée sur ses différents registres de représentations qu'offre le logiciel de mathématique Geogebra que la construction du concept de fonction est visée peu à peu. Le travail sur la mise en équation est conduit en liaison très étroite avec le cadre fonctionnel et les résolutions graphiques.

Bien que notre étude ne porte pas essentiellement sur les interactions enseignant et élèves en lien avec le concept mathématique dans un environnement Geogebra, pour avoir une vue d'ensemble sur l'articulation des multiples représentations de la fonction au cours de l'apprentissage des élèves avec Geogebra, les aspects liés au contrat de l'enseignant ont été également pris en compte dans cette étude (Voir la figure).

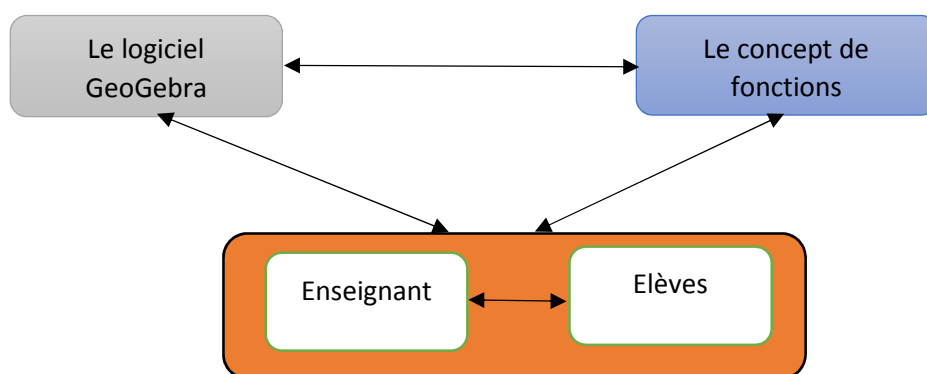


Figure 10: Relations d'enseignement – apprentissage entre l'enseignant et les élèves dans une classe de mathématiques avec Geogebra (adapté de Mehanovic, 2011)

Comme le montre la figure 10, les relations d'enseignement – apprentissage entre l'enseignant et les élèves devient plus complexe suite à l'introduction de Geogebra dans la classe de mathématiques. Pour apprendre la notion de fonction en utilisant le logiciel Geogebra, les élèves doivent être en mesure de réaliser les tâches Geogebra, les tâches mathématiques avec Geogebra. Geogebra offre une configuration didactique qui permet aux élèves de tirer profit des multiples représentations de la fonction qu'offre ce logiciel. Dans cette situation didactique, l'enseignant, dans son rôle d'organisateur de l'apprentissage apportera ainsi aide nécessaire à ses élèves pour progresser en apprentissage de fonction.

2 Constats des recherches sur l'utilisation du logiciel dynamique en apprentissage des mathématiques

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) constituent l'un des facteurs les plus marquants du vingt-unième siècle et le domaine de l'éducation n'échappe pas à leur emprise. Selon Bullat-Koelliker et Staf (2003) « l'usage des technologies favorisait des approches pédagogiques plus actives, voire socioconstructivistes, qu'il inciterait les enseignants à faire évoluer leurs pratiques dans ce sens. [...] permettre aux élèves d'être plus actifs, productifs et créatifs... de même, certaines compétences touchant la coopération, la communication, la méthodologie et la réflexivité seraient renforcées grâce à ces pratiques ». À cet effet, la nécessité de faire une place aux TIC en éducation ne semble plus un objet de débat en soi et cela est valable partout à travers le monde. L'intégration des TIC en éducation est considérée comme un mouvement incontournable où la plupart des pays se sont dotés de programmes en la matière. Des investissements importants sont en train d'être consentis aujourd'hui pour une intégration réussie des TIC dans le système éducatif que ce soit dans les pays développés ou ceux en voie de développement.

La recherche de cette intégration réussit des TIC dans le système éducatif cadre avec l'exigence en matière de compétences de l'environnement actuel où l'un des objectifs fondamentaux de l'éducation est la formation des personnes compétentes et compétitives. C'est à ce titre que les TIC peuvent être un atout sur lequel compter pour atteindre cet objectif et particulièrement dans des pays en voie de développement pour mettre en place un enseignement dispensé sur la base de l'égalité des chances et un enseignement de qualité qui contribue à l'intégration sociale et au développement économique.

Des nombreuses recherches sur les technologies numériques en éducatives ont été développées au profit l'enseignement et l'apprentissage de mathématiques comme il en est le cas avec les calculatrices, graphiques ou formelles (Guin et Trouche 2002), les logiciels de géométrie dynamique (Laborde 1999, Vandebrouck et Robert, 2017) et autres outils numériques qui ne sont pas a priori développées dans un but d'enseignement, comme le tableur (Haspekian 2005, Lagrange et Erdogan 2009). C'est ainsi que les chercheurs s'intéressent à des évolutions technologiques numériques, à leur usage émergents et leur possibilité de créer un environnement favorable à l'enseignement - apprentissage de mathématiques à travers une nouvelle forme de relation enseignant - élèves ou l'enseignant jouera pleinement son rôle de l'accompagnateur et des élèves plus actifs avec un développement d'un apprentissage autonome et collaboratif (Rajaonarimanana & Totohasina, 2019).

Ainsi des recherches ont démontré les avantages de l'utilisation pédagogique des technologies numériques sur l'enseignement et l'apprentissage de mathématiques en comparaison à l'enseignement traditionnel des mathématiques au secondaire. Dans un contexte d'une recherche expérimentale, des enseignants, ayant collaboré avec des chercheurs pour étudier l'intégration un environnement numérique des simulateurs de probabilité, ont reconnu la valeur de ce logiciel de mathématique pour supporter leur enseignement et l'apprentissage des élèves (Savard, Freiman, Theis et Larose, 2013). Mwei, Wando et Too (2012) ont mené une recherche pour examiner le rôle des enseignants de mathématiques et étudier les attitudes des élèves à l'égard l'apprentissage de mathématiques dans un environnement assisté par l'ordinateur (EAO). Les chercheurs ont alors conclu que les EAO facilitent un apprentissage constructiviste et permettent à la majorité des élèves de développer une attitude positive à l'égard des mathématiques et de son enseignement. Kong (2011) affirme que le Graphical Partitioning Model (GPM) a révélé un potentiel en favorisant les interactions verbales en classe de mathématiques. Ainsi, le chercheur a conclu que l'utilisation de ce logiciel de mathématique a amélioré l'engagement des élèves quant au

temps consacré à la tâche lors de l'exploration des concepts mathématiques, et les élèves qui l'ont utilisé ont obtenu de meilleurs résultats au scores comparativement au groupe témoin.

Kendale et Stacey (2001) ont étudié le changement d'approches pédagogiques des enseignants dans leurs pratiques pédagogiques avec les technologies numériques. Ils ont observé en classe et mené des entretiens sur une période de deux (2) ans auprès de deux enseignants de mathématiques du secondaire moyen (lycée). L'objectif de cette étude est d'analyser comment les deux enseignants ont fait la transition de l'utilisation des calculatrices graphiques aux calculatrices CAS (computer algebra system) tout en enseignant le calcul différentiel à leurs élèves. Deux aspects de l'approche pédagogique ont été considérés dans cette recherche à savoir la méthode d'enseignement et le style d'enseignement. Ces chercheurs ont conclu que les deux enseignants de leur étude ont enseigné avec des calculatrices intégrant le logiciel mathématique de calcul formel de manière compatible avec leurs croyances sur l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques. Ainsi, durant deux ans l'approche pédagogique de ces enseignants et leur but pour l'utilisation des technologies étaient stables et semblaient être soutenus par leurs croyances au sujet de l'apprentissage. Par contre les deux enseignants ont apporté des modifications au contenu de leur enseignement. Cette étude a montré que les enseignants sont capables de changer leur contenu mathématique qu'ils enseignent lorsque des changements peuvent mieux contribuer à l'atteinte de leur objectif d'apprentissage.

La recherche menée par Aliasgari et al. (2010) porte sur les effets de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO) en mathématiques sur l'attitude des élèves du secondaire. L'EAO en mathématiques a été étudié sur une période de quatre (4) semaines comme alternative à l'enseignement de mathématiques traditionnel en utilisant un échantillon d'étudiants de deux lycées Iranien. Ainsi les effets de la variable indépendante EAO en mathématiques a été étudié dans l'un des lycées tandis que dans le second lycée un groupe contrôle a permis de mesurer l'effet de l'enseignement mathématique traditionnel. Les résultats de cette recherche ont révélé que les EAO en mathématiques auraient permis d'augmenter le niveau d'apprentissage des élèves du secondaire et d'améliorer leur attitude envers les mathématiques par rapport à l'enseignement de mathématiques traditionnel. Même si la portée de cette étude se limite à deux établissements secondaires situés dans un contexte géographique limité, les conclusions de cette recherche indiquent que les EAO et plus particulièrement les logiciels éducatifs en mathématiques peuvent être utilisés dans le processus de l'enseignement des concepts abstraits de mathématiques. Les enseignants de

mathématiques peuvent utiliser des objets simulés, des concepts mathématiques et des cheminements de résolution de problèmes dans l'environnement virtuel des logiciels dynamiques.

Fakomogbon et al. (2014) ont mené une étude pour déterminer l'effet de l'EAO sur la performance des élèves du secondaire en mathématiques. Quatre-vingt (80) élèves ont été sélectionnés au hasard dont quarante (40) garçons et quarante (40) filles dans deux écoles secondaires pour participer à cette étude. Les élèves de cet échantillon ont été répartis au hasard dans deux groupes dont l'un est expérimental et l'autre témoin. Ces chercheurs ont recommandé que les enseignants de mathématiques du secondaire doivent être encouragés à l'utilisation des logiciels de mathématiques en situation de classe. Reed, Drijvers et Kirschner (2010) ont étudié les effets des attitudes et des comportements des élèves sur les résultats d'apprentissage de mathématiques avec les technologies numériques.

Des nombreuses recherches sur les technologies numériques en éducation ont été développées par des chercheurs sur les attitudes à l'égard des mathématiques et de l'apprentissage des mathématiques à l'aide des technologies numériques et leurs effets sur les performances des élèves en situation d'apprentissage des concepts mathématiques avec des logiciels dynamiques. Ainsi, Barkatsas et al. (2009) ont mené une étude sur les attitudes des élèves secondaires à l'apprentissage des mathématiques avec les EAO. Le but de cette recherche est d'étudier l'interrelation entre la confiance des mathématiques des élèves, la confiance aux ordinateurs, l'attitude envers l'apprentissage des mathématiques avec les ordinateurs, l'engagement affectif et l'engagement comportemental, la réussite, le genre et le niveau scolaire. Un échantillon de 1068 élèves de deux niveaux du secondaire (9ème année et 10ème année) de 27 établissements d'enseignement public d'Athènes, en Grèce. Les établissements secondaires ont également été choisis au hasard puis une classe de chacun des deux niveaux ont également été choisies au hasard. Au cours de cette étude l'échelle d'attitudes mathématiques et technologiques (MTAS) développée par Pierce, Stacey et Barkatsas (2007) a été utilisée pour examiner le rôle du domaine affectif sur l'apprentissage des mathématiques avec la technologie. Ces chercheurs ont trouvé que les garçons ont exprimé des opinions plus positives à l'égard des mathématiques et des opinions plus positives à l'égard de l'utilisation des EAO en mathématiques à comparer aux filles. Ils ont constaté que la haute réussite en mathématiques est associée aux niveaux élevés de confiance en mathématiques, des niveaux d'engagement affectif et d'engagement comportemental fortement positive, le niveau de confiance élevée envers l'utilisation des EAO et une attitude fortement

positive à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec la technologie. Par contre, les faibles niveaux de réussite en mathématiques des élèves sont associés à des faibles niveaux de confiance en mathématiques, des niveaux fortement négatifs en engagement affectif et en engagement comportemental, de faible niveau de confiance envers l'utilisation des technologies et une attitude négative à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les EAO. Des résultats similaires ont été obtenus par Rajagopal et al. (2015) en montrant que les élèves ont une attitude positive à l'égard de l'utilisation de Geogebra en apprentissage de mathématiques. Il en est de même pour Barkatsas, Gialamas et Kasimatis (2008) en étudiant l'attitude des élèves du secondaire à l'apprentissage de mathématiques avec les technologies numériques à travers les liens complexe entre la confiance des mathématiques, la confiance aux technologies, l'attitude en vers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie, l'engagement affectif et l'engagement comportemental, la réussite, le genre et le niveau scolaire. Pour ces chercheurs le niveau élevé de réussite en mathématiques des élèves du secondaire est associé au niveau élevé de confiance en mathématiques, aux niveaux fortement positifs à l'engagement affectif et l'engagement comportemental, à une confiance élevée pour l'utilisation des technologies et à une attitude fortement positive en vers l'apprentissage des mathématiques avec les technologies. Alors que le faible niveau de réussite en mathématiques des élèves, il est associé au faible niveau de confiance en mathématiques, aux niveaux fortement négatifs d'engagement affectif et d'engagement comportemental, à une faible confiance dans l'utilisation de la technologie, et à une attitude négative en vers l'apprentissage des mathématiques avec les technologies.

En prenant appui sur les résultats de la revue des recherches autour du sujet, trois faisceaux peuvent être adossés à la littérature :

Faisceau A : L'utilisation du logiciel de mathématiques améliore la dynamique d'apprentissage des élèves.

Faisceau B : L'utilisation du logiciel de mathématiques par les enseignants en situation d'enseignement améliore significativement la dynamique d'apprentissage des élèves.

Faisceau C : Les attitudes des élèves contribuent significativement à l'apprentissage des concepts mathématiques dans un environnement numérique.

De l'analyse de ces trois faisceaux se dégage l'intérêt de cette recherche qui porte sur une intégration efficace et efficiente des logiciels éducatifs de mathématiques (cas de Geogebra) pour dans l'enseignement – apprentissage de cette discipline. Etudier les effets de

l'utilisation de Geogebra en apprentissage des concepts mathématiques des élèves du lycée et la contribution des attitudes et des comportements d'apprentissage des mathématiques avec logiciels éducatifs (cas de GoGebra) sur leur performance des élèves.

3 Les questions de la recherche

3.1 Question générale

L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'enseignement – apprentissage favorise – t – elle de façon significative l'apprentissage des concepts mathématiques des élèves du lycée ?

3.2 Questions spécifiques

Les questions spécifiques qui sont liées à cette question principale de recherche sont :

- ✓ **Question de recherche 1 (QR1): L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore – t – elle de façon significative les performances aux scores des élèves du secondaire moyen en apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques?**
- ✓ **Question de recherche 2 (QR2): L'utilisation du logiciel Geogebra selon le niveau d'apprentissage améliore-t-elle significativement la performance des élèves du secondaire moyen en l'apprentissage des fonctions numériques?**
- ✓ **Question de recherche 3 (QR3): L'utilisation du logiciel Geogebra en enseignement – apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore – t – elle significative la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen ?**
- ✓ **Question de recherche 4 (QR4): Les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie contribuent – elles significativement à leur apprentissage du concept des fonctions numériques?**

4 Hypothèses et objectifs de la recherche

4.1 Hypothèses de la recherche

4.1.1 Hypothèse générale

L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'enseignement – apprentissage favorise de façon significative l'apprentissage des concepts mathématiques des élèves du lycée.

4.1.2 Hypothèses spécifiques

- ✓ **Hypothèse 1 (H1):** L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore de façon significative les performances aux scores des élèves du secondaire moyen en apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques.

Pour vérifier cette hypothèse 1 de recherche, il sera établi le lien de causalité entre la variable indépendante, l'utilisation de Geogebra en apprentissage du concept mathématique de fonctions numériques à variable réelle et la variable dépendante, les performances en termes de scores des élèves.

- ✓ **Hypothèse 2 (H2):** L'utilisation de logiciel Geogebra en enseignement – apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore significative la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen.

Pour vérifier cette hypothèse 2 de recherche, il sera établi le lien de causalité entre la variable indépendante, les interactions avec Geogebra, des élèves et de l'enseignant, et la variable dépendante, les performances en termes de progression dans le processus d'apprentissage du concept mathématique de fonctions numériques à variable réelle.

- ✓ **Hypothèse 3 (H3):** Les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie contribuent significativement à leur apprentissage du concept des fonctions numériques

Pour vérifier cette hypothèse 3 de recherche, il sera établi le lien de causalité entre la variable indépendante, les attitudes des élèves envers les mathématiques et la variable indépendante, l'apprentissage de mathématiques avec Geogebra et les performances en termes de progression des élèves.

4.2 Objectifs de la recherche

4.2.1 Objectif général de la recherche

L'objectif général de cette recherche est *d'analyser l'impact de l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques en particulier Geogebra sur le processus d'apprentissage des concepts mathématiques des élèves et la performance aux scores dans le système éducatif du secondaire au Niger.*

Cette étude a pour objectif d'étudier l'impact de l'utilisation du logiciel Geogebra sur le processus d'apprentissage et la performance aux scores des élèves. Une approche mixte de type séquentiel explicatif dans une approche quasi – expérimentale est utilisée et impliquerons d'abord un recueil des données quantitatives puis l'explication de ces résultats quantitatifs avec des données qualitatives. Dans la première phase quantitative de la recherche, les données de prétest et de postes de connaissances mathématiques sur le concept de fonction seront recueillies auprès des élèves en situation de classe réelle pour tester leur progression en apprentissage et ainsi évaluer si l'utilisation de Geogebra dans le processus d'enseignement – apprentissage influence le processus de l'apprentissage mais aussi la performance aux scores des élèves du niveau lycée de l'établissement public d'Arlit (Niger). La deuxième phase qualitative est conduite dans le but d'expliquer les résultats quantitatifs de la première phase. Pour cette phase, Il est prévu d'analyser les perceptions des enseignants et des élèves sur les difficultés d'apprentissage des mathématiques avec Geogebra à partir des entretiens semi - directifs et d'explorer l'effet des attitudes à l'égard de mathématiques et à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les mêmes élèves du lycée à partir d'un questionnaire.

4.2.2 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de cette recherche se déclinent en quatre points :

- ✓ **Objectif de recherche 1 (OR1) : Il consiste à analyser et identifier l'impact de l'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques des élèves en situation réelle de classe.**
- ✓ **Objectif de recherche 2 (OR2) Il consiste à analyser et identifier l'utilisation du logiciel Geogebra selon le niveau d'apprentissage des élèves du secondaire moyen en l'apprentissage des fonctions numériques dans une classe réelle.**

- ✓ **Objectif de recherche 3 (OR3)** : Il consiste à explorer le processus d'utilisation du logiciel Geogebra en enseignement – apprentissage du concept mathématique sur la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen dans une classe réelle.
- ✓ **Objectif spécifique 4** : Il consiste à explorer les effets des attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie sur leur apprentissage du concept des fonctions numériques.

5 Description des variables et axes de la recherche

5.1 Description des variables

Dans le cadre de cette étude, il sera vérifié l'hypothèse selon laquelle *l'utilisation du logiciel de la géométrie dynamique Geogebra au cours du processus d'enseignement – apprentissage* à partir de l'utilisation par les élèves du potentiel cognitif de l'outil dans les activités mathématiques, des attitudes et des comportements d'apprentissages observables ou déclarés *a un effet sur l'apprentissage des concepts mathématiques des élèves* à partir d'une évaluation des performances en terme de progression d'apprentissage et en terme de gains relatifs aux scores entre le prétest et le posttest.

5.1.1 Variables indépendante et dépendante

En se référant à nos hypothèses de recherche, les principales variables de notre étude sont *l'utilisation de logiciel Geogebra en enseignement – apprentissage* et *l'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques par les élèves du lycée*. La première est notre variable indépendante avec pour modalité l'utilisation par les élèves du potentiel cognitif de l'outil dans les activités mathématiques, des attitudes et des comportements d'apprentissages observables ou déclarés. La seconde est notre variable dépendante dont les modalités sont les performances en termes de progression d'apprentissage et les performances en termes de gains relatifs aux scores entre le prétest et le posttest.

Pour ce qui est de la variable, *l'utilisation de logiciel Geogebra en enseignement – apprentissage* fait référence exploitation de Geogebra dans les situations d'apprentissage avec toutes les formes d'interactions en tant qu'outil à potentiel cognitif et *l'engagement des élèves dans les tâches proposées par le logiciel (Depover et al. 2007) et exploration de manière efficace du logiciel et les rétroactions du milieu numérique au cours de leur* On se refera aux modalités de l'interaction de l'élève avec l'enseignant, l'interaction entre élèves et aussi

l'interaction de l'élève avec Geogebra plus précisément les multiples représentations offertes par les interfaces du logiciel, la visualisation des objets mathématiques, mais aussi les activités de création, de déplacement, de manipulation de ces objets et le teste et la construction leurs propres connaissances mathématiques (*Vanderbrouk et Robert, 2017*). En se référant plus particulièrement à l'identification et à la *répartition des connaissances instrumentales et des connaissances mathématiques* ainsi que de leur lien aux cours du processus des élèves en situation d'apprentissage avec Geogebra. Pour analyse les tâches instrumentées et des tâches mathématiques des élèves au cours de la résolution de problème de fonctions avec Geogebra à partir des trois indicateurs d'apprentissage instrumental et mathématique de Gelis et Assude (2002).

Les indicateurs liés aux connaissances instrumentales (*Gelis et Assude, 2002 ; Depover et all., 2007 et Vanderbrouk et Robert, 2017*) :

- ✓ *La tâche Geogebra* peut prendre les valeurs ouvertes, guidées ou recherche. ;
- ✓ *Les connaissances instrumentales de la tâche instrumentale nécessaire à la réalisation de la tâche Geogebra*, elles se situent du côté des connaissances mathématiques et instrumentales et elle est constituée d'une échelle de valeur à trois niveaux : nul, faible et fort ;
- ✓ *Les connaissances mathématiques de la tâche Geogebra*, elles se situent du côté des connaissances mathématiques et non instrumentales et elle est constituée d'une échelle de valeur à trois niveaux : nul, faible et fort.

Les indicateurs liés à la dynamique de l'apprentissage (*Ngunu, 2013, Vanderbrouk et Robert, 2017*) :

- ✓ *Comportement d'apprentissage participatif* constitué des valeurs liées à de l'observation de l'occurrence et de non-occurrence de ce comportement chez les élèves à l'un intervalle de 5 minutes tout au long du processus d'apprentissage ;
- ✓ *Comportement d'apprentissage attentif* constitué des valeurs liées à de l'observation de l'occurrence et de non-occurrence de ce comportement chez les élèves à l'un intervalle de 5 minutes tout au long du processus d'apprentissage ;
- ✓ *Comportement d'apprentissage interactif* constitué des valeurs liées à de l'observation de l'occurrence et de non-occurrence de ce comportement chez les élèves à l'un intervalle de 5 minutes tout au long du processus d'apprentissage.

Les indicateurs liés à la performance aux scores suivants le calcul de pourcentage d'exactitude (Aydos, 2015 et Williams, Charles-Ogan et Adesope, 2017)

- ✓ Les notes des élèves au prétest, réparties sur un score de 0 à 100. ;
- ✓ Les notes des élèves au posttest, réparties sur un score de 0 à 100 ;
- ✓ La performance aux scores des élèves à partir du gain relatif aux scores.

Les indicateurs liés à l'effet enseignant (Ngunu, 2013 et Rogalski, 2003) :

- ✓ *Occupation de l'espace* constitué des valeurs liées à de l'observation de l'occurrence et de non-occurrence de ce comportement chez l'enseignant à l'un intervalle de 5 minutes tout au long du processus d'enseignement ;
- ✓ *Communication orale Occupation de l'espace* constitué des valeurs liées à de l'observation de l'occurrence et de non-occurrence de ce comportement chez l'enseignant à l'un intervalle de 5 minutes tout au long du processus d'enseignement ;
- ✓ *Communication écrite Occupation de l'espace* constitué des valeurs liées à de l'observation de l'occurrence et de non-occurrence de ce comportement chez l'enseignant à l'un intervalle de 5 minutes tout au long du processus d'enseignement ;
- ✓ *Supports didactiques* constitués des valeurs liées à de l'observation de l'occurrence et de non-occurrence de ce comportement chez l'enseignant à l'un intervalle de 5 minutes tout au long du processus d'enseignement ;

Les indicateurs liés aux attitudes des élèves à l'égard des mathématiques et à l'égard de l'apprentissage de mathématiques avec Geogebra (Pierce, Stacey et Barkatsas 2007 ; Reed, Drijever et Kirschner, 2010)

- ✓ confiance envers les mathématiques constituées d'une échelle de valeur à trois niveaux : négative, neutre et positive ;
- ✓ Confiance à l'égard de la technologie constituée d'une échelle de valeur à trois niveaux : négative, neutre et positive ;
- ✓ attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie constituée d'une échelle de valeur à trois niveaux : négative, neutre et positive ;
- ✓ l'engagement affectif et engagement comportemental constitué d'une échelle de valeur à trois niveaux : négative, neutre et positive.

Pour ce qui est de la variable, *l'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques par les élèves du lycée, en se référant* à l'apprentissage comme une implication nécessaire de l'activité de l'élève dans une approche socio – constructiviste dont la mise en œuvre nécessite *un processus d'appropriations des connaissances mathématiques par l'élève* non seulement sur le point de vue de la construction du sens, de l'évolution, de la progression et de l'interaction avec son environnement d'apprentissage notamment avec la situation, les autres élèves et l'enseignant, mais aussi du point de vue de *performance de l'élève* (Numa-Bocage, Cluzard et Pastré, 2012).

5.1.2 Variable parasite

L'étude étant quasi – expérimentale, des nombreuses variables latentes peuvent conduire à un biais d'interprétation sur l'influence unique de notre variable dépendante sur la variable dépendante. Il sera vérifié si les deux groupes, expérimental et témoin, sont équivalents avant l'intervention pédagogique un certain nombre des variables :

- ✓ **Pour les variables socio – démographique** : *genre* avec pour modalité Garçon et fille et *âge* avec pour modalité âge inférieur à la normale (moins de 17 ans) âge normal (17 à 19 ans) et âge plus que la normale (plus de 19 ans).
- ✓ **Pour les variables socio – économique** : *Professionnel catégorie professionnel des parents des élèves* avec comme modalité très faible, faible, moyen et fort, sera vérifié enfin d'éliminer ou réduire les effets de ces variables dites parasites et améliorer la validité interne et externe de notre recherche.
- ✓ **Pour la variable comportement affectif déclaré** : *confiance envers les mathématiques, Confiance à l'égard de la technologie, attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie, l'engagement affectif et engagement comportemental* chacune de ces variables mesurées sur une échelle de Likert composé de cinq modalités : Pas du tout d'accord, pas d'accord, ni d'accord ni désaccord, d'accord et tout à fait d'accord.

Tableau 3: Hypothèses et variables de recherches

Hypothèses spécifiques	Variables indépendantes	Variables dépendantes
✓ Hypothèse 1 (H1): L'utilisation du	L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus	les performances aux scores des élèves du secondaire

logiciel Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore de façon significative les performances aux scores des élèves du secondaire moyen en apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques.	d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques.	moyen en apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques.
Hypothèse 2 (H2): L'utilisation de logiciel Geogebra en enseignement – apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore significative la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen.	L'utilisation de logiciel Geogebra en enseignement – apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques	la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen
Hypothèse 3 (H3): Les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie contribuent significativement à leur apprentissage du concept des fonctions numériques	Les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	leur apprentissage du concept des fonctions numériques

5.2 Description des axes de la recherche

Le cadre de notre étude s'articule autour de trois axes :

- ✓ **Axe 1 : Etudier le dispositif d'apprentissage avec le logiciel dynamique de mathématiques en situation de classe réelle de mathématiques et l'impact de l'utilisation du logiciel par les élèves du lycée sur leurs performances aux scores.**

Sous cet axe 1, il sera analysé les acquisitions des connaissances du concept mathématique des fonctions numériques des élèves par comparaison du niveau des prérequis et des connaissances acquises après l'intervention pédagogique de l'enseignant dans un environnement numérique. Cela sera suivi d'une comparaison des acquisitions des connaissances du concept mathématique des fonctions numériques des élèves entre le dispositif d'apprentissage numérique et le dispositif d'apprentissage traditionnel. En plus, il sera étudié l'effet du niveau d'apprentissage des élèves et leur acquisition de connaissances du concept mathématique des fonctions numériques des élèves en mobilisant le logiciel dynamique.

- ✓ **Axe 2 : Etudier le dispositif d'apprentissage avec le logiciel de la géométrie dynamique en situation de classe réelle de mathématiques et l'impact de l'utilisation du logiciel sur la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen.**

Sous cet axe 2, Il sera analysé la dynamique d'apprentissage des élèves à travers l'intervention pédagogique de l'enseignant dans les deux dispositifs d'enseignement (numérique et traditionnel) et la comparaison des comportements d'apprentissage observables à travers des indicateurs verbaux et non verbaux de la participation, de l'attention et de l'interaction entre élèves et entre élèves et enseignant en situation de classe mathématique au cours de l'apprentissage du concept des fonctions numériques avec et sans le logiciel de mathématique. Il sera analysé l'effet de la médiation proposée par le logiciel Geogebra sur la dynamique de l'apprentissage au cours de l'apprentissage du concept des fonctions numériques.

- ✓ **Axe 3 : Etudier les attitudes des élèves à l'égard des mathématiques et à l'égard de l'apprentissage de mathématiques avec le logiciel de la géométrie dynamique et son effet sur le processus d'apprentissage du concept mathématique de fonctions des élèves du secondaire moyen.**

Sous cet axe 3, il sera analysé les attitudes et comportements déclarés des élèves à l'égard des mathématiques et à l'égard de l'apprentissage de mathématiques avec le logiciel dynamique et étudié les effets de ces attitudes déclarées sur la performance des élèves

mobilisant le logiciel dynamique au cours de l'apprentissage du concept des fonctions numériques avec et sans le logiciel de mathématiques.

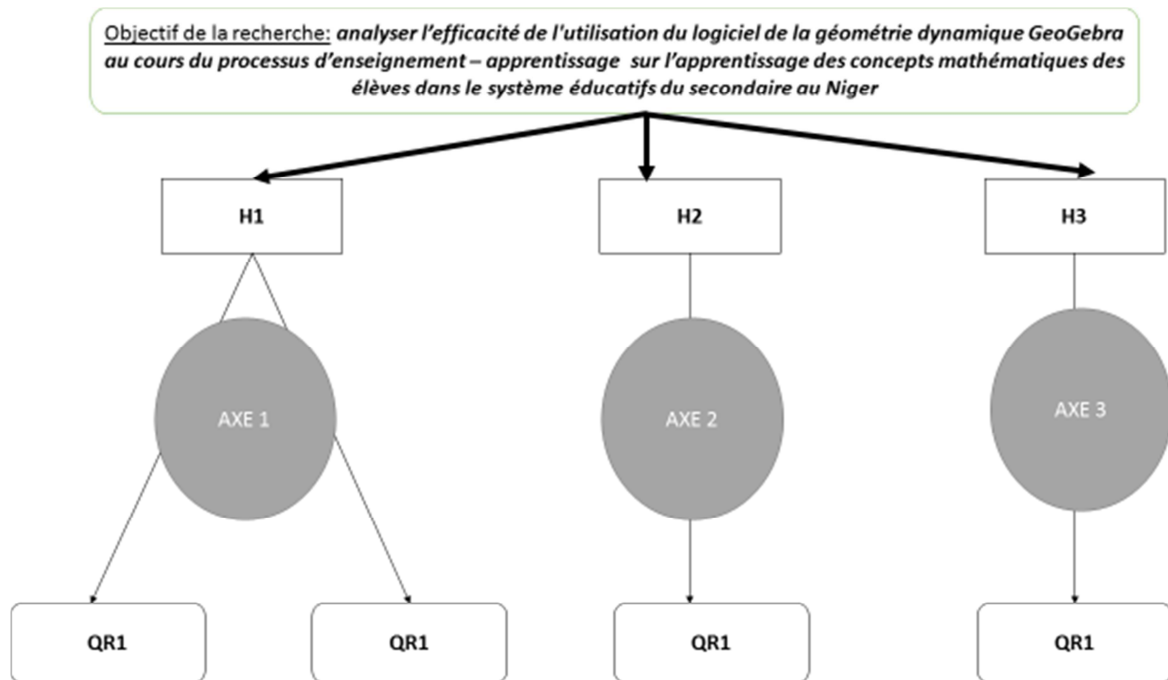


Figure 11: Schématisation des hypothèses, questions et axes de recherche en fonction de l'objectif

6 Synthèse du chapitre 3

La problématique, a permis de présenter les fonctions numériques en tant qu'objet de l'apprentissage des élèves au lycée. L'étude des fonctions numériques est centrale en apprentissage de mathématiques au lycée et il permet surtout de préparer les futurs étudiants des mathématiques et des sciences de l'ingénieur à l'analyse. Mais les recherches en didactiques de mathématiques ont révélé que les élèves du lycée éprouvent des difficultés pour la compréhension de ce concept clé. Ces difficultés de compréhension sont surtout liées aux difficultés que rencontrent les élèves travaillant ce concept dans plusieurs registres de représentations et surtout lors de résolutions de problèmes des fonctions numériques. Il a été permis de constater à partir de la littérature que l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques présente un certain nombre d'avantages qui peuvent être au profit de l'apprentissage de concept de fonctions numériques au lycée pour les élèves. L'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques peut rendre l'environnement de l'apprentissage plus actif et donner aux élèves la possibilité de travailler les fonctions numériques à partir des multiples représentations. C'est fort de ces constats, que la problématique de cette recherche a été posée sous forme de questions, des hypothèses, des objectifs et des axes de recherche.

CHAPITRE IV : CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Ce chapitre présente le cadre méthodologique de cette recherche. Primo, il présente le choix méthodologique plus précisément les méthodes d'échantillonnage, d'élaboration et de validation des outils et de traitements statistiques utilisés dans le cadre de cette recherche quasi expérimentale ; secundo, le dispositif expérimental mise en place pour l'apprentissage du concept mathématique de fonction par les élèves du lycée ; tertio les forces et les faiblesses de la méthodologie de cette recherche.

1 Méthodologie de notre recherche

1.1 Terrain d'étude

Cette recherche a été centrée sur une école secondaire publique située dans la zone nord du Niger plus précisément dans la région d'Agadez. La région d'Agadez, a une superficie de 667 799 Km² soit 52.7% de la superficie totale du Niger, cela fait d'elle la plus vaste des huit régions qui constitue le pays. Elle est limitée au Nord par l'Algérie et la Libye, à l'est par le Tchad, à l'Ouest par la région de Tahoua et enfin au Sud par les régions de Zinder et Maradi. La région d'Agadez est très peu peuplée, sa population est estimée à 566 447 habitants (INS, 2017). La population de région d'Agadez est composée des différentes ethnies du Niger (Touareg, Haoussa, Djerma, Pheul, Arabe etc), mais la composante majoritaire est touarègue.

En 2017, la région d'Agadez compte 96 570 élèves au niveau primaire, 22 622 au 1^{er} cycle du secondaire et 5 390 au 2nde cycle du secondaire (lycée). Le taux brut de scolarisation au titre de l'année 2016 – 2017 est de 97.4% au primaire, de 48.8% au niveau premier cycle du secondaire et 14.8% pour le second cycle du secondaire. On peut constater que seuls 15 élèves en moyenne sont au lycée en 2016 - 2017 sur 100 adolescents (16 à 19 ans) qui sont en âge d'être inscrit au secondaire moyen. Pour l'année académique 2016 – 2017, le taux de réussite au test de fin de l'étude primaire est de 82%, il est 37.4% pour le BEPC et il est de 33.7% pour le BAC (INS, 2017).

La population sources est constitué de Notre choix a porté sur le Complexe d'enseignement secondaire Sanda Maigari (CES/SM) qui est un (1) des quinze (15) établissement public du deuxième cycle du secondaire de la région d'Agadez. C'est un lycée d'enseignement général qui se trouve qui est situé dans la ville d'Arlit de la commune urbaine d'Arlit. Il est créé en 1999 pour accueillir des élèves à la fois des zones urbaines et des zones nomades. C'est un établissement dont la plupart des élèves viennent des familles à faible

revenue. C'est également un établissement qui reflète la diversité culturelle de notre pays, presque toutes les ethnies du Niger sont représentées. Il accueille exclusivement des élèves du niveau lycée même s'il a vocation d'accueillir les élèves de deux cycles du secondaire. L'effectif général de 627 élèves pour 15 classes tous niveaux confondus a été enregistré au titre de l'année 2017 – 2018.

Il faut noter que l'établissement n'a pas une salle informatique pour les élèves mais possède des ordinateurs de bureau et une connexion internet wifi accessible.

1.2 Participants

Les sujets de notre présente recherche sont constitués de 419 élèves ordinaires du niveau lycée (âges compris entre 17 et 19 ans). Cette population d'étude est choisie parmi les élèves du CES/SM. En ce qui est des caractéristiques sociodémographiques de notre échantillon, on peut noter que sur les 419 élèves, 233 sont des garçons (55,61%) et 186 sont des filles (44,39%). Il faut noter que 19 élèves ont un âge de moins de 17 ans (4,53%), 209 élèves ont entre 17 et 19 ans (49,48%) et 191 ont plus de 19 ans (45,59%).

Au titre de l'année 2017 – 2018, quatre (4) enseignants ordinaires, c'est-à-dire non particulièrement experts en technologies éducatives, de la cellule pédagogique (ou unité pédagogique) de mathématiques de cet établissement ont volontairement accepté de participer à cette étude. L'ensemble des élèves ayant participé volontairement à cette recherche, se répartit dans seize (16) classes de trois niveaux d'enseignement (la seconde, la première et la terminale) en prenant en compte les deux séries (scientifique et littéraire).

Au titre de l'année 2018 – 2019, le chercheur, qui est aussi enseignant dudit établissement à intervenir dans une classe ordinaire de première scientifique de 34 élèves. La classe a été sélectionnée parmi les classes attribuées à cet enseignant pour cette année scolaire. Avant l'intervention pédagogique ses élèves ont été préalablement préparés à l'utilisation des fonctionnalités du logiciel éducatif de mathématiques, Geogebra.

Comme l'indique le **tableau 4**, au total c'est cinq (5) enseignants et 419 élèves ont participé à cette étude. Ainsi, au cours de la première phase, les élèves d'un même niveau et d'une même série se répartissent en deux (2) groupes classes ordinaires dont un groupe classe expérimental 1 (GCE1) ayant un environnement d'apprentissage est amélioré par le logiciel Geogebra et un groupe classe témoin (GCT) qui suit les cours dans un environnement traditionnel. La seconde phase est composée d'un groupe classe expérimental 2 (GCE2) ayant

un environnement d'apprentissage numérique structuré avec des élèves qui sont préparés à utiliser le logiciel Geogebra, d'un groupe classe expérimental 1 (GCE1) avec des élèves qui ne sont pas préparés à utiliser le logiciel Geogebra et d'un groupe classe témoin (GCT). Il faut noter toutes les trois classes ordinaires choisies sont du même niveau et de la même série.

Tableau 4: Répartition des enseignants et élèves de notre recherche

Enseignants	Niveau	Série	Groupe classe	Effectif d'élèves
Ens1	2^{nde}	Scientifique	Expérimental	29
			Témoins	23
Ens2	2^{nde}	Littéraire	Expérimental	33
			Témoins	33
Ens3	1^{ère}	Scientifique	Expérimental	31
			Témoins	36
Ens4	1^{ère}	Littéraire	Expérimental	45
			Témoins	46
Ens3	T^{le}	Scientifique	Expérimental	21
			Témoins	25
Ens2	T^{le}	Littéraire	Expérimental	30
			Témoins	33
Ens5	1^{ère}	Scientifique	Expérimental 2	34
Total				419

Il est important de noter que cet échantillon ne vise en aucun cas une représentation de la population des élèves dans les classes de mathématiques du lycée au Niger. Néanmoins, l'échantillon est composé des élèves sont issus d'un établissement public nigérien caractérisé dans sa large majorité par une population économiquement moins aisée et du fait du nombre important des sujets, ceux – ci permettent de prendre en compte un certain nombre de

caractéristiques individuels (social, démographique et économique) qui sera pris en compte lors de l'analyse des données et de l'interprétation de nos résultats.

1.3 Le potentiel éducatif du logiciel dynamique de mathématiques Geogebra

1.3.1 Fonctionnalités du logiciel Geogebra

Geogebra est un logiciel d'apprentissage dynamique de mathématiques qui a été développé par Markus Hohenwarter dans le cadre d'un projet de maîtrise à l'université de Salzburg et qui a été traduit en français par Noel Lamber. C'est un outil pédagogique qui a été développé pour permettre aux élèves d'avoir un regard plus approfondi sur les mathématiques grâce aux multiples représentations que le logiciel Geogebra offre en enseignement – apprentissage des concepts mathématiques (algébrique, graphique, symbolique, numérique).

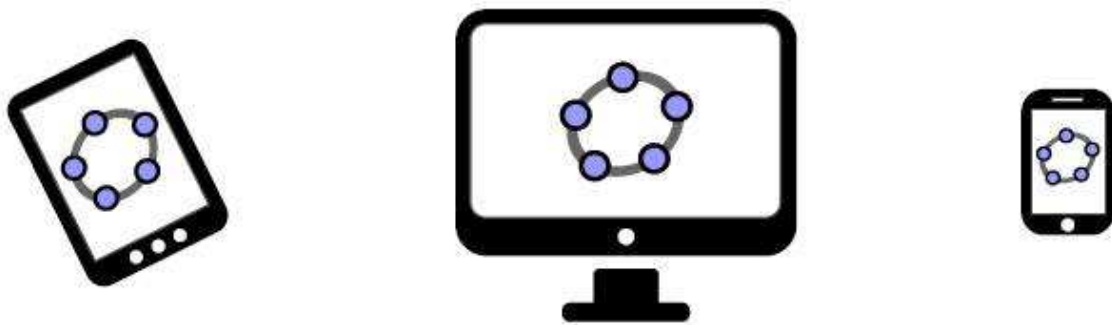


Figure 12: Geogebra est utilisable sur table, ordinateur ou smartphone

Geogebra est aussi un logiciel d'apprentissage dynamique de mathématique qui peut être utilisée en mode direct en ligne. Ainsi, il permet à l'enseignant de créer en ligne de pages web interactives et de créer différentes constructions mathématiques et permettre aux élèves de faire des investigations interactives des objets mathématiques en ligne.

Geogebra est également un logiciel d'apprentissage de mathématiques qui peut être téléchargé et installé sur un ordinateur, une tablette numérique ou un smartphone. Ainsi l'enseignant et ses élèves peuvent travailler des concepts mathématiques dans un environnement numérique en situation de classe réelle ou dans la salle informatique.

Geogebra est enfin un logiciel d'apprentissage de mathématique qui présente un certain nombre d'avantages pour son utilisation telle que :

- Geogebra est un logiciel libre, c'est qui signifie qu'il peut être téléchargé et utilisé gratuitement et son utilisateur a le droit d'effectuer des modifications car c'est aussi une « open source » ;
- Geogebra est doté d'une interface simple et facile à utiliser (voir la **figure 12**). Dès son lancement, l'écran est divisé en deux parties : celle de droite représente les objets géométriques (points, figures, systèmes de coordonnées etc.) et celle de gauche les expressions algébriques. D'autres fenêtres peuvent être ouvertes à partir du menu « Affichage » telles que celle de calcul formel, du tableur etc. ;
- la ligne de commande est ce qui différencie Geogebra avec d'autres logiciels dynamiques. Avec la ligne de commande on peut facilement écrire une fonction sous différentes formes (développé– réduite, factorisée ou canonique) par exemple $f(x) = 2(x - 1)(x + 2)(x - 1)$ et obtenir directement la courbe représentation graphique dans la fenêtre des graphiques pour faire des interprétations graphiques (manipuler la figure tout en conservant ses propriétés), puis utiliser la fenêtre de calcul formel pour étudier algébriquement le comportement de cette fonction (calcul des dérivées de la fonction, les limites aux bornes du domaine de définition de la fonction etc.) ou la fenêtre du tableur pour faire des calculs numériques (dresser un tableau de valeurs). Une liste des commandes existe pour faciliter l'utilisation de la ligne de commande aux utilisateurs et il suffit d'écrire le début d'une commande pour que Geogebra complète de manière automatique la syntaxe ou bien utiliser le menu aide saisi lorsque l'on a du mal à retrouver la commande appropriée.

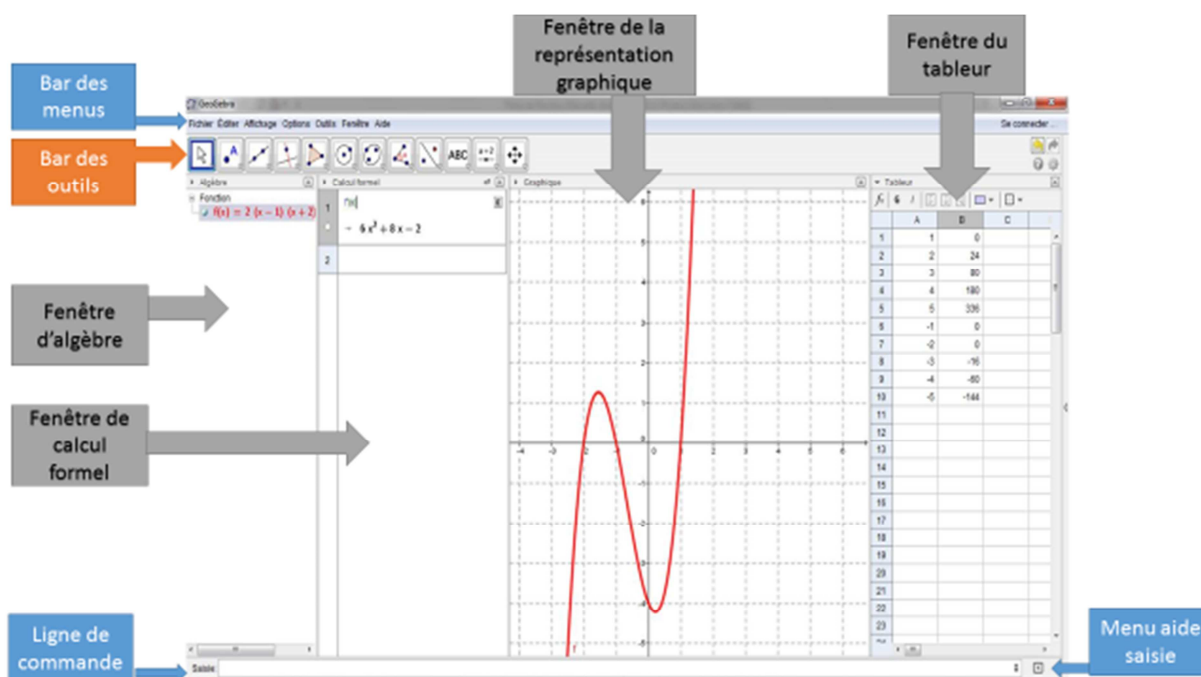


Figure 13: Quelques fonctionnalités importantes de Geogebra

1.3.2 Le rôle de Geogebra pour la compréhension des fonctions

Le logiciel Geogebra a été doté de plusieurs interfaces alors, ce qui fait de ce logiciel de mathématiques un environnement favorable pour exploration dynamique du concept mathématique de fonctions numériques à partir des multiples représentations (Dicovic, 2009 et Freiman, Martinovic et Karadag, 2009). Selon ces chercheurs, logiciel Geogebra est un outil de visualisation mathématique et qui est particulièrement riche pour la visualisation multi-représentations du concept mathématique comme les fonctions. C'est donc un logiciel de mathématique qui permet à l'élève d'adapter la démarche débutant par la manipulation directe, ensuite l'observation, puis d'émettre une conjecture, et par la suite essayer de la valider le résultat de façon expérimental et déductif.

Geogebra est un logiciel de mathématiques qui est facile à manipuler pour la représentation de la fonction numérique. Il offre aux élèves des possibilités d'essais et erreurs et en plus il est doté d'un guide manipulation des fonctions des commandes facilement accessibles, ce qui fait sa facilité d'emploi dans des nombreuses tâches mathématiques des élèves. Ces fonctions de commande offrent des possibilités aux élèves de trouver les commandes qui répondent à leurs besoins de résolution de problèmes de fonctions numériques selon leur niveau de maîtrise des fonctionnalités de Geogebra. Par exemple pour écrire algébriquement une fonction numérique, un élève peut utiliser le clavier du support pour écrire la syntaxe qui correspond ou utiliser le début de la commande pour que le

Geogebra la complète ou bien utiliser le clavier virtuel de Geogebra pour écrire la syntaxe où se référer d'abord à l'aide au saisi, s'il a des difficultés à retrouver la commande appropriée.

Geogebra peut être utilisé pour la visualisation de la fonction numérique dans les différents registres de représentation : algébrique, graphique, symbolique et numérique. L'utilisation de multiples représentations du logiciel Geogebra peut permettre aux élèves au cours de l'apprentissage du concept mathématique de fonction d'établir des liens entre les différentes représentations de la fonction numérique (Lagrange, 2010) dans les différents registres en particulier les registres algébrique et graphique, puis ils peuvent étudier les propriétés de la fonction ainsi permettre la compréhension de la notion de fonction numérique (Dicovic, 2009 ; Freiman, Martinovic & Karadag.,2009 ; Takači, & Vukobratović, R., 2011 et Kllogjeri, 2015).

1.4 Le scénario d'apprentissage du concept des fonctions au lycée

1.4.1 Définition du scénario d'apprentissage

Le scénario d'apprentissage représente la description a priori ou a posteriori du déroulement d'une situation d'apprentissage qui vise l'appropriation d'un concept mathématique donné en précisant entre autres le rôle de l'enseignant et celui des apprenants, les activités à réaliser, les ressources disponibles pour les atteintes des objectifs d'apprentissage, les outils didactiques et les formes de médiations nécessaires à la mise en œuvre des activités d'enseignement et d'apprentissage (Pernin, 2003 ; Kadir et Coulibaly, 2017). Le scénario suit le déroulement de la progression pédagogique par conséquent, l'enchaînement de ces étapes n'a de sens que si l'enseignant atteint les buts fixés avant de passer à la suite. Le **tableau 5**, illustre la progression de référence pour les enseignants de notre expérimentation selon le programme de mathématique en vigueur depuis 2015 au Niger.

Le scénario d'apprentissage intègre également l'approche pédagogique dans le choix d'outils appropriés permettant de définir un enseignement de mathématiques cohérent. Le scénario s'inscrit aussi dans une démarche qui relève du paradigme d'apprentissage en ce sens il requiert de la part de l'enseignant de mathématiques un certain nombre de qualités. On peut citer entre autres une bonne culture pédagogique, une capacité à anticiper l'activité cognitive des apprenants, la nécessité de posséder une maîtrise suffisante de l'analyse des potentialités des outils didactiques traditionnels ou numériques, de leurs exploitations possibles pour développer des stratégies d'intégration adéquates et efficaces au regard des besoins de l'apprentissage des élèves, la compétence d'identification des apports du numérique et de

plus-value pédagogique, enfin une compétence professionnelle qui consiste à communiquer en tout temps sur le sens et les intentions pédagogiques liés aux activités menées avec les apprenants.

Tableau 5: Progression selon programme mathématique en vigueur depuis de 2015 au Niger

Niveau	Séances	Contenus	Objectifs	Commentaires
2 ^{nde}	1	Étude de Fonctions polynômes du second degré : zéros, factorisation, forme canonique et signe.	Déterminer la forme canonique, la factorisation, le signe d'une fonction polynôme du second degré.	L'étude de ces fonctions consistera à les représenter point par point, à exploiter leurs représentations graphiques pour dégager certaines de leurs propriétés (sens de variation, parité, extremums, symétries).
	2	Propriétés des fonctions polynômes du second degré <ul style="list-style-type: none"> ❖ Maximum, minimum d'une fonction sur un intervalle ❖ Fonctions croissantes, décroissantes, sur un intervalle. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Étudier la parité d'une fonction ❖ Déterminer si possible le maximum, le minimum d'une fonction sur un intervalle. ❖ Déterminer le sens de variation d'une fonction sur un intervalle. 	On utilisera plusieurs approches (interprétation graphique, utilisation du calcul et comparaison) pour déterminer le sens de variation d'une fonction.
1 ^{ère}	1	Généralités sur les fonctions numériques d'une variable	.Comparer deux fonctions (algébriquement et graphiquement)	Les élèves ont étudié en 2 ^{nde} et ont fait les représentations point par

réelle.

Comparaison de deux

fonctions (f & g)

point des fonctions de
références

2

Limites.

Notion de limite d'une fonction

Établir le comportement
des fonctions de référence
:

$$x \rightarrow x^2; x \rightarrow \frac{1}{x};$$

$$x \rightarrow \sqrt{x}; x \rightarrow x^3;$$

$$x \rightarrow \frac{1}{x^2}; x \rightarrow \frac{1}{x^3};$$

$$x \rightarrow \frac{1}{\sqrt{x}}$$

quand x devient

<<grand>> ou <<petit>>.

.Définir la limite d'une
fonction en $+\infty$, en
 $-\infty$ ou en un réel.

On déterminera les
comportements des
fonctions de référence à
l'aide des tableaux de
valeurs. Ce qui aboutira
aux limites de ces
fonctions

T^{le}

1

**Étude de fonctions
numériques**

d'une variable réelle,

représentation graphique de

fonctions numériques

Utiliser la représentation
graphique pour étudier
une fonction numérique

Utiliser la représentation
graphique pour résoudre
une équation, une
inéquation.

2

Étudier et représenter une
fonction numérique

1.4.2 Caractérisation des scénarii d'apprentissage de la fonction numérique

Pour ne pas trop s'éloigner dans cette expérimentation des activités mathématiques quotidiennes des classes mathématiques au lycée, les cinq enseignants, à travers leurs réunions de l'unité pédagogique de mathématiques, ont choisi les activités mathématiques intégrant le logiciel Geogebra (Gelis et Assude, 2002). Mais également l'élaboration des scénarios pédagogiques respect les consignes du programme mathématique officiel de 2015 qui est en vigueur. Les activités d'apprentissage proposées au cours de cette expérimentation s'appuient les réunions de l'unité pédagogique de mathématiques de cet établissement qui se tiennent sur une journée par semaine. Au cours de l'année académique 2017 – 2018, c'est la journée de lundi qui est consacrée à la réunion de l'UP de mathématiques. Avant chaque réunion, un(e) secrétaire de séance est désigné, comme il a toujours été de tradition de cette UP, pour remplir la fiche de leçons selon le modèle de la fiche pédagogique de référence (**voir annexe A1**) au cours des discussions sur le contenu de l'apprentissage et les activités à réaliser pour chaque niveau (de la seconde à la terminale). Ensuite, chaque enseignant adapte la progression du groupe à son enseignement pour les différents niveaux qu'il enseigne. La démarche méthodologique est de respecter la pratique pédagogique quotidienne des enseignants de cet établissement du secondaire moyen pour que les situations d'intégration du logiciel Geogebra ne soient pas éloignées de celle d'une classe ordinaire (Gelis et Assude, 2002). Ainsi les différentes fiches de leçons nécessaires à la progression des séquences de cours sont collectées à des fins d'analyse des scénarii (**voir annexe A2**).

1.4.3 Scénario conçu pour les élèves de la seconde

Le scénario vise dans un premier temps à établir un équilibre entre le travail sur des connaissances déjà acquises sur les polynômes du second degré du chapitre équations et inéquations du seconde degré et l'introduire des nouveaux concepts puis dans un second temps de mobiliser ces connaissances pour résoudre des problèmes sur les fonctions polynômes du second degré. Il vise à aider les élèves à représenter et à exploiter les représentations graphiques des fonctions polynôme du second degré pour dégager certaines de leurs propriétés graphiques, numérique et algébrique. Geogebra est destiné à aider les élèves à explorer le concept mathématique de fonctions à travers ces deux leçons de 3 heures qui ont été prévus par les enseignants.

Leçon 1 : Étude de fonction polynôme : Zéro de la fonction, la forme canonique, la forme factorisée et le sens de variation

Le scénario vise à aider les élèves d'une classe ordinaire de mathématique de seconde à établir un équilibre entre le travail sur des connaissances déjà acquises sur les polynômes du second degré vus dans le chapitre équations et inéquation du premier et du second degré dans IR et l'introduire des nouveaux concepts. Le logiciel Geogebra utilisé, lors de cette leçon, est sur des supports mobiles (des tablettes et smartphones).

La phase 1 : L'enseignant introduit la leçon et la prise en main du logiciel Geogebra

Tâche 1 : Contrôle des prés – requis, l'enseignant propose un exercice au tableau sur les fonctions affines vues en classe de 3^{ème} et demande aux élèves les images d'un certain nombre de points énumérés.

Tâche 2 : Justification, l'enseignant fait ressortir l'utilité des fonctions numériques pour les élèves à l'instant même et dans l'avenir.

Tâche 3 : Motivation : l'enseignant demande aux élèves de donner des exemples de l'utilité des fonctions numériques dans la vie sociale

Tâche 4 : Enonciation des objectifs au cours de laquelle l'enseignant annonce les objectifs d'apprentissage

Tâche 5 : Présentation des outils du logiciel Geogebra

Tâche 6 : Présente le problème aux élèves. Les élèves sont appelés à résoudre le problème soit individuellement, soit en groupe ou en collectif selon la stratégie d'apprentissage mise en place par l'enseignant.

La phase 2 : Résolution du problème. Les élèves sont appelés à exécuter six tâches concernant les fonctions cibles : $f(x) = -x^2 + 4x + 5$; $g(x) = 2x^2 - 2x + \frac{1}{2}$ et $h(x) = 4x^2 - 2x + 1$

Tâche 1 : Représenter chacune des fonctions f , g et h sur l'interface de Geogebra

Tâche 2 : Vérifier à l'aide du logiciel de calcul formel à l'aide de Geogebra puis à la main si le nombre réel α donné annule la fonction f , g ou h

Tâche 3 : Déterminer à l'aide du logiciel de calcul formel à l'aide de Geogebra la forme canonique de chacune de ces fonctions cibles

Tâche 4 : Déduire à la main et à l'aide de Geogebra le nombre de zéros de chaque fonction cible à partir de sa forme canonique

Tâche 5 : Déduire le nombre de zéros de chaque fonction cible à partir de sa forme factorisée

Tâche 6 : Etudier à l'aide de Geogebra puis à la main le signe de chacune des fonctions cibles

La phase 3 : Synthèse du travail des élèves

Tâche 1 : L'enseignant fait la restitution ou demande aux élèves de la faire.

Tâche 2 : L'enseignant s'assure que les objectifs de la leçon ont été atteints en revisitant les résultats des activités et en tirant une synthèse en collaboration avec ses élèves.

La phase 4 : L'enseignant recueille les réactions des élèves en rapport avec la leçon en posant des questions que les élèves sont appelés à répondre au cours du déroulement et à la fin de leçon.

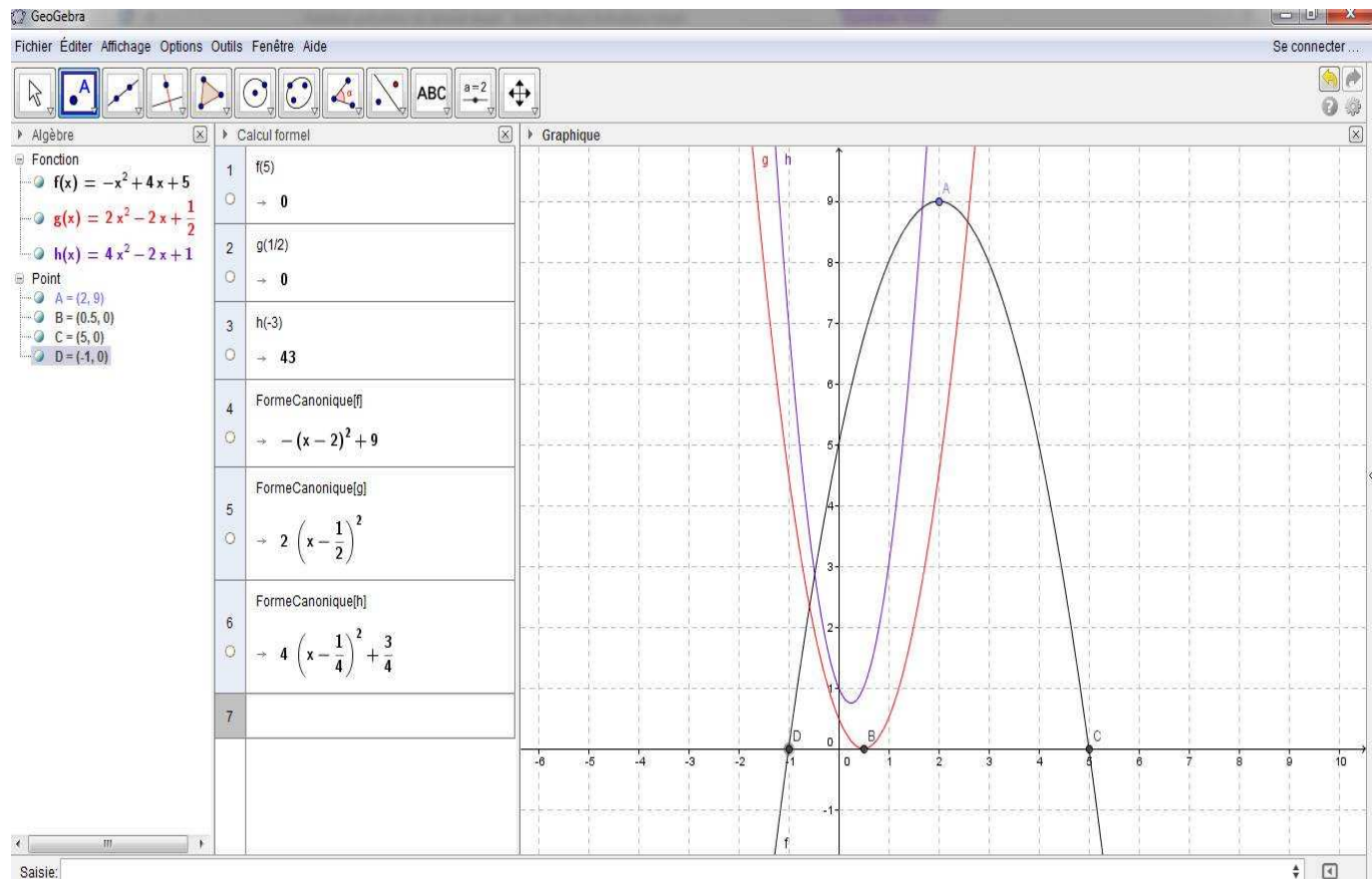


Figure 14: L'écran de Geogebra montrant les fonctions polynômes f , g et h

Comme la **figure 5** a montré, les élèves sont appelés à manipuler Geogebra, d'abord à taper dans la ligne de saisie (en bas de l'écran ou celle de la fenêtre algébrique) l'expression de la fonction par exemple la fonction $f(x)$ en fonction de x , la fonction sera alors nommée et visible dans la fenêtre « algèbre » et sa représentation graphique sera représentée graphiquement dans la fenêtre « graphique ». Puis dans un second temps, à taper dans la ligne de saisie de la fenêtre de « calcul » pour calculer les images de points et les formes canoniques des fonctions f , g et h .

Leçon 2 : Étude des propriétés de fonction polynôme du second degré

Le scénario vise à aider les élèves d'une classe ordinaire de mathématique de seconde à étudier la parité d'une fonction polynômes de second degré, à déterminer si possible le maximum et minimum d'une fonction polynômes du second degré sur un intervalle et à déterminer le sens de variation de cette fonction sur un intervalle. Les élèves utiliseront plusieurs approches (interprétation graphique, utilisation du calcul et comparaison) pour déterminer le sens de variation de la fonction polynômes du second degré. Les élèves sont appelés à mobiliser le logiciel Geogebra pour résoudre un problème portant sur ses différentes propriétés de la fonction du second degré. Le logiciel Geogebra utilisé lors de cette leçon fonctionne est sur un support mobile (des tablettes et smartphones).

La phase 1 : L'enseignant introduit la leçon

Tâche 1 : Contrôle des prés – requis, l'enseignant propose un exercice au tableau sur les fonctions et demande aux élèves de préciser le degré de fonction polynômes données et de calculer les images d'un certain nombre de points énumérés.

Tâche 2 : Justification, l'enseignant fait ressortir l'utilité des fonctions numériques pour les élèves à l'instant même et dans l'avenir.

Tâche 3 : Motivation : l'enseignant demande aux élèves de donner des exemples de l'utilité des fonctions numériques dans la vie sociale

Tâche 4 : Énonciation des objectifs du cours, l'enseignant annonce les objectifs d'apprentissage

Tâche 6 : Présente le problème aux élèves. Les élèves sont appelés à résoudre le problème soit individuellement, soit en groupe ou en collectif selon la stratégie d'apprentissage mise en place par l'enseignant.

La phase 2 : Résolution de problèmes. Les élèves sont appelés à exécuter six tâches :

Tâche 1 : Représenter la fonction du second degré définie par $f(x) = x^2 + 2x - 3$ à l'aide de Geogebra

Tâche 2 : Déterminer le domaine de définition de f . La représentation graphique sur l'interface de Geogebra sera d'une utilité pour que les élèves parviennent à déterminer le domaine de définition de la fonction cible.

Tâche 3 : Etudier la variation de la fonction cible sur un intervalle donné. Les élèves parviendront à visualiser la représentation graphique de la fonction cible sur l'interface de Geogebra.

Tâche4 : Dresser le tableau de variation. Les élèves parviendront à visualiser la représentation graphique de la fonction cible sur l'interface graphique de Geogebra, identifier la valeur minimum et à la calculer grâce à l'interface de calcul algébrique ou celui de calcul formel. Grâce à l'interface graphique de ce logiciel, les élèves parviendront à identifier la valeur réelle pour laquelle le minimum est atteint.

Tâche5 : Compléter le tableau des valeurs à mains. Le logiciel Geogebra sera d'une aide grâce à ces interfaces graphique et algébrique pour calculer les images des nombres réels données dans le tableau des valeurs.

Tâche6 : Représenter point par point la courbe de la fonction cible à la main. La visualisation de cette représentation sur l'interface graphique de Geogebra sera d'une aide pour faire cette tâche.

La phase 3 : Synthèse du travail des élèves

Tâche 1 : L'enseignant fait la restitution ou demande aux élèves de la faire.

Tâche 2 : L'enseignant s'assure que les objectifs de la leçon ont été atteints en revisitant les résultats des activités et en tirant une synthèse en collaboration avec ses élèves.

La phase 4 : L'enseignant recueille les réactions des élèves en rapport avec la leçon en posant des questions que les élèves sont appelés à répondre au cours du déroulement et à la fin de leçon.

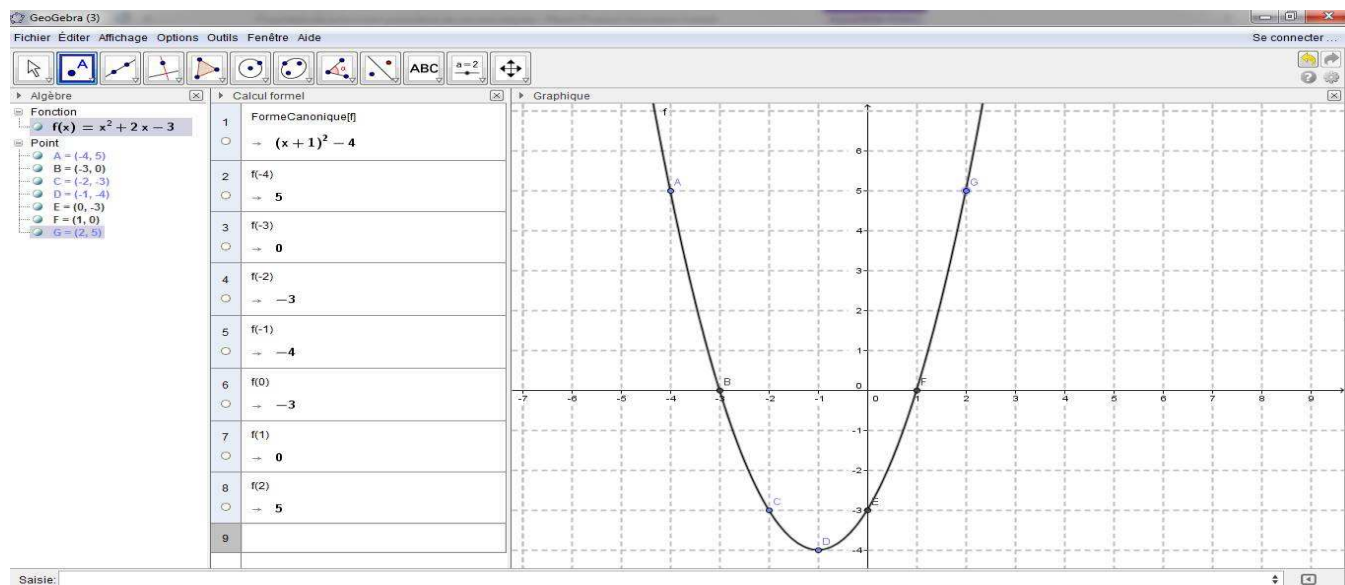


Figure 15: L'écran de Geogebra montrant la fonction polynôme f

Comme la **figure 6** a montré, les élèves sont appelés à manipuler Geogebra, d'abord à taper dans la ligne de saisie (en bas de l'écran ou celle de la fenêtre algébrique) l'expression de la fonction par exemple la fonction $f(x) = x^2 + 2x - 3$, la fonction sera alors nommée et visible dans la fenêtre « algèbre » et pour sa représentation graphique, elle sera représentée graphiquement dans la fenêtre « graphique ». Puis dans un second temps, à taper dans la ligne de saisie de la fenêtre de « calcul » pour déterminer la forme canonique $f(x) = (x + 1)^2 - 4$ puis à identifier le minimum $\beta = -4$ de f et il est atteint pour la valeur de $\alpha = -1$ ensuite calculé les images des antécédents et placé les différents points sur la courbe représentative de f .

1.4.4 Scénario conçu pour les élèves de la première

Le scénario vise dans un premier temps à établir un équilibre entre le travail sur des connaissances déjà acquises sur les fonctions de références et l'introduire des nouveaux concepts puis dans un second temps d'étudier le comportement de ces fonctions élémentaires. Il vise à aider les élèves à comparer graphiquement et algébriquement les fonctions de références et à déterminer le comportement de fonctions de référence à l'aide de différents registres de représentation. Geogebra est destiné à aider les élèves à explorer le concept mathématique de fonctions à travers ces deux leçons de 3 heures qui ont été prévus par les enseignants.

Leçon 1 : Généralité sur les fonctions numériques d'une variable réelle : comparaison de deux fonctions

La leçon vise à aider les élèves d'une classe ordinaire de mathématique de première à établir un équilibre entre le travail sur des connaissances déjà acquises sur les fonctions de références vues en classe de seconde et l'introduire des nouveaux concepts. Le logiciel Geogebra utilisé lors de cette leçon fonctionne est sur un support mobile (des tablettes et smartphones).

La phase 1 : L'enseignant introduit la prise en main du logiciel Geogebra

La phase 2 : Les élèves sont appelés à exécuter cinq tâches concernant les fonctions cibles : $f(x) = x^2$ et $g(x) = x^3$

Tâche 1 : Représenter les fonctions f et g à l'aide de Geogebra. Les élèves se serviront de l'interface algébrique pour écrire la représentation algébrique de la fonction cible et grâce à l'interface graphique ils peuvent visualiser la représentation graphique de cette fonction.

Tâche 2 : Compléter le tableau de variation à l'aide de Geogebra. Les élèves se serviront de l'interface de calcul algébrique ou celui de calcul graphique pour calculer les images des antécédents données. L'interface graphique permet aussi aux élèves de visualiser les coordonnées de points donnés grâce à la commande de la grille et le curseur des points.

Tâche 3 : Identifier les réels x pour lesquels les deux fonctions sont égales c'est-à-dire $f(x)=g(x)$ Déterminer à la main la forme canonique de chacune de ces fonctions cibles. La visualisation et l'interprétation du graphique seront d'une aide pour l'exécution de cette tâche par les élèves.

Tâche 4 : Comparer graphiquement les deux fonctions sur un intervalle donné à l'aide de Geogebra grâce à la visualisation et à l'interprétation des positions relatives des deux fonctions

Tâche 5 : Déterminer les points d'intersection des courbes représentatives des deux fonctions cibles avec l'axe des abscisses à l'aide de Geogebra grâce à la visualisation, identification et à l'interprétation des points d'intersection avec l'axe d'abscisses.

La phase 3 : Synthèse du travail des élèves

Tâche 1 : L'enseignant fait la restitution ou demande aux élèves de la faire.

Tâche 2 : L'enseignant s'assure que les objectifs de la leçon ont été atteints en revisitant les résultats des activités et en tirant une synthèse en collaboration avec ses élèves.

La phase 4 : L'enseignant recueille les réactions des élèves en rapport avec la leçon en posant des questions que les élèves sont appelés à répondre au cours du déroulement et à la fin de la leçon.

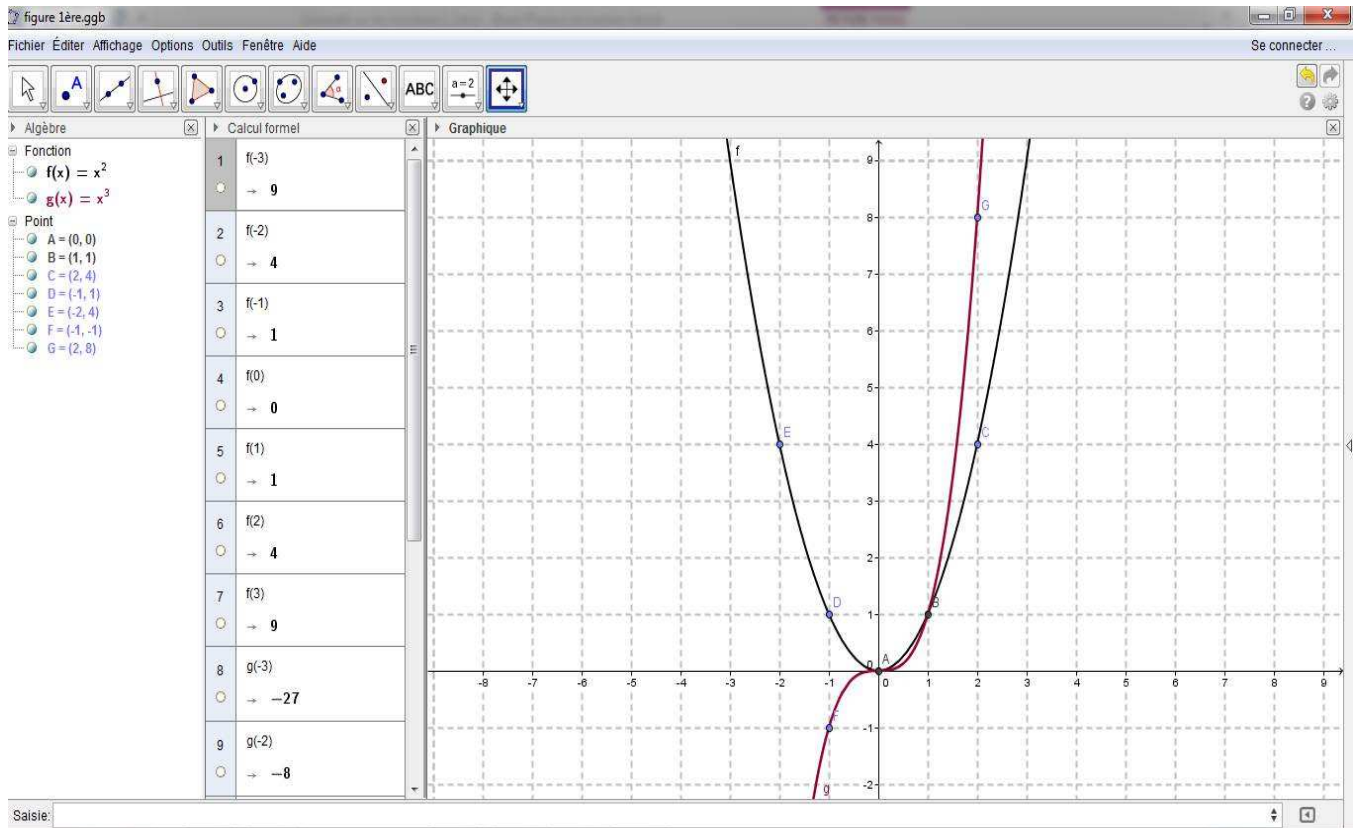


Figure 16: L'écran de Geogebra montrant les fonctions usuelles f et g .

Comme la **figure 7** a montré, les élèves sont appelés à manipuler Geogebra, d'abord à taper dans la ligne de saisie (en bas de l'écran ou celle de la fenêtre algébrique) les expressions des fonctions usuelles, carrées et cubiques respective $f(x) = x^2$ et $g(x) = x^3$, les fonctions seront alors nommées et visibles dans la fenêtre « algèbre » et leurs représentations graphiques respectives dans la fenêtre « graphique ». Puis dans un second temps, à taper dans la ligne de saisie de la fenêtre de « calcul » pour calculer les images par f des antécédents donnés.

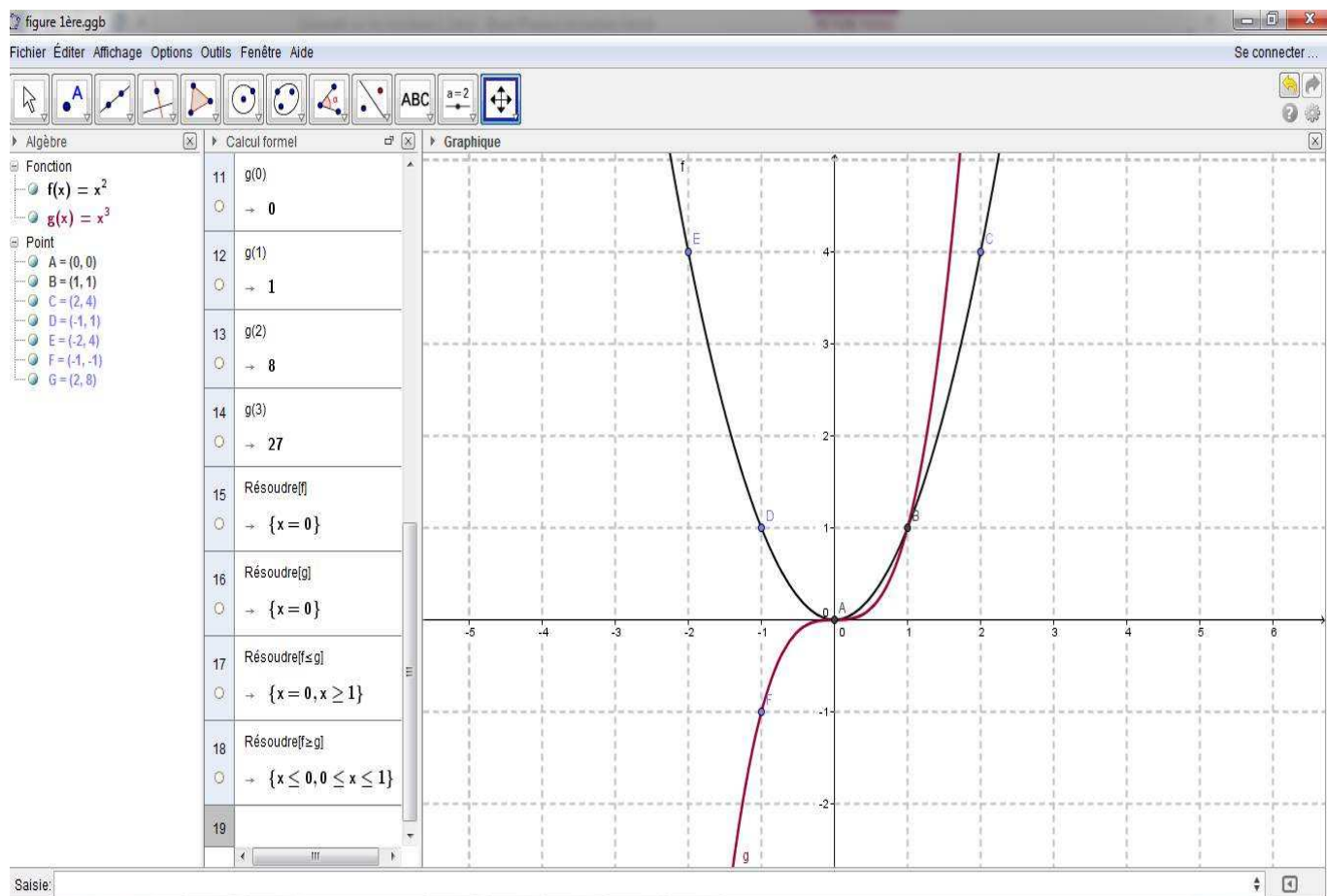


Figure 17: L'écran de Geogebra montrant les fonctions usuelles f et g .

Comme la **figure 8** a montré, les élèves sont appelés à manipuler Geogebra et visualiser les résultats sur l'écran pour faire des conjectures, les représentations graphiques des fonctions f et g . Préalablement saisies, elles sont visualisées par les élèves pour comparer les positions relatives des courbes représentatives sur des intervalles donnés puis interpréter les résultats et pour vérifier algébriquement ces résultats à taper dans la ligne de saisie de la fenêtre de « calcul » pour résoudre les équations pour obtenir la valeur de x pour laquelle $f(x) = g(x)$ et inéquations pour obtenir les intervalles pour lesquelles $f(x) \geq g(x)$ et $f(x) \leq g(x)$.

Leçon 2 : Généralité sur les fonctions numériques d'une variable réelle : Calcul de limites des fonctions

Le scénario vise à aider les élèves d'une classe ordinaire de mathématique de première à étudier le comportement des fonctions de références. Les élèves utiliseront plusieurs approches (interprétation graphique, utilisation du calcul et comparaison) pour calculer les limites des fonctions de références. Les élèves sont appelés à mobiliser le logiciel Geogebra

pour résoudre un problème portant sur le calcul des limites à l'infini des fonctions de références.

La phase 1 : L'enseignant introduit la leçon

Tâche 1 : Contrôle des pré – requis, l'enseignant propose un exercice au tableau sur les fonctions et demande aux élèves de préciser le degré de fonction polynômes données et de calculer les images d'un certain nombre de points énumérés.

Tâche 2 : Justification, l'enseignant fait ressortir l'utilité des fonctions numériques pour les élèves à l'instant même et dans l'avenir.

Tâche 3 : Motivation : l'enseignant demande aux élèves de donner des exemples de l'utilité des fonctions numériques dans la vie sociale

Tâche 4 : Énonciation des objectifs du cours, ainsi l'enseignant annonce les objectifs d'apprentissage

Tâche 6 : Présente le problème aux élèves. Les élèves sont appelés à résoudre le problème soit individuellement, soit en groupe ou en collectif selon la stratégie d'apprentissage mise en place par l'enseignant.

La phase 2 : Les élèves sont appelés à exécuter trois tâches sur les fonctions de références :

$$f(x) = x^2, f(x) = x^3, f(x) = \sqrt{x}, f(x) = \frac{1}{x} \text{ et } f(x) = \frac{1}{x^2}$$

Tâche 1 : Compléter le tableau de valeur des différentes fonctions de références à l'aide du logiciel Geogebra. Les élèves se serviront de l'interface de calcul algébrique ou celui de calcul graphique pour calculer les images des antécédents données. L'interface graphique permet aussi aux élèves de visualiser les coordonnées de points données grâce à la commande de la grille et le curseur des points.

Tâche 2 : Exploiter et interpréter les résultats obtenus dans le tableau de valeur. La visualisation des représentations graphiques au voisinage de l'infini peut aider les élèves à conjecturer.

Tâche 3 : Calculer les limites des fonctions de références en utilisant le symbole qui correspond.

La phase 3 : Synthèse du travail des élèves

Tâche 1 : L'enseignant fait la restitution ou demande aux élèves de la faire.

Tâche 2 : L'enseignant s'assure que les objectifs de la leçon ont été atteints en revisitant les résultats des activités et en tirant une synthèse en collaboration avec ses élèves.

La phase 4 : L'enseignant recueille les réactions des élèves en rapport avec la leçon en posant des questions que les élèves sont appelés à répondre au cours du déroulement et à la fin de leçon.

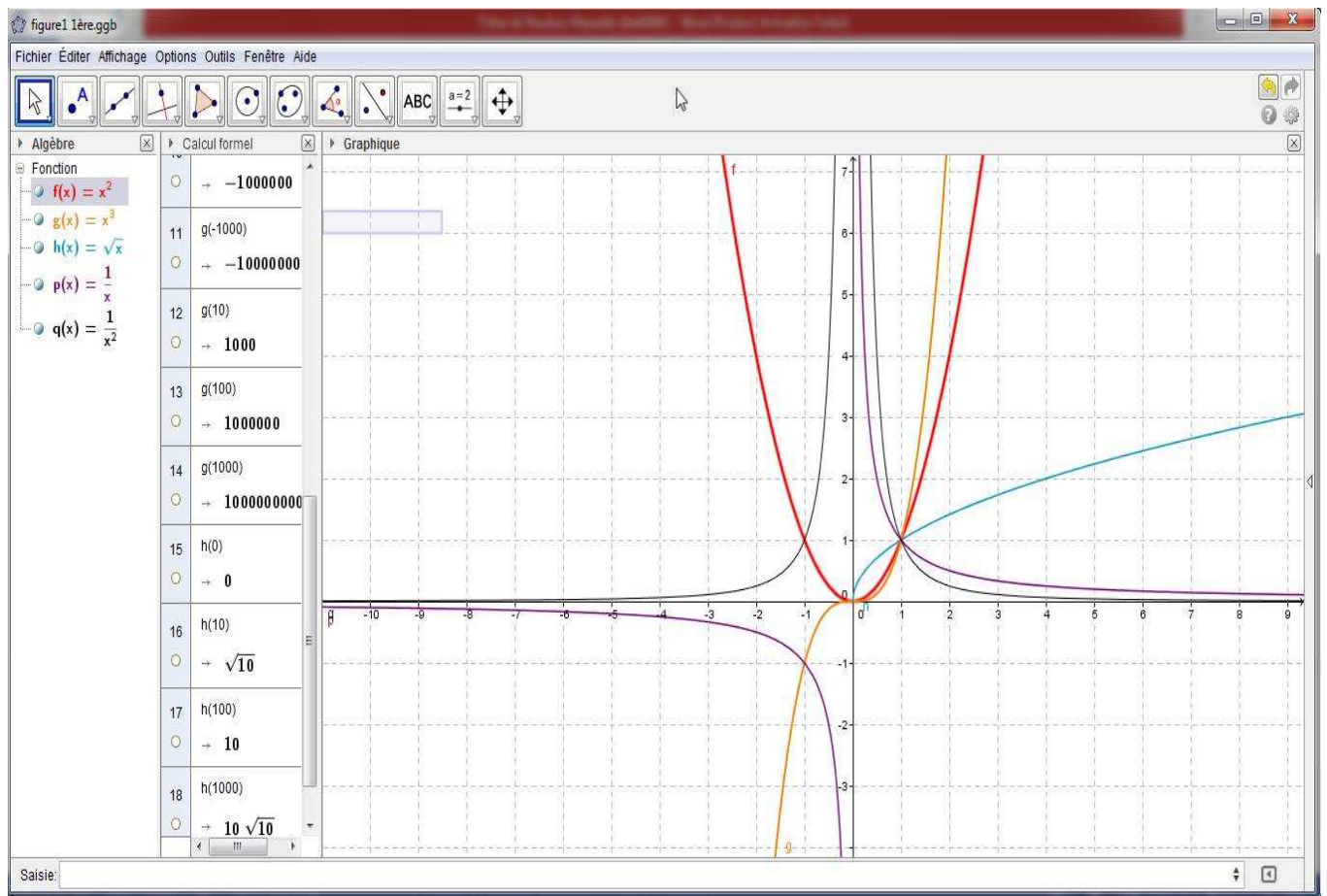


Figure 18: L'écran de Geogebra montrant les fonctions élémentaires.

Comme la **figure 9** a montré, les élèves sont appelés à manipuler Geogebra, d'abord à taper dans la ligne de saisie (en bas de l'écran ou celle de la fenêtre algébrique) les expressions des fonctions élémentaires, les fonctions seront alors nommées et visibles dans la fenêtre « algèbre » et leurs représentations graphiques respectives, elles seront représentées graphiquement dans la fenêtre « graphique ». Les élèves sont appelés ensuite à faire des conjectures sur les tendances des courbes représentatives de chaque fonction lorsque x devient de plus en plus grand ou lorsque x devient de plus en plus petit. Puis dans un second temps vérifier le résultat obtenu, alors les élèves sont appelés à taper dans la ligne de saisie de

la fenêtre de « calcul » pour calculer les images des antécédents données et vérifier les différentes tendances numériquement.

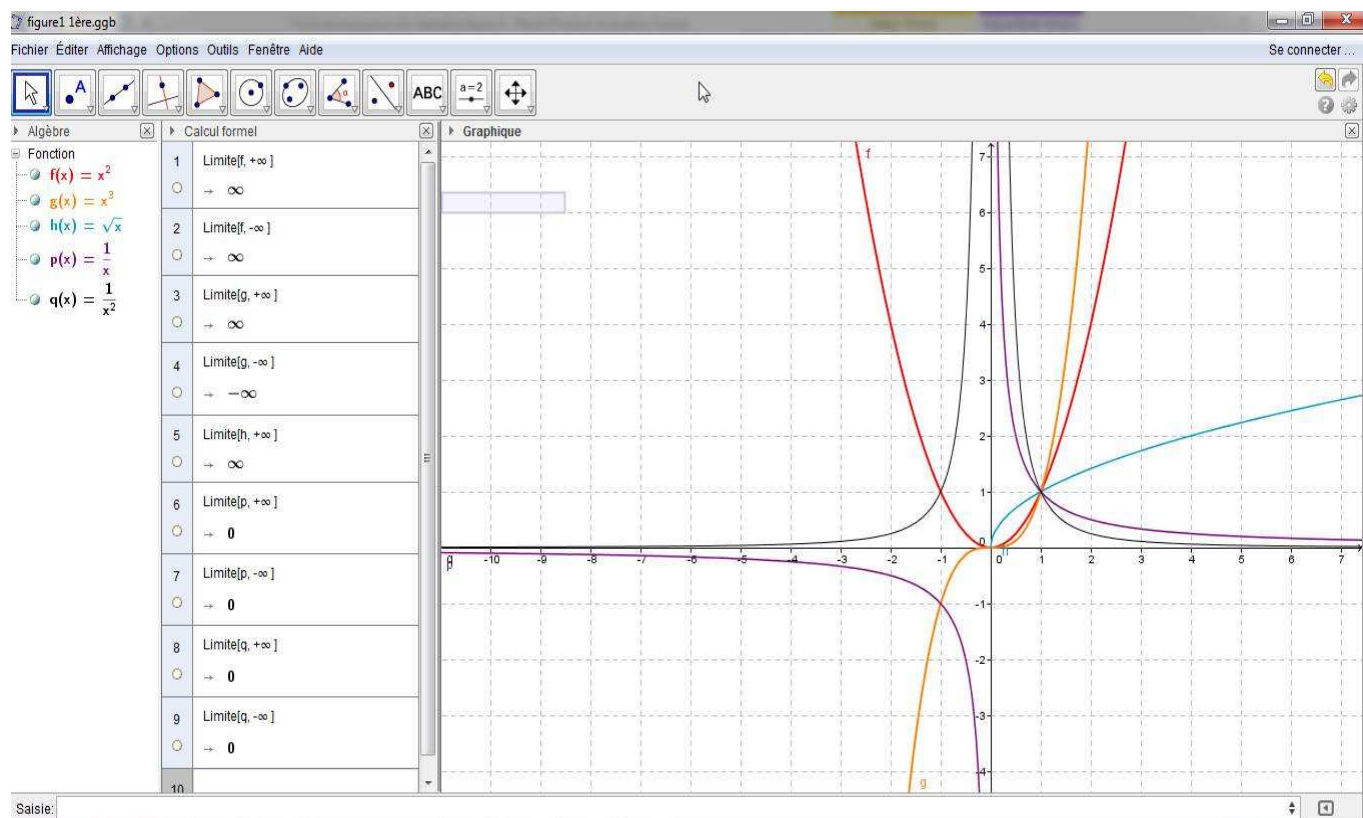


Figure 19: L'écran de Geogebra montrant les limites fonctions élémentaires

Comme la **figure 10** a montré, les élèves sont appelés à manipuler Geogebra et visualiser les résultats sur l'écran pour faire des conjectures, les représentations graphiques des fonctions élémentaires préalablement saisies sont visualisées par les élèves interpréter les tendances des courbes vers les infinies et pour vérifier algébriquement ces résultats, ils sont appelés à taper dans la ligne de saisie de la fenêtre de « calcul » pour calculer les limites à l'infinie.

1.4.5 Scénario conçu pour les élèves de la terminale

Le scénario vise à, dans un premier temps, étudier graphiquement une fonction numérique pour établir un équilibre entre les interprétations des élèves et le travail sur des connaissances déjà acquises sur les notions de fonctions et dans un second temps une étude de fonctions homographiques pour renforcer les connexions des connaissances conceptuelles et

procédurales a été établi dans les différents registres de représentation (symbolique, algébrique, numériques et graphiques). Ce scénario vise à aider les élèves à étudier une fonction numérique à partir de sa représentation graphique et de développer des habilités à étudier les fonctions numériques à l'aide de différents registres de représentation. Geogebra est destiné à aider les élèves à explorer le concept mathématique de fonctions à travers ces deux leçons de 3 heures qui ont été prévus par les enseignants.

Leçon 1 : Étude des fonctions numériques d'une variable réelle : représentation graphique de fonctions numériques.

La leçon vise à aider les élèves d'une classe ordinaire de mathématique de terminale à étudier graphiquement une fonction numérique pour établir un équilibre entre les interprétations des élèves et le travail sur des connaissances déjà acquises sur les notions de fonctions. Le logiciel Geogebra utilisé lors de cette leçon fonctionne sur un support mobile (des tablettes).

La phase 1 : L'enseignant introduit la prise en main du logiciel Geogebra

La phase 2 : Les élèves sont appelés à exécuter huit tâches concernant la fonction cible :

$$f(x) = \frac{1}{2}x^2 + x$$

Tâche 1 : Représenter la fonction f à l'aide de Geogebra. Les élèves se serviront de l'interface algébrique pour écrire l'algorithme de représentation algébrique de la fonction cible et grâce à l'interface graphique ils peuvent visualiser et faire des conjectures à partir de la représentation graphique de cette fonction.

Tâche 2 : Utiliser la représentation graphique pour préciser la valeur de la dérivée f' de cette fonction f en $x = -1$. Les élèves se serviront de l'interface graphique pour identifier que le minimum de f est atteint pour la valeur de $x = -1$ et qu'elle annule la dérivée f' .

Tâche 3 : Utiliser la représentation graphique de f pour compléter le tableau de variation. Les élèves se serviront de l'interface de calcul algébrique ou celui de calcul graphique pour calculer les images des antécédents données. L'interface graphique permet aussi aux élèves de visualiser les coordonnées de points données grâce à la commande de la grille et le curseur des points.

Tâche 4 : Identifier l'abscisse du point d'intersection de la courbe représentant la fonction f avec la droite horizontale d'équation $y = 0$ c'est-à-dire $f(x) = 0$ et l'abscisse du point

d'intersection de la courbe représentant la fonction f avec la droite horizontale d'équation $y = 4$ c'est-à-dire $f(x)=4$. La visualisation et l'interprétation du graphique, à partir des interfaces graphique et algébrique de Geogebra, sont d'une aide pour l'exécution de cette tâche par les élèves.

Tâche 5 : Identifier l'abscisse des points de la courbe situés au-dessous de la droite d'équation $y = 0$ c'est-à-dire $f(x) \leq 0$. La visualisation et l'interprétation du graphique, à partir des interfaces graphique et algébrique de Geogebra, sont d'une aide pour l'exécution de cette tâche par les élèves.

Tâche 6 : Représenter la tangente (T) à l'aide de Geogebra. Les élèves se serviront de l'interface algébrique pour écrire l'algorithme de représentation algébrique de la tangente cible et grâce à l'interface graphique ils peuvent visualiser et faire des conjectures à partir de la représentation graphique de cette fonction.

Tâche 7 : Identifier les abscisses des points de la courbe représentative de f , situés au-dessous de la courbe représentant de la tangente T d'équation $y = -(x+2)$ c'est-à-dire $f(x) \leq y$. La visualisation et l'interprétation du graphique, à partir des interfaces graphique et algébrique de Geogebra, sont d'une aide pour l'exécution de cette tâche par les élèves.

Tâche 8 : Vérifier par de la courbe représentant f , situés au-dessous de la courbe représentant de la tangente T . À l'aide du logiciel de calcul formel de Geogebra, les élèves peuvent calculer l'inéquation $f(x) \leq y$, visualiser les résultats et faire la conjecture.

La phase 3 : Synthèse du travail des élèves.

Tâche 1 : L'enseignant fait la restitution ou demande aux élèves de la faire.

Tâche 2 : L'enseignant s'assure que les objectifs de la leçon ont été atteints en revisitant les résultats des activités et en tirant une synthèse en collaboration avec ses élèves.

La phase 4 : L'enseignant recueille les réactions des élèves en rapport avec la leçon en posant des questions que les élèves sont appelés à répondre au cours du déroulement et à la fin de leçon.

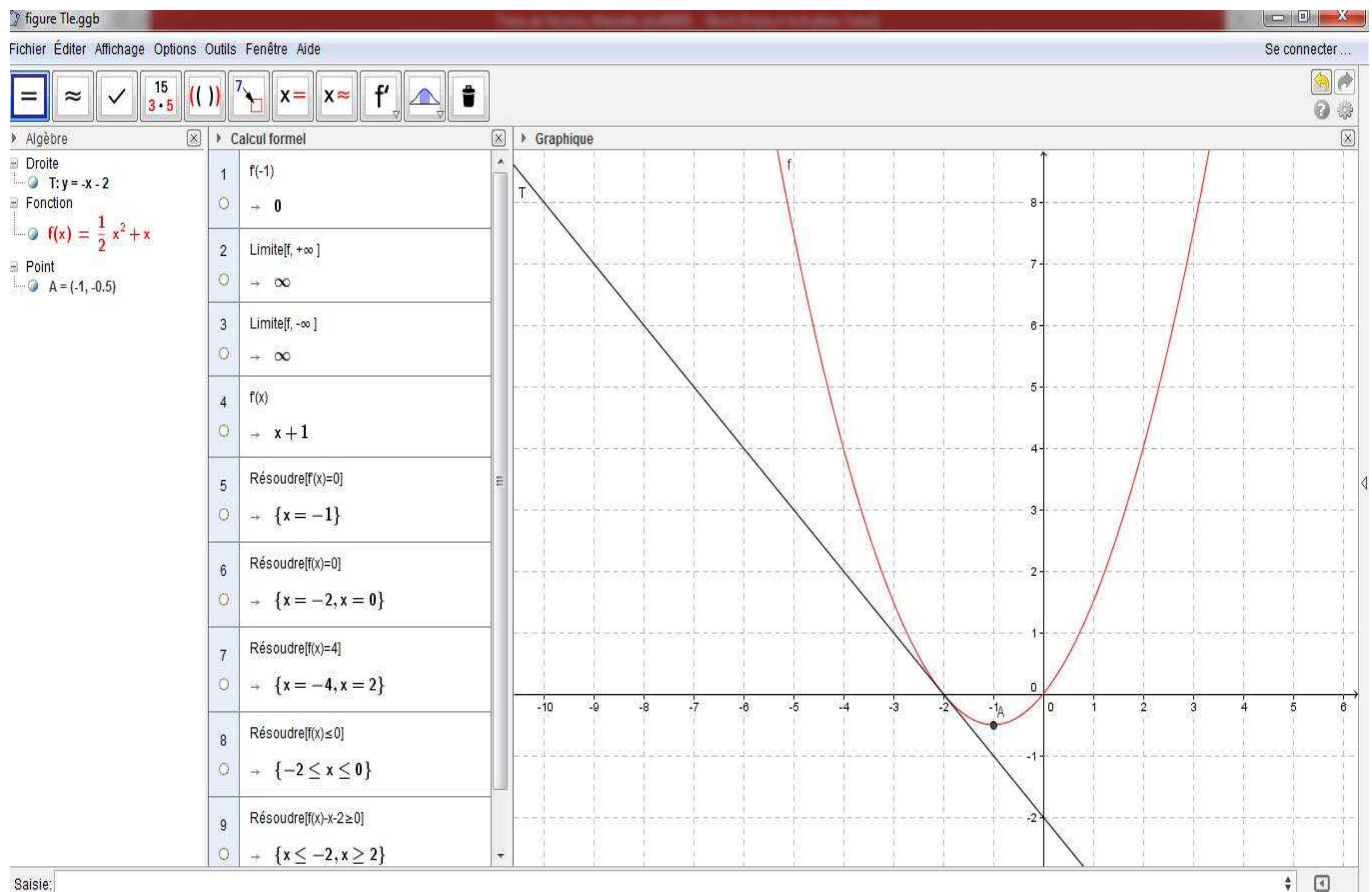


Figure 20: L'écran de Geogebra montrant l'étude de la fonction polynôme.

Comme la **figure 11** a montré, les élèves sont appelés à manipuler Geogebra et à faire des conjectures des résultats, d'abord à taper dans la ligne de saisie (en bas de l'écran ou celle de la fenêtre algébrique) les expressions de la fonction polynôme $f(x) = \frac{1}{2}x^2 + x$, la fonction sera alors nommée et visible dans la fenêtre « algèbre » et sa représentation graphique sera représentée graphiquement dans la fenêtre « graphique ». Les élèves sont appelés en plus, à faire des conjectures les résultats puis dans un second temps vérifier le résultat obtenu et calculer algébriquement la valeur de la dérivée pour $x = -1$, les limites aux bornes des domaines de définition, la dérivée $f'(x)$ et la valeur qui l'annule, ensuite résoudre les équations $f(x) = 0$ et $f(x) = 4$, la position relative de la tangente (T) en calculant l'intervalle qui vérifie inéquations $f(x) \leq y$.

Leçon 2 : Généralité sur les fonctions numériques d'une variable réelle : Etude et représentation d'une fonction numérique.

Le scénario vise à aider les élèves d'une classe ordinaire de mathématique de terminale à étudier la fonction homographique et de la représenter graphiquement. Les élèves

utiliseront plusieurs approches (interprétation graphique, utilisation du calcul et comparaison) pour étudier la fonction homographique. Les élèves sont appelés à mobiliser le logiciel Geogebra pour étudier le comportement de la fonction homographique.

La phase 1 : L'enseignant introduit la leçon

Tâche 1 : Contrôle des prés – requis, l'enseignant propose un exercice au tableau sur les fonctions de références étudiées dans les classes antérieures et demande aux élèves de préciser leurs propriétés.

Tâche 2 : Justification, l'enseignant fait ressortir l'utilité des fonctions numériques pour les élèves à l'instant même et dans l'avenir.

La phase 2 : Les élèves sont appelés à exécuter sept tâches concernant la fonction cible : $f(x) = 2x + 3 + \frac{4}{x-5}$

Tâche 1 : Donner l'ensemble de définition de f . Les élèves peuvent se servir de l'interface de calcul algébrique ou celui de calcul graphique pour déterminer le domaine de définition.

Tâche 2 : Utiliser la représentation graphique de f pour compléter le tableau de variation. Les élèves peuvent se servir de l'interface de calcul algébrique et/ou celui de calcul graphique pour calculer les images des antécédents donnés.

Tâche 3 : Montrer que l'équation : $y = 2x + 3$ est une asymptote oblique à la courbe à la courbe représentative de la fonction f à l'infinie. Les élèves peuvent se servir de l'interface graphique de Geogebra pour visualiser et interpréter le résultat à l'aide de la notion de limite ou bien il peut utiliser le logiciel de calcul formel de Geogebra pour calculer la limite à l'infinie de $(f(x) - y)$ et observer que le résultat est égal à zéro.

Tâche 4 : Tracer la courbe de la fonction f et ces asymptotes dans un repère orthonormé. Les élèves peuvent se servir de Geogebra pour représenter graphiquement la fonction homographique et ces asymptotes.

Tâche 5 : Montrer que $I(5; 13)$ est un centre de symétrie à la courbe de la fonction homographique. Les élèves peuvent se servir de l'interface graphique de Geogebra pour montrer que la courbe de la fonction homographique admet pour centre de symétrie I de coordonnées $(5; 13)$ qui est le point de concours d'asymptote oblique et de l'asymptote verticale c'est-à-dire $\{I\} = (AO) \cap (AV)$. La détermination des coordonnées peut se faire en choisissant l'icône **point** de la barre d'outils puis en cliquant sur le point de l'intersection des

asymptotes et à l'aide de l'interface on peut vérifier les coordonnées. Ou bien à l'aide du logiciel de calcul formel, il suffit de prouver par calcul que $f(2a - x) + f(x) = 2b$ où $a = 5$ et $b = 13$.

Tâche 6 : Identifier l'abscisse du point d'intersection de la courbe représentant la fonction f avec la droite horizontale d'équation $y = 0$ c'est-à-dire $f(x)=0$. La visualisation et l'interprétation du graphique à partir des interfaces graphique et algébrique de Geogebra, elles sont d'une aide pour l'exécution de cette tâche par les élèves.

Tâche 7 : Identifier l'abscisse des points de la courbe situés strictement en-dessus de la droite d'équation $y = 0$ c'est-à-dire $f(x)>0$. La visualisation et l'interprétation du graphique à partir des interfaces graphique et algébrique de Geogebra sont d'une aide pour l'exécution de cette tâche par les élèves.

La phase 3 : Synthèse du travail des élèves

Tâche 1 : L'enseignant fait la restitution ou demande aux élèves de la faire.

Tâche 2 : L'enseignant s'assure que les objectifs de la leçon ont été atteints en revisitant les résultats des activités et en tirant une synthèse en collaboration avec ses élèves.

La phase 4 : L'enseignant recueille les réactions des élèves en rapport avec la leçon en posant des questions que les élèves sont appelés à répondre au cours du déroulement et à la fin de leçon.

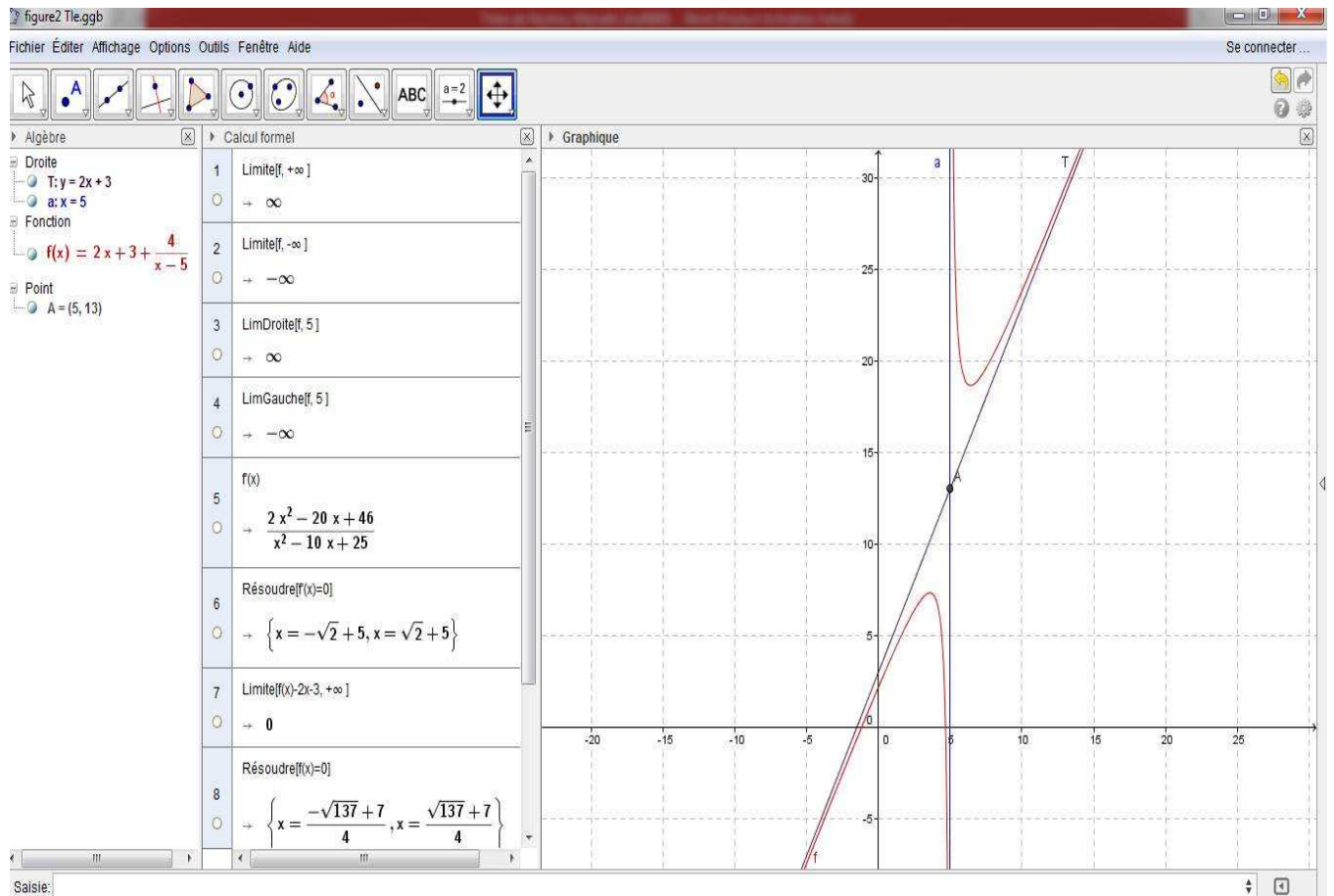


Figure 21: L'écran de Geogebra montrant l'étude de la fonction homographique.

Comme la **figure 12** a montré, les élèves sont appelés à manipuler Geogebra et à faire des conjonctures des résultats, d'abord à taper dans la ligne de saisie (en bas de l'écran ou celle de la fenêtre algébrique) les expressions de la fonction polynôme $f(x) = 2x + 3 + \frac{4}{x-5}$, de l'asymptote verticale $x = 0$ et l'asymptote oblique $y = 2x + 3$, les fonctions seront alors nommées et visibles dans la fenêtre « algèbre » et leurs représentations graphiques respectives seront représentées graphiquement dans la fenêtre « graphique ». Les élèves sont appelés ensuite à faire des conjonctures les résultats. En plus, ils sont appelés à vérifier le résultat obtenu et de calculer algébriquement la dérivée $f'(x)$ et la valeur qui l'annule, ensuite résoudre les équations $f(x) = 0$ et $f(x) > 0$.

1.5 Instruments et méthodes de collecte des données

La collecte des données nécessaires à l'atteinte de l'objectif de notre recherche a nécessité quatre (4) instruments : le questionnaire, des entretiens semi - directifs, des

observations de situation d'apprentissage dans les classes de mathématiques et une analyse documentaire. Les travaux de Jaillet (2004), Demeuse (2004), constituent, entre autres, des éléments de référence qui permettent de disposer des outils nécessaires à notre recherche.

1.5.1 Questionnaires de connaissances mathématiques des élèves

Un questionnaire de connaissances mathématiques des élèves des classes expérimentales et des classes témoins est élaboré pour chaque niveau (2^{nde}, 1^{ère} et T^{le}) puis administré pour pré – test avant l'intervention des enseignants et pour post – test après les séquences de cours. (Voir annexes A3, A4 et A5)

1.5.1.1 Validation externe des questionnaires de connaissances

Le contenu des questionnaires a été élaboré par le chercheur en prenant en compte les objectifs d'apprentissage et les fiches pédagogiques élaborées par les enseignants, par la suite à deux (2) enseignants pour vérifier la cohérence du contenu avant d'être administré aux élèves de l'expérimentation.

La correction des épreuves se fait en deux temps. Premièrement, cinq (5) copies sont tirées au hasard des lots de copies en prenant soin de prendre en compte les trois niveaux d'apprentissage puis chaque copie a été photocopiée en trois exemplaires avant d'être corrigée par les deux enseignants et le chercheur sur la base de la grille de correction initiale. Puis un ajustement de la grille de correction est effectué après la correction et les échanges avec les 2 enseignants pour plus harmoniser les corrections. Ensuite dans un second temps, 5 copies ont été tirées puis photocopiées en trois (3) exemplaires chacune avant de procéder à une deuxième correction (Aden et Roegiers, 2003 ; De Ketele et Gerard, 2005). Ces dernières copies corrigées ont fait ensuite l'objet d'une validation par la mesure le degré de concordance entre les 3 correcteurs à l'aide du test d'alpha de Cronbach (Nunnally, 1978).

1.5.1.2 Mesure du degré d'accord entre correcteurs

La validation interne s'est effectuée à travers un test réalisé avec le logiciel SPSS 20. L'objectif de ce test est de vérifier la cohérence de correction des copies et de réduire le niveau de biais par une mesure de degré d'accord entre les 3 correcteurs à savoir les trois enseignants et le chercheur. Ainsi le test Alpha de Cronbach a permis d'obtenir les résultats suivants :

Tableau 6: Mesure du degré d'accord de trois (3) correcteurs

Correcteurs	Nombre de copies	Moyenne	Ecart - type	Alpha de Cronbach
Correcteur 1	5	29.20	8.32	0.999
Correcteur 2	5	29.30	7.98	
Correcteur 3	5	29.15	7.50	

Il ressort du **tableau 6**, que la valeur du coefficient Alpha est de 0,99, cette valeur dépasse le seuil minimum requis de 0,70 (Nunnaly, 1978) pour lequel il est considéré que l'homogénéité interne de l'instrument de mesure de test de connaissances est satisfaisante.

1.5.2 Questionnaire de mesure d'attitudes mathématiques et technologies

1.5.2.1 Échelle d'attitudes mathématiques et technologie (EAMT)

L'échelle d'attitudes mathématiques et technologiques (**EAMT**) ou en anglais « mathematical and technology attitudes scale (MTAS) », développée par Pierce, Stacey & Barkatsas (2007) est utilisée pour élaborer un questionnaire en vue de mesurer les attitudes et les comportements auto-déclarés des élèves et des enseignants de mathématiques ayant suivi des séances de cours de mathématiques avec le logiciel Geogebra. La MTAS se compose de 20 éléments. Le format de notation du type Likert est utilisé pour chacun de ces 5 sous échelles: *Confiance en mathématiques [MC]*, *Confiance à la technologie [TC]*, *Attitude à l'apprentissage des mathématiques avec La technologie (ordinateurs, calculatrices graphiques ou le logiciel dynamique de mathématiques comme Geogebra dans le Échelle originale - ordinateurs dans cette étude) [MT]*, *Engagement Affectif [AE]* et *Engagement Comportemental [AC]*. (**Voir annexe A6**)

1.5.2.2 Validation du questionnaire EAMT

Deux procédures ont permis de valider le questionnaire EAMT. La première, a été la traduction en français du contenu, ensuite vérification de la conformité et de la compréhension par un professeur d'anglais de l'établissement qui a volontairement accepté de faire ce travail. Une fois le questionnaire finalisé, il a été administré à un groupe d'élèves de mesurer le degré de compréhension du contenu par les élèves du secondaire moyen. Ce sont des élèves du même niveau que ceux de l'expérimentation,

La deuxième étape, a été l'analyse de fiabilité des réponses obtenues après l'administration du questionnaire aux élèves de l'expérimentation à l'aide du coefficient alpha de Cronbach (Garson, 2009). Le traitement statistique a été fait à l'aide du logiciel Excel et SPSS 20 et les résultats ont donné le coefficient alpha de l'échelle CT (confiance à la technologie) de 0,48 cette valeur d'alpha est avéré excessivement bas, de sorte que ce facteur a été exclu des analyses ultérieures de nos résultats. Ainsi quatre échelles ont été retenues comme prédicteurs : confiance en mathématiques (CM, $\alpha = 0,75$), attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie (MT, $\alpha = 0,70$), engagement affectif (EA, $\alpha = 0,66$) et engagement comportemental (EC, $\alpha = 0,64$).

1.5.3 Grilles d'observation des situations de classe

1.5.3.1 L'observation systématique du comportement

La double approche didactique et ergonomique (DADE) développé par Robert et Rogalski (2002) propose une méthodologie pour analyser les pratiques des enseignants de mathématiques en situation de classe. Les premières analyses portent sur les apprentissages potentiels des élèves (aspect didactique) qui sont reconstitués à partir des activités mathématiques des élèves. Les secondes analyses portes sur le travail de l'enseignant (aspect ergonomique) en analysant les activités de l'enseignant exerçant son métier d'enseignement dans un contexte donné. Ainsi deux grilles d'observations ont été réalisées (**voir annexes A7, A8 et A9**).

1.5.3.2 Grilles d'observation

La grille d'observation est élaborée pour recueillir des informations sur les pratiques enseignantes qui sont en rapport avec les apprentissages du concept mathématique de fonctions des élèves (Altet, Pare-Kabore et Nacuzon, 2015, Numa-Bocage, Marcel, et Chaussecourte, 2014). La grille permet d'observer les comportements d'apprentissage (verbaux et non verbaux) des élèves susceptibles de rendre l'apprentissage actif mais aussi des comportements d'enseignement de leur enseignant de mathématiques en situation de classe.

1.5.3.3 Définition opérationnelle des comportements à observer

L'observation des séances de cours de mathématiques avec et sans l'utilisation de Geogebra sera l'occasion pour analyser le comportement des élèves et le comportement de l'enseignant au regard des éléments pédagogiques et didactiques. Parmi les éléments

pédagogiques qui seront pris en compte dans le cadre de cette observation, on peut noter : l'organisation de la situation d'apprentissage, la qualité et la précision des consignes, la gestion du groupe, la prise en compte des réactions et des productions des élèves, la qualité des relations enseignant - élèves, élèves – élèves et élèves – supports pédagogiques, l'usage du tableau, du logiciel mathématique et d'autres supports, la gestion du temps. Pour ce qui est des éléments didactiques qui seront pris en compte dans le cadre de cette observation, il y a la cohérence du plan de la leçon en particulier entre les objectifs d'apprentissage et les activités proposées, contenu du cours adopté au niveau des élèves, la maîtrise de la classe à savoir voix audible, adaptation de la langue, application et diffusion des règles de conduite.

1.5.3.4 Dimension comportement d'apprentissage

Les comportements des élèves en situation d'apprentissage dans un environnement traditionnel ou amélioré par l'utilisation de Geogebra seront appréhendés par une grille de codage construite à partir du recensement des comportements des élèves dont les différents éléments sont :

➤ **Indicateurs spécifiques de la participation :**

- ❖ **Prise spontanée de parole :** L'élève prend la parole de manière spontanée sans être directement sollicité pour donner des clarifications suite aux propos du professeur ou de son camarade au cours d'un travail interactif
- ❖ **Pose une question :** L'élève lève la main et pose une question de clarifications du contenu du cours du professeur ou bien à son camarade au cours d'un travail interactif.
- ❖ **Réponds à une question :** L'élève répond à la question du professeur ou de son camarade au cours d'un travail interactif.
- ❖ **Coopération des élèves :** un élève apporte ses connaissances pour tenter de résoudre un problème ou une difficulté à un camarade qui a manifesté le besoin d'aide ou à ses camarades lors d'un travail interactif.
- ❖ **Réalise les tâches demandées :** L'élève réalise les tâches que l'enseignant demande d'effectuer.

➤ **Indicateurs spécifiques de l'attention**

- ❖ **Regarde le professeur :** L'élève observe le professeur écrire ou dessiner une figure au tableau, manipuler les outils : géométrique, la calculatrice ou le logiciel de mathématique.

- ❖ **Écoute le professeur** : L'élève bien assis avec un regard tourné vers le professeur, écoute attentivement ce dernier donner des explications, des clarifications sur un contenu du cours ou des consignes.
 - ❖ **Regarde son camarade** : L'élève observe son camarade écrire un modèle dans le cahier, au tableau ou sur l'interface du logiciel de mathématiques.
 - ❖ **Écouter son camarade parler du travail** : L'élève bien assis avec un regard tourné vers son camarade, écoute attentivement ce dernier donner des explications, des clarifications sur un contenu du cours ou des consignes données par professeur.
 - ❖ **Prendre des notes** : L'élève écoute le professeur, regarde le modèle au tableau ou sur le logiciel pour prendre des notes pendant le cours.
- **Indicateurs spécifiques de l'interaction**
- ❖ **Interaction avec le professeur** : Il s'agit des échanges entre l'élève et son professeur au cours d'une activité à savoir soit des prises de parole entre eux ou écriture d'un modèle sur le logiciel de mathématiques.
 - ❖ **Interactions avec son camarade** : Il s'agit du travail en collaboration de l'élève avec son camarade.
 - ❖ **Interaction avec le logiciel de mathématiques** : Il s'agit travail de l'élève avec le logiciel de mathématiques pendant le cours.

Plusieurs tests d'expérimentation ont été réalisés au cours de l'année 2016 – 2017. Des séances de cours ont été observées avec les mêmes enseignants de mathématiques volontaires. Un dispositif vidéographique a été mis en place pour faire ces observations de classes. Ce prétest a permis d'apporter le calibrage du dispositif d'observations vidéographiques, de permettre aux enseignants et aux élèves de s'habituer à la présence des caméras dans les salles de classe et de procéder à la validation de notre grille d'observation.

1.5.3.5 Le K de Cohen pour mesurer le degré d'accord entre codeurs

Le K de Cohen ou Coefficient de Kappa est utilisé pour mesurer l'accord entre codeurs (Cohen, 1960) en calculant le degré de fidélité intercodeur. On définit alors comme le rapport suivant : $k = \frac{P_a - P_e}{1 - P_e}$ où P_a désigne la proportion d'accord observée et P_e désigne la proportion d'accord « aléatoire ».

Le coefficient K est toujours compris entre -1 et 1. Pour interpréter la valeur de K on utilise généralement la grille de lecture proposée par Landis et Koch (1977) comme le montre le **tableau 7** :

Tableau 7 : Le coefficient K et interprétation

Coefficient K	Interprétation
< 0	Grand désaccord
0.00 – 0.20	Accord très faible
0.21 – 0.40	Accord faible
0.41 – 0.60	Accord moyen
0.61 – 0.80	Accord satisfaisant
0.81 – 1.00	Accord excellent

1.5.3.6 Validation de notre grille d'observation

La validation s'est effectuée en invitant différents codeurs à visionner une séquence vidéo du cours et de coder les informations à partir de la liste des observables élaborées à partir de la littérature. L'objectif est de vérifier si d'autres acteurs autres que le chercheur peuvent avoir la même compréhension de la grille de codage (Neuendorf, 2002). Trois codeurs, dont deux de mes collègues doctorants et moi-même le chercheur, se sont prêtés au jeu pour réaliser le codage d'une séquence de 5 minutes à partir des indicateurs proposés par notre grille d'analyse. Le test de Kappa réalisé avec le logiciel SPSS 20 et résumé dans le **tableau 8**, indique que :

Tableau 8: Le test K de Cohen pour mesurer le degré d'accord entre codeurs

Fidélité inter - codeur	Coefficient K	Degré de signification
Codeur 1 et Codeur 2	0.88	0.000
Codeur 1 et Codeur 3	0.88	0.000
Codeur 2 et Codeur 3	0.73	0.001

La valeur de K en moyenne dépasse le seuil de 0.81 et le degré de signification est inférieure à 5% ($p < 0,05$), donc on peut conclure que l'accord entre les codeurs est excellent. Cette procédure a donné la possibilité de finaliser la version finale de la grille de codage. À la fin de cette phase, un kit d'encodage a été obtenu.

1.5.3.7 Choix de la méthode d'observation systématique

La méthode d'observation des comportements d'apprentissage des élèves en situation de classe que nous avons choisie pour cette présente recherche est celle par échantillon de temps car nous aurons à observer plusieurs comportements à la fois et pour plusieurs élèves. Le principe de base de cette méthode est d'observer brièvement un comportement à des moments précis et d'assumer que ces moments sont représentatifs du temps total. C'est qui a conduit à subdiviser le temps de l'observation d'une leçon d'une heure 30 minutes (1 h 30 min) en intervalles égaux de 5 minutes puis nous enregistrons l'apparition ou l'absence du comportement au cours de cet échantillon de temps.

Cette méthode permet d'évaluer le comportement de plusieurs apprenants à la fois et de comparer le niveau d'un élève à celui de ses camarades de classe.

1.5.4 Entretiens semi – directifs avec les enseignants et les élèves

L'entretien est un moyen d'accéder à ce que les élèves, ayant mobilisé le logiciel Geogebra au cours de l'expérimentation, pensaient en l'absence d'un enseignement supplémentaire et d'évaluer l'étendue et la profondeur de leurs compréhensions mathématiques du concept de fonctions en général.

Le but des entretiens avec les enseignants (**voir annexe A10**) et les élèves (**voir annexe A11**) était de savoir plus sur la compréhension des fonctions numériques par les élèves c'est-à-dire de déterminer la nature de leurs connaissances conceptuelles et de leurs connaissances procédurales du concept mathématique de fonction.

Les objectifs des entretiens étaient de:

- Évaluer la compréhension des connaissances conceptuelles de fonction numérique en général par les élèves.
- Évaluer la compréhension des connaissances procédurales de fonction numérique par les élèves.

1.5.4.1 Mesurer les connaissances conceptuelles et les connaissances procédurales des élèves sur les concepts de fonctions.

Questions sur les connaissances conceptuelles : l'objectif est de déterminer les connaissances nécessaires aux élèves des concepts de fonctions sans lesquelles ils seraient difficiles d'utiliser efficacement le logiciel dynamique dans les résolutions des problèmes. Les questions posées liées aux objectifs d'apprentissage fixées par les enseignants pour tester les connaissances conceptuelles des élèves :

1. Définir une fonction à travers des exemples de vie quotidienne
2. Connaître les fonctions usuelles
3. Connaître les propriétés des fonctions usuelles
4. Connaître les multiples représentations d'une fonction
5. Savoir mettre en relation les contextes de représentations des fonctions à l'échelle locale : faire le lien entre une représentation graphique, une représentation algébrique et une représentation numérique

Questions sur les connaissances procédurales : L'objectif est de connaître les connaissances procédurales des élèves à partir du processus de calcul et des dessins graphiques des fonctions étudiées lors des séances des cours dans l'environnement numérique.

Dans l'ensemble des problèmes proposés par les enseignants, les questions posées pour tester les connaissances procédurales demandent aux élèves de:

1. Représenter graphiquement les fonctions à l'aide du logiciel;
2. Représenter numériquement point par point d'une fonction
3. Résoudre graphiquement les fonctions
4. Résoudre algébriquement les fonctions
5. Déterminer la variation de la fonction

Le niveau de compréhension du concept mathématique de fonction est mesuré sur une échelle de 0 à 3:

0: aucun degré de compréhension

1: faible degré de compréhension

2: degré de compréhension modéré

3: degré élevé de compréhension

Il est estimé à chaque niveau le degré de compréhension de chaque question à partir du critère suivant :

0: Si Aucun effort n'est fourni pour répondre ou inexistant par exemple, "Je ne sais pas où j'ai oublié")

1: Si la réponse est vague, source de confusion, contient peu d'informations (par exemple, "Utiliser Geogebra", « fonction numérique »)

2: Si la réponse omet des détails ou contient des erreurs ou omissions mineures qui nuisent à l'argument global.

3: La réponse est similaire à celle de l'échantillon, ou utilise d'autres techniques produisant une estimation raisonnable.

1.5.4.2 La validation de la grille d'entretien

Pour valider la cohérence de la grille d'entretien des connaissances requises sur les notions des fonctions numériques pour un élève du lycée, il a été réalisé deux entretiens semis directs :

- ✓ Le premier avec un enseignant de mathématiques ne faisant pas partie de notre expérimentation en prenant soin de respecter les deux dimensions des connaissances mathématiques du concept de fonctions (voire annexe). Puis il a été question de faire une analyse séquentielle et thématique en vue de faire ressortir les indicateurs pertinents du point de vue des enseignants de mathématiques du secondaire moyen au Niger ensuite confronté les items retenus avec ceux du programme mathématique du secondaire et ceux tirés de la littérature.
- ✓ Le second avec binôme d'élèves dont l'objectif est de vérifier si les questions contenues dans notre grille d'entretien sont bien comprises par les élèves.

1.5.5 Analyse documentaire

Enfin, le dispositif d'étude de l'utilisation de Geogebra dans l'enseignement de mathématiques au secondaire moyen est complété par la collecte en classes des documents pédagogiques des enseignants de mathématiques, des productions de classes (enseignants et élèves) les plus significatives et des textes administratifs relatifs aux TIC: planifications

annuelles, mensuelles des apprentissages, fiches de préparation, cahiers – répertoires des travaux imprimés des élèves, dépliants sur les projets d'établissements et de classes, textes officiels et guides d'équipement des salles d'informatique, guides d'utilisation des salles d'informatique et plans de formation (compétences, contenus), emplois du temps, répertoires des didacticiels de mathématiques, des applications et des ressources libres disponibles, etc.

En triangulant les instruments de collecte des données cela permet de renforcer la validité des informations à recueillir (Savoie-Zajc, 1993b; 2004). Ainsi les quatre instruments de collecte de données seront combinés pour permettre de limiter les biais et « *explorer le plus de facettes possible du phénomène étudié* » (Savoie-Zajc, 2004).

1.6 Méthodes et techniques de traitement des données

Dans la mesure où notre recherche vise à analyser l'impact de l'intégration des logiciels dynamiques de mathématiques dans l'enseignement – apprentissage des concepts mathématiques au lycée à travers la compréhension du processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques à variables réelles à travers une utilisation efficace et efficiente du logiciel dynamique Geogebra, les données ont été recueillies selon une approche mixte qualitative et quantitative.

Pour les données quantitatives des statistiques descriptives et l'inférence ont été effectuées à l'aide de deux logiciels, Excel et SPSS20. Ainsi, des opérations statistiques simples, comme par exemple des tableaux de résultats des moyennes aux scores, des écarts types et des coefficients de variation, des tableaux de contingences, des diagrammes ont été établies. Mais aussi des opérations plus complexes, telles que, par exemple, tests de normalités, des tests de Khi², de tests de corrélations, des tests de comparaisons des groupes appariés et des groupes non appariés, des analyses factorielles ont été réalisées.

Pour les données des observations des situations de classes ordinaires, il est prévu de faire le calcul de fréquence des occurrences des comportements d'apprentissage observables et une analyse du contenu. Pour le traitement des données d'entrevues, il est prévu de faire une analyse du contenu également, « *une technique de recherche pour la description objective, systématique et quantitative du contenu manifeste des communications, ayant pour but de les interpréter* » Berelson (1952). Cette méthode est considérée par Bardin (2013), comme un ensemble de techniques d'analyse des communications visant à obtenir des

indicateurs permettant l'inférence à partir des procédures systématiques et objectives de description du contenu d'un texte.

Lors de cette dernière phase, les données brutes sont traitées de manière à être significatives et valides. Ainsi, des opérations statistiques simples, comme par exemple, des pourcentages, ou plus complexes, telles que, par exemple, des analyses factorielles, permettent d'établir des tableaux de résultats, des diagrammes, des figures, des modèles qui condensent et mettent en relief les informations apportées par l'analyse (Bardin, 2013). Ces résultats peuvent être soumis à des épreuves statistiques et des tests de validité pour plus de rigueur. Suite à cela, on avance des interprétations à propos des objectifs prévus ou concernant d'autres découvertes imprévues et on propose des inférences. Cette dernière phase de l'analyse de contenu est certainement la plus intéressante puisqu'elle permet, d'une part d'évaluer la fécondité du dispositif et d'autre part la valeur des hypothèses. En analyse de contenu, l'inférence est un type d'interprétation contrôlée lors de laquelle on accomplit « *une opération logique par laquelle on tire d'une ou de plusieurs propositions (en l'occurrence les données établies au terme de l'application des grilles d'analyse) une ou des conséquences qui en résultent nécessairement. Il s'agit donc de justifier la validité de ce qu'on avance à propos de l'objet étudié en exposant les raisons de la preuve* » (Robert et Bouillaguet, 2007). Pour Bardin (2013) « *les résultats acquis, la confrontation systématique avec le matériel, le type d'inférences obtenues peuvent servir de base à une autre analyse ordonnée autour de nouvelles dimensions théoriques ou pratiquées grâce à des techniques différentes* ».



Figure 22: schéma de la méthodologie de recherche (inspiré de la présentation orale de Hal Ahassane, 2018)

La **figure 21**, illustre le schéma méthodologique de notre recherche. L'objectif est de respecter la cohérence méthodologique dans le plan quasi expérimental et l'approche mixte de notre recherche. La présentation des différentes parties s'incline du haut vers le bas par : le terrain de notre recherche à savoir le CES Bachir Baderie, les participants de cette recherche qui ont été répartis en groupes classes, les principales variables de notre étude, les différents outils des recueils de données mobilisées et les différentes méthodes statistiques utilisées qui permettent d'analyser et de discuter les résultats.

2 Le dispositif expérimental

2.1 Le test expérimental

L'objectif du test expérimental est de tester et de valider les outils de recueil de données de notre recherche mais aussi de détecter et réguler les biais possibles. Le test expérimental a été réalisé dans le complexe d'enseignement général Sanda Maigari au cours de l'année académique 2016 – 2017 (Niger). Durant cette période, plusieurs séances de cours ont été observées directement dans les classes de mathématiques avec les enseignants avec leur accord personnel et dans la limite du possible nous avons fait des observations vidéographiques.

Plusieurs séances de cours sur *les thèmes de l'organisation de calcul* (calcul littéral) et *l'organisation des données* ont été observées et filmées dans les classes de 2^{nde}, 1^{ère} et Terminal entre le mois de mars 2017 et juin 2017 en vue de vérifier et de valider une liste d'indicateurs observables en situation de classe de mathématiques avec ou sans les logiciels éducatifs:

- le 2 mars 2017, il a été observé une leçon d'une heure (1h) sur les équations du second degré dans IR, chapitre équations et inéquations dans IR, systèmes linéaires et des contraintes, dans une classe de seconde scientifique (2^{nde} C₂). L'objectif de l'enseignement et de l'apprentissage est la résolution des équations linéaires du 2^{nde} degré dans IR. Une organisation de travail a été programmée par l'enseignant pour mettre des élèves en binôme avec un. Deux activités sont prévues par l'enseignant : la résolution des équations à l'aide du logiciel éducatif mobile f(x) suivi d'une restitution au tableau. Les résultats de nos observations sur les activités des élèves ont montré que:
 - il y a eu une interaction élève et logiciel f(x) car les élèves ont fait usage du logiciel éducatif f(x) pour résoudre les équations du second degré ;
 - il y a une interaction entre les élèves au sein du groupe pour résoudre les équations ;
 - il y a eu une participation individuelle des élèves pour le travail du groupe.

Il faut noter que cette première observation a permis de déceler un certain nombre d'insuffisances parmi lesquelles :

- les difficultés pour transcrire les comportements verbaux des élèves au cours de cette séance ;
- l'instabilité du filmage et l'unique caméra qui filme le plan de derrière, a fait perdre l'observation des comportements d'apprentissage des élèves en quantité et en qualité.

Ces éléments ont permis d'intégrer des amplificateurs Bluetooth pour amplifier le son de voix des élèves dans les groupes de discussion sélectionnés.

- Le 7 Avril 2017, il a été observé une leçon d'une heure (1h) sur les systèmes d'équations affines de IR², chapitre équations et inéquations dans IR, systèmes linéaires et de contraintes, dans une classe de seconde scientifique (2^{nde} C₂). L'objectif

de l'enseignement et de l'apprentissage est l'utilisation de la méthode graphique pour résoudre le système d'équations affines de \mathbb{R}^2 à l'aide d'un logiciel éducatif Geogebra. Nos observations ont porté sur les comportements des élèves à savoir :

- des indicateurs sur la participation des élèves ont été observés ;
- des indicateurs sur la concentration des élèves ont été observés ;
- des indicateurs sur le chahut des élèves ont été observés
- des indicateurs sur l'apathie des élèves ont été observés.

Il faut noter que cette observation de classe a permis de régler des insuffisances observées précédemment :

- une caméra a été fixée grâce à un trépied, ce qui a permis d'obtenir des images fixes et a facilité l'encodage ;
- la position de derrière de notre caméra a permis d'obtenir une vue d'ensemble de la classe ;
- l'utilisation d'un amplificateur, a permis d'encoder les comportements verbaux des élèves.

Toutefois, la position de notre caméra donne une vue de dos des élèves observés, ce qui ne donne pas la possibilité d'encoder certains comportements d'apprentissage qui ne peuvent être observés que de face comme les interactions entre les binômes d'une même table. Ce qui a amené à chercher une deuxième caméra et un deuxième trépied pour fixer une caméra pour une vue de devant.

➤ Le 18 Mai 2017, il a été observé une leçon d'une heure (1h) sur les systèmes d'équations affines de \mathbb{R}^3 , chapitre équations et inéquations dans \mathbb{R} , systèmes linéaires et de contraintes, dans une classe de seconde scientifique (2^{nde} C₂). L'objectif de l'enseignement et de l'apprentissage est de traduire une situation de vie quotidienne sous forme d'un système d'équations de \mathbb{R}^3 et des méthodes algébriques pour résoudre ce système. Nos observations portent à la fois sur les comportements des élèves et ceux de leur enseignant de mathématiques:

- des indicateurs sur la participation des élèves ont été observés ;
- des indicateurs sur la concentration des élèves ont été observés ;

- des indicateurs sur le chahut des élèves ont été observés ;
 - des indicateurs sur l'apathie des élèves ont été observés ;
 - des indicateurs sur l'occupation de la classe de l'enseignant ont été observés ;
 - des indicateurs sur la communication orale de l'enseignant ont été observés ;
 - des indicateurs sur la communication écrite de l'enseignant ont été observés ;
 - des indicateurs sur les supports didactiques de l'enseignant ont été observés.
- Le 25 mai 2017, il a été observé une séance de cours d'une heure (1h) sur les séries statistiques à deux variables, chapitre sur les statistiques, dans une classe de terminale littéraire (T^{le} A). L'objectif de l'enseignement – apprentissage est de calculer les caractéristiques et représenter une série statistique double graphiquement. Nos observations ont porté sur un groupe d'élèves pour observer les indicateurs de l'interaction au sein du groupe. Les résultats saillants sont :
- la répartition des tâches au sein du groupe, suivi d'un temps de synthèse ;
 - l'interaction entre les élèves au sein du groupe pour résoudre les équations ;
 - la participation individuelle des élèves pour le travail du groupe.
- Le 4 juin 2017, il a été observé une leçon d'une heure (1h) sur la notion de limite d'une fonction, chapitre sur les fonctions numériques, dans une classe de première scientifique (1^{ère} D₁). L'objectif de l'enseignement – apprentissage est d'établir le comportement des fonctions numériques usuelles et de définir leur limite en plus l'infinie ($+\infty$), en moins l'infini ($-\infty$) et en un réel (x_0) dans un environnement d'apprentissage traditionnel. Nos observations ont porté à la fois sur les comportements des élèves et ceux de leur enseignant de mathématiques dans un environnement d'apprentissage traditionnel.
- Le 4 juin 2017, il a été observé une leçon d'une heure (1h) sur la notion de limite d'une fonction, chapitre sur les fonctions numériques, dans une classe de première scientifique (1^{ère} D₂). L'objectif de l'enseignement – apprentissage est d'établir le comportement des fonctions numériques usuelles et de définir leur limite en plus l'infinie ($+\infty$), en moins l'infini ($-\infty$) et en un réel (x_0) dans un environnement

d'apprentissage traditionnel. Nos observations ont porté à la fois sur les comportements des élèves et ceux de leur enseignant de mathématiques.

- Le 12 juin 2017, il a été observé une leçon d'une heure (1h) sur les systèmes d'équations affines de \mathbb{R}^2 , chapitre équations et inéquations dans \mathbb{R} , systèmes linéaires et de contraintes, dans une classe de seconde scientifique (2^{nde} C₁). L'objectif de l'enseignement – apprentissage est l'utilisation des méthodes algébriques et graphiques pour résoudre les systèmes d'équations affines de \mathbb{R}^2 . Nos observations ont porté à la fois sur les comportements des élèves et ceux de leur enseignant de mathématiques dans un environnement d'apprentissage traditionnel.

Le test expérimental a permis de :

- ✓ **revoir les différents indicateurs, d'élaborer puis de valider notre kit de codages grâce à l'aide de nos collègues doctorants ;**
- ✓ **faire habituer les enseignants et les élèves de la présence d'un observateur et des matériels vidéographiques dans la classe, ce qui réduira significativement des comportements non désirables au cours de l'expérimentation ;**
- ✓ **déterminer les objectifs d'apprentissage des notions de fonctions selon le programme de mathématique en vigueur ;**
- ✓ **planifier les rencontres pour les élaborations des fiches pédagogiques, par les enseignants volontaires selon le programme de mathématique en vigueur ;**
- ✓ **planifier les séances de cours de l'expérimentation.**

2.2 Planification de l'expérimentation

Cette étude a été menée dans un plan quasi expérimental. Les sujets sont choisis au hasard pour les groupes ainsi un échantillon de 419 élèves répartis dans 13 classes ordinaires du second cycle secondaire, de la seconde à la terminale, dont 7 groupes classes expérimentales (GCE) et 6 groupes classes témoins (GCT). Le plan expérimental est réparti en deux phases. Comme énumérer dans le **tableau 9, ci-dessous**, la phase une est composée de trois étapes alors que la phase deux comprend quatre étapes. Il est important de noter que

le groupe expérimental 1 est non préparé spécifiquement à l'utilisation de Geogebra alors que le groupe 2 est préalablement préparé (Jeannin, 2018).

Tableau 9: Plan de l'expérimentation de notre recherche

Phases	Groupes	Etapes			
Phase1	Groupe expérimental 1	Prétest	Intervention pédagogique	Posttest	
	Groupe témoins				
Phase1	Groupe expérimental 2 (préparé)	Introduction et maîtrise des fonctionnalités de Geogebra	Prétest	Intervention pédagogique	Posttest

2.2.1 Planification de la phase une de l'expérimentation

Dans cet établissement public chaque enseignant de mathématiques à trois (3) séances de cours dans les classes scientifiques (2^{nde} C, 1^{ère} D ou T^{le} D) dans la semaine soit deux séances de deux heures et une séance d'une heure, ce qui fait aux totales cinq heures (5 heures). Alors que dans les littéraires (2^{nde} A, 1^{ère} A ou T^{le} A), il a 2 séances par semaine soit une séance de deux heures (2 heures) et une séance d'une heure (une heure), ce qui fait au total 3 heures. Par exemple un enseignant qui tient la seconde littéraire A, la première scientifique D et la terminale scientifique D, ce qui lui fait un total de 13 heures par semaine.

Il faut noter que le total de nombre d'heures pour un enseignant de mathématiques au lycée est de 18 heures par semaine au maximum. Pour l'année, 2017 – 2018 il y a 8 classes de série littéraire et 7 classes de série scientifique, ce qui fait un total de 15 classes pour 6 enseignants. Ces enseignants dispensent au total par semaine cinquante – neuf heures (59 heures) de cours, en moyenne 8 heures. Il faut noter que l'un des enseignants n'est pas le chef de l'établissement dont le maximum d'heure de cours ne dépasse pas 6 heures et pour ladite année, il a une seule classe de terminale littéraire soit trois heures (3 heures) de cours. Mais dans le cadre de cette expérimentation il a fait 4 heures de cours par semaine à deux reprises.

Dans le cadre de cette recherche, chaque enseignant doit tenir deux classes de même niveau et même série (scientifique ou littéraire). Le choix des classes à tenir a été fait au

hasard par les enseignants. Par exemple l'enseignant 1 a choisi de tenir les deux classes de secondes littéraires auxquelles l'une travaillera dans l'environnement Geogebra et l'autre dans un environnement traditionnel et l'enseignant 2 a choisi de tenir les deux classes de secondes scientifiques dans les deux dispositifs préalablement décrits. Il faut noter que le choix de la classe qui travaillera dans l'environnement Geogebra est fait au hasard par l'enseignant. Par exemple, l'enseignant 4 tient pour cette année académique la classe de 1^{ère} scientifique D2, mais il a choisi de travailler dans l'environnement numérique avec les élèves de la classe de 1^{ère} scientifique D1.

Pour travailler dans un tel dispositif, qui dans les conditions réelles de l'apprentissage des élèves, il est important d'obtenir l'accord de l'administration de l'établissement, des enseignants de mathématiques et des autres enseignants de l'établissement. Des ajustements sont nécessaires pour faire l'expérimentation du fait du contexte scolaire. Pour qu'un enseignant tienne à la fois une classe expérimentale et une classe témoin. Pour faire deux séances de deux (2) heures par semaine surtout que la programme de mathématiques prévoit trois (3) heures de cours pour les classes littéraires. Pour ne pas dépasser le maximum de dix – huit (18) heures par semaine pour chaque enseignant, dans la période de l'expérimentation.

Dans le cadre de cette recherche, chaque enseignant volontaire doit dispenser deux séquences de cours, une dans un environnement Geogebra et l'autre dans un environnement traditionnel, c'est-à-dire les conditions habituelles de son enseignement. Chaque séquence est réalisée sur deux séances de cours. Des ajustements en accord avec l'administration de l'école, ont été faits sur la progression des classes du niveau première pour faciliter les interventions pédagogiques selon le calendrier prévu. Comme énumérée dans le **tableau 10**, la période des interventions prévue par les enseignants couvre les trois trimestres de l'année scolaire.

Tableau 10: planification des séquences de cours

N°	Classe	Environnement	Le Professeur	Période de l'intervention
1	2 ^{nde} C1	Sans Geogebra	Enseignant 1 (Ens1)	Septembre à décembre 2017
2	2 ^{nde} C2	avec Geogebra	Enseignant 1 (Ens1)	
3	2 ^{nde} A1	Sans Geogebra	Enseignant 2 (Ens2)	
4	2 ^{nde} A2	avec Geogebra	Enseignant 2 (Ens2)	
5	1 ^{ère} A1	avec Geogebra	Enseignant 3 (Ens3)	Janvier à Mars 2018
6	1 ^{ère} A2	Sans Geogebra	Enseignant 3 (Ens3)	

7	1 ^{ère} D1	avec Geogebra	Enseignant 4 (Ens4)	Avril à Juin 2018
8	1 ^{ère} D2	Sans Geogebra	Enseignant 4 (Ens4)	
9	TleA2	Sans Geogebra	Enseignant 2 (Ens2)	
10	TleA1	avec Geogebra	Enseignant 2 (Ens2)	
11	TleD2	Sans Geogebra	Enseignant 4 (Ens4)	
12	TleD1	avec Geogebra	Enseignant 4 (Ens4)	

2.2.2 Planification de la phase deux de l'expérimentation

Après avoir recueilli les informations sur les difficultés d'utilisation de Geogebra pour apprendre le concept mathématique de fonction grâce à des entretiens semi-directifs avec les enseignants et les élèves ayant participé à la première phase puis leur analyse et interprétation. Le chercheur a mis en place un deuxième dispositif expérimental composé des élèves d'une classe de première au titre de l'année 2018 – 2019. C'est une des classes que nous tenons pour les cours officiels, donc son choix pour cette expérimentation est juste un hasard.

Pour mener à bien notre expérimentation, un environnement d'apprentissage structuré a été permettant aux élèves de travail le concept mathématique de fonction de façon dynamique. Les élèves ont maîtrisé d'abord les fonctionnalités de Geogebra. Cela a été possible à travers des séances de cours administrés par le chercheur à ce groupe d'élèves. Pour permettre à l'ensemble de ses élèves de maîtriser cet outil donc de réduire les écarts sur la maîtrise de l'outil, les élèves ont eu la permission d'utiliser Geogebra version androïde sur leur smartphone puisqu'on a constaté que 90% des élèves de cette classe en possèdent. Les élèves les moins performants en matière de la maîtrise de Geogebra ont été pris en charge par le chercheur pour qu'ils soient au même niveau de maîtrise de ces fonctionnalités de ce logiciel que les autres.

2.3 Déroulement de la phase une de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée sur deux ans, la première phase expérimentale a été réalisée en année académique 2017 – 2016 et la deuxième phase expérimentale en 2018 – 2019. Notre étude s'appuie sur un plan quasi expérimental qui se structure en trois étapes : le prétest, la séquence pédagogique et le posttest.

2.3.1 Première phase expérimentale

Cette première phase expérimentale a concerné 385 élèves et 4 enseignants répartis dans douze classes de la seconde à la terminale. Ces participants sont tous des volontaires pour éviter toute contrainte pouvant amener à adopter des comportements pouvant créer des biais.

Dans un premier temps, une rencontre a eu lieu dans la semaine de la rentrée scolaire 2017 – 2018 plus précisément le lundi 18 septembre 2017, entre le chercheur et tous les enseignants de l'unité pédagogique de mathématique de l'établissement. L'objectif est de leur expliquer le but de cette expérimentation et les modalités du travail avant de demander ceux qui seront volontaires. Tous les 5 enseignants ont volontairement accepté de participer à cette expérience. Cette rencontre a permis aux enseignants de sélectionner au hasard les classes pour l'expérimentation.

Dans un deuxième temps, une rencontre a eu lieu avec les élèves pour leur expliquer le but de cette recherche, la participation qui est volontaire et sans aucune contrainte pour les élèves qui choisiront de ne pas y participer et nos attentes des élèves à ce qu'ils acceptent volontairement de participer. Il a été aussi question d'expliquer aux élèves le choix au hasard des classes expérimentales et des classes témoins mais surtout des possibilités de travailler pendant les périodes des perturbations éventuelles dues à des grèves des enseignants avant de leur préciser dont ils restent libres de participer ou leur refus de participer. Nous avons édifié que les élèves ayant volontairement accepté de participer à cette expérimentation ne bénéficieront d'aucune récompense pour leur participation. Néanmoins, il a été sollicités aux élèves volontaires de faire preuve d'aller jusqu'à la fin de cette expérimentation, une fois qu'il accepte de commencer.

Cette phase une de l'expérimentation est structurée en trois étapes : le prétest, la séquence pédagogique et le posttest.

Le prétest est composé d'un test des attitudes des élèves à l'égard des mathématiques et de l'apprentissage de mathématiques avec la technologie et un test de connaissances sous forme de questionnaire sur un support papier a porté sur les notions de fonctions numériques. Le prétest a été administré sur trois (3) jours, le premier jour pour les élèves du niveau second, le second jour pour les élèves de la première et le troisième jour pour les élèves de la terminale. Ainsi, ces séances d'évaluations qui durent au maximum 1h de temps ont été

organisées avec la collaboration des enseignants par niveau d'apprentissage pour permettre aux élèves de répondre aux deux tests. Dans chaque classe, le test de connaissances est distribué aux élèves pour une durée de 30 minutes, puisqu'il s'agit de répondre directement sur le document et la moitié des questions sont des questions à choix et ramassées à la fin. Immédiatement, après le test des attitudes est administré et le temps de réponse tourne autour de 20 minutes puis ramassées à la fin.

La séquence pédagogique est réalisée selon le plan pré – établi avec les enseignants selon leurs progressions de l'année et les séances sont organisées par niveau (2^{nde}, 1^{ère} et T^{le}). Ainsi les cours pour les quatre classes ont été réalisés sur deux semaines par niveau soit aux totales six semaines. En cas des grèves, la séance est reportée dans la soirée pour ne pas trop perturber le calendrier pré - établi. Ce sont les deux classes témoins qui commencent toujours les séances avant les deux classes expérimentales.

Le posttest est composé des mêmes tests des attitudes des élèves à l'égard des mathématiques et de l'apprentissage des mathématiques avec la technologie et celui de connaissances sous forme de questionnaire sur un support papier a porté sur les notions de fonctions numériques. Ces séances d'évaluations ont eu une durée maximum d'une heure (une heure) de temps et ce sont les enseignants volontaires qui ont aidé à faire la surveillance pour permettre aux élèves de répondre aux deux tests de chaque niveau d'apprentissage. Ces tests sont administrés aux élèves après la séquence de cours pour l'ensemble des élèves du même niveau d'apprentissage sur une journée soit trois (3) jours pour mes trois niveaux différents. Le choix de cette méthode n'est pas fortuit, il est dû au climat scolaire tendu avec des grèves répétées.

2.3.2 Deuxième phase expérimentale

Le but de cette deuxième phase est d'étudier l'effet de l'utilisation du potentiel du logiciel Geogebra sur la performance des élèves du second cycle du secondaire. Pour cela *nous avons pris soin de concevoir un scénario d'apprentissage en contrôlant les obstacles qui ont conduit à obtenir dans la première partie de notre expérimentation un effet non significatif de l'utilisation de Geogebra* sur les performances aux scores des élèves en apprentissage du concept mathématique des fonctions.

Nous avons procédé comme dans le cas de la première expérimentation, par expliquer le but de cette deuxième phase aux élèves de cette classe et les conditions de participations

volontaires, sans aucune contrainte pour les non – participants et sans récompenses pour les participants.

Cette deuxième phase expérimentale est structurée en quatre étapes :

Etape 1 : le logiciel Geogebra sous sa version androïde a été partagé aux élèves qui disposent de tablette ou de smartphone personnelle mais aussi la version pour ordinateur a été donnée à ceux qui disposent d'ordinateur à la maison. Puis les élèves ont été formés à l'utilisation des fonctionnalités de Geogebra à travers des séances d'exercices en collectif, puis en groupe et individuels pour permettre à l'ensemble des élèves de maîtriser les différentes interfaces du logiciel qui seront mobilisées plus tard. Cette étape a duré 8 heures sur une période de 4 semaines, soit 2 heures de cours par semaine.

Etape 2 : un test préliminaire (prétest) de connaissances sur les fonctions numériques a été administré sous forme de questionnaire aux élèves de cette classe avec un support papier à compléter. Ces tests sont identiques à ceux administrés aux élèves en année académique 2017 – 2018. Cette étape a duré 30 minutes au maximum puisqu'il s'agit d'un questionnaire sur une page composé de quatre exercices à remplir directement sur le document.

Etape 3 : le chercheur est intervenu dans cette classe en qualité de l'enseignant de mathématiques pour enseigner la notion de comparaisons des fonctions et la notion de limite de fonctions à l'aide de Geogebra conformément aux objectifs d'apprentissages retenus dans les séances organisées au cours de l'année scolaire précédente pour les élèves de ce même niveau. Il faut noter que *le chercheur a élaboré un contenu du cours adapté au contexte de l'apprentissage des fonctions numériques dans un environnement numérique favorisant l'exploitation des différents registres de représentation de la fonction numérique*. Cette phase a duré 8 heures sur une période de deux semaines. Soit 4 heures de cours sur la notion de comparaison des fonctions numériques et 4 heures sur la notion de limite des fonctions.

Etape 4 : un posttest a été administré aux élèves. Ce test est similaire au prétest. Cette étape a duré 30 minutes.

2.4 Plan de la recherche

Dans le **tableau 11** explique les différentes étapes de notre plan recherche, les activités à réaliser et leurs échéances.

Tableau 11 : Les différentes étapes de notre recherche

N°	Étapes	Activités	Echéanciers
01	Prise de contact avec le Ministère des enseignements secondaires	Chercher auprès du ministère de mutuel un appui technique de droit d'accès à la facilitation de mon travail de recherche au sein des établissements secondaires.	2016
02	Prise de contact avec le directeur de l'institut Geogebra du Niger	Chercher un appui technique me facilitant l'identification des enseignants du secondaire ayant suivi la formation.	
03	Visite des écoles	<ul style="list-style-type: none"> - Expliquer le sujet de notre recherche aux chefs d'établissement - Visiter chaque école - Rencontrer les enseignants de mathématiques 	Novembre 2016
04	Rencontre avec les enseignants concernés	Expliquer à nouveau le but de notre enquête lors des rencontres avec les enseignants mathématiques	
05	Préparation du recueil des données	<ul style="list-style-type: none"> - Préparer les grilles d'entretiens et d'observations. - Planifier les rendez-vous pour les entretiens et les visites d'observations dans les établissements 	Décembre 2016 - Janvier 2017
06	Pré-enquête	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluer comment, les TIC sont utilisés dans les écoles secondaires 	Février 2017 - Mars 2017

		- Administrer des questionnaires pour réaliser la pré-enquête.	
07	Analyse des résultats de la pré-enquête	Faire l'analyse qualitative et quantitative des réponses valides	Avril – Mai 2017
08	Réorientation de notre recherche à partir des résultats de la pré-enquête	Réajuster notre recherche en fonction des résultats de la pré-enquête	
09	Recueils des données des entretiens	Réaliser et enregistrer les entretiens	Juin - Juillet 2017
10	Recueils des données des observations	Réaliser des observations des séances de cours de mathématiques dans les classes expérimentales et dans les classes témoins sur une période de 3 mois.	
11	Observation et enregistrement de séquences vidéo	<ul style="list-style-type: none"> - Observer et filmer les activités d'apprentissage - Compléter les grilles d'observation de l'enseignant, de l'élève et de l'environnement 	
12	Analyse des résultats et synthèse	Réaliser des analyses quantitatives et qualitatives grâce aux logiciels d'analyse statistique appropriés pour aboutir à des conclusions objectives et impersonnelles de nos résultats.	Juillet - Septembre 2018
13	Conclusions révélées par	Faire une synthèse générale à partir des conclusions obtenues à	Octobre 2018

	notre recherche	l'issu de l'analyse statistique des résultats de nos observations.	
14	Soumission au comité scientifique de lecture	Faire valider la synthèse du travail de recherche par le comité scientifique	Novembre - Décembre 2018
15	Corrections et finalisation du travail de recherche	Apporter des corrections et finaliser la rédaction du document final pour la soutenance	Janvier – Mars 2019
16	Soutenance	Présenter le travail de recherche à un jury pour la validation de la thèse. Cette étape met terme à notre recherche tout en ouvrant des nouvelles perspectives de recherche.	Juin 2019

2.5 Méthodologie de la première partie

Afin d'analyser les influences des logiciels dynamiques sur la performance des élèves du cycle moyen du secondaire, le cadre théorique de la double approche didactique et ergonomique (Robert et Rogalski, 2002) a été utilisé. Ce cadre a permis d'analyser les activités des élèves en situations d'apprentissage dans un environnement traditionnel ou numérique et les pratiques enseignantes.

Pour vérifier nos deux premières hypothèses et répondre à nos questions de recherche, il a été sollicité des observations des classes des cinq (5) enseignants de mathématiques du complexe d'enseignement secondaire Sanda Maigari qui interviennent dans les trois (3) niveaux du lycée de la seconde à la terminale. Cette sollicitation pour l'observation de chaque enseignant pendant plusieurs séances de mathématiques mobilisant ou pas le logiciel dynamique de mathématiques a eu lieu au départ de ce travail de pré – expérimentation. C'est au cours d'une réunion de l'unité pédagogique de mathématiques que nous avons introduit notre requête. Nous avons donné des explications sur le travail de thèse

et plus particulièrement le logiciel dynamique de mathématiques que nous souhaitons observer, à savoir Geogebra. Le choix de ce logiciel n'est pas fortuit, ce logiciel est libre et accessible sur un ordinateur ou un support mobile comme les tablettes numériques et les smartphones d'une part. Même si l'utilisation des logiciels dynamiques en apprentissage de mathématique n'est pas très développée, l'État du Niger a créé un institut national de Geogebra dont l'objectif est d'accompagner les enseignants de mathématiques du secondaire et leur encadreur à une large utilisation de ce logiciel pour améliorer la qualité de l'enseignement et l'apprentissage de mathématique au secondaire. À la fin de cette réunion tous les six (5) enseignants ont donné leur accord pour ce travail et il a été convenu de faire des observations des classes directes et vidéographiques. Sur un total de sept (7) classes de seconde quatre (4) ont été retenues dont deux classes de seconde scientifique (2ndeC) et deux littéraires (2ndeA). Sur quatre (4) de première, toutes ont été retenues dont deux sont des classes de première scientifique (1èreD) et deux littéraires (1èreA). Sur les quatre classes de terminale, toutes ont été retenues dont deux sont des classes de terminale scientifique (série D) et deux littéraires (série A4). Il faut noter que le complexe d'enseignement secondaire compte six cent vingt – sept (627) inscrits au titre de l'année 2017 – 2018 qui sont répartis dans quinze classes (15) soit en moyenne 41 élèves par classe. Trois cent quatre-vingt-quatre (384) élèves ont volontairement accepté de participer à cette étude répartie dans douze (12) classes sur les 15 que compte cet établissement public, soit en moyenne 32 élèves par classe.

Le nombre de participants initialement prévu pour les situations de classe a diminué sur des critères non neutres pour notre étude :

- Problème de grèves répétitives des enseignants et des élèves ce qui a conduit à plusieurs reprises de reporter des séances de cours à observer. Parfois à programmer des séances en dehors des heures de cours avec l'accord de l'enseignant et de ses élèves.
- Problèmes de demande de rémunération de la part d'un certain nombre d'enseignants justifiés par le fait que notre travail leur demande un effort supplémentaire. Après plusieurs tentatives de négociation trois (3) ont accepté de continuer l'expérience et deux ont abandonné dont l'un a déjà fait quatre séances et l'autre aucune. Pour pallier ce problème, un petit réaménagement de l'équipe avec l'accord des enseignants restants a été fait. Pour éviter toute autre incompréhension future, une lettre d'entente mutuelle a été rédigée en commun accord avec ces enseignants volontaires et qu'ils ont signé par la suite (**voir annexe A12**). Ainsi, le chercheur a été obligé de prendre en

charge les deux classes de l'enseignant qui a débuté ces séances pour les compléter et attribuer les deux classes à un des volontaires.

La première phase a été donc effectuée auprès de 4 enseignants (Nassirou, Bassirou, Ousmane et Fatima) et leurs élèves de la seconde à la terminale sur des séances réparties sur les trois trimestres septembre – décembre 2017 pour les élèves au niveau de la seconde, janvier – mars pour les élèves des classes au niveau de la première et avril – juin 2018 pour les élèves au niveau de la terminale. Pour éviter toute autre incompréhension avec ces enseignants, nous avons accepté en commun accord de signer une lettre d'entente

Pour ce qui est du niveau de la seconde, **Nassirou** a cours avec les élèves des deux secondes scientifiques alors que **Bassirou** a cours avec les élèves des deux classes de secondes littéraires. Pour ce qui est du niveau de la première, **Ousmane** a cours avec les élèves des deux classes de première scientifique alors que **Fatima** a cours avec les élèves des deux classes de première littéraire. Pour ce qui est du niveau de la terminale, **Ousmane** a cours avec les élèves des deux classes de terminale scientifique alors que **Bassirou** a cours avec les élèves des deux classes de terminale littéraire. Ces modifications apportées n'ont pas profondément transformé notre dispositif.

Pour réaliser des enregistrements vidéo, trois caméras ont été prévues pour chaque séance. Les deux premières caméras permettent de filmer la classe : l'une est située au fond de la classe pour observer les activités de l'enseignant et l'autre en face pour observer les activités des élèves. La troisième caméra permet d'observer les interactions au sein d'un groupe choisi sur une base de volontaire.

Pour mesurer les performances des élèves en matière de scores des tests de connaissances sont élaborées puis amendées par les enseignants du niveau puis corrigés pour qu'ils soient conformes aux objectifs d'apprentissage des élèves au cours des deux séances. Ainsi les élèves du même niveau sont soumis au même prétest avant le début des séances et au même posttest à la fin des séances de ce niveau. L'ensemble de fiches collectées a été corrigé à l'aide de la grille de correction validée et les résultats ont été saisis sur la base Excel de données de notre recherche qui est établie sur un fichier Excel. Il faut noter que les fiches d'évaluation sa nominale, ce qui permet d'identifier le couple de fiches (prétest et posttest) pour chaque élève et de référer à la liste nominale la base de données de notre recherche.

Pour mesurer les comportements observables des élèves et ceux des enseignants il a été réalisé des observations vidéographiques dans les 12 classes au cours des séances de cours avec utilisation ou pas du logiciel dynamique de mathématiques. L'ensemble des cours filmés ont été transcrits à l'aide de notre grille de codage validée pour ensuite procéder à un traitement statistique des données collectées. Il faut noter que nous avons pris soin d'établir une liste nominative des différents groupes d'élèves et leurs positionnements dans la classe, ce qui a facilité l'identification des élèves observés et saisir les données transcrites sur la base nominative de notre recherche.

Pour mesurer les connaissances requises conceptuelles et procédurales sur les notions de fonctions numériques nécessaires pour progresser significativement en apprentissage des fonctions numériques au secondaire moyen, il a été réalisé des entretiens auprès des élèves volontaires de la première phase à l'aide d'une grille d'entretien validée. Une trentaine d'entretiens ont été réalisés et enregistrés en audio. Mais treize (13) entretiens ont été directement traités puis présentés dans ce travail. Les données audio sont collectées lors des différents entretiens semi – directifs d'abord avec les enseignants de notre expérimentation puis avec des groupes d'élèves sélectionnés au hasard. L'ensemble des données audio a été transcrit sous forme de verbatim, puis la technique d'analyse du contenu a été utilisée pour ressortir des unités de sens pour des besoins d'interprétation (Bardin, 2013).

Pour éviter, d'autres désagréments sur les engagements des enseignants au cours de la deuxième phase qui ont conduit à signer une lettre d'entente au cours de la première phase pour pouvoir la réaliser tout en respectant les normes de la déontologie de la recherche, il a été choisi de présenter les séances de cours nous-même, à savoir par le chercheur, dans notre posture d'enseignant de mathématiques dudit établissement. Mais nous étions dans l'impossibilité d'obtenir deux classes de même niveau et de la même série, ce qui ne permet pas de disposer d'une classe expérimentale et une classe témoin. Ayant également constaté la réticence de l'administration dudit établissement de permettre de mettre en place un dispositif identique à celui de l'année scolaire 2017 – 2018 malgré notre autorisation de recherche, nous avons alors choisi de comparer l'environnement d'apprentissage numérique structuré de cette année académique 2018 – 2019 aux environnements d'apprentissage traditionnel et numérique non structuré préalablement étudié en prenant soit de respecter le niveau d'enseignement et celui de la série.

Cette deuxième phase, a permis de travailler avec les élèves de la classe de la première scientifique, qui se trouvent la classe dont j'ai la responsabilité de tenir pour cette année

scolaire en mathématiques. La quasi – totalité de ses élèves ont volontairement accepté de participer à cette phase expérimentale. Il s’agit en effet d’une classe ordinaire de première scientifique de 39 élèves dont 34 ont participé volontairement à cette phase. Nous avons dans un premier temps vérifié s’il y a des élèves redoublants de la première qui ont participé à la phase une en étant en première en 2017 – 2018. Il ressort que parmi les 34 élèves aucun n’a participé à la phase une de notre expérimentation, ce qui évite. Les tests de connaissances étant passés sous forme de questionnaires dont les réponses sont directement écrites sur un support papier, au début et à la fin de séquence pour chaque niveau. À la fin de chaque test, le document est ramassé et en plus il n’y a pas eu de feedback des résultats des tests de connaissances, tout cela pour réduire le biais au cours de l’expérimentation.

Ainsi, pour mesurer les performances des élèves en matière de scores, des tests de connaissances ont été utilisés avant (prétest) et après (posttest) l’intervention pédagogique sur le concept de fonctions numériques. Les données quantitatives collectées ont été ensuite traitées puis une comparaison de performance aux scores entre cette classe de première scientifique et les deux classes de premières classes scientifiques de la phase une (1) a été effectuée.

2.6 Méthodologie de la deuxième partie

Afin d’analyser les influences des attitudes envers les mathématiques et la technologie sur la performance des élèves du cycle moyen du secondaire ayant mobilisé le logiciel dynamique Geogebra au cours de l’apprentissage du concept mathématique de fonctions, il a utilisé le cadre des références sur le concept des attitudes envers les mathématiques et les attitudes envers l’apprentissage des mathématiques avec la technologie qui se réfèrent aux travaux des recherches de Haladyna, Shaughnessy, et Shaughnessy, (1983), Legender (2005) et Pierce, Stacey et Barkatsas (2007).

Pour vérifier notre troisième hypothèse et répondre à la question de recherche, il a été adopté l’échelle d’attitudes mathématiques et technologiques (MTAS) développées par Pierce, Stacey et Barkatsas (2007) pour élaboration de notre questionnaire de recherche. Le questionnaire après sa validation, il a été administré à l’ensemble des élèves de notre expérimentation afin de recueillir leur perception sur la base d’une notation du type Likert est utilisé pour chacune de ses 5 sous échelles de 4 facteurs retenus : *Confiance en mathématiques [MC]*, *Confiance à la technologie [TC]*, *Attitude à l’apprentissage des mathématiques avec La technologie (ordinateurs, calculatrices graphiques ou systèmes*

d'algèbre informatique dans le Échelle originale - ordinateurs dans cette étude) [MT], Engagement Affectif [AE] et Engagement Comportemental [AC]. (voir annexe A6).

Le nombre de participants initialement prévu pour répondre avant le début des séances de cours aux questionnaires a diminué sur des critères non neutres pour notre étude :

- les enseignants de l'établissement n'ont pas voulu tous collaborer pour permettre d'administrer le questionnaire à tous les élèves au même moment. Ce qui a contraint d'étaler l'administration du questionnaire sur une semaine ;
- des 384 élèves qui ont participé à cette expérimentation, seul trois cent seize (316) élèves ont volontairement accepté de remplir le questionnaire. Soixante-huit (68) élèves ont librement choisi de ne pas remplir le questionnaire du test d'attitudes après avoir rempli celui du test de connaissances dans l'ensemble des classes et le choix de ses élèves a été respecté par les enseignants qui ont aidé à faire ce travail de test d'évaluation, conformément aux consignes données.

Une enquête par questionnaire a été réalisée auprès des quatre (4) enseignants volontaires sur les élèves des 12 classes sélectionnées au hasard du lundi 18 au samedi 23 septembre 2017.

Pour mesurer les comportements déclarés de nos élèves, les données d'observation ont été transcrites à l'aide d'un tableau de codage l'ensemble des questionnaires remplis collectés à l'aide du logiciel Excel. Il faut noter que, le chercheur a pris le soin de nommer les fiches du questionnaire. Ce processus a été soigneusement expliqué aux élèves. Il leur a été assuré que leur anonymat sera gardé et que pour besoin d'organiser l'ensemble des données de chaque individu de notre expérimentation nous préférons que chacun puisse écrire son nom à la fin des réponses aux questions et un numéro de contact. Tous les élèves ont adhéré à cette proposition, ce qui a facilité la saisie des données sur la liste nominative de notre base de données. Les données déclaratives issues du questionnaire ont fait l'objet d'un traitement statistique descriptif et de l'inférence statistique.

3 Forces et limites méthodologiques

Le choix d'un plan quasi expérimental avec des groupes non équivalents est relatif aux conditions expérimentales de notre recherche. En effet cette recherche s'est déroulée dans des classes réelles de mathématiques d'un établissement public avec toutes ces réalités c'est-à-dire les contraintes du terrain et particulièrement celle d'assigner les participants dans le groupe

expérimental ou le groupe témoin. Mais les démarches scientifiques adaptées ont permis de réduire les biais possibles, tout en restant conscient que, notre recherche ne peut pas remplir tous les critères de validation interne. Ce qui a amené à établir une liste non exhaustive des forces et des limites de la méthodologie de cette recherche enfin de réduire les effets des biais possibles tout en garantissant les conditions de faisabilités et de fiabilité de notre étude.

Les forces de cette recherche résident dans la démarche quasi expérimentale de notre recherche qui se caractérise par les éléments suivants :

- ✓ les classes qui ont été accessibles dans le cadre notre recherche ont été préalablement formées par l'administration de l'établissement dès le début de l'année scolaire. De ce fait, les élèves de notre étude ne sont pas choisis par une technique probabiliste et ils n'ont pas été repartis au hasard dans les groupes. Les conditions dans lesquelles s'est déroulée l'expérimentation ressemblent à celle d'un contexte réel et cela à un avantage de validité externe puisque le chercheur n'exerce pas de contrôle sur la situation expérimentale.
- ✓ Une répartition aléatoire des participants dans le groupe expérimental et le groupe témoin. Pour le besoin de notre recherche chaque enseignant de mathématiques est responsable de deux classes dont groupe classe expérimental et un groupe classe témoin. De ces deux classes, une classe est choisie au hasard par la méthode de tirage au sort pour être la classe expérimentale.
- ✓ Le contrôle systématique des facteurs qui pouvait influencer le phénomène étudié. Le but de ce contrôle est de limiter au maximum les sources de biais.

Mais le choix méthodologique d'une approche quasi expérimentale avec deux groupes (expérimental et témoin) non équivalent n'est pas sans des limites et ne peut pas prétendre à une généralisation des résultats. Il revient donc au lecteur de faire en grande partie un jugement de la transférabilité des résultats de cette recherche. Ainsi, on peut citer, parmi les limites de cette méthodologie, deux qui semblent les plus pertinentes :

- ✓ Celle qui est liée au choix de l'étude de cas d'un seul établissement secondaire publique. Cela est du fait que la lettre de l'autorisation de recherche à tarder de parvenir soit plus d'un an et deux mois après la demande adressée (**voir annexe A13 et A14**). Pour ne pas accuser beaucoup de retard et avec l'accord de l'administration locale nous avons pu démarrer l'expérimentation dans le respect du calendrier établi dans un seul établissement public.

- ✓ Celle qui est liée à l'échantillonnage qui est non probabiliste des participants. Cela est du fait qu'il est du domaine de l'impossible de faire un choix aléatoire des participants dans contextes scolaires surtout comme le nôtre. Donc les groupes ne sont pas homogènes. À cela, s'ajoute le manque de moyens financiers et matériels pour bien mener cette recherche dans plusieurs établissements secondaires de la région. C'est pourquoi, nous avons mené cette recherche dans un seul établissement avec des participants volontaires et accessibles.
- ✓ Celle qui est liée aux caractéristiques des deux groupes (expérimental et témoin) choisis au hasard au sein des deux classes du même niveau et de la même série. C'est là la difficulté de la démarche quasi expérimentale de notre recherche, puisqu'en tant que chercheur nous ne détenons pas le choix de répartition des élèves dans les classes expérimentales ou les classes témoins. Ainsi, pour s'assurer de l'équivalence des deux groupes au départ, nous avons procédé à une comparaison de ces groupes en fonction des caractéristiques sociaux, économiques et affectifs à l'égard du numérique éducatif. Mais également cette démarche, permet de réduire le biais en prenant en compte dans notre recherche des facteurs externes susceptibles d'influencer nos résultats.
- ✓ Celle qui est liée aux tests de connaissances à long terme pour comparer le degré de rétention des connaissances sur le concept mathématique de fonctions par des élèves dans les deux environnements d'apprentissage. En effet, les résultats issus de cette démarche méthodologique ne permettent pas de porter des conclusions sur les performances aux scores des élèves à long terme.

4 Synthèse du chapitre 4

La méthodologie de la recherche, a permis de présenter le choix méthodologique. Il s'agit premièrement du terrain de notre recherche qui a été constitué uniquement des élèves lycéens du complexe d'enseignement secondaire Bachir Baderi, un établissement public de la Région d'Agadez. Rappelons que l'objectif de cette recherche est d'étudier l'impact de l'utilisation de Geogebra sur l'apprentissage des élèves du niveau lycée. La démarche méthodologique a été fondée sur un plan quasi expérimental avec la constitution d'un groupe expérimental et d'un groupe témoin, ce qui a permis d'adapter une méthode d'échantillonnage non probabiliste pour sélectionner les élèves. Une approche mixte a été choisie pour collecter des données quantitatives et des données qualitatives au cours de l'expérimentation.

Pour faire les expérimentations en situation de classes ordinaires de mathématiques, des outils ont été élaborés et validés. La grille de codage a permis de collecter les données des comportements observables au cours des séances de mathématiques pour les groupes classes qui utilise le logiciel Geogebra et les groupes classes traditionnelles. Un test de l'échelle d'attitudes envers les mathématiques et l'apprentissage des mathématiques avec les logiciels, a permis de collecter les données du comportement déclarées. Le test de connaissances, élaboré à partir des objectifs d'apprentissage puis validé a permis de recueillir les données du test de scores des élèves de deux groupes. Une grille d'entretien a été élaborée et validée et elle a permis de recueillir les données sur les déclarations des connaissances du concept mathématiques de fonction des élèves et les difficultés rencontrées par les pour l'utilisation de Geogebra en apprentissage.

La méthodologie de la recherche, a permis de décrire le schéma du dispositif expérimental mis en place dans le cadre de cette étude. Il s'agit du respect de choix d'une participation volontaire des enseignants qui en toute liberté élabore et présente le cours dans deux classes de même niveau et de la même série. De la participation des élèves qui a été faite dans le respect la déontologie. Tous les participants ont été choisis selon une méthode d'échantillonnage non probabiliste. Ils ont été préalablement informés qu'ils sont libres de participer à cette étude, pour respecter la déontologie de la recherche.

La méthodologie de la recherche, a permis aussi de décrire la démarche qui a été utilisée pour répondre aux objectifs fixés. En effet, notre recherche a été menée en deux phases et elle a porté sur les 419 élèves lycéens tout niveau et série confondues. La première phase, tenu en 2017 – 2018 ; a concerné 385 élèves répartis dans douze (12) classes du lycée de la seconde à la terminale pour les deux séries. Quatre enseignants ont participé à cette première expérience, chaque enseignant a tenu deux classes de même niveau et de la même série, l'une traditionnelle et l'autre avec Geogebra. La deuxième phase, tenue en 2018 – 2019, a concerné 34 élèves d'une seule classe de première. Ses élèves de cette classe ont été préalablement préparés à l'utilisation de Geogebra en situation d'apprentissage des mathématiques. Puis, ils ont suivi le même contenu du cours que les élèves du même niveau de la première phase expérimental.

La dernière partie du cadre méthodologique, a permis de dresser les avantages et les limites de notre recherche quasi expérimentale avec un groupe témoin non équivalent. En ce qui concerne les forces de cette recherche, la méthodologie qui a été adaptée, a permis de faire l'expérimentation sur l'impact de l'utilisation de Geogebra dans les classes ordinaires de

mathématiques et sur un grand nombre d'élèves. En ce qui concerne les limites de cette recherche, cette démarche quasi expérimentale choisie, dans un contexte africain avec toutes ces contraintes, ne peut pas forcément permettre de généraliser les résultats obtenus pour saisir le processus d'intégration de Geogebra dans les établissements publics du lycée.

CHAPITRE V : RESULTATS

Ce chapitre présente les caractéristiques de nos échantillons. Primo, l'analyse descriptive de deux groupes d'échantillons sélectionnés de manière non probabiliste nécessitant ainsi leur comparaison avant l'intervention pédagogique pour contrôler les effets des variables latentes et secundo une synthèse des résultats de cette recherche en fonction des questions de recherches et des questions statistiques cela est suivi d'une interprétation des résultats principaux obtenus.

1 Analyse descriptive de nos échantillons

L'analyse des caractéristiques introduites par la société (Aïcha et al., 2010) dans les deux groupes permet de comparer l'équivalence de ces groupes avant les interventions pédagogiques des enseignants. Ces caractéristiques sociales, économiques, démographiques se manifestent à partir de la tradition et les pratiques sociales, culturelles, politique, administrative et institutionnelle des participants de cette étude (Ibid.).

L'ensemble de l'échantillon de notre recherche est composé de 419 élèves du niveau lycée. Les élèves de cet échantillon sont repartis au hasard dans deux groupes, un groupe expérimental composé de 223 (respectivement 189 élèves et 34 élèves pour la première partie et la deuxième partie de l'expérimentation) et un groupe témoin composé de 196 élèves.

1.1 Caractéristiques du genre

Tableau 12 : Caractéristiques du genre

Genre	Groupe expérimental	Groupe témoin
Garçon	125 (56,05%)	108 (55,10%)
Fille	98 (43,95%)	88 (44,90%)
Effectif total	223	196

Le **tableau 12**, indique que la distribution des échantillons selon le genre, le groupe expérimental composé de 56.05% des élèves garçons et de 43.95 % des élèves filles et le groupe témoin composé de 55.10% des élèves garçons et de 44.90% des élèves filles. À partir donc de ce résultat, on peut observer qu'il y a une différence entre la proportion des garçons et des filles dans les deux groupes au profit des élèves garçons.

Le test statistique de Khi 2 a montré que la différence du genre selon les deux groupes n'est pas significative ($khi2 = 0,038$ et $p = 0.845 > 0.05$). Il ressort que la proportion des garçons et des filles dans les deux groupes sont les mêmes donc qu'il n'y a pas de lien d'indépendance entre le genre et l'appartenance au groupe expérimental ou au groupe témoin dans la population de notre étude.

En somme, l'analyse du caractéristique genre ne montre pas de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation.

1.2 Caractéristiques de l'âge

Tableau 13: Caractéristiques de l'âge

Age	Groupe expérimental	Groupe témoin
Moins de 17 ans	14 (8,92%)	4 (2,38%)
Entre 17 et 19 ans	78 (49,68%)	87 (51,48%)
Plus de 19 ans	65 (41,40%)	77 (45,56%)
Effectif total	157	169

Sur un total de 223 élèves du groupe expérimental, on a obtenu 157 réponses valides et sur un total de 196 élèves du groupe témoin on a obtenu 169 réponses valides.

Le **tableau 13**, indique que la distribution des échantillons selon l'âge, le groupe expérimental est composé de 8.92% des élèves de moins de 17 ans, 49,68% des élèves dont l'âge est compris entre 17 et 19 ans et de 41,40 % des élèves de plus de 19 ans alors que le groupe témoin est composé de 2,38% des élèves de moins de 17 ans, 51.48% des élèves dont l'âge est compris entre 17 et 19 ans et de 45,56 % des élèves de plus de 19 ans. À partir donc de ce résultat, on peut observer qu'il y a une différence entre la proportion de l'âge dans les deux groupes au profit des élèves ayant l'âge légal d'être au lycée.

Le test statistique de Khi 2 a montré que la différence de l'âge selon les deux groupes n'est pas significative ($khi2 = 7,629$ et $p = 0.054 > 0.05$). Il ressort que les proportions d'âge dans les deux groupes sont les mêmes donc qu'il n'y a pas de lien d'indépendance entre l'âge des élèves et l'appartenance au groupe expérimental ou au groupe témoin dans la population de notre étude.

En somme, l'analyse du caractéristique âge ne montre pas de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation.

1.3 Caractéristiques professions et catégorie socioprofessionnelle (PCS)

Tableau 14 : Caractéristiques professions et catégorie socioprofessionnelle

Profession et catégorie socioprofessionnel (PCS)	Groupe expérimental	Groupe témoin
Très favorable	1 (0,64%)	1 (0,59%)
Favorable	48 (30,77%)	39 (22,94%)
Moyen	51 (32,69%)	62 (36,47%)
Défavorable	56 (35,90%)	68 (40,00%)
Effectif total	156	170

Sur un total de 223 élèves du groupe expérimental, on a obtenu 156 réponses valides et sur un total de 196 élèves du groupe témoin on a obtenu 170 réponses valides.

Le **tableau 14**, indique que la distribution des échantillons selon les niveaux socio - économiques, le groupe expérimental est composé de 0.64% élèves dont la profession et catégorie socioprofessionnelle du père sont très favorables, 30,77% des élèves dont la profession et catégorie socioprofessionnelle du père sont favorables, 32,69% des élèves dont la profession et catégorie socioprofessionnelle du père sont moyennes et de 35,90% des élèves dont la profession et catégorie socioprofessionnelle du père sont défavorables lorsque le groupe témoin est composé de de 0,59% élèves dont la profession et catégorie socioprofessionnelle du père est très favorable, 22,94% des élèves dont la profession et catégorie socioprofessionnelle du père sont favorables, 36,47% des élèves dont la profession et catégorie socioprofessionnelle du père est moyen et de 40% des élèves dont la profession et catégorie socioprofessionnelle du père sont défavorables.

Le test statistique de Khi 2 a montré que la différence du niveau scolaire selon les deux groupes n'est pas significative ($khi2 = 2,567$ et $p = 0.463 > 0.05$). Il ressort que la proportion des élèves par profession et catégorie socioprofessionnelle du père, dans les deux groupes, sont les mêmes donc qu'il n'y a pas de lien d'indépendance entre proportion des élèves par profession et catégorie socioprofessionnel du père dont sont issus les élèves et leur appartenance au groupe expérimental ou au groupe témoin dans la population de notre étude.

En somme, l'analyse de la caractéristique de la profession et catégorie socioprofessionnelle du père ne montre pas de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation.

1.4 Caractéristiques confiances en mathématiques

Tableau 15 : Caractéristiques confiances en mathématiques

Confiance en mathématiques	Groupe expérimental	Groupe témoin
Pas du tout d'accord	12 (8%)	8 (8,82%)
Pas d'accord	56 (37,33%)	49 (29,52%)
Ni d'accord ni désaccord	39 (26%)	35 (21,08%)
D'accord	35 (23,33%)	59 (35,54%)
Tout à fait d'accord	8 (5,33%)	15 (9,04%)
Effectif total	150	166

Sur un total de 223 élèves du groupe expérimental, on a obtenu 150 réponses valides et sur un total de 196 élèves du groupe témoin on a obtenu 166 réponses valides.

Le **tableau 15**, indique que la distribution des échantillons selon leur confiance en mathématiques, dans le groupe expérimental 8% élèves ne sont pas du tout d'accord, 37,33% ne sont pas d'accord, 26% sont ni d'accord ni désaccord, 23,33% sont d'accord et 5,33% sont tout à fait d'accord lorsque dans le groupe témoin 8,82% élèves ne sont pas du tout d'accord, 29,52% ne sont pas d'accord, 21,08% sont ni d'accord ni désaccord, 35,54% sont d'accord et 9,04% sont tout à fait d'accord.

Le test statistique de Khi 2 a montré que la différence de l'échelle de confiance en mathématiques selon les deux groupes n'est pas significative ($khi2 = 8,954$ et $p = 0.062 > 0.05$). Il ressort que la proportion des élèves par échelle de confiance dans les deux groupes est la même donc qu'il n'y a pas de lien d'indépendance entre la confiance en mathématiques des élèves et leur l'appartenance au groupe expérimental ou au groupe témoin dans la population de notre étude.

En somme, l'analyse de la caractéristique confiance en mathématiques ne montre pas de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation.

1.5 Caractéristiques confiances aux technologies

Tableau 16 : Caractéristiques confiances aux technologies

Confiance aux technologies	Groupe expérimental	Groupe témoin
Pas du tout d'accord	4 (2,67%)	8 (4,82%)
Pas d'accord	64 (42,67%)	49 (49,52%)
Ni d'accord ni désaccord	46 (30,67%)	52 (31,33%)
D'accord	34 (22,67%)	53 (31,93%)
Tout à fait d'accord	2 (1,33%)	4 (2,41%)
Effectif total	150	166

Sur un total de 223 élèves du groupe expérimental, on a obtenu 150 réponses valides et sur un total de 196 élèves du groupe témoin on a obtenu 166 réponses valides.

Le **tableau 16**, indique que la distribution des échantillons selon leur confiance en mathématiques, dans le groupe expérimental 2,67% élèves ne sont pas du tout d'accord, 42,67% ne sont pas d'accord, 30,67% sont ni d'accord ni désaccord, 22,67% sont d'accord et 30,67% sont tout à fait d'accord lorsque dans le groupe témoin 4,82% élèves ne sont pas du tout d'accord, 49,52% ne sont pas d'accord, 31,33% sont ni d'accord ni désaccord, 31,93% sont d'accord et 2,41% sont tout à fait d'accord.

Le test statistique de Khi 2 a montré que la différence de l'échelle de confiance aux technologies selon les deux groupes n'est pas significative ($khi2 = 7,718$ et $p = 0.102 > 0.05$). Il ressort que la proportion des élèves par échelle de confiance dans les deux groupes est la même donc qu'il n'y a pas de lien d'indépendance entre la confiance aux technologies des élèves et leur appartenance au groupe expérimental ou au groupe témoin dans la population de notre étude.

En somme, l'analyse de la caractéristique confiance aux technologies ne montre pas de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation.

1.6 Caractéristique engagement affectif

Tableau 17 : Caractéristique engagement affectif

Engagement affectif	Groupe expérimental	Groupe témoin
Pas du tout d'accord	5 (3,33%)	2 (1,20%)
Pas d'accord	22 (16,67%)	20 (12,05%)
Ni d'accord ni désaccord	28 (18,67%)	34 (20,48%)
D'accord	69 (46%)	86 (51,81%)
Tout à fait d'accord	26 (17,33%)	24 (14,46%)
Effectif total	150	166

Sur un total de 223 élèves du groupe expérimental, on a obtenu 150 réponses valides et sur un total de 196 élèves du groupe témoin on a obtenu 166 réponses valides.

Le **tableau 17**, indique que la distribution des échantillons selon leur confiance en mathématiques, dans le groupe expérimental 3,33% élèves ne sont pas du tout d'accord, 16,67% ne sont pas d'accord, 18,67% sont ni d'accord ni désaccord, 46% sont d'accord et 17,33% sont tout à fait d'accord lorsque dans le groupe témoin 1,20% élèves ne sont pas du tout d'accord, 12,05% ne sont pas d'accord, 20,48% sont ni d'accord ni désaccord, 51,81% sont d'accord et 14,46% sont tout à fait d'accord.

Le test statistique de Khi 2 a montré que la différence de l'échelle d'engagement affectif aux technologies selon les deux groupes n'est pas significative ($khi2 = 3,104$ et $p = 0,541 > 0,05$). Il ressort que la proportion des élèves par échelle d'engagement affectif dans les deux groupes est la même donc qu'il n'y a pas de lien d'indépendance entre engagement affectif des élèves et leur appartenance au groupe expérimental ou au groupe témoin dans la population de notre étude.

En somme, l'analyse du caractéristique engagement affectif ne montre pas de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation.

1.7 Caractéristique engagement comportemental

Tableau 18: Caractéristique engagement comportemental

Engagement comportemental	Groupe expérimental	Groupe témoin
Jamais	3 (2%)	2 (1,20%)
Parfois	35 (23,33%)	36 (21,69%)
La moitié de temps	41 (27,33%)	54 (32,53%)
Généralement	61 (40,67%)	57 (34,34%)
Presque toujours	10 (6,67%)	16 (10,67%)
Effectif total	150	166

Sur un total de 223 élèves du groupe expérimental, on a obtenu 150 réponses valides et sur un total de 196 élèves du groupe témoin on a obtenu 166 réponses valides.

Le **tableau 18**, indique que la distribution des échantillons selon leur engagement affectif, dans le groupe expérimental 2% élèves ne sont pas jamais engagés, 23,33% se sont engagés parfois, 27,33% se sont engagés la moitié de temps, 40,67% se sont engagés et 6,67% sont engagés presque toujours lorsque dans le groupe témoin 1,2% élèves ne sont pas jamais engagés, 21,69% se sont engagés parfois, 32,53% se sont engagés la moitié de temps, 34,34% se sont engagés et 10,67% sont engagés presque toujours.

Le test statistique de Khi 2 a montré que la différence de l'échelle d'engagement comportemental selon les deux groupes n'est pas significative ($khi2 = 2,805$ et $p = 0,591 > 0.05$). Il ressort que la proportion des élèves par échelle d'engagement comportemental dans les deux groupes est la même donc qu'il n'y a pas de lien d'indépendance entre l'engagement comportemental des élèves et leur appartenance au groupe expérimental ou au groupe témoin dans la population de notre étude.

En somme, l'analyse du caractéristique engagement comportemental ne montre pas de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation.

1.8 Caractéristiques attitudes à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les technologies

Tableau 19: Caractéristiques attitudes à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les technologies

Attitude à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les technologies	Groupe expérimental	Groupe témoin
Pas du tout d'accord	3 (2%)	5 (3,01%)
Pas d'accord	23 (15,33%)	14 (8,43%)
Ni d'accord ni désaccord	21 (14%)	32 (19,28%)
D'accord	74 (49,33%)	85 (51,20%)
Tout à fait d'accord	29 (19,33%)	30 (18,07%)
Effectif total	150	166

Sur un total de 223 élèves du groupe expérimental, on a obtenu 150 réponses valides et sur un total de 196 élèves du groupe témoin on a obtenu 166 réponses valides.

Le **tableau 19**, indique que la distribution des échantillons selon leur attitude à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les technologies, dans le groupe expérimental 2% élèves ne sont pas du tout d'accord, 15,33% ne sont pas d'accord, 14% sont ni d'accord ni désaccord, 49,33% sont d'accord et 19,33% sont tout à fait d'accord lorsque dans le groupe témoin 3,01% élèves ne sont pas du tout d'accord, 8,43% ne sont pas d'accord, 19,28% sont ni d'accord ni désaccord, 51,20% sont d'accord et 19,07% sont tout à fait d'accord.

Le test statistique de Khi 2 a montré que la différence de l'échelle d'attitude à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les technologies selon les deux groupes n'est pas significative ($khi2 = 4,953$ et $p = 0,292 > 0.05$). Il ressort que la proportion des élèves par échelle de l'attitude à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les technologies dans les deux groupes est les mêmes donc qu'il n'y a pas de lien d'indépendance entre l'engagement affectif des élèves et leur appartenance au groupe expérimental ou au groupe témoin dans la population de notre étude.

En somme, l'analyse de caractéristique attitude à l'égard de l'apprentissage des mathématiques avec les technologies ne montre pas de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation.

En résumé, les tests de comparaison effectués entre le groupe expérimental c'est-à-dire les élèves qui auront à travail le concept mathématique de fonctions dans un environnement numérique et le groupe témoin c'est qui travaillera dans l'environnement traditionnel, ont montré que ces deux groupes sont équivalents en termes des caractères social, démographique, économique et de représentation sociale des technologies numériques pour l'éducation.

2 Analyse statistique des résultats de l'expérimentation

2.1 Analyse des résultats relatifs à la progression globale des élèves

Question de recherche 1 : L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore – t – elle de façon significative les performances aux scores des élèves du secondaire moyen en apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques ?

2.1.1 Comparaison des groupes en fonction des modalités d'apprentissage

Question statistique 1.1 : Il y a t – il une différence significative de performance au départ entre les groupes d'élèves utilisant la nouvelle méthode d'apprentissage et ceux utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage ?

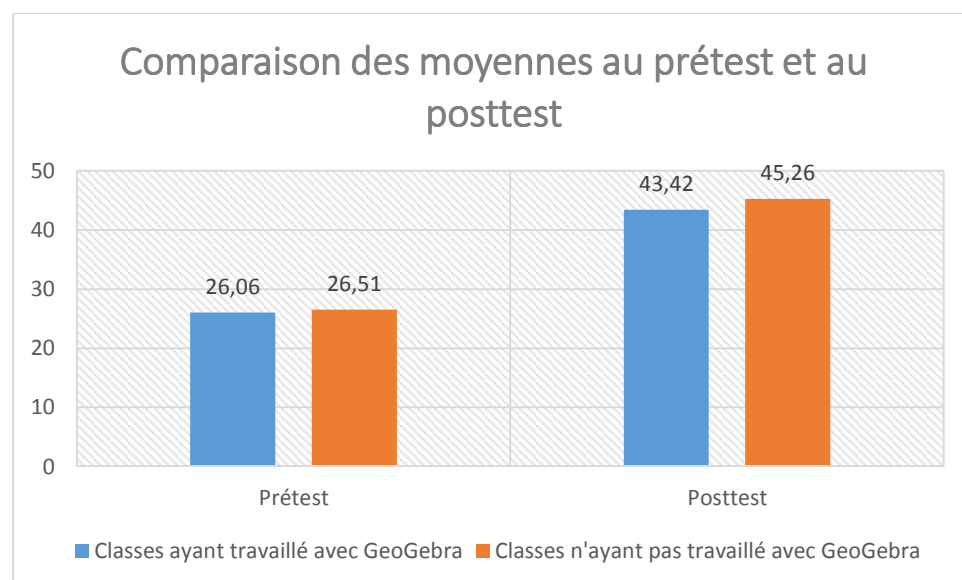


Figure 23: Comparaison des moyennes au prétest et au posttest

L'échantillon est constitué de 385 élèves du niveau lycée composé d'un groupe d'élèves ayant travaillé avec Geogebra et d'un groupe d'élèves n'ayant pas travaillé avec Geogebra. On a 189 élèves dans le premier groupe et 196 dans le second groupe.

Pour le groupe d'élèves mobilisant Geogebra, la moyenne au prétest vaut 26.06, l'écart type .6.72 et coefficient de variation 0.64 et pour le groupe d'élèves n'ayant pas mobilisé Geogebra la moyenne au prétest vaut 26.51, l'écart type 19.21 et coefficient de variation 0.72.

Tableau 20: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le test préliminaire des deux groupes

Groupe	Nombre	Test préliminaire			
		Moyenne	Ecart type	Z	P (bilatérale)
Expérimental	189	26.06	16.72	-0.498	0.618
Témoin	196	26.51	19.21		

Le test de Shapiro avec SPSS 20 sur les données du prétest, donne les résultats du test statistique $S = 0.95$ et $p - value = 0.0 < 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est anormalement constitué, ce résultat a conduit à appliquer le test U de Mann – Whitney sur le test préliminaire des deux groupes.

Le tableau 20 donne les résultats statistiques $z = -0.498$ et $p - value = 0.618 > 0.05$, ce qui indique que la différence de moyenne au score de deux groupes n'est pas significative. Ce résultat a montré que les élèves du groupe expérimental et ceux du groupe témoin avaient des compétences similaires en termes des connaissances requises sur le concept mathématique de fonctions numériques avant l'intervention pédagogique. **Cependant, les moyennes obtenues par ses élèves sont faibles, ce qui indique qu'ils ne possèdent pas beaucoup de connaissances préalables pertinentes sur le concept mathématique de fonctions numériques.**

Question statistique 1.2: Il y a t – il une différence significative de performance après la séquence de cours entre le groupe d'élèves utilisant la nouvelle méthode d'apprentissage et le groupe d'élèves utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage?

Pour le groupe d'élèves mobilisant Geogebra au cours de l'apprentissage, la moyenne au posttest vaut 43.42, l'écart type 19.51 et coefficient de variation 0.45 et pour le groupe

d'élèves n'ayant pas mobilisé Geogebra au cours de l'apprentissage, la moyenne au posttest vaut 45.26, l'écart type 23.73 et coefficient de variation 0.52.

Tableau 21: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le posttest des deux groupes

Groupe	Nombre	Posttest			
		Moyenne	Ecart type	Z	P (bilatérale)
Expérimental	189	43.42	19.51	-0.596	0.551
Témoin	196	45.26	23.73		

Le test de Shapiro avec SPSS 20 sur les données du posttest, donne les résultats du test statistique $S = 0.96$ et $p - value = 0.001 < 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est anormalement constitué, ce résultat a conduit à appliquer le test U de Mann – Whitney sur le test préliminaire des deux groupes.

Le tableau 21 donne les résultats statistiques $z = -0.596$ et $p - value = 0.551 > 0.05$, ce qui indique que la différence de moyenne au score de deux groupes n'est pas significative. Ce résultat a montré que les élèves du groupe expérimental ayant utilisé Geogebra au cours de leur apprentissage avaient obtenu des résultats similaires à ceux des élèves du groupe témoin utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage. **Cependant, les moyennes obtenues par ses élèves sont en dessous de 50, valeur pour laquelle on considère que le groupe d'élèves a globalement atteint le seuil moyen sur 100 en matière de l'acquisition des connaissances sur le concept mathématique de fonction au cours de l'apprentissage.**

Tableau 22: Résultats de test W de Wilcoxon sur la différence entre prétest et le posttest des deux groupes

Groupe	Nombre	Différence entre prétest et le posttest			
		Moyenne	Ecart type	Z	P (bilatérale)
Expérimental	189	17.37	18.41	-9.768	0.000
Témoin	196	18.75	21.24	-10.018	0.000

Le tableau 22 indique que la moyenne au score de différence entre le posttest et le prétest pour le groupe d'élèves utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle est de 17.13 points comparativement la moyenne au score de différence entre le posttest et le prétest pour le groupe d'élèves utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage est de 18.75. Pour le groupe expérimental le test statistique $z = -9.768$ et $p - value = 0.000 < 0.05$ alors que pour le groupe témoin $z = -10.018$ et $p - value = 0.000 < 0.05$. Ces deux résultats indiquent que la différence de moyenne au score entre posttest et prétest dans les deux groupes est fortement significative. Ce qui signifie une amélioration fortement significative des scores dans les deux groupes. À partir de ces résultats on peut constater que les élèves ont tiré des avantages des deux approches d'apprentissage et qu'il apparaît que le groupe d'élèves utilisant la nouvelle méthode d'apprentissage ne semble pas avoir une amélioration aux scores plus élevés par rapport au groupe d'élèves utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage.

Les gains bruts aux scores indiquent qu'il y a un progrès dans chaque groupe mais n'indiquent pas si cette progression en matière d'apprentissage est significative. Ce qui conduit à calculer les gains relatifs.

Tableau 23: Résultats du test U de Mann - Whitney sur les gains relatifs des deux groupes

Groupe	Nombre	Gain relatifs aux scores			
		Moyenne	Ecart type	Z	p
Expérimental	189	22.21	25.85	-0.65	0.514
Témoins	196	25.23	28.17		

Le gain relatif de performance globale du concept mathématique de fonctions dans le groupe ayant travaillé avec Geogebra est de 22.21 et pour le groupe n'ayant pas travaillé avec Geogebra, il est de 25.23. Ces résultats du gain relatif sont tous inférieurs au seuil minimal pour lequel on considère il y a eu un progrès significatif de l'apprentissage (D'Hainaut, 1975).

Le tableau 23 donne les résultats statistiques $z = -0.65$ et $p - value = 0.514 > 0.05$, ce qui indique que la différence de gain relatif au score de deux groupes n'est pas significative. Ce résultat a montré que les élèves du groupe expérimental utilisant Geogebra dans leur apprentissage et les élèves du groupe témoin utilisant la méthode traditionnelle

d'apprentissage n'avaient pas significativement progressé dans leur apprentissage de manière globale.

En résumé ces résultats indiquent que les élèves utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle, c'est-à-dire mobilisant le logiciel dynamique de mathématique dans leur apprentissage, ont fortement progressé en matière de scores mais leur progression n'est pas significativement différente de celle des élèves utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage. Ce qui conduit à regarder si d'autres facteurs n'influencent pas ces résultats.

Tableau 24: Résultats du test de corrélation entre gain relatif au score et prétest

Groupe	Nombre		Prétest
Expérimental	189	Gain relatif	$r = -0.228^{**}$
Témoin	196	Gain relatif	$r = -0.045$

$(^{**})p < 0.01$

Le tableau 24 donne les résultats statistiques des corrélations entre prétest et gain relatif dans le groupe d'élèves utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage $r = -0.045$ et $p = 0.531 > 0.05$, ce qui indique que la corrélation entre les deux items est négative et non significative alors que dans le groupe d'élèves utilisant la méthode nouvelle d'apprentissage $r = -0.228$ et $p = 0.002 < 0.05$, ce le résultat la corrélation entre les deux items est négative et fortement significative.

Le coefficient de détermination est le carré de la corrélation (0.053). Ce résultat indique que le gain relatif des élèves mobilisant le logiciel au cours de leur apprentissage est déterminé à raison de 5,3% par le prétest. Ce qi signifie que 94,7% des résultats du gain aux scores de ses élèves sont déterminés par d'autres facteurs que le niveau initial des connaissances du concept de fonction des élèves avant l'expérimentation.

Ces résultats indiquent que l'apprentissage des fonctions numériques avec le logiciel dynamique a permis de faire progresser les élèves les moins avancés au départ c'est-à-dire les élèves ayant des faibles connaissances requises sur le concept mathématique des fonctions numériques alors que l'apprentissage par la méthode traditionnelle a permis aux élèves de progresser quel que soit leur niveau de départ. Mais ces résultats ne permettent pas de savoir

si l'apprentissage par catégories d'élèves a été significatif, ce qui a alors conduit à faire les tests statistiques sur les gains aux scores par catégorie d'élèves dans les deux cas.

2.1.2 Effet du niveau au départ des élèves sur leur performance aux scores

Question statistique 1.3 : Quelles sont les catégories d'élèves qui ont le plus progressé dans leurs apprentissages dans les deux groupes ? Pour répondre à cette question il a été utilisé deux approches qui se complètent à savoir les gains bruts et les gains relatifs par catégorie d'élèves.

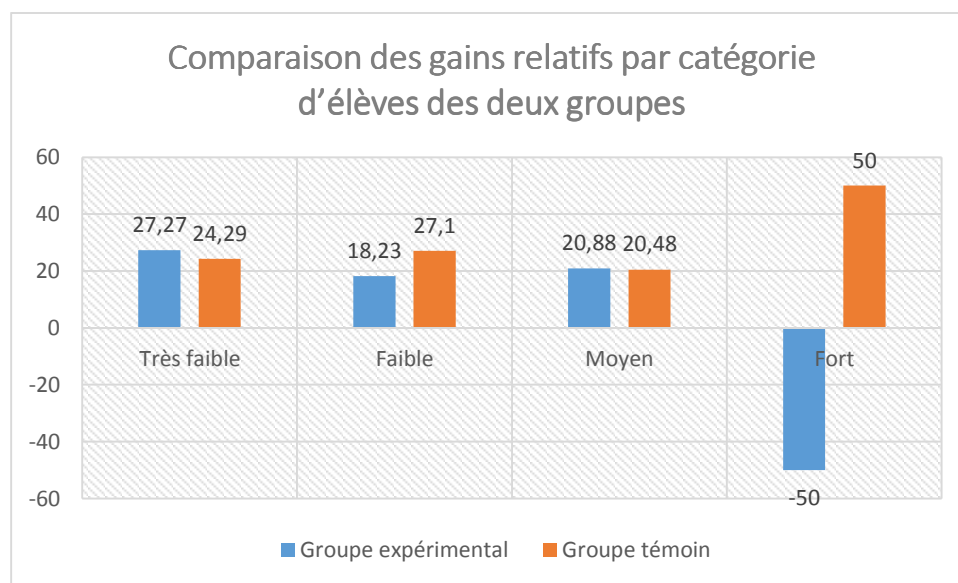


Figure 24: Comparaison des gains relatifs par catégorie d'élèves

Dans le groupe d'élèves utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle, il y a quatre (4) catégories d'élèves, les très faibles, les faibles, moyens et forts. Le calcul de gain relatif aux scores par catégorie d'élèves montre que la différence de gain relatif par niveau est significative ($khi^2 = 8.59$ et $p = 0.035 < 0.05$). Ce qui signifie que **le niveau des élèves utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle a significativement influencé leur apprentissage des fonctions numériques. Le tableau 25, montre que ce sont les élèves de niveau très faible au départ qui ont le plus progressé dans l'apprentissage de fonctions numériques mais leur progression en apprentissage n'est pas globalement significative.**

Tableau 25: Résultats du test H de Kruskal Wallis sur les gains relatifs par catégorie d'élèves

Groupe	Catégories	Nombre	Fréquence	Gain relatif	khi2	P

Expérimental	Très faible	86	45.50	27.27	8.59	0.035
	Faible	86	45.50	18.23		
	Moyen	16	8.47	20.88		
	Fort	1	0.53	-50		
Témoins	Très faible	96	48.98	24.29	1.73	0.630
	Faible	72	36.73	27.10		
	Moyen	25	12.76	20.48		
	Fort	3	1.53	50*		

(*) Il est admis qu'il y a un effet significatif d'apprentissage lorsque le gain relatif est supérieur au seuil minimal de 30.

Dans le groupe d'élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle, il y a quatre (4) catégories d'élèves, les très faibles, les faibles, moyens et forts. Le calcul de gain relatif aux scores par catégorie d'élèves montre que la différence de gain relatif par niveau est significative ($Khi2 = 1.73$ et $p = 0.630 > 0.05$). Ce qui signifie que le niveau des élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle n'a pas influencé leur apprentissage des fonctions numériques a progressé dans la même proportion. **Le tableau 25**, montre que ce sont les élèves très forts qui ont plus progressé dans l'apprentissage de fonctions numériques et leur progression en apprentissage est significative.

En résumé, l'utilisation de Geogebra en apprentissage du concept de fonction a permis aux élèves les plus faibles au départ de progresser significativement au cours de l'apprentissage.

2.1.3 Effet de la série des élèves sur leur performance aux scores

Question statistique 1.4 : Il y a-t-il de différence significative de performance au départ entre les élèves scientifiques et les élèves littéraires dans les deux groupes?

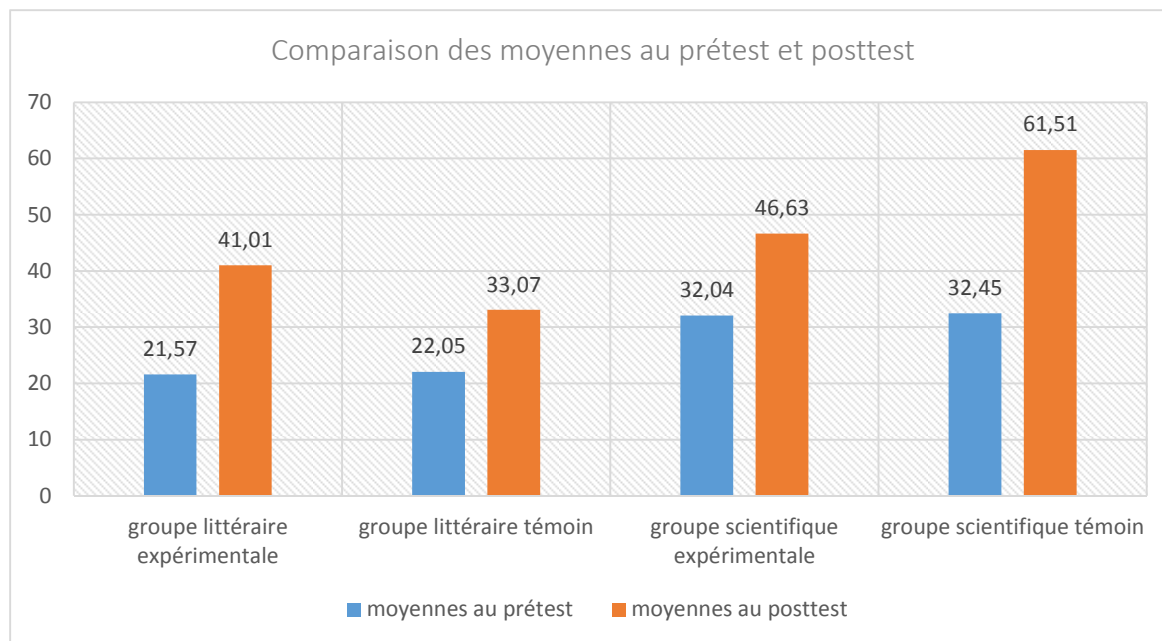


Figure 25: Comparaison des moyennes au prétest et au posttest par serie

Pour ce qui est du groupe d'élèves utilisant la méthode nouvelle, la moyenne au prétest d'élèves scientifiques vaut 32.04, l'écart type 17.50 et coefficient de variation 0.55 alors que pour les élèves littéraires la moyenne au prétest vaut 21.57, l'écart type 14.64 et coefficient de variation 0.68. Le test de normalité sur ces moyennes indique que les moyennes aux prétests d'élèves scientifiques du groupe expérimental sont normalement distribuées ($w = 0.97$, $p=0.069$) alors les moyennes aux prétests d'élèves scientifiques du groupe témoin sont anormalement distribuées ($w=0.96$, $p=0.012$). Ce qui conduit à utiliser les tests statistiques non paramétriques des échantillons indépendants.

Pour ce qui est du groupe d'élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle, la moyenne au prétest des élèves des classes littéraires vaut 32.45, l'écart type 22.54 et coefficient de variation 22.5 alors que pour les élèves littéraires la moyenne au prétest vaut 22.05, l'écart type 14.89 et coefficient de variation 0.68. Le test de normalité sur les moyennes indique que les moyennes aux prétests d'élèves littéraires du groupe témoin aient normalement distribué ($w=0.98$, $p=0.310$) alors les moyennes aux prétests d'élèves littéraires du groupe expérimental sont anormalement distribuées ($w = 0.95$, $p=0.004$). Ce qui conduit d'utiliser les tests statistiques non paramétriques des échantillons indépendants.

Tableau 26: Résultats de test U de Mann - Whitney sur la différence entre les prétests des deux groupes scientifique et littéraire

Groupe	Option	Nombre	Test préliminaire			
			Moyenne	Ecart type	Z	P
Expérimental	Scientifique	81	32.04	17.50	-4.13	0.000
	Littéraire	108	21.57	14.64		
Témoin	Scientifique	84	32.45	22.54	-3.37	0.001
	Littéraire	112	22.05	14.89		

Le tableau 26. donne les résultats statistiques des tests appariés entre les deux sous-groupes d'élèves scientifiques et littéraires pour le groupe expérimental $z = -4.13$ et $p - value = 0.000 < 0.05$ et pour le groupe témoin $z = -3.37$ et $p - value = 0.001 < 0.05$. Ce qui a indiqué qu'il y a de différence significative entre les deux sous-groupes, c'est-à-dire les élèves scientifiques et les élèves littéraires n'ont pas les mêmes compétences au départ sur le concept mathématique des fonctions numériques.

Tableau 27: Résultats de test U de Mann - Whitney sur la différence entre les prétests des groupes scientifiques et des groupes littéraires

Groupe	Option	Nombre	Test préliminaire			
			Moyenne	Ecart type	Z	P
Scientifique	Expérimental	81	32.04	17.50	-0.21	0.835
	Témoin	84	32.45	22.54		
Littéraire	Expérimental	108	21.57	14.64	-0.06	0.952
	Témoin	112	22.05	14.89		

Le tableau 27. donne les résultats statistiques des tests appariés entre les deux sous-groupes d'élèves scientifiques et littéraires pour le groupe expérimental $z = -0.21$ et $p - value = 0.835 > 0.05$ et pour le groupe témoin $z = -0.06$ et $p - value = 0.952 > 0.05$. Ce qui a indiqué qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux sous-groupes scientifiques et les deux sous - groupes littéraires, c'est-à-dire les élèves scientifiques de

l'expérimentation sont au même niveau de compétences au départ et les élèves littéraires de l'expérimentation sont au même niveau de compétences au départ sur le concept mathématique des fonctions numériques.

En résumé, les élèves scientifiques sont au même niveau au départ et les élèves littéraires sont également au même niveau, ce qui permet de comparer la progression du groupe d'élèves scientifiques utilisant la nouvelle méthode d'apprentissage et le groupe d'élèves scientifiques utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage entre eux d'une part et la progression du groupe d'élèves littéraires utilisant la nouvelle méthode d'apprentissage et le groupe d'élèves littéraires utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage entre eux d'autre part.

Question statistique 1.5 : Il y a-t-il de différence significative de performance aux scores entre les élèves scientifiques et les élèves littéraires des deux groupes en terme d'apprentissage ?

Pour le groupe d'élèves scientifiques utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle la moyenne au posttest vaut 46.63, l'écart type 20.62 et coefficient de variation 0.44 et pour le groupe d'élèves scientifiques utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle la moyenne au posttest vaut 61.51, l'écart type 19.20 et coefficient de variation 0.31. Le test de normalité sur ces moyennes indique que les moyennes aux prétests d'élèves scientifiques du groupe expérimental sont anormalement distribuées ($w = 0.96$, $p=0.013$) alors les moyennes aux prétests d'élèves scientifiques du groupe témoin sont normalement distribuées ($w=0.98$, $p=0.178$). Ce qui conduit à utiliser des tests statistiques non paramétriques des échantillons indépendants.

Tableau 28: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le posttest des deux groupes scientifiques

Groupe	Option	Nombre	Posttest			
			Moyenne	Ecart type	Z	P
Expérimental	Scientifique	81	46.63	20.62	-4.32	0.000
Témoin	Scientifique	84	61.51	19.2		

Le tableau 28, donne les résultats statistiques $Z = -4.32$ et $p - value = 0.000 < 0.05$, ce qui indique que la différence globale des moyennes aux scores de deux groupes est

significative et elle est au profit du groupe scientifique témoin. Ce résultat a montré que les élèves scientifiques du groupe témoin avaient obtenu après l'intervention pédagogique à obtenir des résultats supérieurs à ceux des élèves du groupe expérimental. Ce qui signifie que les élèves scientifiques utilisant la méthode traditionnelle d'apprentissage ont plus développé des compétences du concept mathématique de fonctions que les élèves qui utilisent la méthode d'apprentissage dynamique. Donc l'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques avec le logiciel dynamique Geogebra n'a pas significativement permis aux élèves scientifiques de progresser. Ce résultat a amené à poser d'autres questions sur d'autres facteurs susceptibles d'apporter des explications comme la méthode d'enseignement, l'engagement cognitif et l'engagement affectif des élèves scientifiques en apprentissage des mathématiques avec la technologie, l'appropriation des fonctionnalités du logiciel pour résoudre efficacement les problèmes mathématiques etc.

Pour les groupes d'élèves littéraires utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle la moyenne au posttest vaut 41.01, l'écart type 18.37 et coefficient de variation 0.45 et pour le groupe littéraire d'élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle la moyenne au posttest vaut 33.07, l'écart type 18.92 et coefficient de variation 0.57. Le test de normalité sur les moyennes indique que les moyennes aux posttests d'élèves littéraires du groupe témoin sont anormalement distribuées ($w=0.97$, $p=0.042$) alors les moyennes aux posttests d'élèves littéraires du groupe expérimental sont normalement distribuées ($w = 0.98$, $p=0.266$). Ce qui conduit à utiliser les tests statistiques non paramétriques des échantillons indépendants.

Tableau 29: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le posttest des deux groupes littéraires

Groupe	Option	Nombre	Posttests			
			Moyenne	Ecart type	Z	P
Expérimental	Littéraire	108	41.01	18.37	-3.36	0.001
Témoin	Littéraire	112	33.07	18.92		

Le tableau 29, donne les résultats statistiques $Z = 3.36$ et $p - value = 0.001 < 0.05$, ce qui indique que la différence de moyenne au score de deux groupes est significative et elle est au profit du groupe littéraire expérimental. Ce résultat a montré que les élèves littéraires du groupe expérimental avaient des résultats supérieurs à ceux des élèves du groupe

témoins après l'intervention. Ce qui signifie que les élèves littéraires qui ont utilisé la nouvelle méthode d'apprentissage ont plus développé des compétences en concept mathématique de fonctions que les élèves littéraires qui ont utilisé la méthode traditionnelle d'apprentissage. Ce résultat nous a amené à poser d'autres questions sur d'autres facteurs susceptibles d'apporter des explications comme la méthode d'enseignement, l'engagement des élèves scientifiques en apprentissage des mathématiques avec la technologie, l'appropriation des fonctionnalités du logiciel pour résoudre efficacement les problèmes mathématiques etc.

En résumé, les élèves des séries scientifiques ou littéraires ont été moins performants au cours de l'apprentissage du concept mathématique de fonction comparativement aux élèves ayant travaillé dans un environnement d'apprentissage traditionnel. Ces résultats ont amené à poser les questions sur les effets possibles de la méthode d'enseignement de l'enseignant, de l'engagement des élèves scientifiques en apprentissage des mathématiques avec la technologie, des difficultés de l'appropriation des fonctionnalités du logiciel pour résoudre efficacement les problèmes mathématiques etc.

Tableau 30: Comparaison des moyennes au prétest et posttest des groupes par série

Groupe	Option	Nombre	Prétest			Posttest			Variation des moyennes	Taux de variation
			Moyenne	Ecart type	Coef. V.	Moyenne	Ecart type	Coef. V.		
Expérimental	Scientifique	81	32.04	17.50	0.55	46.63	20.62	0.44	+14.59	45.54%
	Littéraire	108	21.57	14.64	0.68	41.01	18.37	0.45	+19.44	90.13%
Témoin	Scientifique	84	32.45	22.54	0.69	61.51	19.2	0.31	+29.06	89.55%
	Littéraire	112	22.05	14.89	0.68	33.07	18.92	0.57	+11.02	49.98

2.1.4 Effet genres des élèves sur leur performance aux scores

Question statistique 1.6 : Quels sont parmi les élèves filles et les élèves garçons ceux qui ont le plus progresser dans ces classes? Pour répondre à cette question il a été utilisé deux approches qui se complètent à savoir les gains bruts et les gains relatifs par genre d'élèves.

Pour le groupe expérimental d'élèves garçons utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle la moyenne au prétest vaut 27.95 et l'écart type 17.09 et pour le groupe expérimental d'élèves filles utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle la moyenne au prétest vaut 23.89 et l'écart type 16.10. Le test de normalité sur les moyennes indique que les moyennes aux prétests d'élèves garçons du groupe expérimental sont anormalement distribuées ($w=0.97$, $p=0.020$) alors que les moyennes aux prétests des élèves filles du groupe expérimental sont anormalement distribuées ($w=0.96$, $p=0.005$). Ce qui conduit à utiliser le test statistique non paramétrique des échantillons indépendants.

Pour le groupe témoin d'élèves garçons utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle la moyenne au prétest vaut 29.97 et l'écart type 16.81 et pour le groupe témoin d'élèves filles utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle la moyenne au prétest vaut 22.71 et l'écart type 17.83. Le test de normalité sur les moyennes indique que les moyennes aux prétests des élèves garçons du groupe témoin sont anormalement distribuées ($w = 0.93$, $p=0.000$) alors tout comme celles des filles du groupe témoin aux prétests ($w = 0.93$, $p=0.000$). Ce qui conduit à utiliser le test statistique non paramétrique des échantillons indépendants.

Tableau 31: Résultats de test U de Mann - Whitney sur le test préliminaire selon le genre

Groupe	Option	Nombre	Test préliminaire			
			Moyenne	Ecart type	Z	P
Expérimental	Garçons	101	27.95	17.09	-1.49	0.137
	Filles	88	23.89	16.10		
Témoin	Garçons	107	29.97	19.81	-2.35	0.019
	Filles	89	22.71	17.83		

Le tableau 31 donne les résultats statistiques pour les deux sous - groupes expérimentaux $Z = -1.49$ et $p - value = 0.137 > 0.55$ et pour les deux sous - groupes témoins $Z = -2.35$ et $-value = 0.019 < 0.55$, ceux qui indiquent que la différence de moyenne au score de deux sous - groupes expérimentaux n'est pas significative au départ mais la différence de moyenne au score de deux sous - groupes témoins est significative et

elle est au profit du groupe d'élèves garçons. Ce résultat a montré que les élèves garçons du groupe expérimental et les élèves filles du groupe expérimental avaient des compétences similaires sur le concept mathématique de fonctions numériques avant l'intervention pédagogique alors que les élèves garçons du groupe témoins des compétences supérieures sur le concept mathématique de fonctions numériques avant l'intervention pédagogique que les élèves filles du groupe témoins.

Pour le groupe expérimental d'élèves garçons utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle la moyenne au posttest vaut 43.67 et l'écart type 18.47 et pour le groupe expérimental d'élèves filles utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle la moyenne au posttest vaut 43.13 et l'écart type 20.75. Le test de normalité sur les moyennes indique que les moyennes au posttest d'élèves garçons du groupe expérimental sont normalement distribuées ($w=0.98$, $p=0.108$) et les moyennes au posttest des élèves filles du groupe expérimental sont normalement distribuées ($w=0.98$, $p=0.275$). Ce qui conduit à utiliser le test statistique paramétrique des échantillons indépendants.

Tableau 32: Résultats de test t sur le posttest des deux sous – groupes expérimentaux

Groupe	Option	Nombre	Posttest			
			Moyenne	Ecart type	t	P
Expérimental	Garçons	101	43.67	18.47	0.19	0.848
	Filles	88	43.13	20.75		

Le tableau 32 donne les résultats statistiques pour les deux groupes expérimentaux $t = 0.19$ et $p - value = 0.848 > 0.55$, ce qui indique que la différence de moyenne au score de deux sous – groupes expérimentaux n'est pas significative après intervention. Ce résultat a montré que les élèves garçons du groupe expérimental et les élèves filles du groupe expérimental avaient développé des compétences similaires sur le concept mathématique de fonctions numériques après l'intervention pédagogique.

Pour le groupe témoin des élèves garçons utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle la moyenne au posttest vaut 49.68 et l'écart type 23.52 et pour le groupe témoin des élèves filles utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle la moyenne au posttest vaut 39.94 et l'écart type 23.01. Le test de normalité sur les moyennes indique que les

moyennes au posttest d'élèves filles du groupe témoin sont anormalement distribuées ($w = 0.95$, $p=0.002$) alors les moyennes au posttest d'élèves garçons du groupe témoin sont normalement distribuées ($w = 0.98$, $p=0.216$). Ce qui conduit à utiliser le test statistique non paramétrique des échantillons indépendants.

Tableau 33: Résultats de de test U de Mann - Whitney sur le posttest des deux sous - groupes témoins

Groupe	Option	Nombre	Posttest			
			Moyenne	Ecart type	Z	P
Témoin	Garçons	107	49.68	23.52	-2.91	0.004
	Filles	89	39.94	23.01		

Le tableau 33 donne les résultats statistiques pour les deux sous – groupes témoins $Z = -2.91$ et $-value = 0.004 < 0.55$, ce qui indique que la différence de moyenne au score de deux sous – groupes témoins est significative après intervention et elle est au profit du groupe d'élèves garçons. Ce résultat a montré que les élèves garçons du groupe témoin avaient développé des compétences supérieures sur le concept mathématique de fonctions numériques après l'intervention pédagogique que les élèves filles du groupe témoin.

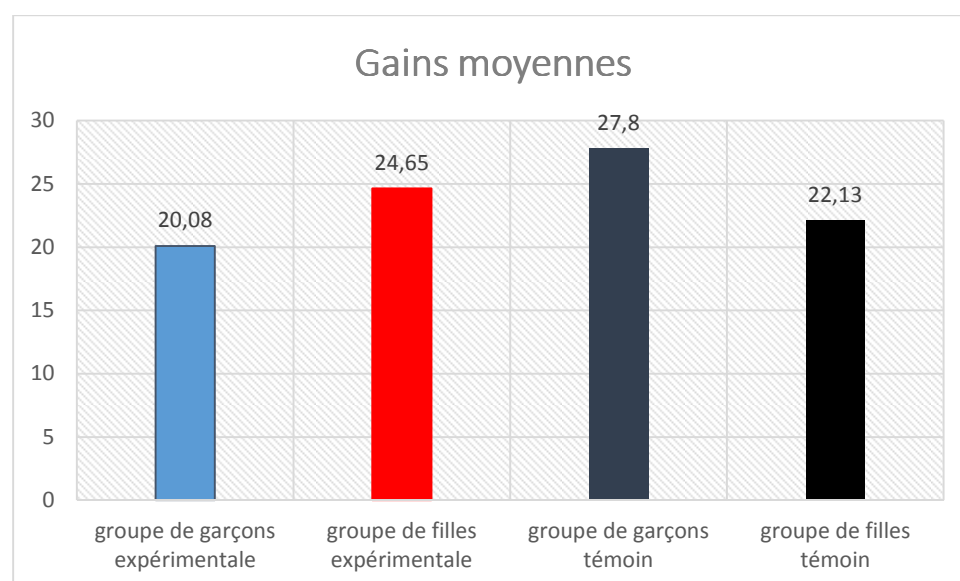


Figure 26: Gain relatif selon le genre

Les gains relatifs par sexe dans les deux groupes sont inférieurs au seuil minimal pour lequel on considère il y a eu un progrès significatif d'apprentissage, par contre dans les autres classes le gain relatif est inférieur au seuil minimal (D'Hainaut, 1975). Il ressort de ce résultat que les élèves garçons et filles n'ont pas atteint globalement un niveau de progression significatif.

Pour le groupe expérimental d'élèves garçons utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle la moyenne du gain relatif vaut 20.08 et l'écart type 24.57 et pour le groupe expérimental d'élèves filles utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle la moyenne du gain relatif vaut 24.65 et l'écart type 26.21. Le test de normalité sur les moyennes indique que les moyennes du gain relatif d'élèves garçons du groupe expérimental sont normalement distribuées ($w=0.98$, $p=0.188$) et les moyennes du gain relatif des élèves filles du groupe expérimental sont normalement distribuées ($w=0.99$, $p=0.749$). Ce qui conduit à utiliser le test statistique paramétrique des échantillons indépendants.

Pour le groupe témoin des élèves garçons qui ont utilisé la méthode d'apprentissage traditionnelle la moyenne du gain relatif vaut 27.80 et l'écart type vaut 2973 et pour le groupe témoin des élèves filles qui ont utilisé la méthode d'apprentissage traditionnelle la moyenne du gain relatif vaut 22.13 et l'écart type vaut 26.00. Le test de normalité sur les moyennes indique qu'alors les moyennes du gain relatif des élèves filles du groupe témoin sont normalement distribuées ($w = 0.98$, $p=0.17$) alors les moyennes du gain relatif des élèves garçons du groupe témoin sont normalement distribuées ($w = 0.99$, $p=0.5457$). Ce qui conduit à utiliser le test statistique paramétrique des échantillons indépendants.

Tableau 34: Comparaison des gains relatifs par genre d'élèves

Groupe	Sexe	Nombre	Fréquence	Gain relatif	Test t	p
Expérimental	Masculin	101	53.44	20.08	- 1.24	0.218
	Féminin	88	46.56	24.65		
Témoins	Masculin	107	54.59	27.80	1.41	0.161
	Féminin	89	45.41	22.13		

Le tableau 34 donne les résultats du gain relatif aux scores par sexe qui montrent que la différence de gain relatif entre filles et garçons du groupe expérimental n'est pas

significative ($t = -1.24$ et $p = 0.218 > 0.05$) et la différence de gain relatif entre filles et garçons n'est pas significative ($t = 1.41$ et $p = 0.161 > 0.05$). Ce qui signifie que les filles et les garçons ayant fait usage du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage du concept de fonctions numériques ont progressé dans la même proportion mais aussi les filles et les garçons n'ayant pas fait usage du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage du concept de fonctions numériques ont progressé dans la même proportion.

2.1.5 Effet des attitudes des élèves sur leur performance aux scores

Question statistique 1.7 : les attitudes des élèves mobilisant Geogebra envers les mathématiques et les technologies ont-elles des effets sur leurs performances aux scores?

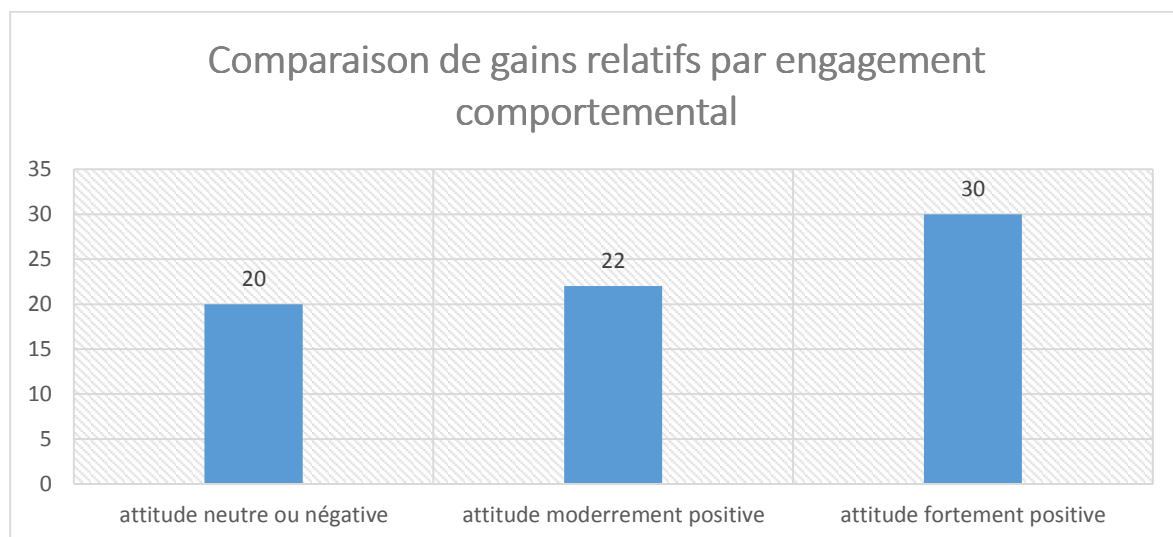


Figure 27: Gain relatif par comportement affectif

Les gains relatifs par attitude fortement positive sont supérieurs au seuil minimal pour lequel on considère il y a eu un progrès significatif d'apprentissage par contre dans les autres niveaux le gain relatif est inférieur au seuil minimal (D'Hainaut, 1975). Il ressort de ce résultat que les élèves qui se sont fortement et positivement engagés au cours de l'apprentissage avec Geogebra ont atteint globalement un niveau de progression significatif.

Tableau 35: corrélation entre les attitudes, niveau au départ et niveau d'acquisitions des élèves mobilisant Geogebra

		Attitudes					Niveau	
		CM	CT	MT	EA	EC	départ	Acquisitions
confiance en mathématiques	CM	1	0.08**	0.510**	0.646**	0.589**	0.210**	0.190*
confiance à la technologie	CT		1	0.495**	0.490**	0.188*	0.091	0.096*
attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	MT			1	0.743**	0.392**	0.133	0.153
engagement affectif	EA				1	0.560**	0.264**	0.195*
engagement comportemental	EC					1	0.182*	0.267**

(*) Signifie que de $p < 0.05$

(**) Signifie que de $p < 0.01$

2.1.6 Effet de la dynamique d'apprentissage en fonction des deux modalités d'apprentissage

Question statistique 1.8 : La dynamique d'apprentissage varie – t – elle en fonction des modalités d'apprentissage des élèves ?

L'analyse des données des observations des pratiques en rapport avec l'apprentissage des élèves, à travers les indicateurs des comportements participatif, attentif et interactif a permis ainsi d'observer a priori la dynamique d'apprentissage avec ou sans la mobilisation du logiciel éducatif.

Tableau 36 : Fréquences des comportements d'apprentissage observables

	Participatif (%)	Attentif (%)	Interactif (%)

Groupe Expérimental	40.21	49.79	42.29
Groupe Témoin	40.83	62.83	32.50

Tableau 36 permet d'observer que les deux groupes (expérimental et témoin) ont fait preuve d'un comportement participatif moyen au cours de l'apprentissage (respectivement 40.21% et 40.83%). Par contre le comportement attentif est fort (62.83%) chez le groupe témoins alors qu'il est moyen chez les élèves du groupe expérimental. Enfin, la comparaison du comportement interactif des deux groupes révèle que le groupe expérimental a fait preuve d'un comportement interactif moyen alors qu'il est faible chez le groupe témoin.

Le calcul de corrélation entre les trois indicateurs dans le groupe expérimental indique qu'il y a une relation significative positive entre les comportements participatif et attentif ($r = 0.465$ et $p < 0.05$), alors qu'une relation fortement significative et positive entre le participatif et l'interactif ($r = 0.786$ et $p < 0.01$) et entre les comportements attentif et interactif ($r = 0.582$ et $p < 0.01$). Le calcul de corrélation entre les trois indicateurs dans le groupe témoin indique qu'il n'y a pas de relation significative entre les comportements participatif et attentif ($r = 0.188$ et $p > 0.05$) et entre les comportements attentif et interactif ($r = -0.282$ et $p > 0.05$) alors qu'une relation fortement significative et positive entre le participatif et l'interactif ($r = 0.786$ et $p < 0.01$). Ce résultat indique que dans le groupe mobilisant Geogebra plus le comportement participatif est significatif plus les élèves sont attentifs, ils interagissent de manière plus active au cours de leurs apprentissages alors que dans le groupe n'ayant pas mobilisé Geogebra plus le comportement participatif est significatif plus les élèves interagissent de manière plus active au cours de leurs apprentissages.

Ses différents résultats permettent de conclure que la dynamique d'apprentissage est plus favorable aux élèves du groupe expérimental, c'est-à-dire les élèves ayant travaillé avec le logiciel dynamique de mathématiques au cours de l'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques mais leur progression n'est pas significative. Ainsi les élèves ayant mobilisé le logiciel Geogebra au cours de l'apprentissage du concept de fonction se sont significativement engagés affectivement dans la construction du savoir. Donc l'environnement d'apprentissage avec le logiciel dynamique a suscité significativement l'engagement affectif des élèves.

Tableau 37: corrélation entre les 3 items de la dynamique d'apprentissage

	Groupe expérimental			Groupe témoin		
	comportement participatif	comportement attentif	comportement d'interaction	comportement participatif	comportement attentif	comportement d'interaction
comportement participatif	1	0.465*	0.786**	1	0.188	0.816**
comportement attentif		1	0.582**		1	-0.282
comportement d'interaction			1			1

(*) Signifie que de $p < 0.05$

(**) Signifie que de $p < 0.01$

2.2 Analyse des résultats relatifs à la progression aux scores selon le niveau d'apprentissage des élèves.

- ✓ **Question de recherche 2:** L'utilisation de logiciel Geogebra selon le niveau d'apprentissage améliore-t-elle significativement la performance des élèves du secondaire moyen en l'apprentissage des fonctions numériques?

2.2.1 Comparaison des groupes classes selon les performances aux scores

Question statistique 2.1 : Il y a-t-il de différence significative de performance entre les groupes classe avec et sans Geogebra tenu par le même enseignant avant la séquence de cours sur les fonctions numériques?

Dans cette étape, il a été vérifié la normalité de la distribution des scores au prétest. Deux procédures, permettant de choisir le test statistique à appliquer à nos échantillons, ont été utilisées. Pour les groupes ayant un effectif inférieur à 30 individus ($n < 30$) alors supposons que l'échantillon petit ce qui suppose une distribution anormale en appliquant directement le test non paramétrique de comparaison de Wilcoxon. Pour les groupes ayant un effectif supérieur à 30 individus ($n \geq 30$) en appliquant d'abord un test paramétrique de Shapiro avec l'hypothèse nulle (H_0) le score est normalement distribué dans chaque groupe. est acceptée, si p – value est supérieur à 5% dans ce cas on peut appliquer un test paramétrique de comparaison de t Student à nos données de scores. Par contre si p – value est

inférieur à 5% de rejeter l'hypothèse nulle et d'appliquer un test non paramétrique de comparaison de Wilcoxon à nos données.

Pour ce qui est des groupes classes constitués des élèves de 2^{nde} scientifiques, expérimental et témoins tenus par le même enseignant, ils ont des effectifs respectifs de 29 et 23. Ce qui a conduit à appliquer le test de Shapiro pour la normalité. Le test de Shapiro avec SPSS 20, donne les résultats du test statistique pour le groupe expérimental $S = 0.95$ et $p - value = 0.27 > 0.05$ et pour le groupe témoins $S = 0.94$ et $p - value = 0.16 > 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est normalement constitué dans les classes de seconde scientifique. Le t Student test sur les groupes constitués des élèves de 2^{nde} C expérimentale et Témoins, donne les résultats statistiques $t = 1.65$ et $p - value = 0.11 > 0.05$. Ces derniers résultats permettent d'accepter l'hypothèse nulle ce qui permet de conclure qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes de ce même enseignant. Les élèves des deux classes scientifiques de seconde ont un même niveau de pré-acquis sur les fonctions numériques d'une variable réelle avant le début de la séquence du cours.

Pour ce qui est des groupes classes constitués des élèves de 2^{nde} littéraires expérimentales et témoin tenus par le même enseignant, ils ont des effectifs respectifs de 33 et 33. Ce qui a conduit à appliquer le test de Shapiro pour la normalité. Le test de Shapiro avec SPSS 20, donne le résultat du test statistique pour le groupe expérimental $S = 0.89$ et $p - value = 0.003 < 0.05$ et pour le groupe témoins $S = 0.97$ et $p - value = 0.51 > 0.05$. Ce qui amène à conclure que, l'échantillon du groupe classe de seconde expérimentale est anormalement constitué par contre, la distribution de l'échantillon du groupe classe de second témoin est normalement constituée. La distribution normale sera utilisée en approximation dans ce cas. Le t Student test sur les groupes constitués des élèves de 2^{nde} A expérimentale et Témoin, donne les résultats statistiques $t = -0.99$ et $p - value = 0.33 > 0.05$. Ces derniers permettent d'accepter l'hypothèse nulle ce qui permet de conclure qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes de ce même enseignant. Les élèves des deux classes de seconde littéraire ont un même niveau de pré acquit sur les fonctions numériques d'une variable réelle avant le début de la séquence du cours.

Pour ce qui est des groupes classes constitués des élèves de 1^{ers} scientifiques, expérimental et témoin, tenus par le même enseignant, ils ont des effectifs respectifs de 31 et 36. Ce qui a conduit à appliquer le test de Shapiro pour la normalité. Le test de Shapiro avec SPSS 20 sur ces deux groupes classes, donne les résultats du test statistique pour le groupe

expérimental $S = 0.94$ et $p - value = 0.09 > 0.05$ et pour le groupe témoin $S = 0.97$ et $p - value = 0.60 > 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est normalement constitué. Le t Student test sur ces groupes classes, donne les résultats statistiques de $t = -0.4$ et $p - value = 0.7$. Ces derniers résultats permettant d'accepter l'hypothèse nulle donc on peut conclure qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes de ce même enseignant. Les élèves des deux classes scientifiques de première ont un même niveau de pré-acquis sur les fonctions numériques d'une variable réelle avant le début de la séquence du cours.

Pour ce qui est des groupes classes constitués des élèves de 1^{ères} littéraires expérimentale et témoin, tenus par le même enseignant, ils ont des effectifs respectifs de 41 et 46. Ce qui a conduit à appliquer le test de Shapiro pour la normalité. Le test de Shapiro avec SPSS 20, donne le résultat du test statistique pour le groupe témoin $S = 0.97$ et $p - value = 0.26 > 0.05$ et pour le groupe expérimental $S = 0.98$ et $p - value = 0.80 > 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est normalement constitué dans les classes de première littéraire. Le t Student test sur ces deux groupes classes donne les résultats statistiques de $t = -0.22$ et de $p - value = 0.83$. Ces derniers résultats permettant d'accepter l'hypothèse nulle donc on peut conclure qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes de ce même enseignant. Les élèves des deux classes littéraires de première ont un même niveau de pré-acquis sur les fonctions numériques d'une variable réelle avant le début de la séquence du cours.

De manière générale, les résultats montrent que les élèves des groupes classes tenus par un même enseignant, dans chacun des cas, sont au même niveau de compétences avant la séquence de cours sur la notion des fonctions numériques à variable réelles que ce soit les classes scientifiques ou dans les classes littéraires.

2.2.2 Description des scores des groupes classes niveau académique

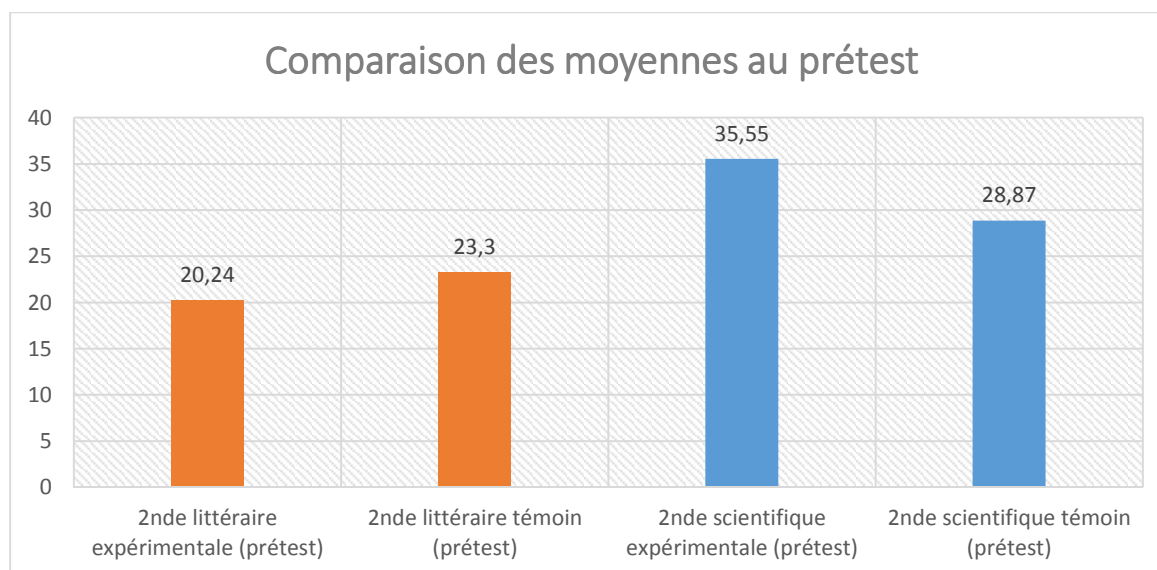


Figure 28: Comparaison des moyennes au prétest par groupe classe de 2nde

Pour la classe de 2^{nde} littéraire expérimentale, la moyenne au prétest vaut 20.24, l'écart type 15.93 et coefficient de variation 0.79 par contre la moyenne au prétest de la classe de première littéraire témoin vaut 23.3, l'écart type 11.44 et coefficient de variation 0.49.

Pour la classe de 2^{nde} scientifique expérimentale, la moyenne au prétest vaut 35.55, l'écart type 14.87 et coefficient de variation 0.42 par contre la moyenne au prétest de la classe de 2^{nde} scientifique témoins vaut 28.87, l'écart type 19.93 et coefficient de variation 0.69.

Le test de normalité montre que la distribution des notes aux prétests est normale dans les classes secondes scientifiques ($S = 0.89$ et $p - value = 0.003 < 0.05$) et anormale dans les classes de secondes littéraires ($S = 0.97$ et $p - value = 0.51 > 0.05$) et que les moyennes entre les groupes classes de 2^{nde} scientifique ($t = 1.65$ et $p - value = 0.11 > 0.05$) et les groupes classes de 2^{nde} littéraire ($t = -0.99$ et $p - value = 0.33 > 0.05$) ne sont pas significativement différentes respectivement. Globalement, les élèves sont au même niveau de compétences avant la séquence de cours sur la notion des fonctions numériques à variable réelles que ça soit dans les classes de secondes scientifiques ou dans les classes de secondes littéraires. Cependant, les moyennes obtenues par ses élèves des classes de seconde indiquent qu'ils ne possèdent pas beaucoup de connaissances préalables pertinentes sur le concept mathématique de fonction.

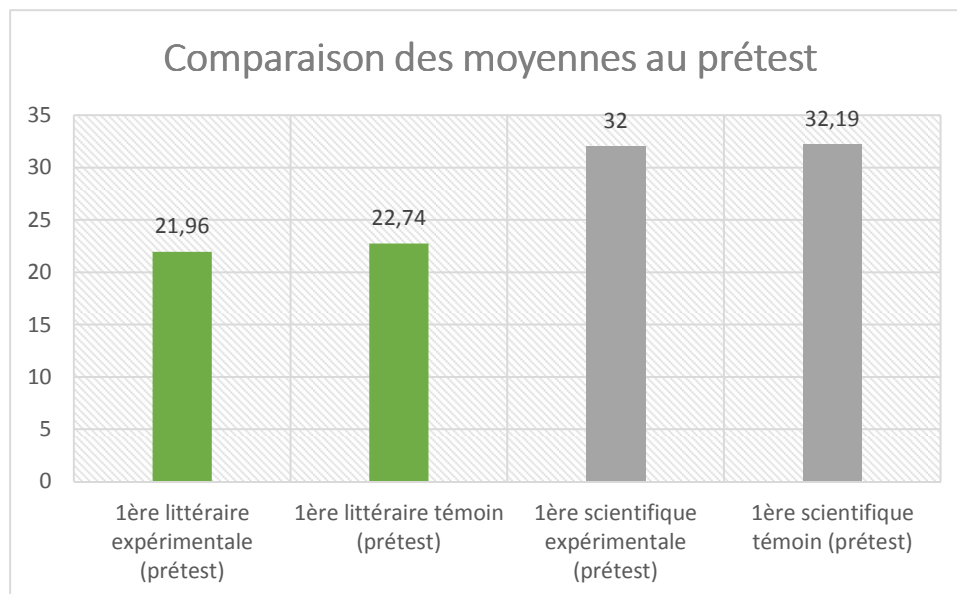


Figure 29: Comparaison des moyennes au prétest par groupe classe de 1ère

Pour la classe de première littéraire expérimentale, la moyenne au prétest vaut 21.96, l'écart type 11.96 et coefficient de variation 0.54 par contre la moyenne au prétest de la classe de première littéraire témoin vaut 22.74, l'écart type 9.70 et coefficient de variation 0.43.

Pour la classe de première scientifique expérimentale, la moyenne au prétest vaut 32, l'écart type 10.8 et coefficient de variation 0.34 par contre la moyenne au prétest de la classe de première scientifique témoin vaut 32.19, l'écart type 20.49 et coefficient de variation 0.64.

Le test de normalité montre que la distribution des notes aux prétests est normale que ça soit dans les classes scientifiques ($S = 0.91$ et $p - value = 0.01 < 0.05$) ou les classes de première littéraire ($S = 0.95$ et $p - value = 0.03 < 0.05$) et que les moyennes entre les groupes classes scientifiques ($t = -0.4$ et $p - value = 0.7 > 0.05$) et les groupes classes littéraires ($t = -0.4$ et $p - value = 0.83 > 0.05$) ne sont pas significativement différentes. Globalement, les élèves sont au même niveau de compétences avant la séquence de cours sur la notion des fonctions numériques à variables réelles que ce soit dans les classes de premières scientifiques ou dans les classes de premières littéraires. Cependant, les moyennes obtenues par ses élèves des classes de première indiquent qu'ils ne possèdent pas beaucoup de connaissances préalables pertinentes sur le concept mathématique de fonction.

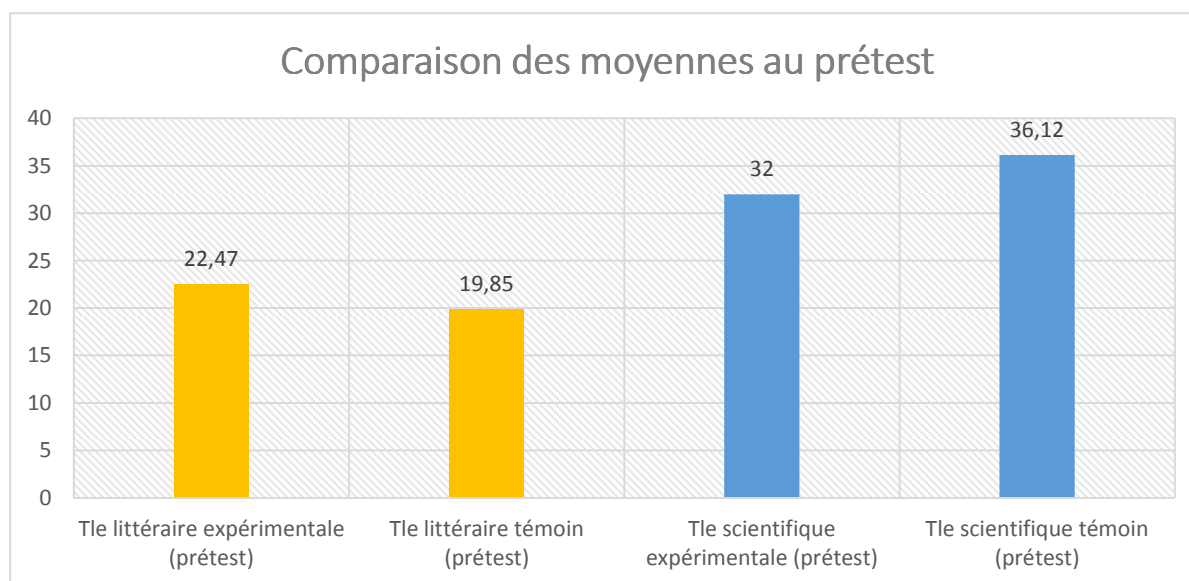


Figure 30: Comparaison des moyennes au prétest par groupe classe de Tle

Pour la classe de la terminale littéraire expérimentale, la moyenne au prétest vaut 22.47, l'écart type 17.08 et coefficient de variation 0.76 par contre la moyenne au prétest de la classe de première littéraire témoin vaut 19.85, l'écart type 22.32 et coefficient de variation 1.12.

Pour la classe de première scientifique expérimentale, la moyenne au prétest vaut 32, l'écart type 10.8 et coefficient de variation 0.34 par contre la moyenne au prétest de la classe de première scientifique témoin vaut 32.12, l'écart type 20.49 et coefficient de variation 0.64.

Le test de normalité dans les groupes classes terminales scientifiques montre que la distribution des notes aux prétests est anormale que ce soit dans la classe de terminale scientifique ($S = 0.93$ et $p - value = 0.06 > 0.05$) ou la classe terminale témoin ($S = 0.76$ et $p - value = 0.00 < 0.05$) et que les moyennes entre les groupes classes scientifiques ($t = -1.59$ et $p - value = 0.12 > 0.05$) ne sont pas significativement différentes.

Le test de normalité dans les groupes classes terminales littéraires montre que la distribution des notes aux prétests est anormale que ça soit dans la classe de terminale littéraire ($S = 0.87$ et $p - value = 0.01 < 0.05$) ou la classe terminale littéraire ($S = 0.92$ et $p - value = 0.05 > 0.05$) et que les moyennes entre les groupes classes littéraires ($t = -0.18$ et $p - value = 0.86 > 0.05$) ne sont pas significativement différentes.

Globalement, les élèves sont au même niveau de compétences avant la séquence de cours sur la notion des fonctions numériques à variables réelles que ce soit dans les classes de terminales scientifiques ou dans les classes de première littéraires. Cependant,

les moyennes obtenues par ses élèves des classes de terminale indiquent qu'ils ne possèdent pas beaucoup de connaissances préalables pertinentes sur le concept mathématique de fonctions numériques.

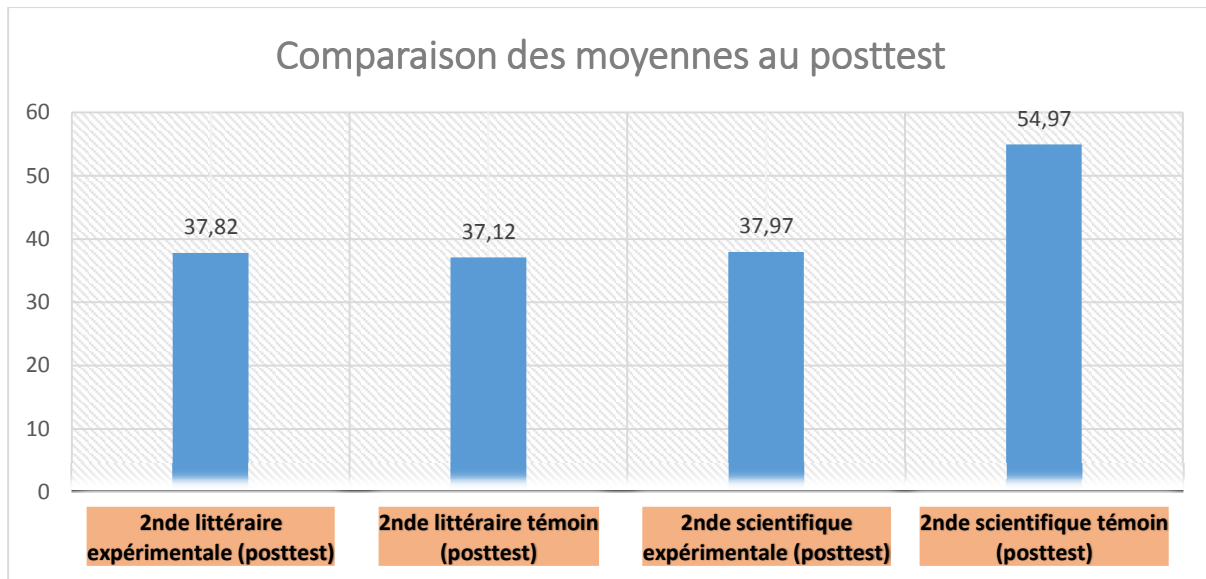


Figure 31: Comparaison des moyennes au posttest par groupe classe de 2nde

Pour la classe de seconde littéraire expérimentale, la moyenne au posttest est de 37.82, l'écart type 12.89 et coefficient de variation 0.34 par contre la moyenne au posttest de la classe de seconde littéraire témoin est de 37.15, l'écart type 13.16 et coefficient de variation 0.35.

Pour la classe de seconde scientifique expérimentale, la moyenne au posttest est de 37.38, l'écart type 17.48 et coefficient de variation 0.47 par contre la moyenne au posttest de la classe de seconde scientifique témoin est de 57.61, l'écart type 14.49 et coefficient de variation 0.25.

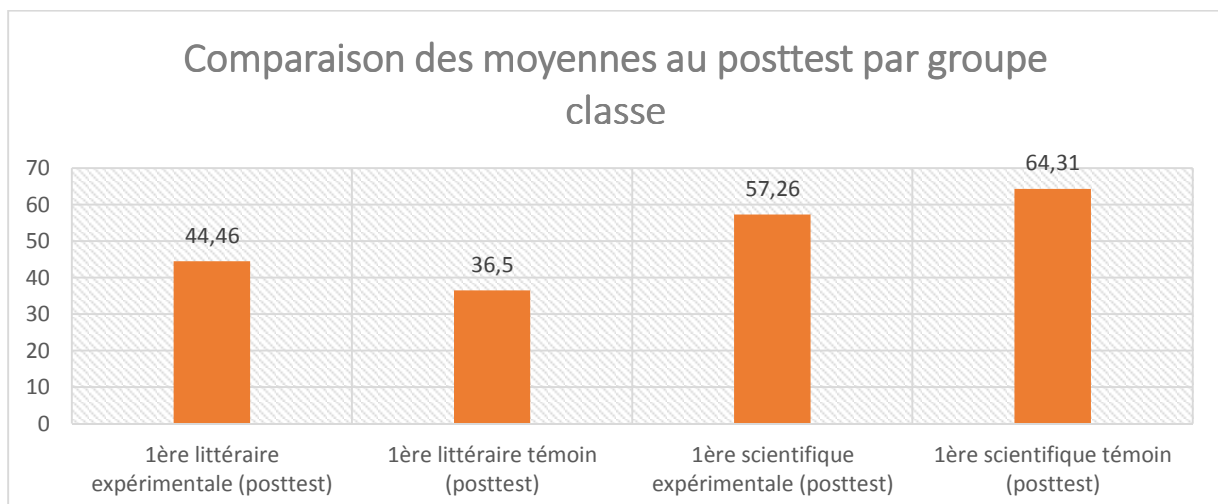


Figure 32: Comparaison des moyennes au posttest par groupe classe de 1ère

Pour la classe de première littéraire expérimentale, la moyenne au posttest est de 43.40, l'écart type 15.77 et coefficient de variation 0.36 par contre la moyenne au posttest de la classe de première littéraire témoin est de 36.50, l'écart type 15.46 et coefficient de variation 0.42.

Pour la classe de première scientifique expérimentale, la moyenne au posttest est de 57.71, l'écart type 15.12 et coefficient de variation 0.26 par contre la moyenne au posttest de la classe de première scientifique témoin est de 64.31, l'écart type 21.99 et coefficient de variation 0.34.

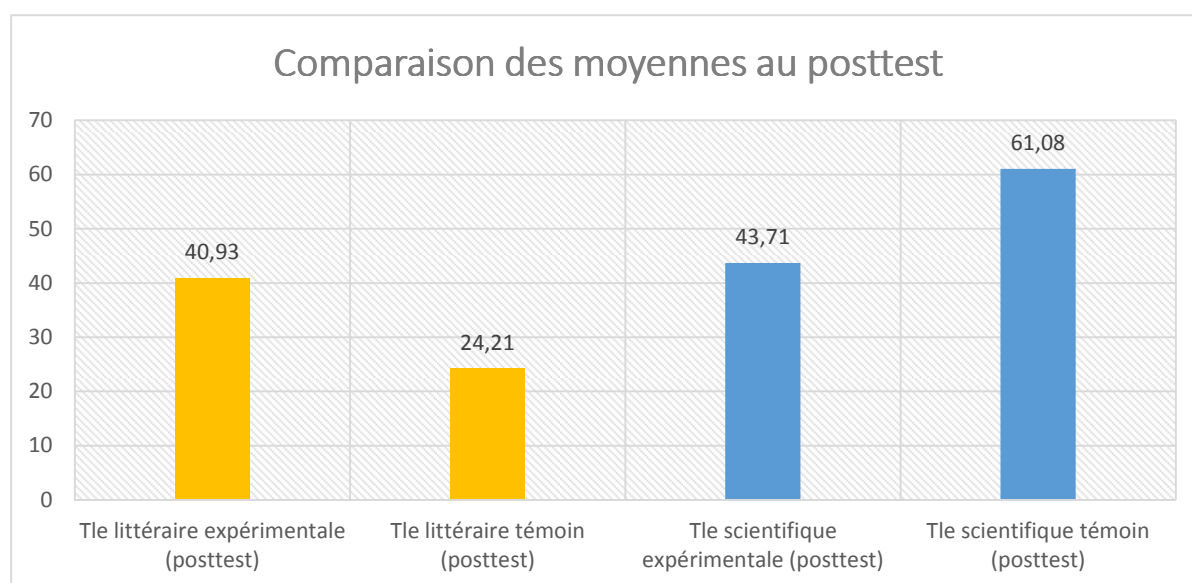


Figure 33: Comparaison des moyennes au posttest par groupe classe de Tle

Pour la classe de terminale littéraire expérimentale, la moyenne au posttest est de 40.93, l'écart type 25.76 et coefficient de variation 0.63 par contre la moyenne au posttest de la classe de terminale littéraire témoin est de 24.21, l'écart type 24.84 et coefficient de variation 1.02.

Pour la classe de terminale scientifique expérimentale, la moyenne au posttest est de 43.71 l'écart type 24.93 et coefficient de variation 0.57 par contre la moyenne au posttest de la classe de première scientifique témoin est de 61.08, l'écart type 19.49 et coefficient de variation 0.32.

Tableau 38: Présentation des résultats des moyennes, des écarts - types, des coefficients de variation, des variations des moyennes et des taux de variation à partir du prétest et du poste des élèves des groupes classe de premiers.

Groupe	Classe	Nom bre	Prétest			Posttest			Variation des moyennes	Variati on des CV	Taux de variation
			Moye nne	Ecart type	CV	Moye nne	Ecart type	CV			
Expérimental [*]	2 ^{nde} A ¹	33	20.24	15.93	0.79	37.82	12.89	0.34	+17.58	45	86.86%
	2 ^{nde} C ²	29	35.55	14.87	0.42	37.38	17.48	0.47	+1.83	2	5.15%
	1 ^{ère} A ¹	45	21.96	11.96	0.54	43.40	15.77	0.36	+21.44	18	97.63%
	1 ^{ère} D ²	31	32.00	10.8	0.34	57.71	15.12	0.26	+25.71	8	80.34%
	T ^{le} A ¹	30	22.47	17.08	0.76	40.93	25.76	0.63	+18.46	13	82.15%
	T ^{le} D ²	21	27.24	26.42	0.97	43.71	24.93	0.57	+16.47	40	60.46%
Témoins ^{**}	2 ^{nde} A ¹	33	23.30	11.44	0.49	37.15	13.16	0.35	+13.85	14	59.44%
	2 ^{nde} C ²	23	28.87	19.93	0.69	57.61	14.49	0.25	+28.74	44	99.55%
	1 ^{ère} A ¹	46	22.74	9.70	0.43	36.50	15.46	0.42	+13.80	1	60.69%
	1 ^{ère} D ²	36	32.19	20.49	0.64	64.31	21.99	0.34	+32.12	30	99.78%
	T ^{le} A ¹	33	19.85	22.32	1.12	24.21	24.84	1.02	+4.36	10	21.96%
	T ^{le} D ²	25	36.12	27.46	0.76	61.08	19.49	0.32	+24.96	44	90.90%

(^{*}) Les groupes classes expérimentales sont des classes ayant suivi la séquence de cours avec Geogebra

(^{**}) Les groupes classes témoins sont des classes ayant suivi la séquence de cours sans Geogebra

(¹) Les groupes classes A sont des classes littéraires

(²) Les groupes classes C et D sont des classes scientifiques

2.2.3 Analyse de progressions effectuées par les élèves selon le niveau d'apprentissage

Question statistique 2.2 : Quels sont parmi les classes de même niveau, ayant travaillé avec ou sans Geogebra, celles qui ont le plus progressé ? Pour répondre à cette question il a été utilisé deux approches qui se complètent à savoir les gains bruts et les gains relatifs.

2.2.3.1 Les gains bruts par groupe classe de même niveau académique

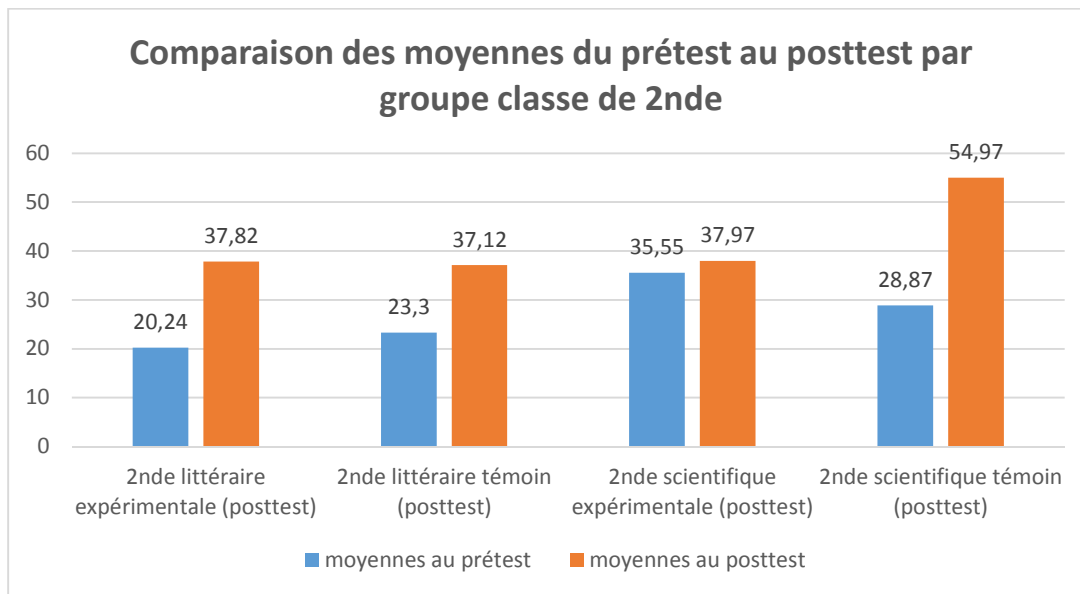


Figure 34: Comparaison des moyennes du prétest au posttest par groupe classe de 2nde

Les variations des moyennes sont positives que ce soit dans les groupes classes de seconde expérimentale ou témoin des deux options scientifiques et littéraires. Ce qui indique globalement un progrès pour l'atteinte par les élèves des objectifs d'apprentissage visés par la séquence de cours sur les fonctions numériques d'une variable réelle dans chacune des classes de secondes. Ainsi le progrès moyen est de 2 points dans la classe de seconde scientifique expérimental alors dans la classe de seconde scientifique il est de 26 points. Par contre le progrès moyen est 18 points dans la classe de seconde littéraire expérimentale alors qu'il est de 14 points pour la classe de second littéraire témoin. Ces résultats montrent que le progrès est surtout au profit des élèves de la classe de seconde utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle et des élèves de la classe de seconde littéraire utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle.

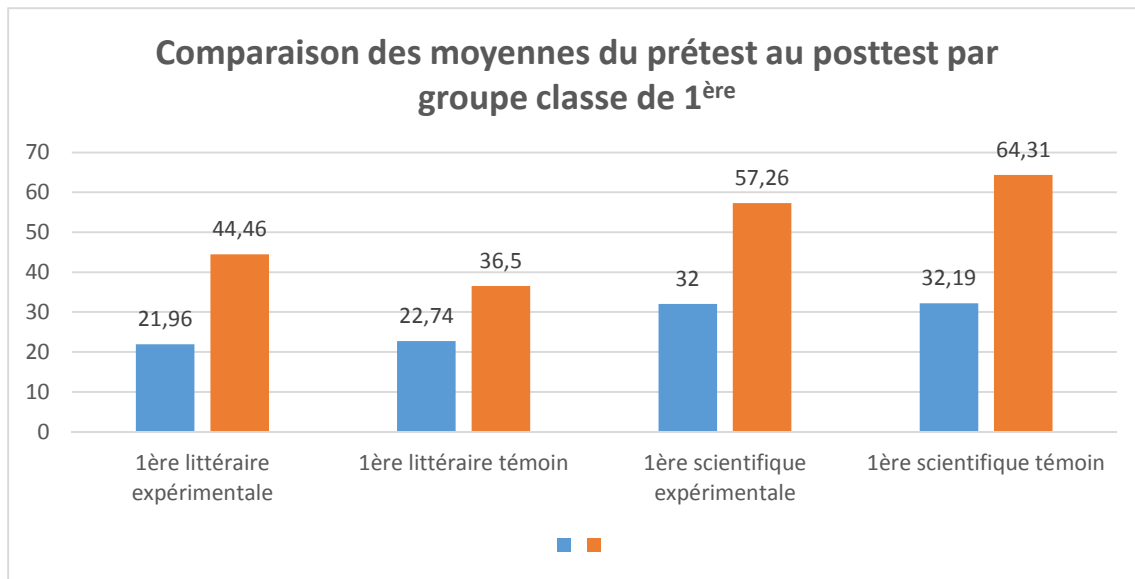


Figure 35 : Comparaison des moyennes du prétest au posttest par groupe classe de 1^{ère}

Les variations des moyennes sont positives que ce soit dans les groupes classes de premiers expérimental ou témoin des deux options. Ce qui indique globalement un progrès pour l'atteinte des objectifs visés par la séquence de cours sur les fonctions numériques d'une variable réelle dans chacune des classes de premières. Ainsi le progrès moyen est de 25 points dans la classe de première scientifique expérimental alors dans la classe de première scientifique il est de 32 points. Par contre le progrès moyen est 23 points dans la classe de première littéraire expérimentale alors qu'il est de 13 points pour la classe de la première littéraire témoin. Ces résultats montrent que le progrès est surtout au profit des élèves de la classe de première scientifique utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle et des élèves de la classe de première littéraire utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle.

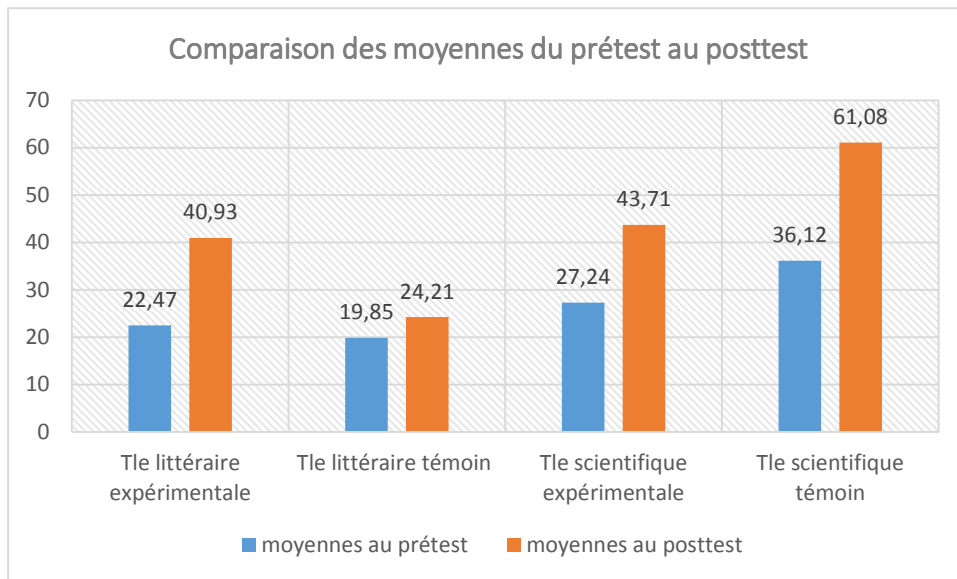


Figure 36: Comparaison des moyennes du prétest au posttest par groupe classe de Tle

Les variations des moyennes sont positives que ce soit dans les groupes classes de terminales expérimentales ou témoins des deux options. Ce qui indique globalement un progrès pour l'atteinte des objectifs visés par la séquence de cours sur les fonctions numériques d'une variable réelle dans chacune des classes de terminale. Ainsi le progrès moyen est de 16 points dans la classe de terminale scientifique expérimental alors dans la classe de terminale scientifique il est de 25 points. Par contre le progrès moyen est 19 points dans la classe de terminale littéraire expérimentale alors qu'il est de 4 points pour la classe de terminale littéraire témoin. Ces résultats montrent que le progrès est surtout au profit des élèves de la classe de terminale scientifique utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle et des élèves de la classe de terminale littéraire utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle.

En résumé, les gains bruts indiquent qu'il y a un progrès dans chaque groupe classe mais n'indiquent pas si cette progression est significative. Ce qui conduit à calculer les gains relatifs.

2.2.3.2 Les gains relatifs par groupe classe de même niveau académique

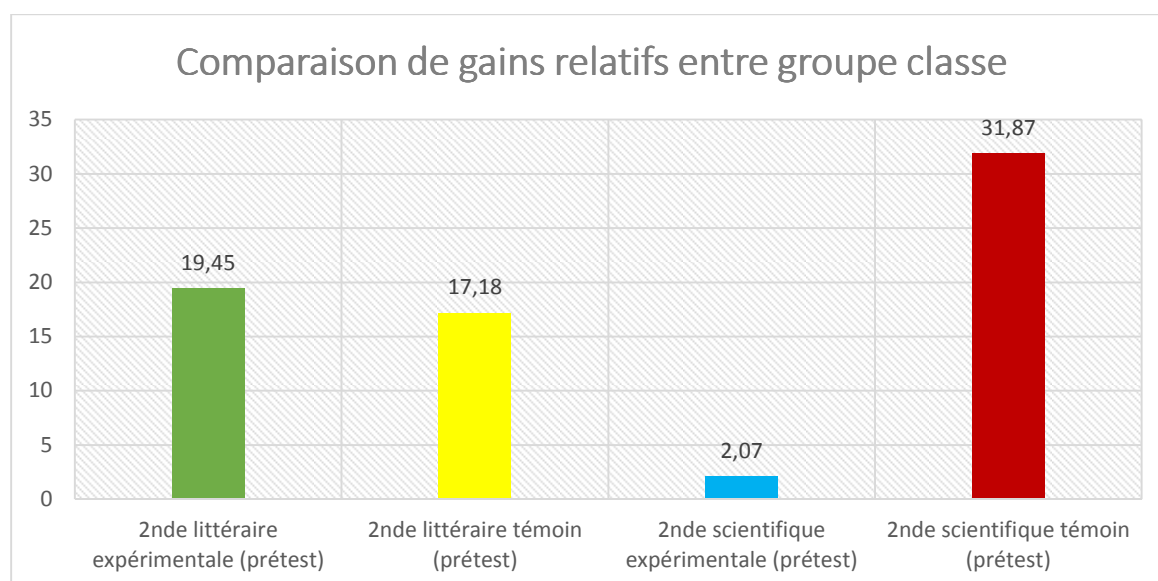


Figure 37: Comparaison de gains relatifs entre groupe classe de 2nde

Les gains relatifs dans la classe de seconde scientifique traditionnelle sont supérieurs au seuil minimal pour lequel on considère il y a eu un progrès significatif d'apprentissage par contre, dans les autres classes le gain relatif est inférieur au seuil minimal (D'Hainaut, 1975). Il ressort de ce résultat que les élèves de la classe de seconde scientifique traditionnelle ont atteint globalement un niveau de progression supérieur à celui de la classe de seconde scientifique avec Geogebra. Cette différence de progression entre ces deux classes tenues par le même enseignant est significative ($t = -4.07$ et $p = 0.001 < 0.05$). Mais également 47.83% des élèves de cette classe ont eu un progrès significatif pour l'apprentissage des fonctions numériques contre 10.34% pour la classe de seconde ayant fait usage de Geogebra. L'analyse des corrélations entre prétest et gain relatif montre que les résultats sont négatifs dans la classe traditionnelle ($r = -0.66$ et $p = 0.001 < 0.05$) et la classe avec Geogebra ($r = -0.19$ et $p = 0.301 > 0.05$) mais ils ne sont significatifs que dans la classe de seconde scientifique témoin. Ce qui indique que l'apprentissage des fonctions numériques sans le logiciel dynamique a permis de faire progresser les élèves les moins avancés avant la séquence du cours alors que l'apprentissage des fonctions numériques avec le logiciel dynamique Geogebra a permis à l'ensemble des élèves de la seconde scientifique de progresser quel que soit leur niveau de départ.

Ce résultat infirme l'hypothèse nulle selon laquelle, l'utilisation de Geogebra améliore significativement la performance des élèves, les élèves de la seconde scientifique

utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle n'ont pas significativement amélioré leur apprentissage du concept mathématique de fonctions numériques.

Tableau 39: Comparaison des moyennes en prétest et posttest de chaque classe de 2nde

Groupe		Nombre	Prétest	Posttest	Gain relatif
			Moyenne	Moyenne	
Expérimental	2 nd e A1	33	20.19	37.82	19.45
	2 nd e C1	29	35.35	37.37	1.97
Témoins	2 nd e A2	33	23.30	37.12	17.18
	2 nd e C2	23	28.89	54.97	34.48*

(*) Il est admis qu'il y a un effet significatif d'apprentissage lorsque le gain relatif est supérieur au seuil minimal de 30.

Les gains relatifs dans les deux classes sont inférieurs au seuil minimal pour lequel on considère il y a eu un progrès significatif de l'apprentissage (D'Hainaut, 1975). Il ressort de ce résultat que les élèves deux classes secondes littéraires n'ont pas globalement atteint un niveau significatif de progression. La différence de progression entre ces deux classes tenues par un même enseignant n'est pas significative ($t = 0.44$ et $p = 0.66 > 0.05$). Mais, il ressort de ces résultats des gains relatifs par élève que 33.33% des élèves de la classe de seconde littéraire ayant fait usage du logiciel dynamique de mathématiques et 12.12% des élèves de la classe de seconde littéraire traditionnelle ont eu un progrès significatif dans leur apprentissage. L'analyse des corrélations entre prétest et gain relatif montre que les résultats sont négatifs dans la classe traditionnelle ($r = -0.31$ et $p = 0.180 > 0.05$) et dans la classe avec Geogebra ($r = -0.64$ et $p = 0.000 < 0.05$) mais ils ne sont significatifs que dans la classe de seconde littéraire avec Geogebra. Ceux qui indiquent que l'apprentissage avec Geogebra a permis de faire progresser les élèves les moins avancés avant la séquence de cours alors que l'apprentissage des fonctions numériques sans le logiciel dynamique Geogebra a permis à l'ensemble des élèves de la seconde littéraire de progresser quel que soit leur niveau de départ.

Ce résultat infirme l'hypothèse nulle selon laquelle, l'utilisation de Geogebra amélioré significativement la performance des élèves en l'apprentissage des fonctions numériques, les élèves de la seconde utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle n'ont

pas significativement amélioré leur apprentissage de fonction numérique. Cependant, la différence de performance entre les deux classes n'est pas significative entre les classes de premières scientifiques (avec ou sans Geogebra).

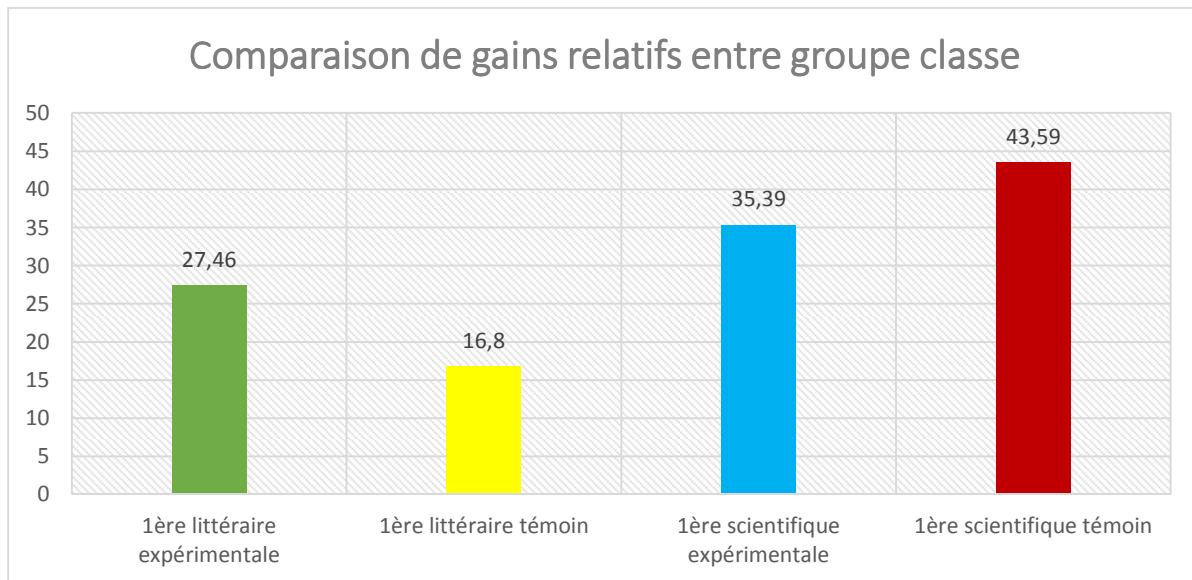


Figure 38: Comparaison de gains relatifs entre groupe classe 1ère

Les gains relatifs dans les classes de premières scientifiques sont supérieurs au seuil minimal pour lequel on considère il y a eu un progrès significatif d'apprentissage par contre dans les classes littéraires les gains relatifs sont inférieurs au seuil minimal (D'Hainaut, 1975). Il ressort de ces résultats que les élèves de la classe scientifique traditionnelle ont atteint globalement un niveau de progression supérieur à celui de la classe de première scientifique avec Geogebra. Mais également 75% des élèves de cette classe ont eu un progrès significatif pour l'apprentissage des fonctions numériques contre 64.5% pour la classe ayant fait usage de Geogebra. Néanmoins, cette différence de progression entre ces deux classes tenues par un même enseignant n'est pas significative ($t = -1.06$ et $p = 0.30 > 0.05$). L'analyse des corrélations entre prétest et gain relatif montre que les résultats sont négatifs et significatifs dans la classe traditionnelle ($r = -0.41$ et $p = 0.013 < 0.05$) et dans la classe avec Geogebra ($r = -0.49$ et $p = 0.010 < 0.05$). Ce qui indique que l'apprentissage avec ou sans Geogebra a permis de faire progresser les élèves les moins avancés avant la séquence de cours.

Ce résultat confirme l'hypothèse nulle selon laquelle, l'utilisation de Geogebra améliore significativement la performance des élèves, les élèves de la première scientifique

ayant utilisé Geogebra ont significativement amélioré leur apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques. Cependant, la différence entre les deux classes n'est pas significative.

Tableau 40: Comparaison des gains relatifs en prétest et posttest de chaque classe

Groupe		Nombre	Prétest	Posttest	Gain relatif
			Moyenne	Moyenne	
Expérimental	1 ^{ère} A1	41	22.93	44.46	27.07
	1 ^{ère} D1	31	32	57.26	35.39*
Témoins	1 ^{ère} A2	46	22.74	36.50	16.80
	1 ^{ère} D2	36	28.11	64.31	43.89*

(*) Il est admis qu'il y a un effet significatif d'apprentissage lorsque le gain relatif est supérieur au seuil minimal de 30.

Les gains relatifs dans les classes de premières littéraires sont inférieurs au seuil minimal pour lequel on considère qu'il y a eu un progrès significatif d'apprentissage par contre dans les classes littéraires les gains relatifs sont inférieurs au seuil minimal (D'Hainaut, 1975). Mais, il ressort des résultats des gains relatifs par élève que 30.4% des élèves de la classe de première littéraire traditionnelle et 43.9% des élèves de la classe ayant travaillé avec Geogebra ont un progrès significatif dans leur apprentissage. Cette différence de progression entre ces deux classes tenues par un même enseignant est significativement au profit des apprenants de la classe expérimentale ($t = 2.25$ et $p = 0.03$). L'analyse des corrélations entre prétest et gain relatif montre que les résultats sont négatifs dans la classe traditionnelle ($r = -0.38$ et $p = 0.010 < 0.05$) et dans la classe avec Geogebra ($r = -0.16$ et $p = 0.320 > 0.05$) mais ils ne sont significatifs que dans la classe de première littéraire témoin. Ce qui indique que l'apprentissage des fonctions numériques sans le logiciel dynamique a permis de faire progresser les élèves les moins avancés avant la séquence du cours dans la classe traditionnelle alors que l'apprentissage des fonctions numériques avec le logiciel dynamique Geogebra a permis à l'ensemble des élèves de la première littéraire à progresser quel que soit leur niveau de départ.

Ce résultat infirme l'hypothèse nulle selon laquelle, l'utilisation de Geogebra amélioré significativement la performance des élèves en l'apprentissage des fonctions

numériques, les élèves de la première littéraire ayant utilisé Geogebra n'ont pas significativement amélioré leur apprentissage de fonction numérique. Cependant, la différence de performance entre les deux classes est significative entre les classes de premières scientifiques (avec ou sans Geogebra) et elle est au profit de la classe ayant utilisé Geogebra.

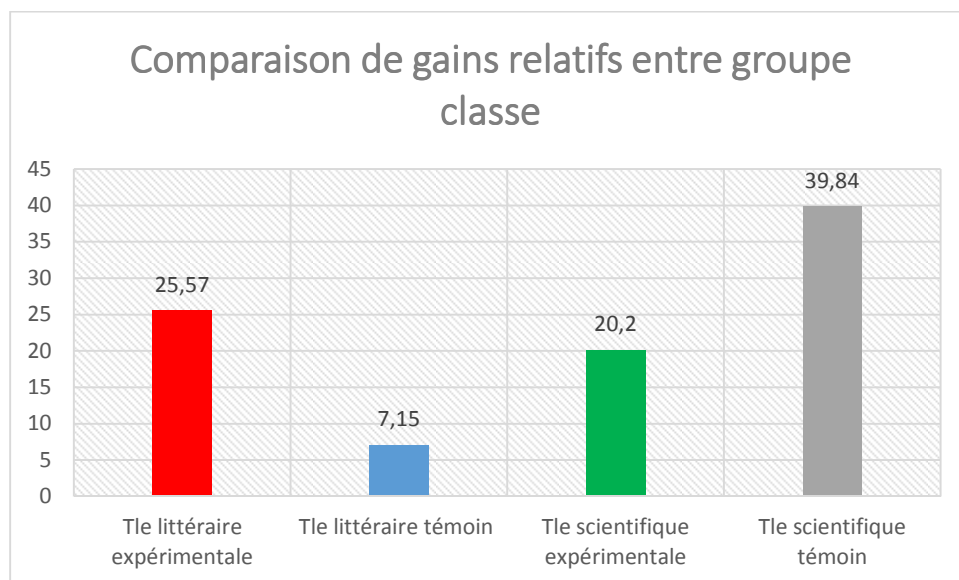


Figure 39: Comparaison de gains relatifs entre groupe classe Tle

Les gains relatifs dans les classes de terminales scientifiques sont supérieurs au seuil minimal pour lequel on considère qu'il y a eu un progrès significatif d'apprentissage par contre dans les classes littéraires les gains relatifs sont inférieurs au seuil minimal (D'Hainaut, 1975). Il ressort de ces résultats que les élèves de la classe de terminale scientifique traditionnelle ont atteint globalement un niveau de progression significatif et supérieur à celui de la classe de terminale scientifique avec Geogebra. Mais également 19.35% les élèves de cette classe ont eu un progrès significatif pour l'apprentissage des fonctions numériques contre 44.44% pour la classe ayant fait usage de Geogebra. Le test statistique t de student indique que la différence de progression entre ces deux classes tenues par un même enseignant est significative ($t = -2.52$ et $p = 0.02 < 0.05$) et elle est au profit des élèves n'ayant pas mobilisé Geogebra. L'analyse des corrélations entre prétest et gain relatif montre que les résultats sont négatifs et significatifs dans la classe traditionnelle ($r = 0.08$ et $p = 0.693 > 0.05$) et dans la classe avec Geogebra ($r = -0.27$ et $p = 0.239 > 0.05$). Ce qui indique que l'apprentissage avec ou sans Geogebra a permis de faire progresser les élèves quel que soit leur niveau de départ dans les deux cas.

Ce résultat infirme l'hypothèse nulle selon laquelle, l'utilisation de Geogebra améliore significativement la performance des élèves, les élèves de la terminale scientifique ayant utilisé Geogebra n'ont pas significativement amélioré leur performance en l'apprentissage des fonctions numériques. Cependant, la différence entre les deux classes tenues par le même enseignant est significative entre les classes de terminales scientifiques (avec ou sans Geogebra) et elle est au profit de la classe n'ayant pas utilisé Geogebra.

Tableau 41: Comparaison des gains relatifs en prétest et posttest de chaque classe de Tle

Groupe		Nombre	Prétest	Posttest	Gain relatif
			Moyenne	Moyenne	
Expérimental	T ^{le} A1	41	22.47	40.93	25.27
	T ^{le} D1	31	27.24	43.71	20.24
Témoins	T ^{le} A2	46	19.85	24.21	7.15
	T ^{le} D2	36	36.12	61.08	39.84*

(*) Il est admis qu'il y a un effet significatif d'apprentissage lorsque le gain relatif est supérieur au seuil minimal de 30.

Les gains relatifs dans les classes de terminales littéraires sont inférieurs au seuil minimal pour lequel on considère il y a eu un progrès significatif d'apprentissage par contre dans les classes littéraires les gains relatifs sont inférieurs au seuil minimal (D'Hainaut, 1975). Mais, il ressort des résultats des gains relatifs par élève que 29.27 % des élèves de la classe de première littéraire traditionnelle et 6.52% des élèves de la classe ayant travaillé avec Geogebra eut un progrès significatif dans leur apprentissage. Le test statistique t de student indique que la différence de progression entre ces deux classes tenues par un même enseignant est significative ($t = -2.99$ et $p = 0.006 < 0.05$) et elle est au profit des élèves ayant mobilisé Geogebra. L'analyse des corrélations entre prétest et gain relatif montre que les résultats sont positifs dans la classe de terminale littéraire traditionnelle ($r = 0.29$ et $p = 0.098 > 0.05$) et dans la classe de terminale avec Geogebra ($r = 0.26$ et $p = 0.160 > 0.05$) et ne sont pas significatifs dans les deux classes. Ce qui indique que l'apprentissage des fonctions numériques a permis de faire progresser les élèves quel que soit leur niveau de départ dans les deux cas.

Ce résultat infirme l'hypothèse nulle selon laquelle, l'utilisation de Geogebra amélioré significativement la performance des élèves en l'apprentissage des fonctions numériques, les élèves de la terminale littéraire ayant utilisé Geogebra n'ont pas significativement amélioré leur apprentissage de fonction numérique. Cependant, la différence de performance entre les deux classes est significative entre les classes de terminales scientifiques (avec ou sans Geogebra) et elle est au profit de la classe ayant utilisé Geogebra.

En somme, les résultats ci-dessus indiquent que les classes de la même option tenues par un même enseignant leurs progressions globales sont relativement différentes à l'exception des classes de secondes littéraires et les classes de première. Ce qui signifie que l'évolution est similaire pour les groupes classes de seconde littéraire, de première scientifique et de première littéraire et que les élèves qui en constituent apprennent dans la même proportion avec ou sans Geogebra. D'autre part, l'utilisation de Geogebra dans les classes de seconde littéraire, les classes de première scientifique et littéraire ont contribué à la réduction de la dispersion entre élèves que ça soit dans la classe scientifique ou la classe littéraire. Ces résultats obtenus ont conduit à poser des questions sur l'influence d'autres variables sur la performance des élèves en apprentissage des fonctions numériques avec Geogebra.

Tableau 42: corrélation entre prétest et le gain relatif

Groupe		Nombre	r	p
Expérimental	2 ^{nde} A1	33	-0.64 ^{**}	0.000
	2 ^{nde} C1	29	-0.19	0.301
	1 ^{ère} A1	41	-0.16	0.33
	1 ^{ère} D1	31	-0.49 ^{**}	0.010
	T ^{lc} A1	41	0.26	0.160
	T ^{lc} D1	31	-0.27	0.239
Témoins	2 ^{nde} A2	33	-0.31	0.180
	2 ^{nde} C2	23	-0.66 ^{**}	0.001

	1 ^{ère} A2	46	-0.38 ^{**}	0.010
	1 ^{ère} D2	36	-0.41 ^{**}	0.013
	T ^{le} A2	46	0.29	0.098
	T ^{le} D2	36	0.08	0.693

2.2.4 Analyse de progressions effectuées par catégorie d'élèves de même niveau académique

Question statistique 2.3: Quels sont les élèves qui ont le plus progressé dans ces classes? Pour répondre à cette question il a été utilisé deux approches qui se complètent à savoir les gains bruts et les gains relatifs par catégorie d'élèves.

2.2.4.1 Gains relatifs par catégorie d'élèves

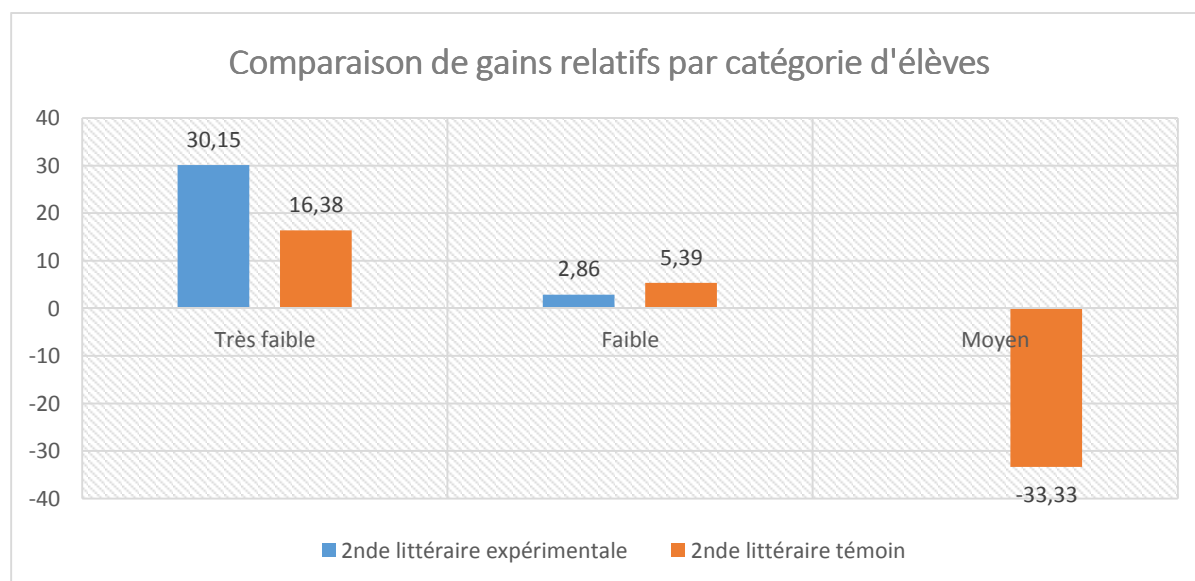


Figure 40: Gain relatif par catégorie d'élèves en 2nde Littéraire

Dans les classes de seconde littéraire, il y a trois (3) catégories d'élèves, les très faibles, les faibles et les moyens. Le calcul de gain relatif aux scores montre que ce sont les élèves très faibles ayant utilisé le logiciel Geogebra qui a significativement progressé dans leur apprentissage parmi les catégories d'élèves de ces deux classes tenues par le même enseignant. Il ressort également de ces résultats qu'il y a une différence significative de progression entre les catégories des élèves, une différence qui est au profit des élèves très

faibles ayant travaillé avec Geogebra. Ces résultats montrent que plus le niveau des élèves est élevé moins ils progressent dans l'apprentissage des fonctions numériques d'une variable réelle.

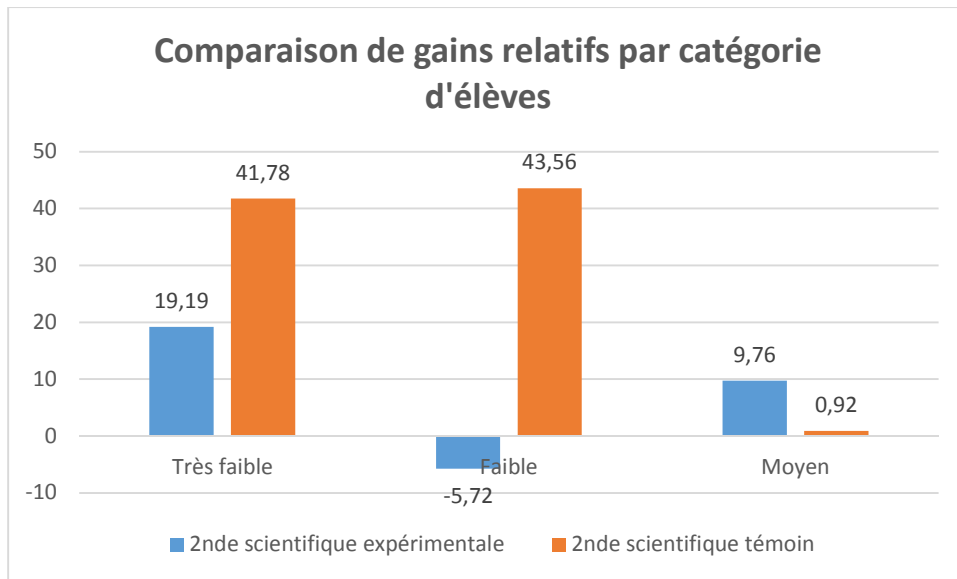


Figure 41: Gain relatif par catégorie d'élèves en 2nde Scientifique

Dans les classes de seconde scientifique, il y a trois (3) catégories d'élèves, les très faibles, les faibles et les moyens. Le calcul de gain relatif aux scores montre que ce sont les élèves très faibles et faibles de la classe expérimentale qui ont significativement progressé dans leur apprentissage parmi les catégories d'élèves de ces deux classes tenues par le même enseignant.

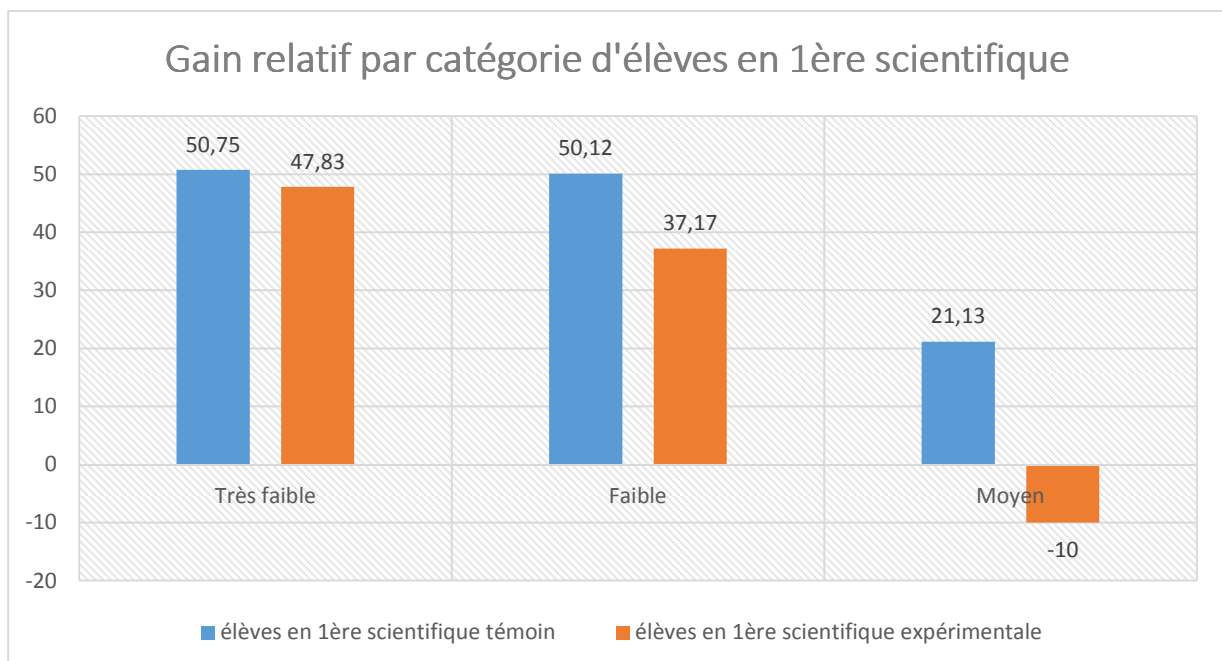


Figure 42: Gain relatif par catégorie d'élèves en 1ère scientifique

Dans les classes de premières scientifiques, il y a trois (3) catégories d'élèves, les très faibles, les faibles et les moyens. Le calcul de gain relatif aux scores montre que ce sont les élèves très faibles et faibles qui ont significativement progressé dans leur apprentissage parmi les catégories d'élèves de ces deux classes tenues par le même enseignant. Par contre, la progression de ces catégories d'élèves ayant fait usage de Geogebra n'est pas significativement différente des ceux n'ayant pas fait usage de Geogebra.

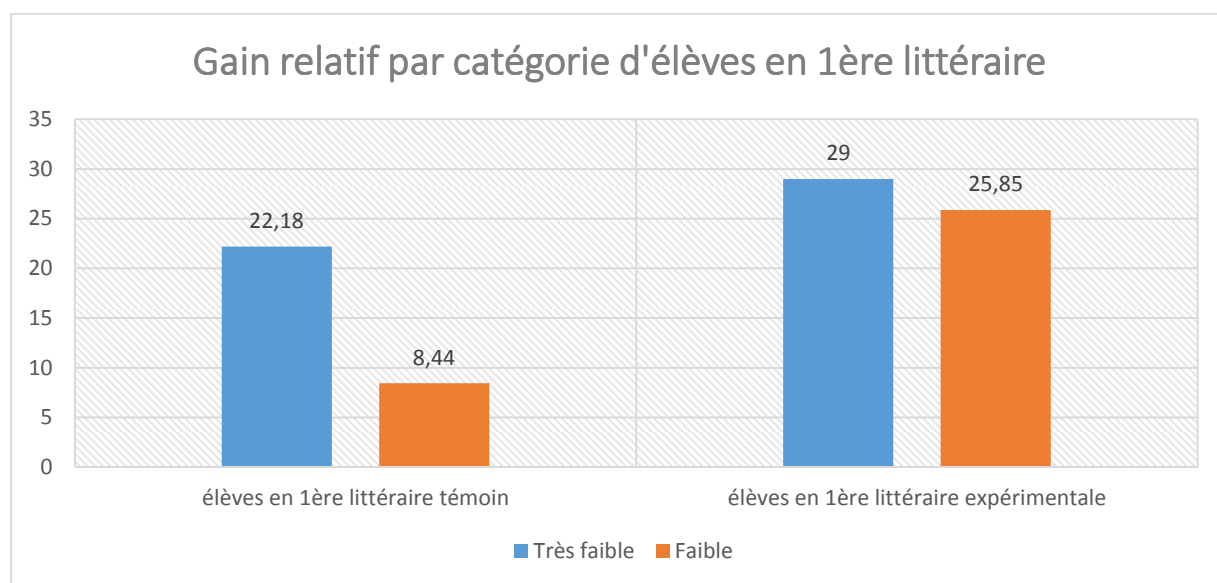


Figure 43: Gain relatif par catégorie d'élèves en 1ère littéraire

Dans les classes de premières littéraires, il y a deux (2) catégories d'élèves, les très faibles et les faibles. Le calcul de gain relatif aux scores montre que ce sont les élèves très faibles qui ont plus progressé dans l'apprentissage de fonctions numériques. Il ressort également de ces résultats qu'il y a une différence significative de progression au profit des élèves très faibles ayant travaillé avec Geogebra.

Tableau 43: Comparaison des gains relatifs en prétest et posttest par catégorie d'élèves

Groupe		Catégories	Nombre	Fréquence	Gain relatif
Expé- ri- mental	2 nd e A1	Très faible	20	60.6%	30.15*
		Faible	13	39.4%	2.86

		Moyen			
		Fort			
	2 ^{nde} C1	Très faible	6	20.7%	19.19
		Faible	18	62.1%	-5.72
		Moyen	5	17.2%	9.76
		Fort			
	1 ^{ère} A1	Très faible	21	51.2%	29.00
		Faible	20	48.8%	25.85
		Moyen			
		Fort			
	1 ^{ère} D1	Très faible	6	19.4%	47.83*
		Faible	24	77.4%	34.17*
		Moyen	1	3.2%	-10.00
		Fort			
Témoi ns	2 ^{nde} A2	Très faible	13	39.4%	16.38
		Faible	19	57.6%	5.39
		Moyen	1		-33.33
		Fort			
	2 ^{nde} C2	Très faible	8	33.3%	41.78*
		Faible	9	44.4%	43.56*
		Moyen	6	22.2%	0.92
		Fort			
	1 ^{ère} A2	Très faible	28	60.9%	22.18

		Faible	18	39.1%	8.44
		Moyen			
		Fort			
	1 ^{ère} D2	Très faible	12	33.3%	50.75*
		Faible	16	44.4%	50.12*
		Moyen	8	22.2%	21.13
		Fort			

(*) Il est admis qu'il y a un effet significatif d'apprentissage lorsque le gain relatif est supérieur au seuil minimal de 30.

Il ressort de tous ces résultats que plus le niveau de l'élève avant la séquence du cours est élevé moins la progression est significative dans l'apprentissage de fonctions numériques. Ceci a conduit à poser la question sur les attitudes des élèves envers l'apprentissage de mathématiques et envers l'utilisation du numérique en apprentissage de mathématiques.

2.2.5 Analyse de progressions effectuées selon le genre des élèves

Question statistique 2.4 : Quels sont parmi les élèves filles et garçons de même niveau ceux qui ont le plus progressé dans ces classes ? Pour répondre à cette question il a été utilisé deux approches qui se complètent à savoir les gains bruts et les gains relatifs par genre d'élèves.

2.2.5.1 Gains relatifs selon le genre

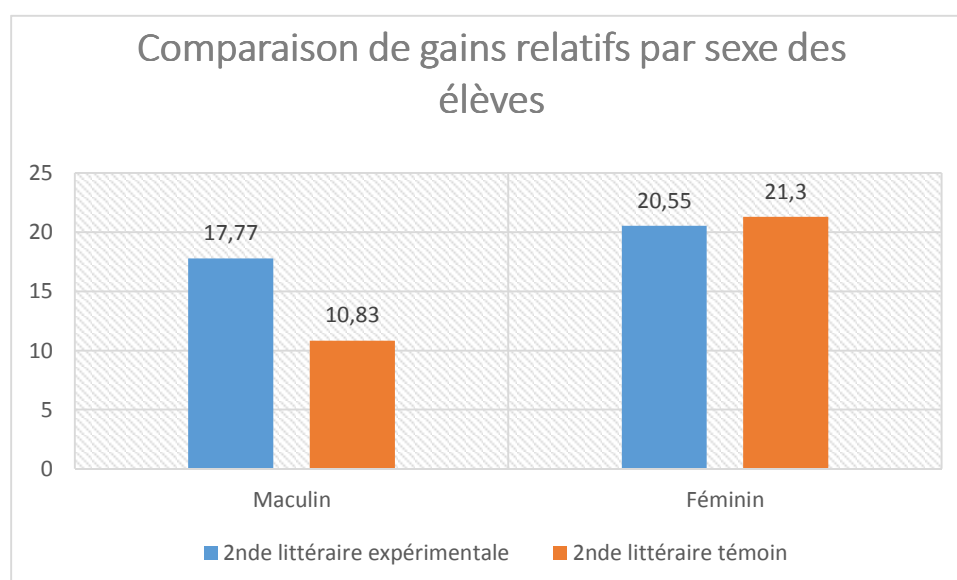


Figure 44: Gain relatif selon le genre en 2nde littéraire

Le calcul de gain relatif aux scores par sexe dans la classe de seconde littéraire expérimentale montre que la différence de gain relatif entre filles et garçons n'est pas significative ($F = 0.14$ et $p = 0.71 > 0.05$). Ce qui signifie que les filles et les garçons de la classe de seconde ayant fait usage de du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage des fonctions numériques ont progressé dans la même proportion. Ces résultats indiquent également que les filles et les garçons n'ont pas amélioré significativement leur performance aux scores lors de l'apprentissage des fonctions numériques à variable réelle avec Geogebra.

Le calcul de gain relatif aux scores par sexe dans la classe de seconde littéraire témoin montre que la différence de gain relatif entre filles et garçons est significative ($F = 3.26$ et $p = 0.08 > 0.05$). Ce qui signifie que les filles et les garçons de la classe de seconde ayant fait usage de du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage des fonctions numériques ont progressé dans la même proportion. Ces résultats indiquent également que les filles et les garçons n'ont pas amélioré significativement leur performance aux scores lors de l'apprentissage des fonctions numériques à variable réelle avec Geogebra.

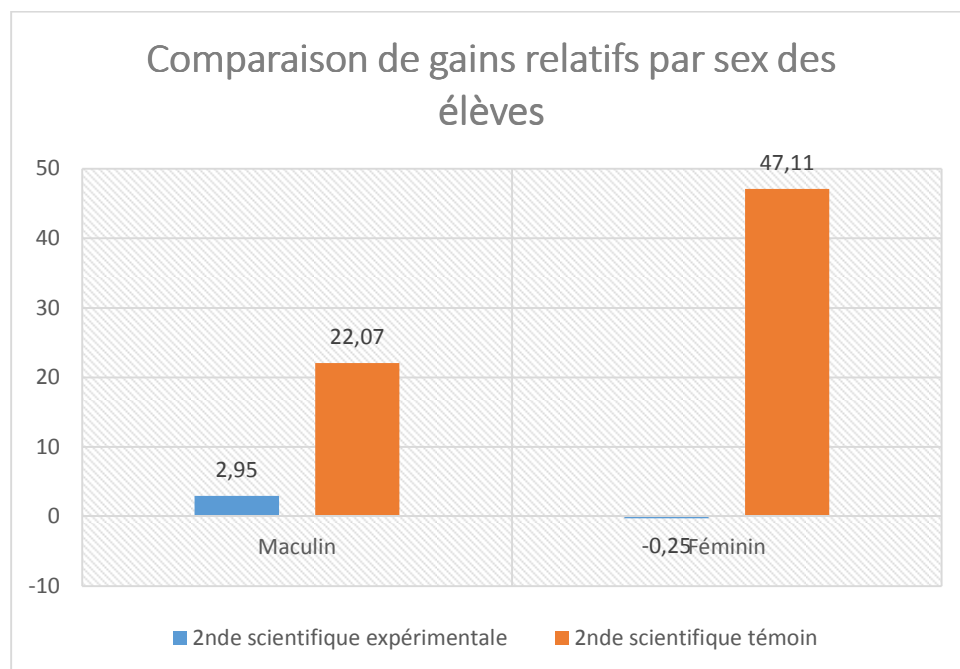


Figure 45: Gain relatif selon le genre en 2nde scientifique

Le calcul de gain relatif aux scores par sexe dans la classe de seconde scientifique expérimentale montre que la différence de gain relatif entre filles et garçons n'est pas significative ($F = 0.11$ et $p = 0.75 > 0.05$). Ce qui signifie que les filles et les garçons de la classe de seconde ayant fait usage de du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage des fonctions numériques ont progressé dans la même proportion.

Le calcul de gain relatif aux scores par sexe dans la classe de seconde scientifique témoin montre que la différence de gain relatif entre filles et garçons est significative ($F = 5.34$ et $p = 0.03 < 0.05$). Ce qui signifie que les filles et garçons de la classe de seconde traditionnelle n'ont pas progressé dans la même proportion. Ces résultats indiquent que ce sont les élèves filles de cette classe qui ont plus amélioré leurs compétences quant aux résultats d'apprentissages visés par la séquence de cours sur les fonctions numériques à variable réelle. Ces résultats indiquent également que seules les filles de la classe de la classe de seconde traditionnelle ont amélioré significativement leur performance aux scores lors de l'apprentissage des fonctions numériques à variable réelle.

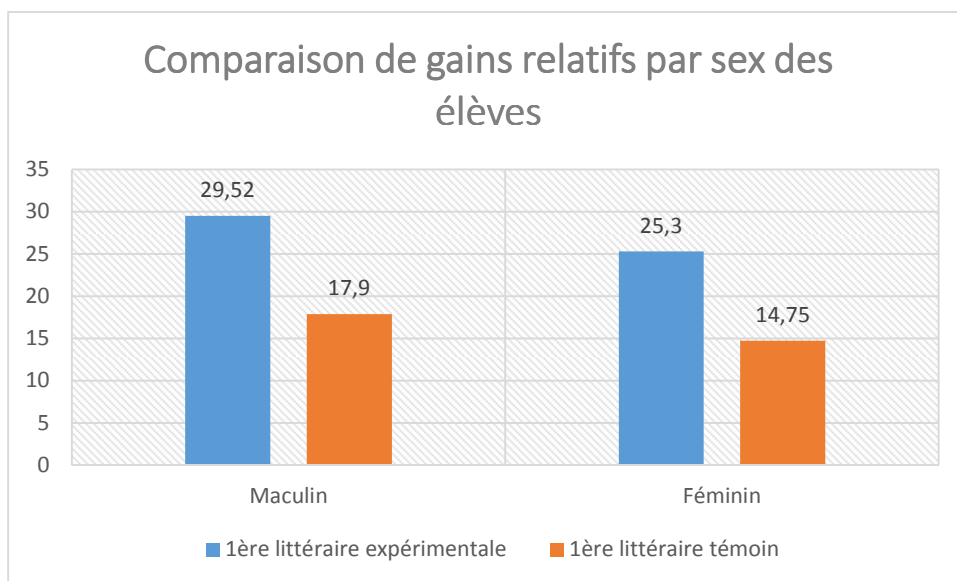


Figure 46: Gain relatif selon le genre en 1ère littéraire

Le calcul de gain relatif aux scores par sexe dans la classe de première littéraire expérimentale montre que la différence de gain relatif entre filles et garçons n'est pas significative ($F = 0.51$ et $p = 0.48 > 0.05$). Ce qui signifie que les filles et les garçons de la classe de première ayant fait usage de du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage des fonctions numériques ont progressé dans la même proportion. Ces résultats indiquent également que les filles et les garçons ont amélioré significativement leur

performance aux scores lors de l'apprentissage des fonctions numériques à variable réelle avec Geogebra.

Le calcul de gain relatif aux scores par sexe dans la classe de première littéraire témoin montre que la différence de gain relatif entre filles et garçons n'est pas significative ($F = 0.21$ et $p = 0.65 > 0.05$). Ce qui signifie que les filles et les garçons de la classe de première n'ayant pas fait usage de du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage des fonctions numériques ont progressé dans la même proportion. Ces résultats indiquent également que les filles et les garçons ont amélioré significativement leur performance aux scores lors de l'apprentissage des fonctions numériques à variable réelle sans Geogebra.

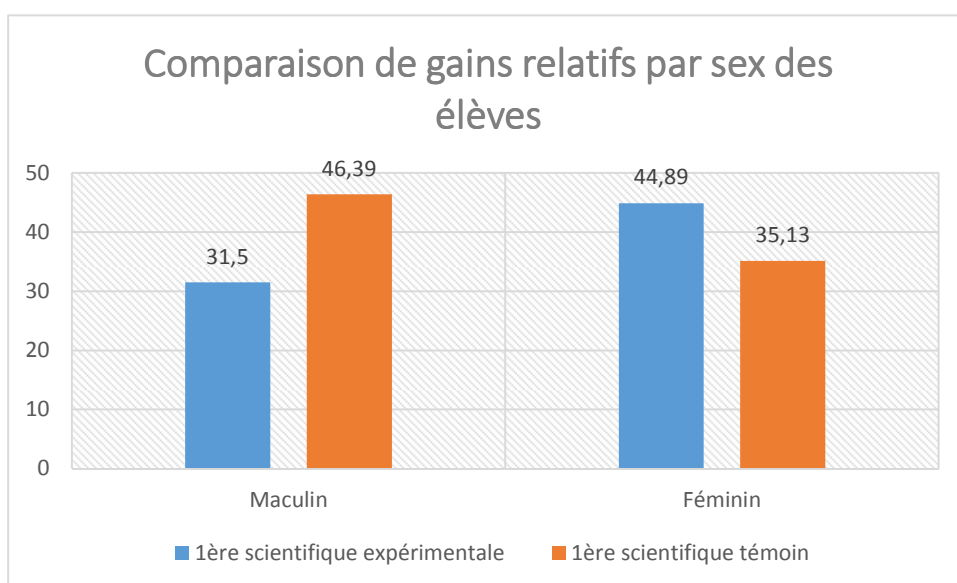


Figure 47: Gain relatif selon le genre en 1ère Scientifique

Le calcul de gain relatif aux scores par sexe dans la classe de première scientifique expérimentale montre que la différence de gain relatif entre filles et garçons n'est pas significative ($F = 1.70$ et $p = 0.20 > 0.05$). Ce qui signifie que les filles et les garçons de la classe de première ayant fait usage de du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage des fonctions numériques ont progressé dans la même proportion. Ces résultats indiquent également que les filles et les garçons ont amélioré significativement leur performance aux scores lors de l'apprentissage des fonctions numériques à variable réelle avec Geogebra.

Le calcul de gain relatif aux scores par sexe dans la classe de première scientifique témoin montre que la différence de gain relatif entre filles et garçons n'est pas significative

($F = 0.62$ et $p = 0.44 > 0.05$). Ce qui signifie que les filles et les garçons de la classe de première n'ayant pas fait usage de du logiciel dynamique de mathématique au cours de l'apprentissage des fonctions numériques ont progressé dans la même proportion. Ces résultats indiquent également que les filles et les garçons ont amélioré significativement leur performance aux scores lors de l'apprentissage des fonctions numériques à variable réelle sans Geogebra.

Tableau 44: Comparaison des gains relatifs par genre d'élèves par niveau d'apprentissage

Groupe		Sexe	Nombre	Fréquence	Gain relatif
Expé- ri- men- tal	2 nd e A1	Masculin	13	39.39%	17.77
		Féminin	20	60.61%	20.55
	2 nd e C1	Masculin	21	72.41%	2.95
		Féminin	8	27.59%	-0.25
	1 ^{ère} A1	Masculin	21	51.22%	29.52
		Féminin	20	48.78%	25.30
	1 ^{ère} D1	Masculin	22	70.97%	31.50*
		Féminin	9	29.03%	44.89*
	T ^{le} A1	Masculin	7	23.33%	7.71
		Féminin	23	76.67%	30.61*
	T ^{le} D1	Masculin	15	65.22%	20.73
		Féminin	8	34.78%	19.00
Témoi- ns	2 nd e A2	Masculin	13	39.39%	10.83
		Féminin	20	60.61%	21.30
	2 nd e C2	Masculin	14	60.87%	22.07
		Féminin	9	39.17%	47.11*

1 ^{ère} A2	Masculin	30	65.22%	17.90
	Féminin	16	34.78%	14.75
1 ^{ère} D2	Masculin	28	77.78%	46.39*
	Féminin	8	22.22%	35.13*
T ^{le} A2	Masculin	8	24.24%	-0.25
	Féminin	25	75.76%	9.52
T ^{le} D2	Masculin	15	60%	45.73*
	Féminin	10	40%	31.00*

(*) Il est admis qu'il y a un effet significatif d'apprentissage lorsque le gain relatif est supérieur au seuil minimal de 30.

2.3 Analyse des activités des élèves sur les fonctions numériques en relation avec les activités enseignantes dans l'environnement Geogebra

2.3.1 Analyse de tâches instrumentées en lien avec des tâches mathématiques pour l'apprentissage fonctions par les élèves.

Les différents scénarios de résolution des problèmes, proposés par les enseignants de mathématiques dans les trois niveaux d'enseignement du lycée (2^{nde}, 1^{ère} et T^{le}), prévoyaient la réalisation tâches de représentations graphiques, algébriques et numériques des fonctions cibles dans les interfaces de Geogebra et faire les conjonctures des résultats. Au cours de l'expérimentation, il a été observé et filmé les activités des groupes d'élèves sélectionnées sur la base de volontariat (Lagrange, 2010). Quarante-huit (48) élèves répartis dans 12 groupes ont fait l'objet d'une observation directe au cours des séances avec et sans Geogebra. L'organisation des groupes des élèves est liée à l'organisation de la classe de l'enseignant. L'observation vidéographique des séances, a permis de revenir sur les activités des groupes dans les deux environnements d'apprentissage. Elle a permis d'élargir le nombre de groupes observés à partir d'une triangulation des images des trois caméras. Elle a aussi permis de faire une comparaison entre tâches prescrites et tâches réalisées en situation d'apprentissage avec Geogebra.

Question statistique 2.5 : Quelles sont les tâches instrumentées et les tâches mathématiques que les élèves aient mobilisé pour leur d'apprentissage de fonctions et qu'elle a été le niveau de leur adaptation à Geogebra?

Le fonctionnement du logiciel Geogebra demande de la part des élèves un certain nombre des connaissances instrumentales pour résoudre les activités mathématiques proposées au cours des séances. Ainsi les tâches que les élèves ont eu à accomplir avec Geogebra ont été des tâches de constructions graphiques, de calculs de formel et de conjectures de résultats. Les tâches instrumentées et les tâches mathématiques ne sont pas prises de manière individuelle au cours de notre analyse mais plutôt d'une manière globale c'est qui simplifie l'articulation des deux types de connaissances (Gelis et Assude, 2002) que les élèves doivent mobiliser au cours de leur apprentissage du concept mathématique de fonctions.

➤ Tâches de constructions graphiques des fonctions

Écriture la syntaxe pour construire la représentation graphique de la fonction demande aux élèves des réalisations des sous-tâches instrumentées d'identification de la commande de saisi est immédiate par les élèves, d'identification des objets de là saisi la syntaxe qui correspond à l'écriture algébrique de la fonction, obtention une syntaxe que Geogebra reconnaît. La réalisation de ses sous-tâches demande aux élèves la connaissance des objets de commande de Geogebra permettant d'obtenir la « bonne syntaxe » que le logiciel peut reconnaître et accepter en vue de la construction la représentation graphique. L'appropriation de ces éléments par les élèves a demandé un temps.

Les élèves ont passé beaucoup de temps pour trouver la bonne syntaxe de la fonction après plusieurs tentatives et représenter graphiquement la fonction numérique sous Geogebra. Les élèves dans leurs groupes de travail sont parvenus à représenter graphiquement la fonction mais dans la plupart de cas cela n'a été possible que grâce à l'aide guidée de l'enseignant.

➤ Calcul formel

Même si la démarche des calculs formels par le logiciel Geogebra est simplifiée, la réalisation de ces tâches demande l'exécution des sous tâches instrumentées et sous-tâches mathématiques par les élèves. Tout d'abord la reconnaissance de l'interface de calcul formel sur le logiciel Geogebra, d'identification des formules algébriques adaptée aux syntaxes que le logiciel peut reconnaître et l'écriture de la syntaxe dans la barre de saisi de l'interface du

calcul formel. Les élèves sont arrivés avec des facilités d'adaptation à calculer les images de x par la fonction f mais n'ont pas pu faire des calculs des dérivées de f , des limites et de résoudre algébriquement des équations. Ces éléments demandent un temps d'adaptation aux élèves.

➤ Conjectures de résultats

La visualisation des représentations graphiques ou des résultats des calculs algébriques ou numériques dans les différentes interfaces Geogebra semble être facilitée. Il semble que les représentations graphiques obtenues par Geogebra facilitent les interprétations des résultats. Il semble également que la visualisation des résultats dans les différents registres de représentation (algébrique; numérique et graphique) semble aider les élèves à conjecturer les résultats. Malheureusement, le fait que les élèves ont perdu suffisamment de temps pour l'adaptation des autres tâches beaucoup n'a pas pu bénéficier de cette mobilisation de connaissances. Les élèves n'ont pas eu de difficultés à faire la conjecture sur les positions relatives des deux fonctions sous GéoGebra ou de la position de la courbe lorsque x est de plus en plus grand ou x de plus en plus petit pour arriver la notion des limites à l'infinie ou en un point donné.

Il faut noter que seul l'enseignant Ens 4, a pu donner, à chaque introduction d'une nouvelle leçon, des explications sur les fonctionnalités de Geogebra utiles à la résolution du problème. Même s'il n'a pas vérifié à la suite le niveau de maîtrise de ces fonctionnalités chez ses élèves, cela lui a permis à la suite, de réduire les sollicitations d'aides de la part de ses élèves et de répondre uniquement aux difficultés sur les tâches Geogebra un peu plus complexe. Mais aussi à les aider à apprendre les mathématiques avec Geogebra. Ces aides structurées de la part de l'enseignant Ens4 peuvent en outre expliquer la progression presque significative de ses élèves au cours de l'apprentissage. Par contre, les enseignants E1, Ens2 et Ens3, n'ont pas montré à leurs élèves comment utiliser les fonctionnalités de Geogebra. Ce qui a fait, qu'ils ont passé plus de temps à répondre aux aides sollicitées par leurs élèves, qu'à les aider à apprendre les mathématiques avec le logiciel. Ces aides non structurées de la part des enseignants Ens1, Ens2 et Ens3 peuvent toutefois expliquer la progression non significative de leurs élèves au cours de l'apprentissage.

En résumé ces résultats indiquent que l'appropriation du logiciel en vue de réaliser les tâches a pris du temps aux élèves. Cela est dû au manque de maîtrise des tâches instrumentées pour l'intégration de Geogebra aux situations d'apprentissage des élèves. Ce qui signifie que les élèves ne maîtrisant pas suffisamment certaines fonctionnalités du logiciel nécessaires

perdent plus de temps sur les tâches instrumentales en vue de l'appropriation du logiciel au lieu de mobiliser des connaissances instrumentales et mathématiques leur permettant de réaliser les tâches et de progresser dans la situation d'apprentissage du concept des fonctions.

2.3.2 Analyse des difficultés perçues pour les élèves mobilisant Geogebra dans leur apprentissage du concept de fonctions.

L'analyse a posteriori du scénario d'apprentissage permettra de comprendre comment les élèves ont utilisé du Geogebra au cours du processus d'apprentissage du concept de fonction et l'influence possible de ce logiciel dynamique de mathématiques sur l'apprentissage du concept de fonctions, développement des habilités à résoudre une situation problème, faire la conjoncture des résultats (Freiman, 2008).

Question statistique 2.6 : Quelles sont les difficultés observables rencontrées par les élèves mobilisant Geogebra dans leur d'apprentissage ?

Les différents scénarios de résolution des problèmes prévoyaient la réalisation des tâches à l'aide de Geogebra de représentations graphique en saisissant la syntaxe appropriée de la fonction cible, de détermination des propriétés algébriques en saisissant la syntaxe appropriée de la formule mathématique, de visualisation des résultats et de l'interprétation des résultats observés. Il ressort de nos observations des activités des groupes d'élèves ont passé beaucoup de temps pour trouver la bonne syntaxe pour saisir correctement la fonction cible après plusieurs tentatives et représenter graphiquement la fonction numérique sous Geogebra. Tous les groupes des élèves mobilisant Geogebra sont parvenus à représenter graphiquement la fonction mais dans la plupart des groupes cela n'a été possible que grâce à l'aide du professeur. Les groupes d'élèves mobilisant Geogebra sont arrivés dans leur majorité à déterminer les images de x par f , les limites de f , la dérivée de f . après plusieurs tentatives et des échanges intra – groupes et parfois en sollicitant l'aide de l'enseignant. Les groupes d'élèves mobilisant Geogebra n'ont pas eu de difficultés à faire la conjoncture sur les propriétés des fonctions cibles grâce à la visualisation et à la manipulation des résultats sous Geogebra contrairement aux groupes d'élèves ayant travaillé dans l'environnement traditionnel. Ces derniers ont passé plus de temps pour parvenir à représenter graphiquement la fonction cible ou à déterminer les propriétés mathématiques de la fonction cibles et pour faire la conjoncture des résultats, il a fallu souvent l'intervention de l'enseignant.

En résumé, les résultats des observations des activités mathématiques médiatisées par le logiciel dynamique, ont révélé que les médiations proposées par le logiciel ne semblent pas permettre aux élèves à avancer significativement dans les tâches mathématiques demandées. Cela est probablement du fait qu'ils ne sont pas habitués à utiliser ce logiciel dynamique de mathématique et cela peut les conduire à travailler le concept de fonction dans cet environnement numérique de la même manière qu'ils peuvent travailler dans l'environnement traditionnel. En dépit de ces résultats non significatifs observés, des avancés sur des démarches mathématiques ayant donné des opportunités d'apprendre pour les élèves ayant plus d'habiletés sur les fonctionnalités de Geogebra ont été observés.

D'après la littérature sur le processus d'apprentissage des concepts mathématiques, pour qu'un apprentissage des concepts mathématiques soit significatif les élèves doivent maîtriser un certain nombre de connaissances conceptuelles et procédurales (Hiebert et Lefevre (1986), Sfard (1991), Bell (2001) Lagrange (2000) et Anderson (2015).

Parmi les connaissances conceptuelles requises pour l'apprentissage du concept mathématique de fonctions, on note cinq (5) indicateurs importants : *connaître la définition de la fonction, connaître les fonctions élémentaires, connaître les propriétés de fonctions élémentaires, connaître les multiples représentations d'une fonction* et *connaître le processus à suivre en utilisant les différents registres de représentations pour faire la conjoncture des résultats*. Les résultats des entretiens avec les élèves ont fait ressortir ces mêmes indicateurs de connaissances conceptuelles nécessaires sur les notions de fonctions indispensables aux élèves du secondaire pour progresser significativement en apprentissage du concept de fonction.

Parmi les connaissances procédurales requises pour l'apprentissage du concept mathématique de fonctions, on note également cinq (5) indicateurs importants : *savoir représenter à l'aide du logiciel, savoir représenter une fonction en papier et crayon, savoir résoudre graphiquement une fonction, savoir résoudre algébriquement une fonction et savoir déterminer le comportement d'une fonction*.

Question statistique 2.7 : Quelles sont les perceptions des enseignants de mathématiques des difficultés des élèves mobilisant Geogebra leur d'apprentissage du concept de fonctions numérique?

Tableau 45: L'analyse thématique et séquentielle de l'entretien d'Omar

Thème	Entretien	Séquences lignes	Unité de sens
Connaissances conceptuelles	<p>o2 Donc un élève qui doit suivre le cours sur les comparaisons des fonctions numériques en première doit avoir comme prérequis, donc connaître l'ensemble de définition des fonctions, savoir tracer les courbes des fonctions élémentaires, par exemple les fonctions $f(x) = \frac{1}{x}$ c'est-à-dire fonction inverse, les fonctions racines carré de x ($f(x) = \sqrt{x}$) ou x au cube ($f(x) = x^3$) donc un élève doit être en mesure de tracer ces courbes et de préférence dans le même repère pour qu'il puisse voir lui-même comment se présentent les courbes de ces différentes fonctions et sur un intervalle bien précis. Donc il doit être en mesure d'interpréter la position de ces fonctions de ces courbes tracée dans le repère. Par exemple s'il arrive à tracer deux à trois courbes, il doit interpréter la position de ces courbes l'une par rapport à l'autre. Donc c'est ça qui doit lui permettre de bien comprendre le cours de comparaison des fonctions.</p> <p>o3 Il y a plusieurs problèmes que nous avons eu à noter par rapport à la comparaison, les élèves n'arrivent pas à comprendre que lorsqu'une courbe est au dessus d'une autre veut dire que la</p>	<p>10 – 11</p> <p>11</p> <p>14</p> <p>15 – 16</p> <p>16 – 17</p>	<p>connaître l'ensemble de définition des fonctions,</p> <p><i>savoir tracer les courbes des fonctions élémentaires</i></p> <p><i>tracer ces courbes</i> et de préférence dans le même repère pour qu'il puisse voir lui-même comment se présentent les courbes de ces différentes fonctions et sur un intervalle bien précis.</p> <p>être en mesure d'interpréter la position de ces fonctions de ces courbes tracée dans le repère.</p>

	<p>fonction de la courbe là est supérieure à l'autre donc ils ont du mal à veu dire que la fonction de la courbe là est supérieure à l'autre donc ils ont du mal à interpréter même les données c'est-à-dire des valeurs que les deux fonctions présentent dans un même intervalle donc à partir de ces valeurs ont peu comprendre ...comment dirait je la comparaison de ces fonctions, donc vraiment ils ont un problème d'interprétations de ces valeurs et un problème d'interprétation de la position des courbes dans un intervalle bien précis</p> <p>o5 Justement donc quand on introduit la notion de fonction numérique donc nous avons demandé aux élèves de nous fournir des phrases dans lesquelles il y a le mot fonction au début ils avaient eu des difficultés mais par après ils ont compris de quoi il s'agissait donc ils ont commencé à donner des exemples du genre comme la moto fonctionne avec de l'essence, le ventilateur fonctionne avec de l'électricité, donc un moment ils ont même dit que les élèves viennent à l'école en fonction de leur emploi de leur temps j'ai dit ça, c'est vraiment des bons exemples et nous avons introduit la notion de la fonction numérique à partir de ces exemples et nous avons expliqué aux élèves que la fonction n'est rien</p>	<p>23 – 24</p> <p>25 – 26</p>	<p>comprendre que lorsqu'une courbe est au – dessus d'une autre veu dire que la fonction de la courbe là est supérieure à l'autre</p> <p>interpréter même les données c'est-à-dire des valeurs que les deux fonctions présentent dans un même intervalle, donc à partir de ces valeurs, on peut comprendre ...comment dirait je la comparaison de ces fonctions</p> <p>aux élèves de nous fournir des phrases dans lesquelles il y a le mot fonction au début ils avaient eu des difficultés mais par après ils ont compris de quoi il s'agissait donc ils ont commencé à donner des exemples du genre</p>
--	---	-------------------------------	--

	<p>d'autre que deux grandeurs qui sont liées donc si l'une varie ça fait varier l'autre aussi, ils ont compris vraiment on a bien introduit la notion de la fonction numérique à partir de ces quelques exemples.</p>	41 – 44	<p>comme la moto fonctionne avec de l'essence, le ventilateur fonctionne avec de l'électricité,</p> <p>la fonction n'est rien d'autre que deux grandeurs qui sont liées donc si l'une varie ça fait varier l'autre aussi, ils ont compris vraiment on a bien introduit la notion de la fonction numérique</p>
Connaissances procédurales	<p>o2 Donc un élève qui doit suivre le cours sur les comparaisons des fonctions numériques en première doit avoir comme prérequis, donc connaître l'ensemble de définition des fonctions, savoir tracer les courbes des fonctions élémentaires, par exemple les fonctions $f(x) = \frac{1}{x}$ c'est-à-dire fonction inverse, les fonctions racines carré de x ($f(x) = \sqrt{x}$) ou x au cube ($f(x) = x^3$) donc un élève doit être en mesure de tracer ces courbes et de préférence dans le même repère pour qu'il puisse voir lui-même comment se présentent les courbes de ces différentes fonctions et sur un intervalle bien précis. Donc il doit être en mesure d'interpréter la position de ces fonctions de ces courbes tracées dans le repère. Par</p>	12 – 14	<p>les fonctions $f(x) = \frac{1}{x}$ c'est-à-dire fonction inverse, les fonctions racines carré de x ($f(x) = \sqrt{x}$) ou x au cube ($f(x) = x^3$) donc un élève doit être en mesure de tracer ces courbes</p>

	<p>exemple s'il arrive à tracer deux à trois courbes, il doit interpréter la position de ces courbes l'une par rapport à l'autre. Donc c'est ça qui doit lui permettre de bien comprendre le cours de comparaison des fonctions.</p> <p>o3 Il y a plusieurs problèmes que nous avons eu à noter par rapport à la comparaison, les élèves n'arrivent pas à comprendre que lorsqu'une courbe est au – dessus d'une autre veut dire que la fonction de la courbe là est supérieure à l'autre donc ils ont du mal à veut dire que la fonction de la courbe là est supérieure à l'autre donc ils ont du mal à interpréter même les données c'est-à-dire des valeurs que les deux fonctions présentent dans un même intervalle donc à partir de ces valeurs ont peu comprendre ...comment dirait je la comparaison de ces fonctions, donc vraiment ils ont un problème d'interprétations de ces valeurs et un problème d'interprétation de la position des courbes dans un intervalle bien précis</p>	25 – 26	des valeurs que les deux fonctions présentent dans un même intervalle
--	--	---------	---

Entretien d'Omar : la réponse de l'enseignant sur le prérequis nécessaire à un élève de première pour progresser en apprentissage de comparaisons de fonctions numériques est connaître l'ensemble de définition des fonctions de références (séquence 10 – 11), tracer les courbes représentatives des fonctions de références de préférence dans un même repère et pour un intervalle donné.

Tableau 46: Analyse thématique et séquentielle de l'entretien d'Ali

Thème	Entretien	Séquences lignes	Unité de sens
Connaissances conceptuelles	<p>a2Le prérequis nécessaire pour un élève quand même qui est en classe de première d'abord, le prérequis nécessaire pour l'étude d'une fonction surtout sur le thème que nous avons étudié c'est la comparaison de fonctions, sur la comparaison les prérequis nécessaire c'est la représentation graphique d'une fonction, les calculs des images que ça soit selon le registre graphique ou bien selon le registre numérique. C'est ça le prérequis nécessaire qu'un élève doit avoir quand même en classe de première pour bien faire la comparaison, et ... pour bien comparer deux fonctions définies sur un ensemble quelqu'un que. Pour ce qui est de la terminale, c'est ... le prérequis, le thème d'abord c'était sur ..., le thème c'est toujours l'étude de fonction mais l'utilisation de la représentation graphique d'une fonction pour déterminer son sens de variation et tout ça, Maintenant le prérequis nécessaire pour un élève c'est le calcul des images tout comme les élèves de la première seulement de façon un peu plus approfondis. Pour les élèves de la première tout ce qu'ils ont besoin c'est ils ont besoin des prérequis sur les fonctions de références mais pour un élève de la terminale il a besoin de prérequis sur les</p>	<p>12</p> <p>13</p> <p>17 – 19</p> <p>20 – 22</p>	<p><i>la représentation graphique d'une fonction,</i></p> <p>les calculs des images que ça soit selon le registre graphique ou bien selon le registre numérique.</p> <p>utilisation de la représentation graphique d'une fonction pour déterminer son sens de variation et tout ça</p> <p>Pour les élèves de la première tout ce <i>qu'ils ont besoin c'est ils ont besoin des prérequis sur les fonctions de références</i></p> <p>pour un élève de la terminale il a besoin de</p>

requis sur les notions de fonctions indispensables aux élèves du secondaire pour progresser significativement en apprentissage du concept de fonction.

Question statistique 2.8: Quelles sont les difficultés de compréhension conceptuelle et procédurale des élèves mobilisant Geogebra au cours de leur d'apprentissage du concept de fonctions numérique ?

Tableau 47: Analyse thématique et séquentielle des entretiens des élèves E1 et E2

Thème	Entretien	Séquences lignes	Unité de sens	Sous thème	Remarques
Connaissances conceptuelles	E2 Une fonction veut dire les chiffres qu'on devrait suivre	9	Une fonction veut dire les chiffres qu'on devrait suivre	E2(-) définition	La réponse de E2 n'est pas précise. Même si la fonction affine est une fonction polynômes en, la notion est utilisée à partir de la seconde
	E1 Une fonction c'est une relation	10	Une fonction c'est une relation	E1(-) définition	
	E2 Les fonctions polynômes	33	Les fonctions polynômes	E2(-) propriétés	
	E1 les fonctions rationnelles		les fonctions rationnelles	E1(+) propriétés	

	E1 fonction affine	35	fonction affine		E2 se rappelle après les réponses précises de E1
	E2 fonction linéaire	39	fonction linéaire	E2 (+) propriétés	La réponse de E2 n'est précise
	E2 Pour les fonctions affines et linéaires, $f(x) = ax + b$	40	Pour les fonctions affines et linéaires, $f(x) = ax + b$	E2(-) propriétés	Pour E1, la fonction linéaire est de la forme $f(x) = ax$
	E1 Pour les fonctions linéaires est de forme de ax	44	Pour les fonctions linéaires est de forme de ax	E1(+) Propriétés Registre	alors que la fonction affine $f(x) = ax + b$
	E1 Oui	45	Oui	E1(+) E2(+) Registre numérique	E1 et E2 affirment ainsi être capables de calculer les images des réels à partir de ces fonctions de références
	E2 Oui	47	Oui		E1 et E2 affirment ainsi être capables de représenter graphiquement ces

	<p>E1 Oui</p> <p>E2 Oui</p>	<p>48</p> <p>50</p> <p>51</p>	<p>Oui</p> <p>Oui</p>	<p>E1(+)</p> <p>E2(+)</p> <p>Registre graphique</p>	<p>fonctions de références</p>
<p>Connaissances procédurales ;,§/ durales</p>	<p>E2 En travaillant avec Geogebra nous voyons les différentes formes de la représentation graphique des différentes fonctions sur le repère. À travers ça on peut représenter notre propre fonction sur un repère</p>	<p>54 – 55</p> <p>55 – 56</p>	<p>En travaillant avec Geogebra nous voyons les différentes formes de la représentation graphique des différentes fonctions sur le repère.</p> <p>on peut représenter notre propre fonction sur un repère</p>	<p>E2 (+)</p> <p>Utilisation de Geogebra</p> <p>E2(+)</p> <p>Représentati</p>	<p>E2 sait utiliser Geogebra pour représenter une fonction</p> <p>E2 sait reproduire la représentation graphique de la fonction sur Geogebra en</p>

	<p>E2 Non non il n'y a pas de difficultés à travers des formules enregistrées on n'a pas de difficultés</p> <p>E2 non non</p>	<p>64</p>	<p>il y a pas de difficultés à travers des formules enregistré on n'a pas de difficultés</p>	<p>on point par point de la fonction</p> <p>E2(+)</p> <p>Multiple représentations</p>	<p>version parier crayon</p> <p>Les représentations algébriques, numérique et graphique de la fonction enregistrées sur Geogebra, E2 affirme n'a pas de difficultés de les utiliser mais ne précise pas comment il les utilise</p> <p>Malgré le fait que nous insistons sur la question les affirmations qu'il n'a pas des difficultés d'utilisation de Geogebra restent les seules réponses</p> <p>Les réponses</p>
	<p>E1 non</p>	<p>66</p>			
		<p>67</p>		<p>E1(-)</p>	
	<p>E1 Oui</p>				

	E2 Oui à travers Geogebra c'est plus simple même, on peut le remarquer le cours a été bien compris.	71		E1 (-)	restent imprécises sur ce qui est compris dans le contenu du cours qui porte sur l'étude des propriétés des fonctions numériques à l'aide des multiples représentations
		72 – 73		E2(-)	

(+) signifie réponse correcte

(-) signifie réponse négative ou imprécise

À l'issue de l'analyse thématique et séquentielle de l'entretien, il ressort :

- sur leurs connaissances conceptuelles

Pour ce qui est de la définition de la fonction numérique, il ressort que l'élève E1 a répondu sans donner plus de précision sur la définition de la fonction numérique alors que l'élève E2 n'a pas été en mesure de la définir.

Pour ce qui est de préciser les fonctions numériques étudiées dans la classe antérieure, il ressort que l'élève E1 a donné les fonctions numériques et leur écriture algébrique avec précision des exemples alors que l'élève E2 a eu du mal à donner des exemples précis.

Pour ce qui est des propriétés de ces fonctions, il ressort de l'entretien qu'E1 a donné seulement la représentation algébrique de la fonction affine et linéaire mais la réponse de l'élève E2 a été imprécise.

Pour ce qui est de l'utilisation de multiples représentations de ces fonctions de références, nous n'avons pas pu poser la question puisqu'ils n'ont pu donner qu'une seule.

➤ Sur leurs connaissances procédurales

Pour ce qui est de la représentation graphique de la fonction numérique sur Geogebra, l'élève E2 affirme « *En travaillant avec Geogebra nous voyons les différentes formes de la représentation graphique des différentes fonctions sur le repère* » (E2, ligne 54 – 55), ce qui témoigne que l'élève E2 sait utiliser le logiciel pour représenter une fonction ceci est d'ailleurs confirmé plus tard par ces propos « *à travers le clavier c'est trop simple* » (E2, ligne 59) néanmoins l'élève E1 ne sait pas affirmer sur cette question.

Pour ce qui est de la représentation de la fonction numérique en papier-crayon, l'élève E2 affirme « *on peut représenter notre propre fonction sur un repère* » (E2, 55 – 56), ce qui témoigne que l'élève E2 sait représenter point par point la fonction numérique.

Pour ce qui est de la résolution graphique de fonction, même si tous les élèves ont affirmé avoir compris le contenu du cours, leurs réponses restent imprécises pour conclure qu'ils sont capables de résoudre graphiquement les fonctions polynômes.

Pour ce qui est de la résolution algébrique de fonction, même si tous les élèves ont affirmé avoir compris le contenu du cours, leurs réponses restent imprécises pour conclure qu'ils sont capables de résoudre algébriquement les fonctions polynômes.

Pour ce qui est de déterminer graphique le sens variation de fonction, même si tous les élèves ont affirmé avoir compris le contenu du cours, leurs réponses restent imprécises pour conclure qu'ils sont capables de résoudre graphiquement les fonctions polynômes.

Les résultats de l'analyse thématique de l'entretien de ses deux élèves E1 et E2 révèlent qu'ils *manquent certes des connaissances suffisantes des notions de fonctions élémentaires, des connaissances antérieures censées être acquies*. Il est constaté que la connaissance et la compréhension de nombreux élèves reposaient sur des faits essentiellement isolés et sur des calculs de routine. *Ses élèves n'enregistrent pas de difficultés d'utilisation du logiciel pour résoudre des problèmes mathématiques sur les fonctions numériques ce qui leur a permis de bien utiliser le logiciel pour résoudre des problèmes mathématiques et donc de pouvoir progresser significativement en apprentissage des fonctions numériques.*

Tableau 48: Analyse thématique et séquentielle des entretiens des élèves E3, E4 et E5

Thème	Entretien	Séquences lignes	Unité de sens	Sous thème	Remarques

Connaissances conceptuelles	E3 On n'arrive pas à répondre	16	On n'arrive pas à répondre	E2(-) définition	Les élèves n'arrive pas à définir une fonction ni donner un exemple précis
	E5 une fonction c'est un exercice pour trouver les valeurs de x [silence]	17	E5 une fonction c'est un exercice pour trouver les valeurs de x [silence]	E5(-) définition	
	E5 Fonction affine	22	Fonction affine	E5(+) propriétés	La réponse de E5 est correcte
	E4 fonction numérique	23	fonction numérique	E4 (-)	La réponse de E4 n'est pas précises
	E3 fonction polynôme	26	fonction polynôme fonction affine	E1(-) propriétés	La réponse de E3 n'est pas précise
	E3 un exemple d'une fonction affine [silence]	29	Un exemple d'une fonction affine [silence]	E2 (-) propriétés	La réponse de E3 est incorrecte
	E4 $f(x) = 2x$ [hésitation] $2x + 3$	32	E4 $f(x) = 2x$ [hésitation] $2x + 3$	E2(+) propriétés	La réponse de E4 est correcte
	E5 on a oublié		E5 on a oublié		E5 affirme ainsi oublier les

		48		E5(-)	propriétés des fonctions de références
Connaissances procédurales	<p>E4 on a pas eu mais on arrive à comprendre grâce à cette application-là, <i>on a construit des images [référence à la courbe de fonction] à travers Geogebra</i> donc <i>on peut dire même que Geogebra nous a aidé beaucoup</i></p> <p>E4 A travers <i>Geogebra on arrive à construire des figures auxquels nous ne pouvons pas les construire carrément</i> car Geogebra nous facilite de les construire carrément.</p>	54 – 56	<p>on arrive à comprendre grâce à cette application-là, <i>on a construit des images [référence à la courbe de fonction] à travers Geogebra</i> donc <i>on peut dire même que Geogebra nous a aidé beaucoup</i></p> <p>À travers <i>Geogebra on arrive à construire des figures auxquels nous ne pouvons pas les construire carrément</i> car Geogebra nous facilite de les construire carrément</p>	E4 (+) Utilisation de Geogebra	<p>E4 sait utiliser Geogebra pour représenter une fonction</p> <p>E4 témoigne les difficultés pour représenter les fonctions sur papier crayons</p> <p>E4 témoigne la facilité sur l'adaptation de l'utilisation de</p>
		58 – 59		E4(-)	

					Geogebra
					E4 témoigne aussi de l'aide du logiciel pour contourner cette difficulté de construire une courbe représentative d'une fonction à l'aide de Geogebra
	E4 <i>Oui on a essayé mais on n'arrive pas à tout le faire comme sur Geogebra mais on a un peu essayé</i>	70 - 71	<i>on a essayé mais on n'arrive pas à tout le faire comme sur Geogebra mais on a un peu essayé</i>	E4(-) Représentati on point par point de la fonction interprétatio	E4 témoins de difficultés de la représentation graphique de la fonction de Geogebra sur une version papier crayon mais aussi pour faire des interprétations des résultats graphiques

				n	
--	--	--	--	---	--

(+) signifie réponse correcte

(-) signifie réponse négative ou imprécise

À l'issue de l'analyse thématique et séquentielle de l'entretien témoin :

- sur leurs connaissances conceptuelles

Pour ce qui est de la définition de la fonction numérique, il ressort que tous les élèves n'ont pas défini la fonction numérique ou donné un exemple tiré de la vie courante.

Pour ce qui est de préciser les fonctions numériques étudiées dans la classe antérieure, il ressort que seul l'élève E4 a donné un exemple fonction de référence et son écriture algébrique avec précision.

Pour ce qui est des propriétés de ces fonctions, il ressort de l'entretien que tous les élèves ne se rappellent pas des propriétés des fonctions linéaires et des fonctions affines antérieurement étudiées.

Pour ce qui est de l'utilisation de multiples représentations de ces fonctions de références, la question n'a pas pu être posée.

- Sur leurs connaissances procédurales

Pour ce qui est de la représentation graphique de la fonction numérique sur Geogebra, l'élève E4 affirme « *on a construit des images [référence à la courbe de fonction] à travers Geogebra donc on peut dire même que Geogebra nous a aidés beaucoup* » (E4, ligne 54 – 56), ce qui témoigne que l'élève E4 sait utiliser le logiciel pour représenter une fonction ceci est d'ailleurs confirmé plus tard par ces propos « *A travers Geogebra on arrive à construire des figures auxquelles nous ne pouvons pas les construire carrément car Geogebra nous*

facilite de les construire carrément » (E4, ligne 58 – 59) néanmoins les élèves E3 et E5 ne se sont pas affirmés sur cette question.

Pour ce qui est de la représentation de la fonction numérique en papier-crayon, l'élève E4 affirme «*À travers Geogebra on arrive à construire des figures auxquelles nous ne pouvons pas les construire carrément* » (E4, 58 – 59), ce qui témoigne que l'élève E4 ne sait pas représenter point par point la fonction numérique.

Pour ce qui est de la résolution graphique de fonction et de déterminer graphiquement le sens de variation, l'élève E4 affirme «*on a essayé mais on n'arrive pas à tout le faire comme sur Geogebra mais on a un peu essayé* », ce qui témoigne des difficultés des élèves.

Les résultats de l'analyse thématique de l'entretien de ces trois élèves E3, E4 et E5 révèlent qu'ils *manquent certes des connaissances suffisantes des notions de fonctions élémentaires, des connaissances antérieures censées être acquises*. Il est constaté que la connaissance et la compréhension de nombreux élèves reposaient sur des faits essentiellement isolés et sur des calculs de routine. *Il est aussi constaté que ses élèves s'adaptent facilement à l'utilisation de Geogebra mais ils enregistrent des difficultés d'adaptation pour faire des conjonctures des résultats issues de différents registres de représentations ce qui ne leur a pas permis la bonne utilisation du logiciel pour résoudre des problèmes mathématiques et donc de pouvoir progresser significativement en apprentissage des fonctions numériques*.

Tableau 49: Analyse thématique et séquentielle des entretiens des élèves E6, E7, E8, E9, E10 et E11

Thème	Entretien	Séquences lignes	Unité de sens	Sous thème	Remarques
Connaissances conceptuelles	E6 Une fonction numérique, humm [silence]	11	Une fonction numérique, humm [silence]	E6(-) définition	Les élèves n'arrivent pas à définir une fonction ni donner un exemple précis La réponse de E57
	E7 Une fonction numérique est une fonction qui se pose numériquement à travers les nombres ou	14 – 15	Une fonction numérique est une fonction qui se pose numériquement à	E7(-) définition	

	<p>à travers une distribution donnée, donc une opposition donnée</p> <p>E8 Ce n'est pas comme une opposition mais c'est comme une opération</p> <p>E8 Une relation des données</p> <p>E10 Linéaire</p> <p>E8 La fonction linéaire, la fonction affine</p> <p>E7 Exemple d'une fonction affine</p>	<p>20</p> <p>24</p> <p>30</p>	<p>travers les nombres</p> <p>E8 Ce n'est pas comme une opposition mais c'est comme une opération</p> <p>Une relation des données</p> <p>Linéaire</p> <p>La fonction linéaire, la fonction affine</p>	<p>E8(-) définition</p> <p>E10(+) propriétés</p> <p>E8 (+) propriétés</p>	<p>est correcte</p> <p>La réponse de E4 n'est pas précises</p> <p>La réponse de E10 est correcte, il parle de la fonction linéaire</p> <p>La réponse de E8 est correcte</p>
--	--	-------------------------------	--	---	---

	E7 On a un peu oublié	31	Exemple d'une fonction affine	E7(-) propriétés	
	E7 Bon en ce qui me concerne, on a vraiment, on a suivi et on a regardé l'image de cette application	37	On a un peu oublié		Pas de réponse de E7
	E7 Bon moi mon cas j'ai compris le résultat, normalement si on a utilisé plusieurs fois, ça demande beaucoup d'utilisation pour comprendre, si on a utilisé une seul fois deux fois trois fois ça va...vraiment on a utilisé une seul fois, deux fois mais à la maison on n'utilise pas Geogebra	41	Bon en ce qui me concerne, on a vraiment, on a suivi et on a regardé l'image de cette application	E7 (-) Mettre en relation les multiples représentations	E7 observe les résultats mais il ne parvient pas à faire une analyse critique de ces résultats (conjoncture les résultats).
	E9 J'ai participé mais je n'ai rien saisi	71 – 72	j'ai compris le résultat, normalement si on a utilisé plusieurs fois, ça demande beaucoup d'utilisation pour comprendre		
		88 – 91			

		125	J'ai participé mais je n'ai rien saisi		
Connaissances procédurales	<p>E8 On a eu des difficultés</p> <p>E8 Par rapport à son utilisation même</p> <p>E8 Oui, il n'y a un peu de complication</p> <p>E7 Je ne sais pas pour les autres, mais il y a aussi un manque de compréhension sur l'application Geogebra, donc le problème, ce n'est pas</p>	<p>46</p> <p>51</p> <p>53</p> <p>54 – 56</p>	<p>On a eu des difficultés</p> <p>Par rapport à son utilisation même</p> <p>Oui, il n'y a un peu de complication</p> <p>Je ne sais pas pour les autres, mais il y a aussi un manque de compréhension sur l'application Geogebra, donc le problème, ce n'est</p>	<p>E8 (-)</p> <p>Utilisation de Geogebra</p> <p>E7(-)</p> <p>Utilisation</p>	<p>E8 témoigne la facilité sur l'adaptation de l'utilisation de Geogebra</p> <p>E7 témoigne aussi des difficultés d'utilisation Geogebra</p>

	<p>tout le monde qui a on pu donc le comprendre (<i>qui a pu le comprendre</i>) et l'utiliser mais quand même on a un peu essayé mais ça va</p> <p>E11 L'utilisation, il y a trop de complication</p>	80	<p>pas tout le monde qu'on pu donc le comprendre (<i>qui a pu le comprendre</i>) et l'utiliser mais quand même on a un peu essayé mais ça va</p> <p>L'utilisation, il y a trop de complication</p> <p><i>je l'ai utilisé une seul fois, je vois elle va me faire perdre mon temps et je laisse</i></p>	<p>de Geogebra</p> <p>E11(-) Utilisation de Geogebra</p> <p>E8 (-) Utilisation de Geogebra</p>	<p>E7 témoigne aussi des difficultés d'utilisation Geogebra</p> <p>E8 témoigne de la démotivation lors que les élèves n'arrivent pas à s'adapter à l'utilisation de Geogebra</p> <p>E9 témoigne que l'organisation du</p>
	<p>E8 Pour moi, je l'ai utilisé une seul fois, je vois elle va me faire perdre mon temps et je laisse</p>	96	<p><i>je l'ai utilisé une seul fois, je vois elle va me faire perdre mon temps et je laisse</i></p>		
	<p>E9 Moi je n'ai pas utilisé Geogebra</p>		<p>Moi je n'ai pas utilisé Geogebra</p>		

	<p>E6 J'ai bien compris mais c'est par rapport à l'utilisation de Geogebra que je n'ai pas compris</p>	100	<p>J'ai bien compris mais c'est par rapport à l'utilisation de Geogebra que je n'ai pas compris</p>	<p>E8 (-) Utilisation de Geogebra</p> <p>E6 (-) Utilisation de Geogebra</p>	<p>travail de l'enseignant n'a pas permis à tous les élèves d'un groupe de faire la manipulation de l'outil</p> <p>E6 témoigne des difficultés des élèves à travailler avec Geogebra</p> <p>E7 témoins de difficultés de la représentation graphique de la fonction avec Geogebra surmonté par une aide, ce qui leur a permis de faire la représentation dans un repère à l'aide de Geogebra</p>
	<p>E7 vraiment lorsqu'on a fait, on a un peu avec Geogebra, on a représenté du repère dans l'application, on nous a montré comment on l'utilise et on a trouvé notre</p>	131 – 132	<p>on nous a montré comment on l'utilise et on a trouvé notre</p>		

	formule, on a appliqué un repère, on a vu des points	61 – 63	formule, on a appliqué un repère, on a vu des points	E7(+) Représentati on avec Geogebra	graphiques
--	--	---------	--	--	------------

(+) signifie réponse correcte

(-) signifie réponse négative ou imprécise

À l'issue de l'analyse thématique et séquentielle de l'entretien, il ressort :

- sur leurs connaissances conceptuelles

Pour ce qui est de la définition de la fonction numérique étudiée dans la classe antérieure, il ressort que tous les élèves n'ont pas défini la fonction numérique ou donné un exemple tiré de la vie courante.

Pour ce qui est de préciser les fonctions numériques étudiées dans la classe antérieure, il ressort qu'aucun élève n'a donné un exemple fonction de fonction de référence et son écriture algébrique avec précision

Pour ce qui est des propriétés de ces fonctions, il ressort de l'entretien que tous les élèves ne se rappellent pas les propriétés des fonctions linéaires et des fonctions affines antérieurement étudiées

Pour ce qui est de l'utilisation de multiples représentations de ces fonctions de références, nous n'avons pas pu poser la question.

- Sur leurs connaissances procédurales

Pour ce qui est de la représentation graphique de la fonction numérique sur Geogebra, l'élève E7 affirme « *Je ne sais pas pour les autres, mais il y a aussi un manque de compréhension sur l'application Geogebra, donc le problème, ce n'est pas tout le monde qu'on a pu donc le comprendre et l'utiliser mais quand même on a un peu essayé mais ça va* » (E7, lignes 54 –

56), ce qui témoigne que l'élève E2 sait utiliser le logiciel pour représenter une fonction ceci est d'ailleurs confirmé plus tard par ces propos « *L'utilisation, il y a trop de complications* » (E11, ligne 80), E8 affirme « *je l'ai utilisé une seule fois, je vois elle va me faire perdre mon temps et je laisse* » (E8, ligne 96) et E6 de dire « *J'ai bien compris mais c'est par rapport à l'utilisation de Geogebra que je n'ai pas compris* ». *Tous ces témoignages montrent les difficultés d'adaptation de Geogebra des élèves, donc de son utilisation pour progresser en apprentissage des fonctions numériques.*

Pour ce qui est de la représentation de la fonction numérique en papier-crayon, les réponses des élèves restent imprécises « *on nous a montrés comment on l'utilise et on a trouvé notre formule, on a appliqué un repère, on a vu des points* » (E7, lignes 61 – 63)

Pour ce qui est de la résolution graphique de fonction et de déterminer graphiquement le sens de variation, l'élève E4 affirme « *on a essayé mais on n'arrive pas à tout le faire comme sur Geogebra mais on a un peu essayé* », ce qui témoigne des difficultés des élèves.

Les résultats de l'analyse thématique de l'entretien de ses trois élèves E6, E7, E8, E9, E10 et E11 révèlent que les élèves interviewés *manquent des connaissances suffisantes des notions de fonctions élémentaires, des connaissances antérieures censées être acquises*. Il est constaté que la connaissance et la compréhension de nombreux élèves reposaient sur des faits essentiellement isolés et sur des calculs de routine. *Il est aussi constaté que ses élèves s'adaptent facilement à l'utilisation de Geogebra mais ils se heurtent aux difficultés d'adaptation pour faire des conjonctures des résultats issus de différents registres de représentations ce qui ne leur a pas permis une bonne utilisation du logiciel pour résoudre des problèmes mathématiques afin de progresser significativement en apprentissage des fonctions numériques.*

Tableau 50: Analyse thématique et séquentielle des entretiens des élèves E12 et E13

Thème	Entretien	Séquences lignes	Unité de sens	Sous thème	Remarques
Connaissances conceptuelles	E13 Par exemple on peut nous demander de calculer les fonctions et de déterminer [silence]	19	on peut nous demander de calculer les fonctions et de déterminer	E13(-) définition	L'élève E13 n'arrive pas à définir une fonction

	<p>E12 Un exemple sur la fonction numérique $\frac{x+1}{x-2}$, on a l'habitude de nous demander de déterminer la fonction de moins l'infini à plus l'infini. Un exemple, c'est un problème qui se pose comme nous le disons chaque problème à une solution, c'est ça de moins l'infini à plus l'infini</p> <p>E13 Exemple de fonctions usuelles, ..., exemple de fonctions logarithme</p>	<p>27</p> <p>49</p>	<p>la fonction numérique $\frac{x+1}{x-2}$</p> <p>exemple de fonctions logarithme</p>	<p>E12(-) définition</p> <p>E13(-) propriétés</p>	<p>L'élève E12 n'arrive pas à définir une fonction mais il donne un exemple local sous la forme algébrique</p> <p>La réponse de E13 n'est pas correcte puisque cette fonction de référence est étudiée en terminale selon le programme de maths en vigueur</p>
--	--	---------------------	--	---	--

	<p>Comme $f(x) = \frac{x+1}{x-1}$</p> <p>E13 $f(x) = \frac{2x+3}{x-1}$</p> <p>E13 Non</p>	<p>53</p> <p>55</p> <p>57</p>	<p>$f(x) = \frac{x+1}{x-1}$</p> <p>$f(x) = \frac{2x+3}{x-1}$</p> <p>E12 $f(x) = 2x^2 + 3x - 1$</p>	<p>E13 (+)</p> <p>E13(-) propriétés</p> <p>E12 (+) propriétés</p>	<p>au Niger</p> <p>La réponse de E3 est correcte</p> <p>La réponse de E13 est juste basée sur celle de E12 puisque quand on lui demande est ce que la fonction qu'il a donnée est une fonction de référence, E13 répond non</p> <p>C'est après plusieurs fausses tentatives que E12 est arrivé à donner un exemple d'une fonction élémentaire étudiée en 2^{nde} et 1^{ère}</p> <p>C'est après plusieurs fausses tentatives que E13 est arrivé à donner un exemple d'une</p>
	<p>E13 $2x + 3$</p>	<p>63</p>			

					<p>fonction élémentaire étudiée en classe de 3^{ème} et 2^{nde}</p>
	<p>E12 Bon non mais plus précisément $f(x) = x$</p>	65	$2x + 3$	<p>E13(+) propriétés</p>	<p>Selon le témoignage de E12, ses connaissances sur les propriétés des fonctions de références sont très limités puisque de toutes celles étudiées dans les classes antérieurs, E12 n'est sûr que de celle de $f(x) = x$</p>
		90	<p>plus précisément $f(x) = x$</p>	<p>E12 (+) Propriétés</p>	<p>E13 témoigne du savoir-faire du changement de registre pour conjoncture les résultats obtenus</p>

	<p>E13 <i>Nous avons d'abord présenté les fonctions ensuite nous avons identifié les fonctions, nous les avons regardées et à partir de ça nous les avons comparées</i></p>	113 – 114	<p><i>Nous avons d'abord présenté les fonctions ensuite nous avons identifié les fonctions, nous les avons regardé et à partir de ça nous les avons comparées.</i></p>	<p>E13 (+) Mettre en relation les différents registres de représentations</p>	grâce au Geogebra
Connaissances procédurales	E13 Oui, on peut les représenter	72	on peut les représenter	E13 (+) représentation des fonctions de références	E13 témoigne savoir représenter les fonctions de références

	E12 Oui	74		E12 (+) représentati on des fonctions de références	
	E13 Oui	110		E12 (+) Utilisation de Geogebra	E12 sait utiliser Geogebra pour représenter une fonction
	E12 Ah oui ça nous a aidés parce que sur le logiciel là c'est facile tant qu'on met les fonctions c'est directement elle va se placer dans un repère.	129 – 130	oui ça nous a aidés parce que sur le logiciel là c'est facile tant qu'on met les fonctions c'est directement elle va se placer dans un repère.		

(+) signifie réponse correcte

(-) signifie réponse négative ou imprécise

À l'issue de l'analyse thématique et séquentielle de l'entretien, il ressort :

➤ sur leurs connaissances conceptuelles

Pour ce qui est de la définition de la fonction numérique, il ressort que tous les élèves n'ont pas défini la fonction numérique ou donné un exemple tiré de la vie courante.

Pour ce qui est de préciser les fonctions numériques étudiées dans la classe antérieure, il ressort que les élèves E12 et E13 sont arrivés à donner des exemples de fonctions après plusieurs tentatives erronées, ce qui témoigne d'un niveau de compréhension des fonctions de références très limitées pour un élève du secondaire moyen.

Pour ce qui est des propriétés de ces fonctions, il ressort de l'entretien que tous les élèves ne se rappellent pas les propriétés des fonctions de toutes les fonctions références antérieurement étudiées.

Pour l'utilisation de multiples représentations de ces fonctions de références pour faire la conjoncture des résultats, l'élève E13 témoigne de savoir-faire du changement de registre de représentation avec le logiciel Geogebra.

➤ Sur leurs connaissances procédurales

Pour ce qui est de la représentation graphique de la fonction numérique sur Geogebra, les élèves interviewés affirment savoir faire des représentations graphiques à l'aide Geogebra

Pour ce qui est de la représentation de la fonction numérique en papier-crayon, les élèves interviewés affirment savoir faire des représentations graphiques sur papier comme le témoigne E13 « Oui, on peut les représenter » (E13, ligne 72).

Pour ce qui est de la résolution graphique de fonction et de déterminer la variation, aucun témoin des interviewés ne permet de clarifier une réponse.

Les résultats de l'analyse thématique de l'entretien de ses trois élèves E12 et E13 révèlent que les deux élèves interviewés *manquent des connaissances des notions de fonctions élémentaires, des connaissances antérieures censées être acquises*. Il est constaté que la connaissance et la compréhension de nombreux élèves reposaient sur des faits essentiellement isolés et sur des calculs de routine. *Il est aussi constaté que ses élèves s'adaptent facilement à l'utilisation de Geogebra mais ils enregistrent des difficultés d'adaptation pour faire des conjonctures des résultats issus de différents registres de représentations ce qui ne leur a pas permis de bien utiliser le logiciel pour résoudre des problèmes mathématiques donc de pouvoir progresser significativement en apprentissage des fonctions numériques.*

Les résultats des entretiens avec les élèves ont fait ressortir quatre (3) indicateurs sur cinq (5) des connaissances procédurales nécessaires sur les notions de fonctions indispensables aux élèves du secondaire pour progresser significativement en apprentissage du concept de fonction :

L'analyse croisée des entretiens des enseignants de mathématiques de cet établissement fait ressortir un certain nombre de connaissances conceptuelles et des connaissances procédurales que l'élève doit être capable de mobiliser lors de l'apprentissage

du concept de fonction numérique avec le logiciel dynamique Geogebra pour progresser significativement.

Les résultats de l'analyse croisée des entretiens montrent que :

- les enseignants témoignent que *les élèves doivent maîtriser la définition de la fonction alors que les entretiens des élèves témoignent qu'ils ont un niveau modéré en termes des connaissances sur la définition de la fonction.*
- *Les enseignants témoignent que les élèves doivent maîtriser les fonctions élémentaires, leurs propriétés, les multiples représentations de ces fonctions et le processus pour faire la conjoncture de résultats issus de ces fonctions alors que les entretiens des élèves témoignent qu'ils ont un niveau de maîtrise des fonctions de références tout au plus modéré en terme de leur définition, leurs propriétés et faible en matière de mise en connexion des registres de représentations de ces fonctions .*

Ces résultats révèlent que les élèves de notre expérimentation ont dans leur majorité un niveau de compréhension modérée ou faible des connaissances conceptuelles censées être acquises dans la classe antérieure dont leur adaptation est importante à leurs apprentissages mobilisant Geogebra.

Les résultats de l'analyse croisée des entretiens montrent que :

- les enseignants témoignent que *les élèves manifestent des difficultés d'adaptation du logiciel malgré par les élèves pour étudier le concept de fonction alors les entretiens des élèves témoignent qu'ils ont un niveau de compréhension tout au plus modéré de l'utilisation du Geogebra pour représenter les fonctions.*
- *Les enseignants témoignent que les élèves doivent maîtriser la représentation de la fonction en papier et crayon plus précisément faire la représentation graphique alors que les entretiens des élèves révèlent qu'ils ont un niveau de compréhension tout au plus modéré en terme de représentation des fonctions numériques en papier et crayon.*
- *Les enseignants témoignent que les doivent maîtriser les processus de résolution graphiques et algébriques des fonctions mais les entretiens des élèves n'ont montré aucun niveau de compréhension de résolutions graphiques ou algébriques des fonctions.*

Ces résultats révèlent que les élèves de notre expérimentation ont dans leur majorité un niveau de compréhension modérée ou faible des connaissances procédurales censées

être acquises dans la classe antérieure dont leur adaptation est importante à leurs apprentissages mobilisant Geogebra.

En résumé ces résultats indiquent que les élèves ont une compréhension conceptuelle déficitaire des notions de la fonction numérique et que leur compréhension procédurale des notions mathématiques est très limitée. Ce qui signifie que les élèves de notre expérimentation ne possèdent pas suffisamment de connaissances préalables sur les notions mathématiques de la fonction numérique leur permettant de progresser significativement au cours de leurs apprentissages avec le logiciel dynamique. Ainsi, les résultats des entretiens corroborent avec ceux des tests de connaissances avant l'intervention pédagogique qui mettent en évidence que (prétests).

Tableau 51: analyse croisée des entretiens des enseignants et des élèves

Thème	sous thématiques	Unité de sens		Analyse
		Enseignants	Élèves	
Connaissances conceptuelles	Définition de fonction	<p>la fonction n'est rien d'autre que deux grandeurs qui sont liées donc si l'une varie ça fait varier l'autre aussi, ils ont compris vraiment on a bien introduit la notion de la fonction numérique</p> <p>aux élèves de nous fournir des phrases dans lesquelles il y a le mot fonction au début ils avaient eu des difficultés mais par après ils ont compris de quoi il s'agissait donc, ils ont</p>	<p>Une fonction veut dire les chiffres qu'on devrait suivre</p> <p>Une fonction c'est une relation</p> <p>une fonction c'est un exercice pour trouver les valeurs de x (<i>c'est un exercice qui permet de trouver les valeurs de x</i>) [silence]</p> <p>Une fonction numérique est une</p>	<p>Les enseignants définissent la fonction numérique comme une relation entre deux grandeurs, Il ressort des entretiens que les réponses des élèves sont de trois catégories :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. similaire à celle des enseignants mais omettant un certain nombre de détails 2. Des réponses vagues 3. Aucun n'effort n'est fourni pour

		<p>commencé à donner des exemples du genre comme la moto fonctionne avec de l'essence, le ventilateur fonctionne avec de l'électricité,</p>	<p>fonction qui se pose numériquement à travers les nombres ou à travers une distribution donnée, donc une opposition donnée</p> <p>Ce n'est pas comme une opposition mais c'est comme une opération</p> <p>Une relation des données</p>	<p>répondre</p> <p>Ainsi, <i>les élèves interviewés ont tout au plus un niveau de compréhension modérée de la définition d'une fonction</i></p>
Fonctions de références	<p>Pour les élèves de la première tout ce <i>qu'ils ont besoin c'est ils ont besoin des prérequis sur les fonctions de références</i></p> <p>pour un élève de la terminale il a besoin de prérequis sur les fonctions numériques de façon générale. C'est-à-dire leurs représentations graphique, le sens de variation d'une fonction et autre</p>	<p>les fonctions rationnelles</p> <p>fonction affine</p> <p>fonction linéaire</p> <p>Fonction affine</p> <p>fonction numérique</p> <p>fonction polynôme</p>	<p>Selon les enseignants les élèves ont besoin des prérequis sur les fonctions de références.</p> <p>Il ressort des entretiens que les réponses des élèves sont :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. les élèves ont pu donner des exemples des fonctions numériques étudiés dans les classes antérieures mais le nombre est 	

			<p>fonction affine</p> <p>Un exemple d'une fonction affine [silence]</p> <p>$f(x) = 2x$ [hésitation] $2x + 3$</p>	<p>limité en nombre</p> <p>2. Aucun n'effort n'est fournis pour répondre</p> <p>Ainsi, <i>les élèves interviewés ont tout au plus un niveau de compréhension modérée des fonctions de références</i></p>
Propriétés des fonctions	<p>C'est qui a fait qu'on a eut des <i>difficultés même pour introduire</i> les notions puisque c'est des notions qui sont supposées être étudiées en seconde mais ils n'ont pas la base cette base-là,</p> <p>connaitre l'ensemble de définition des fonctions,</p> <p>les élèves de la terminale aussi [...], ils ont certes étudié les fonctions en première mais <i>ils n'ont pas</i></p>	<p>Pour les fonctions affines et linéaires, $f(x) = ax + b$</p> <p>Pour les fonctions linéaires est de forme de ax</p> <p>on a oublié</p> <p>Linéaire</p> <p>La fonction linéaire, la fonction affine</p>	<p>Les enseignants ont fait ressortir des problèmes de compréhension des connaissances antérieures chez les élèves des propriétés des fonctions qui causent des difficultés pour l'introduction des nouvelles notions. Il ressort des entretiens, que les élèves ont eu des difficultés pour énumérer les propriétés des fonctions étudiées antérieurement autres que des fonctions linéaires et affines.</p>	

		<p><i>fait une étude complète</i>, ils ont juste fait juste les généralités quelques notions élémentaires, <i>et même les notions élémentaires ce n'est pas toutes ces notions élémentaires</i> qu'ils ont sur les fonctions.</p> <p>Ils ont étudié certes les fonctions mais <i>ce n'est pas toutes les fonctions</i> qu'ils ont étudié, <i>c'est pas toutes les notions nécessaires qu'ils ont étudié.</i></p>	<p>Exemple d'une fonction affine</p> <p>On a un peu oublié</p>	<p>Ainsi, <i>les élèves interviewés ont tout au plus un niveau de compréhension modérée des propriétés des fonctions</i></p> <p><i>Ce qui témoigne des difficultés des élèves relatives aux notions requises pour l'apprentissage des fonctions</i></p>
<p>Les multiples représentations de fonctions</p>		<p>c'est en première qu'ils ont commencé à étudier la fonction c'est qui fait qu'on a eu des <i>difficultés de mettre en relief ce qu'ils ont fait en seconde et ce qu'ils ont fait en première</i></p>	<p>Bon en ce qui me concerne, on a vraiment, on a suivi et on a regardé l'image de cette application</p> <p>Bon moi mon cas j'ai compris le résultat, normalement si on a utilisé plusieurs fois, ça demande beaucoup d'utilisation pour comprendre, si on a utilisé une seul fois deux fois trois fois ça va...vraiment on a</p>	<p>Les enseignants ont fait ressortir des difficultés des élèves pour mettre en relief les connaissances antérieures sur fonctions numériques. Il ressort alors des entretiens avec les élèves que la plupart des interviewés ont énuméré uniquement les résultats graphiques obtenus.</p> <p>Ainsi, <i>les élèves</i></p>

			<p>utilisé une seul fois, deux fois mais à la maison on n'utilise pas Geogebra</p>	<p><i>interviewés ont tout au plus un niveau de compréhension faible de la mise en connexions des différents registres de représentation de la fonction.</i></p> <p><i>Ce qui témoigne du manque d'exploitation des différents registres de représentations des fonctions étudiées.</i></p>
	<p>Faire des conjonctures des résultats en utilisant les registres de représentations</p>	<p>voir lui-même comment se présentent les courbes de ces différentes fonctions et sur un intervalle bien précis être en mesure d'interpréter la position de ces fonctions de ces courbes tracées dans le repère.</p> <p>comprendre que lorsqu'une courbe est au dessus d'une autre veut dire que la fonction de la courbe là est supérieure à l'autre</p>	<p>J'ai participé mais je n'ai rien saisi</p>	<p>Les fait ressortir des difficultés d'adaptation des notions mathématiques ce qui freine le processus d'analyse et de l'interprétation les résultats issus des différents registres de représentations. En effet, il ressort des résultats des entretiens que les élèves ont eu des difficultés à faire la conjoncture des résultats obtenus.</p>

		<p>interpréter même les données c'est-à-dire des valeurs que les deux fonctions présentent dans un même intervalle, donc à partir de ces valeurs on peut comprendre.</p> <p>utilisation de la représentation graphique d'une fonction pour déterminer son sens de variation et tout ça</p> <p>ils ont un peu beaucoup plus <i>de difficultés à s'adapter aux notions même de fonctions</i> à plus forte raison étudier confortablement ces fonctions.</p>		<p>Ainsi, <i>les élèves interviewés n'ont pas montré un niveau de compréhension de faire des conjonctures des résultats en utilisant registres de représentation de la fonction</i></p> <p><i>Ce qui témoins des difficultés des élèves de notre expérimentation à faire des conjonctures des résultats obtenus sur les différentes interfaces de</i></p>
Connaissances procédurales	Représentation de la fonction à l'aide de Geogebra	<p>Les difficultés maintenant par rapport à <i>l'utilisation de Geogebra du logiciel ce que c'est des difficultés d'adaptation.</i> C'est un logiciel, d'abord comprenez que les élèves c'est n'est pas tous les élèves qui ont accès aux moyens technologiques. <i>Ce n'est pas tous les élèves</i></p>	En travaillant avec Geogebra nous voyons les différentes formes de la représentation graphique des différentes fonctions sur le repère.	Les enseignants ont fait ressortir des difficultés d'adaptation du logiciel par les élèves. Il ressort des entretiens que les élèves ont enregistré des difficultés d'utilisation de Geogebra en apprentissage même si

		<p><i>qui ont accès à ces matérielles maintenant même si on se procure ces matériels pour mettre à la disposition des élèves, ils ont besoin d'un préalable. Ils ont besoin à ce qu'on leurs apprenne ça ce qui ne fait pas parti du programme officiel du Niger.</i></p> <p><i>Ça ne fait pas parti du programme officiel maintenant ce qui fait que vous allez constater qu'il y a une difficulté même d'adaptation, l'utilisation même ca cause problème à plus forte raison utiliser l'application ou bien adapter le logiciel à un certain nombre de notions qui sont ... qui ne sont pas tout à fait vue dans les classes extérieures.</i></p> <p><i>En réalité, les difficultés qu'on constate dans</i></p>	<p>il n'y a pas de difficultés à travers des formules enregistrées on n'a pas de difficultés</p> <p>on arrive à comprendre grâce à cette application-là, <i>on a construit des images [référence à la courbe de fonction] à travers Geogebra donc on peut dire même que Geogebra nous a aidé beaucoup</i></p> <p><i>À travers Geogebra on arrive à construire des figures auxquels nous ne pouvons pas les construire carrément</i> car Geogebra nous facilite de les construire carrément</p> <p>On a eu des difficultés</p> <p>Par rapport à son</p>	<p>la plupart d'entre eux ont affirmé utiliser le logiciel pour représenter graphiquement les fonctions étudiées sans donnée des détails précis.</p> <p><i>Ainsi, les élèves interviewés ont tout au plus un niveau de compréhension modéré de la procédure d'utilisation de Geogebra</i></p> <p><i>Ce qui témoigne que l'adoption de l'apprentissage des fonctions avec Geogebra a été principalement influencée par la facilité d'utilisation perçue par des élèves. Une telle utilisation du logiciel n'est pas efficace puisse qu'elle ne permet pas aux élèves de faire la connexion entre les</i></p>
--	--	--	--	---

		<p><i>L'utilisation c'est du fait que non seulement que le logiciel est nouveau pour les élèves mais aussi la majeure partie des élèves n'ont pas accès aux moyens technologiques.</i></p>	<p>utilisation même</p> <p>Oui, il y a un peu de complication</p> <p>Je ne sais pas pour les autres, mais il y a aussi un manque de compréhension sur l'application</p> <p>Geogebra, donc le problème, ce n'est pas tout le monde qu'on a pu donc le comprendre et l'utiliser mais quand même on a un peu essayé mais ça va.</p> <p>Pour moi, je l'ai utilisé une seule fois, je vois elle va me faire perdre mon temps et je laisse</p> <p>Moi je n'ai pas utilisé Geogebra</p> <p>J'ai bien compris mais</p>	<p><i>différents registres de représentations du concept de fonction sur les différentes interfaces du logiciel.</i></p>
--	--	--	--	--

			<p>c'est par rapport à l'utilisation de Geogebra que je n'ai pas compris</p> <p>on nous a montré comment on l'utilise et on a trouvé notre formule, on a appliqué un repère, on a vu des points</p>	
Représentation de la fonction sur papier crayon	<p><i>la représentation graphique d'une fonction,</i></p> <p>savoir tracer les courbes des fonctions élémentaires</p> <p>tracer ces courbes et de préférence dans le même repère pour qu'il puisse</p> <p>les fonctions $f(x) = \frac{1}{x}$ c'est-à-dire fonction inverse, les fonctions racines carré de x ($f(x) = \sqrt{x}$) ou x au cube ($f(x) = x^3$) donc un élève doit être en mesure de tracer ces courbes</p>	<p>on peut représenter notre propre fonction sur un repère</p> <p><i>on a essayé mais on n'arrive pas à tout le faire comme sur Geogebra mais on a un peu essayé</i></p>	<p>Les enseignants ont fait ressortir que les élèves doivent savoir représenter les fonctions et principalement les fonctions élémentaires points par points. Il ressort des entretiens que les élèves affirment savoir représenter des fonctions mais pas avec une telle précision comme sur Geogebra</p> <p>Ainsi, <i>les élèves interviewés ont tout au plus un degré de compréhension modéré la représentation</i></p>	

				<i>graphique point par point</i>
	Résoudre algébriquement une fonction	les calculs des images que ça soit selon le registre graphique ou bien selon le registre numérique.		Ainsi, <i>les élèves interviewés n'ont pas montré un niveau de compréhension de résolution algébrique</i>
	Résoudre graphiquement une fonction			Ainsi, <i>les élèves interviewés n'ont pas montré un niveau de compréhension de résolution graphique</i>
	Déterminer la variation d'une fonction			Ainsi, <i>les élèves interviewés n'ont pas montré un niveau de compréhension de détermination de la variation d'une fonction</i>

2.3.3 Effet du potentiel du logiciel sur les performances des élèves

Question statistique 2.9: Il y a-t-il de différence significative des performances au départ entre les élèves des trois groupes classes?

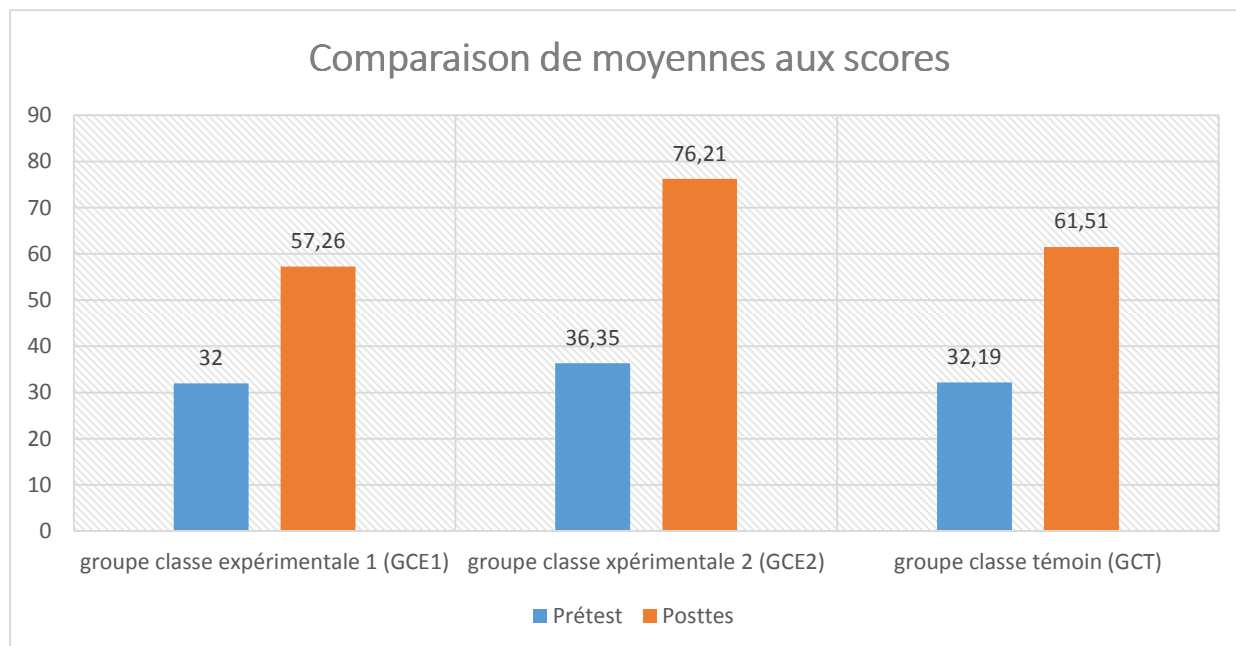


Figure 48: Comparaison de moyennes aux scores par groupe classe

Pour le groupe classe expérimental 1 (GCE1), la moyenne au prétest vaut 32, l'écart type 10.80 et coefficient de variation 0.34. Pour le groupe classe expérimental 2 (GCE2), la moyenne au prétest vaut 36.35, l'écart type 15.81 et coefficient de variation 0.43. Pour le groupe classe Témoin (GCE), la moyenne au prétest vaut 32.19, l'écart type 20.49 et coefficient de variation 0.64.

Tableau 52: Résultats de test H de Kruskal Wallis sur le prétest des trois groupes

Groupe	Nombre	Prétest			
		Moyenne	Ecart type	Khi 2	P (bilatérale)
Expérimental1	32	32	10.80	1.88	0.391
Expérimental2	34	36.35	15.81		
Témoin	36	32.19	20.49		

Le test de Shapiro avec SPSS 20 sur les données du posttest, donne les résultats :

- ✓ Pour le groupe expérimental 1 $S = 0.94$ et $p - value = 0.091 > 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est normalement constitué,

- ✓ Pour le groupe expérimental 2 $S = 0.94$ et $p - value = 0.044 < 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est anormalement constitué.
- ✓ Pour le groupe témoin $S = 0.96$ et $p - value = 0.244 > 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est normalement constitué.

Ses différents résultats ont conduit à appliquer le test Khi – deux de Kruskal Wallis sur le test préliminaire des deux groupes.

Le tableau 52 donne les résultats statistiques $Khi2 = 1.88$ et $p - value = 0.391 > 0.05$, ce qui indique que la différence de moyenne au score de deux groupes n'est pas significative. Ce résultat a montré que les trois groupes classes avaient obtenu des résultats similaires au test préliminaire. **Cependant, les moyennes obtenues par ses élèves sont en dessous de 50, valeur pour laquelle on considère que le groupe d'élèves a globalement atteint le seuil moyen sur 100 en termes de l'acquisition des connaissances sur le concept mathématique de fonction au cours de l'apprentissage.**

Question statistique 2.10 : Il y a t – il de différence significative des performances après les interventions entre les élèves des trois groupes classes?

Pour le groupe classe expérimental 1 (GCE1), la moyenne au prétest vaut 57.26, l'écart type 20.62 et coefficient de variation 0.44. Pour le groupe classe expérimental 2 (GCE2), la moyenne au prétest vaut 76.21, l'écart type 16.76 et coefficient de variation 0.34. Pour le groupe classe Témoin (GCE), la moyenne au prétest vaut 61.51, l'écart type 19.2 et coefficient de variation 0.31.

Tableau 53: Résultats de test H de Kruskal Wallis sur le posttest pour les trois groupes classes

Groupe	Nombre	Posttest			
		Moyenne	Ecart type	Khi 2	P (bilatérale)
Expérimental1	32	57.26	20.62	17.20	0.000
Expérimental2	34	76.21	16.76		
Témoin	36	61.51	19.2		

Le test de Shapiro avec SPSS 20 sur les données du posttest, donne les résultats :

- ✓ Pour le groupe expérimental 1 $S = 0.91$ et $p - value = 0.010 < 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est anormalement constitué,
- ✓ Pour le groupe expérimental 2 $S = 0.95$ et $p - value = 0.147 > 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est normalement constitué.
- ✓ Pour le groupe témoin $S = 0.91$ et $p - value = 0.007 < 0.05$. Ce qui amène à conclure que l'échantillon est anormalement constitué

Ses différents résultats ont conduit à appliquer le test Khi – deux de Kruskal Wallis sur le test préliminaire des deux groupes.

Le tableau 53 donne les résultats statistiques $Khi2 = 17.20$ et $p - value = 0.000 < 0.05$, ce qui indique que la différence de moyenne au score de deux groupes est significative. Ce résultat a montré que les trois groupes classes avaient obtenu des résultats similaires au test primaire. La comparaison des groupes classes deux à deux révèle que la différence de moyennes aux scores entre le groupe classe expérimental 1 et le groupe classe expérimentale 2 est statistiquement significative ($z = -4.139$ et $p = 0.000 < 0.05$), la différence de moyennes aux scores entre le groupe classe expérimental 2 et le groupe classe témoin est statistiquement significative ($z = -2.198$ et $p = 0.028 < 0.05$) toujours au profit du groupe expérimental 2.

Ces résultats révèlent que l'utilisation du potentiel du logiciel Geogebra a permis au groupe classe expérimental 2 de performer significativement en matière de scores comparativement aux deux autres groupes classes. Il ressort aussi de ces résultats que les moyennes obtenues par ses élèves sont au - dessus de 50, valeur pour laquelle on considère que le groupe d'élèves a globalement atteint le seuil moyen sur 100 en matière de l'acquisition des connaissances sur le concept mathématique de fonction au cours de l'apprentissage. Les élèves ayant mobilisé le potentiel du logiciel ont atteint le trois-quarts (3/4) du seuil maximal des connaissances requises selon les objectifs d'apprentissage du concept mathématique de fonctions.

Les gains bruts aux scores indiquent qu'il y a un progrès dans chaque groupe mais n'indiquent pas si cette progression en matière d'apprentissage est significative. Ce qui conduit à calculer les gains relatifs.

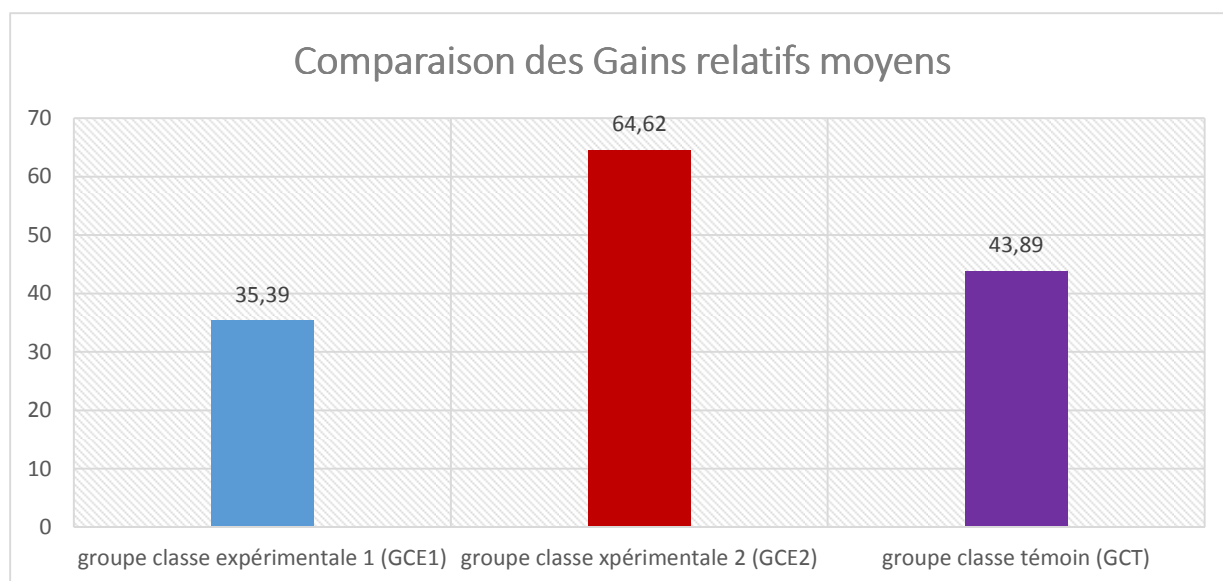


Figure 49: Comparaison des gains relatifs moyens par groupe classe

Pour le groupe classe expérimental 1 (GCE1), le gain relatif moyen vaut 35,39 et l'écart type 26,23. Pour le groupe classe expérimental 2 (GCE2), le gain relatif moyen vaut 64,62 et l'écart type 23,44. Pour le groupe classe Témoin (GCE), le gain relatif moyen vaut 43,89 et l'écart type 35,42.

Tableau 54: Résultats du test H de Kruskal Wallis sur les gains relatifs pour les trois groupes classes

Groupe	Nombre	Gains relatifs aux scores			
		Moyenne	Ecart type	Khi2	p
Expérimental1	31	35.39	26.23	18.72	0.000
Expérimental2	34	64.62	23.44		
Témoin	36	43.89	35.42		

À la lecture du **tableau 54** observons que la moyenne des gains relatifs des performances en apprentissage du concept mathématique de fonctions pour le groupe classe expérimental 1 (GCE1) est de 35.39 donc les élèves n'ont atteint que le un tiers de l'évolution possible, pour le groupe classe expérimental 2 (GCE2) est de 64.62 donc les élèves ont atteint les deux tiers de l'évolution possible et pour le groupe classe témoin (GCT) est de 43.89 donc les élèves ont atteint les deux cinquièmes de l'évolution possible. Ces résultats du gain relatif sont tous supérieurs au seuil minimal pour lequel on considère il y a eu un progrès significatif de l'apprentissage (D'Hainaut, 1975). Ce résultat a montré que les élèves des trois groupes

classes avaient significativement progressé au cours de l'apprentissage du concept mathématique. .

Le tableau 54 donne les résultats statistiques $Khi2 = 18.72$ et $p - value = 0.000 < 0.05$, ce qui indique que la différence de gain relatif au score de trois groupes est significative. La comparaison des groupes classes deux à deux révèle que la différence de moyennes de Gains relatifs aux scores entre le groupe classe expérimental 1 et le groupe classe expérimental 2 est statistiquement significative ($z = -4.39$ et $p = 0.000 < 0.05$), la différence de moyennes aux scores entre le groupe classe expérimental 2 et le groupe classe témoin est statistiquement significative ($z = -2.61$ et $p = 0.009 < 0.05$) toujours au profit du groupe expérimental 2. Ce qui signifie que la différence de progression en terme d'apprentissage entre les trois classes est significative et elle est au profit des élèves ayant maîtrisé les fonctionnalités de Geogebra pour l'apprentissage de mathématique.

L'analyse des corrélations entre prétest et gain relatif montre que les résultats sont négatifs et significatifs dans les groupes classe expérimentale 1 ($r = -0.49$ et $p = 0.010 < 0.05$) et le groupe classe témoin de terminale ($r = -0.41$ et $p = 0.013 < 0.05$) alors qu'il est seulement positif dans le groupe classe expérimentale 2 ($r = 0.098$ et $p = 0.581 > 0.05$). Dans les groupes classes expérimentaux 1 et témoin, les résultats indiquent que l'apprentissage des fonctions a permis de faire progresser les élèves les plus faibles au départ. Alors que celui du groupe expérimentale 2 indique que l'apprentissage du concept de fonction avec le numérique a permis de faire progresser les élèves quel que soit leur niveau de départ.

Tableau 55: corrélation entre prétest et le gain relatif pour les trois groupes classes

Groupe	Nombre	r	p
Groupe classe expérimentale 1 (GCE1)	31	-0.49**	0.010
Groupe classe expérimentale 2 (GCE2)	34	0.098	0.581
Groupe classe Témoin (GCT)	36	-0.41**	0.013

En résumé ces résultats révèlent que les élèves utilisant le potentiel de Geogebra ont fortement et significativement progressé au cours de l'apprentissage du concept mathématique de fonctions comparativement aux autres dispositifs d'apprentissage. Ce

qui indique que les performances des élèves mesurées en termes de progression sont significativement influencées par l'utilisation du potentiel du logiciel de mathématiques réalisé au cours de l'apprentissage du concept mathématique et que le dispositif d'apprentissage a permis de faire progresser l'ensemble des élèves.

Les résultats de l'analyse des activités d'apprentissage du concept mathématique de fonction des élèves dans l'environnement Geogebra à travers les tâches instrumentés et des tâches mathématiques ont révélé que les élèves ayant maîtrisé les fonctionnalités de Geogebra avant l'intervention pédagogique n'ont pas rencontré beaucoup des problèmes d'appropriation à temps du logiciel pour réaliser les tâches instrumentées et les tâches mathématiques au cours de réalisations des activités et des sous-activités liées aux représentations algébrique, graphique ou numérique et faire les conjonctures des résultats par visualisations sur les interfaces de Geogebra. Ses élèves ont appris avant l'intervention pédagogique, les fonctionnalités de Geogebra à partir des séances d'initiation caractérisées des techniques de manipulation des commandes du logiciel dans les différentes interfaces avec des tâches de construction des graphiques. La structuration de l'environnement d'apprentissage avec la maîtrise des fonctionnalités de Geogebra a permis à ses élèves de progresser significativement au cours de leur apprentissage du concept de fonction.

Ce résultat confirme notre hypothèse nulle selon laquelle, l'utilisation du potentiel de Geogebra en apprentissage des fonctions améliore significativement les performances des élèves.

Tableau 56: Comparaison des moyennes au prétest et posttest pour les trois groupes classes

Groupe		Nomb re	Prétest			Posttest			Variati on des moyen nes	Taux de variatio n
			Moy enne	Ecart type	Coef .V.	Moye nne	Ecart type	Coef. V.		
Expérimental	GCE1	31	32	10.80	0.34	57.26	20.62	0.44	+25.26	78.94%
	GCE2	34	36.35	15.81	0.43	76.21	16.76	0.34	+39.86	109.7%
Témoin	GCT	36	32.19	20.49	0.64	61.51	19.2	0.31	+29.32	91.08%

2.4 Analyse des résultats des pratiques des enseignants en rapport avec l'apprentissage des élèves

Question de recherche 3: L'utilisation du logiciel Geogebra par l'enseignant améliore-t-elle la performance des élèves du secondaire moyen en l'apprentissage des fonctions numériques?

2.4.1 Effet de l'enseignant mobilisant Geogebra

Question statistique 3.1 : Quel est l'effet de l'enseignant mobilisant Geogebra sur les performances des élèves?

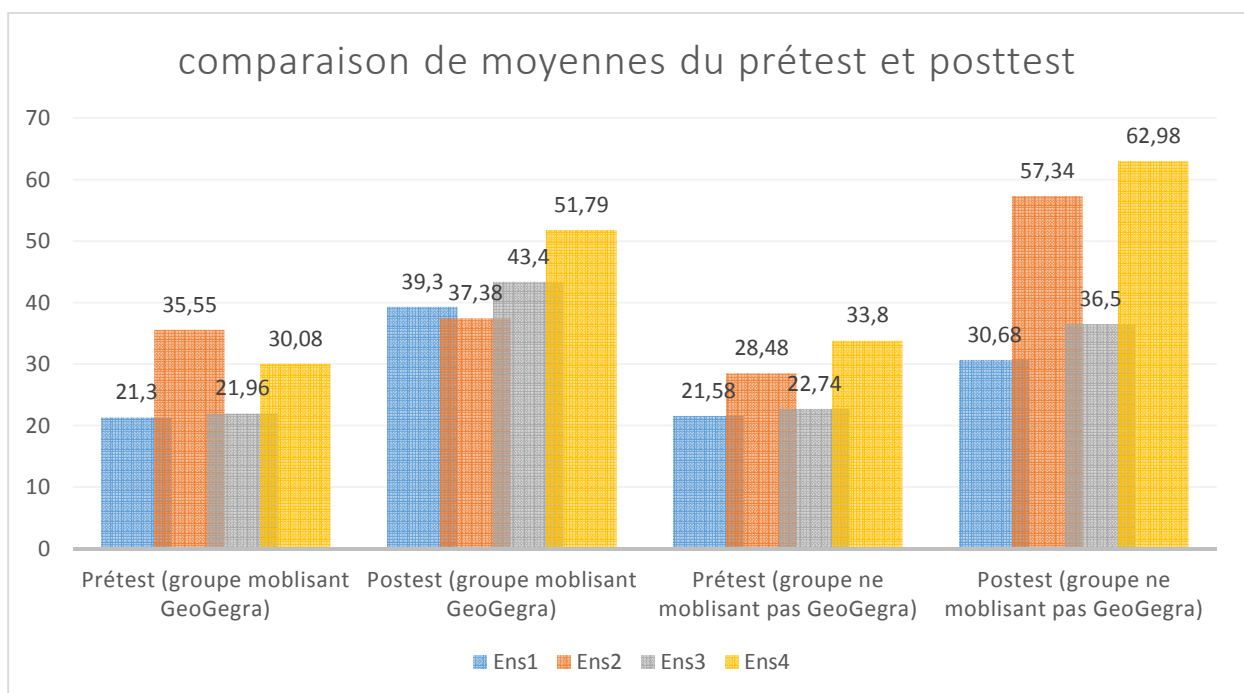


Figure 50: comparaison de moyennes aux prétests et posttests

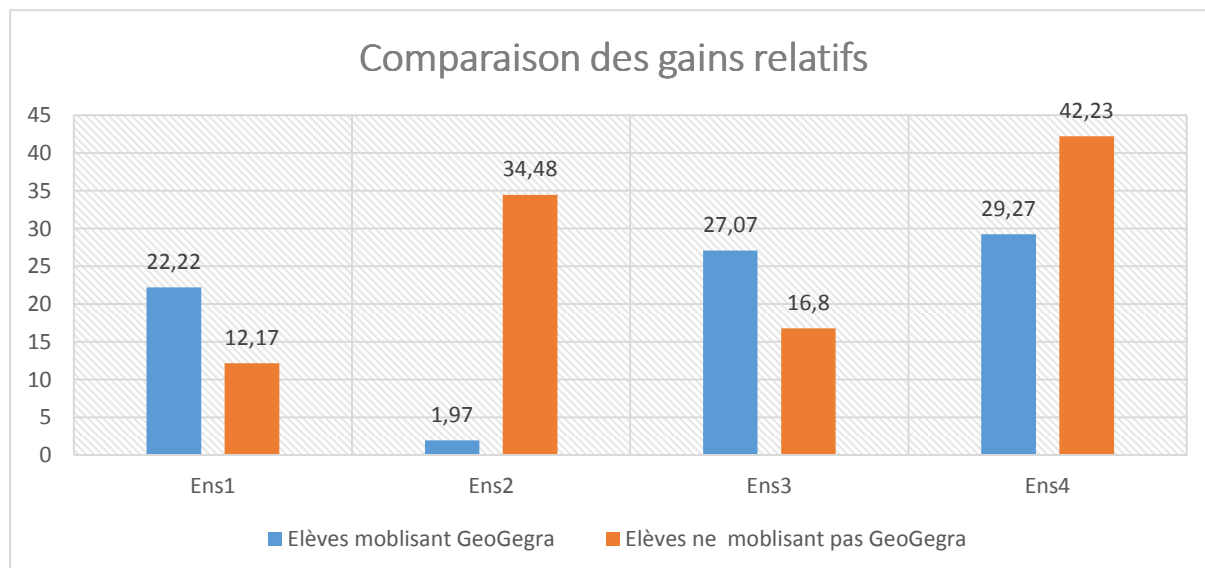


Figure 51: comparaison de gains relatifs moyens des deux groupes par enseignant

Tableau 57: Présentation des résultats des gains relatifs par enseignant

Groupe	Enseignant	Nombre	Prétest		Posttest		Gain relatif moyen
			Moyenne	CV	Moyenne	CV	
Expérimental*	Ens1	63	21.30	76.95	39.30	50.81	22.22
	Ens2	29	35.55	41.83	37.38	46.76	1.97
	Ens3	45	21.96	54.46	43.40	36.34	27.07
	Ens4	52	30.08	62.03	51.79	39.72	29.27
Témoins**	Ens1	66	21.58	81.97	30.68	67.70	12.17
	Ens2	23	28.48	69.98	57.34	20.69	34.48*
	Ens3	46	22.74	42.66	36.50	42.36	16.80
	Ens4	61	33.80	69.41	62.98	33.19	42.23*

Le **tableau 57** indique que, les élèves du groupe expérimental et les élèves du groupe témoin tenus par le même enseignant Ens1 ont eu les moyennes aux prétests et aux posttests respectifs de 21.30 et 39.30 et de 21.58 et 30.68. Ces résultats indiquent que les élèves de ces deux groupes ont eu des moyennes élevées qu'avant la séance de cours avec ou sans

Geogebra. Ce qui signifie que les élèves utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle et les élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle tenue par l'enseignant Ens1 ont amélioré leurs compétences quant aux résultats d'apprentissage visés par la séquence de cours avec ou sans Geogebra.

Les valeurs des CV dans le groupe expérimental et le groupe témoin tenus par ce même enseignant Ens1 sont respectivement aux prétests de 76.95% et 81% et aux posttests de 50.81% et 67.70%. Les valeurs des CV dans les deux cas sont supérieures à 0.15 (15%), ce qui amène à conclure que l'hétérogénéité entre les apprenants d'une même classe est importante que ça soit avant ou après la séquence du cours sur les fonctions numériques d'une variable réelle. Les mesures des CV aux posttests sont inférieures à celles des prétests dans les deux cas. Ce qui signifie que les séquences de cours avec ou sans Geogebra de l'enseignant Ens1 ont permis de réduire la dispersion entre le prétest et le posttest dans les deux cas. Il y a donc eu une tendance vers l'équilibre de compétences en mathématiques entre les élèves au terme de l'apprentissage même si l'apprentissage n'a pas eu un effet d'équité dans les deux cas. En plus la différence entre les mesures des CV avant et après la séquence des cours dans le groupe expérimental est de 26.14% alors que dans groupe témoin elle est 13.3%. Ce qui signifie que l'enseignement de l'enseignant Ens1 avec Geogebra a permis de réduire de 26% la disparité qui existe au départ entre les élèves de cette classe alors que l'enseignement de ce même enseignant a permis de réduire de 13% la disparité qui existe au départ entre les élèves de cette classe. *Ces résultats indiquent que l'enseignement avec Geogebra de l'enseignant Ens1 a contribué à un partage des compétences du contenu du cours sur le concept mathématique de fonctions. La comparaison des deux méthodes d'enseignement de cet enseignant Ens1, montre que son l'enseignement sans Geogebra a plus contribué au partage de compétences chez les élèves même si les deux méthodes d'enseignement n'ont pas permis de faire progresser significativement les élèves vers les maîtrises des compétences (gain relatif inférieur à 30%).*

Les élèves du groupe expérimental et les élèves du groupe témoin tenus par le même enseignant Ens2 ont eu les moyennes aux prétests et aux posttests respectifs de 35.55 et 28.48 et de 37.38 et 57.34. Ces résultats indiquent que les élèves de ces deux groupes ont eu des moyennes élevées qu'avant la séance de cours avec ou sans Geogebra. Ce qui signifie que les élèves utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle et les élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle tenus par l'enseignant Ens2 ont amélioré leurs compétences quant aux résultats d'apprentissage visés par la séquence de cours avec ou sans Geogebra.

Les valeurs des CV dans le groupe expérimental et le groupe témoin tenus par ce même enseignant Ens2 sont respectivement aux prétests de 41.83% et 69.98% et aux posttests de 46.76% et 20.69. Les valeurs des CV dans les deux cas sont supérieures à 0.15 (15%), ce qui amène à conclure que l'hétérogénéité entre les apprenants d'une même classe est importante que ça soit avant ou après la séquence du cours sur les fonctions numériques d'une variable réelle. Néanmoins, la mesure de CV au posttest est inférieure à celui du prétest dans le groupe expérimental ce qui n'est pas le cas du groupe témoins. Ce qui signifie que la séquence de cours avec Geogebra de l'enseignant Ens2 n'a pas permis de réduire la dispersion entre le prétest et le posttest alors que la séquence de cours sans Geogebra a permis de réduire cette disparité. Donc Il y a eu une tendance vers l'équilibre de compétences en mathématiques entre les élèves au terme de l'apprentissage pour les élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle alors que l'utilisation de Geogebra a permis d'augmenter la dispersion de compétences entre les élèves de cette classe. Ce qui signifie que l'enseignement avec Geogebra de l'enseignant Ens2 n'a pas contribué à un partage des compétences en mathématiques du contenu du cours pour les élèves. ***Ces résultats indiquent que l'enseignement avec Geogebra de l'enseignant Ens2 n'a pas du tout contribué à un partage des compétences du contenu du cours sur le concept mathématique de fonctions comparativement à l'enseignement sans Geogebra de ce même enseignant. En plus seul l'enseignement traditionnel de l'enseignant Ens2 a permis de faire progresser significativement les élèves vers les maîtrises des compétences (Gain relatif supérieur à 30%).***

Les élèves du groupe expérimental et les élèves du groupe témoin tenus par le même enseignant Ens3 ont eu les moyennes aux prétests et aux posttests respectifs de 21.96 et 22.7 et de 43.40 et 36.50. Ces résultats indiquent que les élèves de ces deux groupes ont eu des moyennes élevées qu'avant la séance de cours avec ou sans Geogebra. Ce qui signifie que les élèves utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle et les élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle tenus par l'enseignant Ens3 ont amélioré leurs compétences quant aux résultats d'apprentissage visés par la séquence de cours avec ou sans Geogebra.

Les valeurs des CV dans le groupe expérimental et le groupe témoin tenus par ce même enseignant Ens1 sont respectivement aux prétests de 54.46% et 42.66% et aux posttests de 36.34% et 42.36%. Les valeurs des CV dans les deux cas sont supérieures à 0.15 (15%), ce qui amène à conclure que l'hétérogénéité entre les apprenants d'une même classe est importante que ça soit avant ou après la séquence du cours sur les fonctions numériques d'une

variable réelle. Les mesures des CV aux posttests sont inférieures à ceux des prétests dans les deux cas. Ce qui signifie que les séquences de cours avec ou sans Geogebra de l'enseignant Ens1 ont permis de réduire la dispersion entre le prétest et le posttest dans les deux cas. Il y a donc eu une tendance vers l'équilibre de compétences en mathématiques entre les élèves au terme de l'apprentissage même si l'apprentissage n'a pas eu un effet d'équité dans les deux cas. En plus la différence entre les mesures des CV avant et après la séquence des cours dans le groupe expérimental est de 18.12% alors que dans groupe témoin elle est 0.3%. Ce qui signifie que l'enseignement de l'enseignant Ens1 avec Geogebra a permis de réduire de 18.12% la disparité qui existe au départ entre les élèves de cette classe alors que l'enseignement traditionnel de ce même enseignant a permis de réduire de 0.3% la disparité qui existe au départ entre les élèves de cette classe. *Ces résultats indiquent que l'enseignement avec Geogebra de l'enseignant Ens3 a contribué à un partage des compétences du contenu du cours sur le concept mathématique de fonctions. La comparaison des deux méthodes d'enseignement de cet enseignant Ens3, montre que l'enseignement avec Geogebra a plus contribué au partage de compétences chez les élèves même si les deux méthodes d'enseignement n'ont pas permis de faire progresser significativement les élèves vers les maîtrises des compétences (gain relatif inférieur à 30%).*

Les élèves du groupe expérimental et les élèves du groupe témoin tenus par le même enseignant Ens4 ont eu les moyennes aux prétests et aux posttests respectifs de 30.08 et 33.80 et de 51.79 et 62.98. Ces résultats indiquent que les élèves de ces deux groupes ont eu des moyennes élevées qu'avant la séance de cours avec ou sans Geogebra. Ce qui signifie que les élèves utilisant la méthode d'apprentissage nouvelle et les élèves utilisant la méthode d'apprentissage traditionnelle tenue par l'enseignant Ens4 ont amélioré leurs compétences quant aux résultats d'apprentissage visés par la séquence de cours avec ou sans Geogebra.

Les valeurs des CV dans le groupe expérimental et le groupe témoin tenus par ce même enseignant Ens4 sont respectivement aux prétests de 62.03% et 69.41% et aux posttests de 39.72% et 33.19%. Les valeurs des CV dans les deux cas sont supérieures à 0.15 (15%), ce qui amène à conclure que l'hétérogénéité entre les apprenants d'une même classe est importante que ça soit avant ou après la séquence du cours sur les fonctions numériques d'une variable réelle. Les mesures des CV aux posttests sont inférieures à ceux des prétests dans les deux cas. Ce qui signifie que les séquences de cours avec ou sans Geogebra de l'enseignant Ens4 ont permis de réduire la dispersion entre le prétest et le posttest dans les deux cas. Il y a

donc eu une tendance vers l'équilibre de compétences en mathématiques entre les élèves au terme de l'apprentissage même si l'apprentissage n'a pas eu un effet d'équité dans les deux cas. En plus la différence entre les mesures des CV avant et après la séquence des cours dans le groupe expérimental est de 22.31% alors que dans groupe témoin elle est 36.12%. Ce qui signifie que l'enseignement de l'enseignant Ens3 avec Geogebra a permis de réduire de 22% la disparité qui existe au départ entre les élèves de cette classe alors que l'enseignement traditionnel de ce même enseignant a permis de réduire de 36.12% la disparité qui existe au départ entre les élèves de cette classe. *Ces résultats indiquent que l'enseignement avec Geogebra de l'enseignant Ens4 a contribué à un partage des compétences du contenu du cours sur le concept mathématique de fonctions. La comparaison des deux méthodes d'enseignement de cet enseignant Ens4, montre que l'enseignement traditionnel a plus contribué au partage de compétences chez les élèves et que cette méthode d'enseignement a en plus permis de faire progresser significativement les élèves vers les maîtrises des compétences (gain relatif supérieur à 30%).*

2.4.2 Effet de l'intervention pédagogique de l'enseignant

Question statistique 3.2 : Quel est l'effet de l'intervention pédagogique de l'enseignant mobilisant Geogebra sur la progression des élèves?

L'analyse des pratiques enseignantes mobilisant le logiciel en situation de classe à travers l'observation a posteriori et de comparer avec le scénario d'apprentissage.

Tableau 58: Fréquences d'occupation d'espace et de communication orale des enseignants

Fréquences		Classes Expérimentale				Classes témoins			
		Ens1	Ens2	Ens3	Ens4	Ens1	Ens2	Ens3	Ens4
Occupation de l'espace	Le professeur est proche du tableau	24	50	16	50	25,92	41,66	22,58	8,70
	Le professeur est parmi les élèves	36	40	48	40	37,04	29,17	38,71	52,17
	Le professeur marche aisément	40	10	36	10	37,04	29,17	38,71	39,13
Communication orale	Formule des attentes et du sens des tâches à réaliser	19,36	4,76	2,70	4,76	26,92	15,91	21,95	32
	Donne des explications	32,25	38,10	32,43	38,10	30,77	27,27	29,27	40
	Pose des questions	29,03	14,29	10,81	14,29	11,54	20,45	21,95	12
	Répond aux questions	0	23,81	32,43	23,81	11,54	20,45	14,63	8
	Reprend les propos de l'élève	9,68	9,52	5,41	9,52	7,69	6,83	9,76	0

	Fait la discipline	9,68	9,52	16,22	9,52	11,54	9,09	2,44	8
Gain relatif moyen		22.22	1.97	27.07	29.27	12.17	34.48*	16.80	42.23*

À la lecture du **tableau 58**, il ressort des stratégies d'interactions mises en œuvre par les enseignants dans les deux environnements d'apprentissage et plus particulièrement les fréquences d'observation des comportements d'occupation de l'espace d'apprentissage et des formes de communications orales de l'enseignant dans la classe, les résultats suivants:

Le cas de l'enseignant Ens1

Pour ce qui est des pratiques enseignantes de l'enseignant Ens1, les résultats de l'observation des situations de classe de seconde littéraire indiquent qu'au cours du processus d'enseignement du concept mathématique des fonctions mobilisant le logiciel Geogebra 24% de temps l'enseignant Ens1 était resté auprès du tableau, 36% du temps il était parmi les élèves et 40% il marchait aisément dans la classe. Les résultats indiquent également que 32,25% de sa communication a porté sur la formulation des attentes, du sens des tâches qu'apprenants doivent réaliser et les explications des consignes, des concepts mathématiques pour que les élèves puissent comprendre le contenu du cours, 38,71% restant de sa communication a porté les questions, les réponses aux questions des élèves et la reprise de leur propos et les 9,68% pour faire la discipline aux élèves.

Les tableaux 59 et 60 ont montré que le croisement entre le nombre d'occurrences observé au cours des interventions de l'enseignant Ens1 dans les deux modalités d'apprentissage ne montre pas une différence significative que ça soit pour l'occupation de l'espace ($t = -2$ et $p = 0,184 > 0,05$) ou pour la communication orale ($t = 0,67$ et $p = 0,534 > 0,05$).

Globalement, l'analyse de ses résultats de l'observation des activités de l'enseignant Ens1 montre qu'il a passé plus de temps aux tableaux pour poser des questions, répondre aux questions des élèves et pour reprendre les propos des élèves. Les observations du déroulement ont montré que cet enseignant a cherché avant son intervention à structurer les élèves en groupe en désignant un président et un rapporteur. Dans un premier temps les élèves sont dans des cercles composés par les membres de chaque groupe pour suivre l'énoncé des objectifs de la leçon et les consignes. Puis, les élèves travaillent en groupe, en suite des rapporteurs des groupes volontaires apporter la correction de l'exercice au tableau. Durant cette séquence, il ressort que l'enseignant a cherché à adopter le contenu de cours avec des exemples de la vie courante mais n'a pas fait preuve de la maîtrise de sa

matière. Il a cherché durant toute cette séquence de cours à jouer le rôle de facilitateur d'apprentissage de ses élèves par une méthode de question/réponse que ça soit pendant le travail individuel ou celui du groupe et pendant la synthèse. Un tel comportement d'enseignement amène à conclure que l'enseignant Ens1 a utilisé durant cette séquence de cours un style pédagogique centré sur les apprenants.

La comparaison des comportements d'enseignement de cet enseignant Ens1, montre que son style pédagogique avec Geogebra n'a pas presque pas du tout permis aux élèves de progresser vers les maîtrises des compétences mathématiques sur les fonctions numériques (gain relatif inférieur à 30%). Comparativement aux trois autres enseignants, ce sont ses élèves qui ont le moins progressé en matière de performance au cours de l'apprentissage avec Geogebra.

Le cas de l'enseignant Ens2

Pour ce qui est des pratiques enseignantes de l'enseignant Ens2, les résultats de l'observation des situations de classe de première littéraire indiquent qu'au cours du processus d'enseignement du concept mathématique des fonctions mobilisant le logiciel Geogebra 50% de temps, l'enseignant Ens2 était resté auprès du tableau, 40% du temps il était parmi les élèves et 10% il marchait aisément dans la classe. Les résultats indiquent également que 42,86% de sa communication a porté sur la formulation des attentes, du sens des tâches que les apprenants doivent réaliser et les explications des consignes, des concepts mathématiques pour que les élèves puissent comprendre le contenu du cours, 47,62% restant de sa communication a porté les questions, les réponses aux questions des élèves et la reprise de leur propos et les 9,52% pour faire la discipline aux élèves.

Les tableaux 59 et 60 ont montré que le croisement entre le nombre d'occurrences observé au cours des interventions de l'enseignant Ens1 dans les deux modalités d'apprentissage montre une différence significative que ça soit pour l'occupation de l'espace ($t = -5,29$ et $p = 0,034 < 0,05$) ou pour la communication orale ($t = * 4.6$ et $p = 0,006 < 0,05$).

Globalement, l'analyse de ses résultats de l'observation des activités de l'enseignant Ens2 montre qu'il a passé la moitié de temps aux tableaux pour poser des questions, répondre aux questions des élèves et pour reprendre les propos des élèves. Les observations du déroulement ont montré que cet enseignant a cherché avant son intervention à structurer les élèves en groupe en désignant un président et un rapporteur. Dans un

premier temps les élèves sont dans des cercles composés par les membres de chaque groupe pour suivre l'énoncé des objectifs de la leçon et les consignes. Puis, les élèves travaillent en groupe, en suite des rapporteurs des groupes volontaires apporter la correction de l'exercice au tableau. Durant cette séquence, il ressort que l'enseignant a cherché à adopter le contenu de cours avec des exemples de la vie courante mais n'a pas fait preuve de la maîtrise de sa matière. Il a cherché durant toute cette séquence de cours à jouer le rôle s'attachant aux connaissances à acquérir au cours de l'apprentissage par ses élèves que ça soit pendant le travail individuel ou celui du groupe et pendant la synthèse malgré les.. Un tel comportement d'enseignement amène à conclure que l'enseignant Ens2 a utilisé durant cette séquence de cours un style pédagogique centré sur le contenu.

La comparaison des comportements d'enseignement de cet enseignant Ens2, montre que son style pédagogique avec Geogebra n'a pas contribué à faire progresser significativement ses élèves vers les maîtrises des compétences mathématiques sur les fonctions numériques (gain relatif inférieur à 30%).

Le cas de l'enseignant Ens3

Pour ce qui est des pratiques enseignantes de l'enseignant Ens3, les résultats de l'observation des situations de classe de première littéraire indiquent qu'au cours du processus d'enseignement du concept mathématique des fonctions mobilisant le logiciel Geogebra 16% de temps l'enseignant Ens3 était resté auprès du tableau, 48% du temps il était parmi les élèves et 36% il marchait aisément dans la classe. Les résultats indiquent également que 35,04% de sa communication a porté sur la formulation des attentes, du sens des tâches que les apprenants doivent réaliser et les explications des consignes, des concepts mathématiques pour que les élèves puissent comprendre le contenu du cours, 48,56% restant de sa communication a porté les questions, les réponses aux questions des élèves et la reprise de leur propos et les 16,22% pour faire la discipline aux élèves.

Les tableaux 59 et 60 ont montré que le croisement entre le nombre d'occurrences observé au cours des interventions de l'enseignant Ens1 dans les deux modalités d'apprentissage ne montre pas une différence significative que ça soit pour l'occupation de l'espace ($t = -2$ et $p = 0,184 > 0,05$) ou pour la communication orale ($t = -0.30$ et $p = 0,779 > 0,05$).

Globalement, l'analyse de ses résultats de l'observation des activités de l'enseignant Ens3 montre qu'il a passé plus de temps parmi les élèves pour poser des questions,

répondre aux questions des élèves, reprendre les propos des élèves et aussi faire la discipline en attirant l'attention des élèves. Les observations du déroulement ont montré que cet enseignant a cherché avant son intervention à structurer les élèves en groupe en désignant un président et un rapporteur. Il a cherché durant toute cette séquence de cours à jouer le rôle de facilitateur d'apprentissage de ses élèves que ça soit pendant le travail individuel ou celui du groupe et pendant la synthèse. Un tel comportement d'enseignement amène à conclure que l'enseignant Ens3 a utilisé durant cette séquence de cours un style pédagogique centré sur les apprenants.

La comparaison des comportements d'enseignement de cet enseignant Ens3, montre que son approche pédagogique avec Geogebra a contribué à faire progresser ses élèves vers les maîtrises des compétences mathématiques sur les fonctions numériques (gain relatif inférieur à 30%). En plus son approche pédagogique permise à ses élèves de plus progressés comparativement aux approches des trois autres enseignants. Ces résultats ont montré également que l'introduction de Geogebra a été un facteur perturbateur des pratiques enseignantes de cet enseignant comparativement à sa pratique traditionnelle.

Le cas de l'enseignant Ens4

Pour ce qui est des pratiques de l'enseignant Ens4, les résultats de l'observation des situations de classe de première littéraire indiquent qu'au cours du processus d'enseignement du concept mathématique des fonctions mobilisant le logiciel Geogebra 50% de temps de cette séquence du cours il était resté auprès du tableau, 40% du temps il était parmi les élèves et 10% il marchait aisément dans la classe. Les résultats indiquent également que 42,86% de sa communication a porté sur la formulation des attentes, du sens des tâches que les apprenants doivent réaliser et les explications des consignes, des concepts mathématiques pour que les élèves puissent comprendre le contenu du cours, le 47,62% restant de sa communication a porté les questions, les réponses aux questions des élèves et la reprise de leur propos et les 9,52% pour faire la discipline aux élèves.

Les tableaux 59 et 60 ont montré que le croisement entre le nombre d'occurrences observé au cours des interventions de l'enseignant Ens1 dans les deux modalités d'apprentissage ne montre pas une différence significative que ça soit pour l'occupation de l'espace ($t = -1,18$ et $p = 0,359 > 0,05$) ou pour la communication orale ($t = -0,46$ et $p = 0,666 > 0,05$).

Globalement, l'analyse de ses résultats de l'observation des activités enseignantes en situation de classes montre que l'enseignant Ens4 a passé la moitié de temps vers le tableau pour donner des explications et auprès des élèves pour les guider à faire les tâches afin qu'ils puissent réaliser les tâches demandées avec le logiciel Geogebra et pour faire la synthèse de l'activité. Les observations du déroulement ont montré que cet enseignant a cherché durant toute cette séance à structurer ses élèves, dans un premier temps les élèves font face au tableau pour suivre l'énoncé des objectifs de la leçon, les consignes et puis une brève introduction de la prise en main du logiciel Geogebra. Puis, il a reparti les élèves en groupe de travail, ensuite il a fait passer un élève volontaire pour apporter la correction de l'exercice. Durant cette séquence, il ressort également que l'enseignant a cherché à adopter le contenu de cours et son langage au niveau de ses élèves et a fait preuve de la maîtrise de sa matière. Un tel comportement d'enseignement amène à conclure que l'enseignant Ens4 a utilisé durant cette séquence un style pédagogique centré à la fois sur le contenu de la matière et sur les élèves.

La comparaison des comportements d'enseignement de cet enseignant Ens4, montre que son style pédagogique avec Geogebra n'a pas contribué à faire progresser significativement ses élèves vers les maîtrises des compétences mathématiques sur les fonctions numériques (gain relatif inférieur à 30%). Ces résultats ont montré également que l'introduction de Geogebra a été un facteur perturbateur des pratiques enseignantes de cet enseignant comparativement à sa pratique traditionnelle.

En résumé, les observations des pratiques enseignantes dans l'environnement Geogebra ont montré que ces quatre enseignants ont cherché à prendre en compte l'activité d'apprentissage de leurs élèves dans leur organisation de la classe mais le déroulement à montrer une adaptation des stratégies et méthodes différentes pour chaque enseignant. Le croisement de ces données avec les observations des pratiques enseignantes dans l'environnement traditionnel ne montre pas globalement de différence significative lorsqu'un enseignant intervient dans les deux environnements d'apprentissage. Ce qui révèle que les quatre enseignants se sont inspirés de leurs pratiques pédagogiques traditionnelles aux cours l'enseignement avec le Geogebra et ce qui peut donc justifier que globalement les interventions de ces enseignants n'ont pas permis aux élèves de significativement progresser au cours de l'apprentissage. En plus, le croisement des données des observations des pratiques enseignantes dans l'environnement numérique de ces quatre enseignants avec les résultats des gains

relatifs moyen de leurs élèves, ne montre pas une progression significative chez ces derniers pour la maîtrise des compétences. Mieux ces résultats ont montré que l'introduction de Geogebra peut être un facteur de perturbation des pratiques enseignantes comparativement à aux pratiques traditionnelles.

Tableau 59: Comparaison de la différence de nombre d'occurrence d'occupation de l'espace par l'enseignant dans les deux modalités

Occupation de l'espace		N	moyenne	Ecart-type	t	p
Ens1	CE	25	8,33	2,08	-2,00	0,184
	CT	27	9	1,73		
Ens2	CE	10	3,33	2,08	-5,29	0,034
	CT	24	8	1,73		
Ens3	CE	21	8,33	4,04	-2,00	0,184
	CT	31	10,33	2,88		
Ens4	CE	10	3,33	2,08	-1,18	0,359
	CT	23	7,67	5,13		

Le tableau 59 reprend en compte le nombre d'observations d'occupation de l'espace par l'enseignant au cours de l'apprentissage des élèves en fonction de deux groupes classes dans lesquels il est intervenu lors de l'expérimentation. Les résultats ont révélé qu'il n'y a pas de différence significative de comportement d'occupation de classe par l'enseignant dans les deux environnements d'apprentissage à l'exception de l'enseignant Ens2. Ce qui signifie que globalement les enseignants ont adapté le même comportement d'occupation d'espace traditionnel au cours du processus d'apprentissage des élèves avec Geogebra.

Tableau 60: Comparaison de la différence de nombre d'occurrences de communication orale par l'enseignant dans les deux modalités

Communication orale		N	moyenne	Ecart-type	t	p
Ens1	CE	31	5,17	3,87	0,67	0,534
	CT	26	4,33	2,50		
Ens2	CE	21	3,50	2,59	-4,60	0,006
	CT	44	7,33	3,39		
Ens3	CE	37	6,17	4,83	-0,30	0,779
	CT	41	6,83	3,97		
Ens4	CE	21	3,50	2,59	-0,46	0,666

	CT	25	4,17	3,92		
--	----	----	------	------	--	--

Le tableau 60 reprend en compte le nombre d'observations de communication orale par l'enseignant au cours de l'apprentissage des élèves en fonction de deux groupes classes dans lesquels il est intervenu lors de l'expérimentation. Les résultats ont révélé qu'il n'y a pas de différence significative de comportement de communication orale par l'enseignant dans les deux environnements d'apprentissage à l'exception de l'enseignant Ens2. Ce qui signifie que globalement les enseignants ont adapté le même comportement de communication traditionnelle au cours du processus d'apprentissage des élèves avec Geogebra.

En conclusion, l'analyse de tous ces résultats permet de constater que les aides apportées par les enseignants pour que les élèves puissent réaliser les tâches Geogebra où des tâches instrumentées de mathématiques à l'aide de Geogebra, seul l'enseignant Ens4 a pu organiser méthodiquement ces aides. Ainsi, l'enseignant Ens4, a pu donner, à chaque introduction d'une nouvelle leçon, des explications sur les fonctionnalités de Geogebra utile à la résolution du problème. Même s'il n'a pas vérifié par la suite le niveau de maîtrise de ces fonctionnalités chez ses élèves. Cette approche lui a permis par la suite de réduire les demandes d'aides de la part de ses élèves et de répondre uniquement aux difficultés sur les tâches Geogebra un peu plus complexe mais aussi à les guider à résoudre les problèmes sur les fonctions numériques avec le logiciel. *Ces aides structurées de la part de l'enseignant Ens4 peuvent toutefois expliquer la progression presque significative de ses élèves au cours de l'apprentissage.* Par contre, les enseignants E1, Ens2 et Ens3, n'ont pas montré à leurs élèves comment utiliser les fonctionnalités de Geogebra. Ce qui a fait qu'ils ont passé plus de temps à répondre aux demandes d'aide de la part de leurs élèves qu'à les guider à résoudre les problèmes sur les fonctions numériques avec le logiciel. *Ces aides non structurées de la part des enseignants Ens1, Ens2 et Ens3 peuvent toutefois expliquer la progression non significative de leurs élèves aux cours de l'apprentissage.*

Ces résultats indiquent également que l'appropriation du logiciel en vue de réaliser les tâches instrumentées a pris plus du temps aux élèves, cela est dû que les enseignants n'ont pas introduit l'initiation aux fonctionnalités de Geogebra avant l'intervention pédagogique. Seul, l'enseignant Ens4, a pu faire cela. *Les élèves ayant appris certaines fonctionnalités de Geogebra ont pu surmonter les difficultés instruments de Geogebra et réaliser les mathématiques instrumentées enfin de progresser dans l'apprentissage.* Ainsi les enseignants ont pu les aider à progresser en apprentissage. C'est le cas de la plupart des élèves

de l'enseignant Ens4. *Par contre pour les élèves n'ayant pas appris les fonctionnalités du logiciel ont perdu plus de temps sur les tâches instrumentales en vue de s'appropriation du logiciel au lieu de mobiliser des connaissances instrumentales et mathématiques leur permettant de réaliser les tâches et de progresser dans la situation d'apprentissage des fonctions numériques.* Ainsi les enseignants n'ont pas pu les aider donc à progresser.

2.5 Analyse des résultats relatifs aux attitudes des élèves envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie

- ✓ **Question de recherche 4 : L'utilisation de Geogebra améliore – elle les attitudes des élèves du niveau lycée envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie ?**

2.5.1 Caractéristique de l'échelle des attitudes envers les mathématiques et la technologie

L'analyse de fiabilité est appliquée au seuil de 0,70 du coefficient alpha de Cronbach, qui indique une échelle adéquate (Garson, 2009). À la lecture du **tableau 61**, le coefficient alpha de l'échelle CT (confiance à la technologie) s'est avéré excessivement bas (CT, $\alpha = 0,48$), de sorte qu'il a été exclu des analyses ultérieures de nos résultats. Ainsi quatre échelles ont été retenues comme prédicteurs dans les analyses suivantes : confiance en mathématiques (CM, $\alpha = 0,75$), attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie (MT, $\alpha = 0,70$), engagement affectif (EA, $\alpha = 0,66$) et engagement comportemental (EC, $\alpha = 0,64$).

Tableau 61: Caractéristique de l'échelle d'attitudes envers les maths et technologie

Nom des sous l'échelle		Nombre	moyenne	Ecart type	Min.	Max.	Nombre items		α
CM	confiance en mathématiques	316	2.88	1.09	1	5	4		0.75
CT	confiance à la technologie	316	2.88	0.92	1	5	4		0.48

MT	attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	316	3.71	0.98	1	5	4		0.70
EA	engagement affectif	316	3.63	0.98	1	5	4		0.66
EC	engagement comportemental	315	3.28	0.96	1	5	4		0.64

Pour toutes les sous-échelles, il existait une variabilité interindividuelle au test d'attitude envers les mathématiques et la technologie (écart type allant de 0.96 à 1.09) sur presque toute la gamme des valeurs possibles.

Question statistique 4.1 : Quelles sont les attitudes des élèves en vers les mathématiques et la technologie avant l'apprentissage du concept mathématiques de fonctions avec Geogebra ?

Avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions les résultats montrent que globalement les scores moyens s'écartent au moins d'un écart-type du point milieu de l'échelle neutre pour chacune des sous-échelles. Ce qui n'indique aucune tendance claire chez tous les élèves avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions.

Question statistique 4.2: Les attitudes en vers les mathématiques et la technologie avant la séquence de cours sur le concept mathématique de fonctions avec Geogebra influencent elle significativement la progression en apprentissage des fonctions des élèves?

À la lecture du **tableau 62**, les corrélations entre les facteurs de MTAS et les gains relatifs montrent que les résultats sont positifs et très significatifs. Ce qui indique que les attitudes positives à l'égard des mathématiques (confiance aux mathématiques, engagement affectif et engagement comportement envers l'apprentissage des mathématiques) ont permis globalement de faire progresser significativement les élèves.. *Ce qui signifie que ceux sont les élèves, ayant au départ confiances aux mathématiques et qui se sont engagés pour*

l'apprentissage du concept de mathématiques de fonctions avec Geogebra, qui ont très significativement progressé dans leur apprentissage.

L'analyse de l'inter – corrélation entre les facteurs de MTAS montre que les résultats sont positifs et très significatifs. Ce qui indique une très forte relation entre l'attitude envers les mathématiques et l'attitude envers les technologies pour l'apprentissage des mathématiques d'autre part.

En résumé, ces résultats indiquent qu'il y a pas une tendance en termes d'attitudes en vers les mathématiques et la technologie chez les élèves de notre expérimentation. Néanmoins, les élèves ayant au départ les attitudes positives et très positives à l'égard des mathématiques (confiance aux mathématiques, engagement affectif et engagement comportement envers l'apprentissage des mathématiques) ont très significativement progressé en apprentissage du concept mathématique de fonctions avec Geogebra alors que l'attitude envers l'apprentissage de mathématiques avec la technologie a indirectement contribué à la progression de ses élèves.

Tableau 62: Corrélation entre scores MTAS et progression des élèves

Nom de l'échelle		Nombre	r	P
CM	confiance en mathématiques	316	0.23**	0.000
CT	confiance à la technologie	316	-0.02	0.739
MT	attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	316	0.05	0.383
EA	engagement affectif	316	0.19**	0.001
EC	engagement comportemental	315	0.25**	0.000

2.5.2 Les scores de MTAS avant la séquence du cours selon le niveau d'apprentissage

Question statistique 4.3: Y – a – t – il une tendance significative en terme d'attitudes des élèves en vers les mathématiques et la technologie par niveau d'apprentissage avant la séquence de cours sur le concept mathématiques de fonctions avec Geogebra?

Tableau 63: Scores des Attitudes envers les mathématiques et les technologies des élèves avant la séquence du cours au niveau 2nde

Nom des sous l'échelle		Prétest	
		Moyenne	Ecart type
CM	confiance en mathématiques	3.24	1.06
CT	confiance à la technologie	2.86	0.79
MT	attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	3.86	1.03
EA	engagement affectif	3.93	0.75
EC	engagement comportemental	3.31	0.93

Avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions, en moyenne les élèves du niveau de la seconde ont déclaré faire preuve d'un engagement affectif positif en apprentissage de mathématiques ($x=3.93$ et écart type= 0.75). Cependant, aucune autre tendance claire ne se dégage, les scores moyens s'écartant au moins d'un écart-type du point milieu de l'échelle neutre pour chacune des sous-échelles.

Ce qui amène à conclure que les élèves de la seconde indiquent un engagement affectif positif envers les mathématiques mais non significatif.

Tableau 64: Scores des Attitudes envers les mathématiques et technologie des élèves avant la séquence du cours au niveau 1ère

Nom des sous l'échelle		Prétest	
		Moyenne	Ecart type
CM	confiance en mathématiques	2.66	1.04
CT	confiance à la technologie	2.66	0.88
MT	attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	3.55	1.00
EA	engagement affectif	3.46	1.08
EC	engagement comportemental	3.28	0.92

Avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions les résultats montrent que globalement les scores moyens s'écartent au moins d'un écart-type du point milieu de l'échelle neutre pour chacune des sous-échelles.

Ce qui signifie aucune tendance claire n'a été trouvé chez les élèves de la première ayant utilisé le logiciel dynamique de mathématiques avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions.

Tableau 65: Scores des Attitudes envers les mathématiques et technologie des élèves avant la séquence du cours au niveau Tle.

Nom des sous l'échelle		Prétest	
		Moyenne	Ecart type
CM	confiance en mathématiques	2.85	1.01
CT	confiance à la technologie	3.08	0.89
MT	attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	4.00	1.02
EA	engagement affectif	3.69	1.12
EC	engagement comportemental	3.15	1.16

Avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions les résultats montrent que globalement les scores moyens s'écartent au moins d'un écart-type du point milieu de l'échelle neutre pour chacune des sous-échelles.

Ce qui signifie aucune tendance claire n'a été trouvée chez les élèves de la terminale ayant utilisé le logiciel dynamique de mathématiques avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions.

En résumé, aucune tendance significative au départ en termes d'attitudes envers les mathématiques et la technologie n'ont été trouvées par niveau d'apprentissage chez les élèves mobilisant Geogebra.

2.5.3 Les scores de MTAS avant la séquence du cours selon le genre

Question statistique 4.4: Y – a – t – il une tendance significative en terme d'attitudes des élèves en vers les mathématiques et la technologie par sexe avant la séquence de cours sur le concept mathématique de fonctions avec Geogebra?

Tableau 66: Attitudes envers les maths et technologie des élèves ayant travaillé dans un environnement numérique chez les garçons

Nom des sous l'échelle		Prétest	
		Moyenne	Ecart type
CM	confiance en mathématiques	3.17	0.99
CT	confiance à la technologie	2.83	0.93
MT	attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	3.85	0.91
EA	engagement affectif	3.94	0.86
EC	engagement comportemental	3.49	0.93

Avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions les résultats montrent que globalement les scores moyens s'écartent au moins d'un écart-type du point milieu de l'échelle neutre pour chacune des sous-échelles.

Ce qui signifie aucune tendance claire n'a été trouvée chez les élèves garçons ayant utilisé le logiciel dynamique de mathématiques avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions.

Tableau 67: Attitudes envers les maths et technologie des élèves ayant travaillé dans un environnement numérique chez les filles

Nom des sous l'échelle		Prétest	
		Moyenne	Ecart type
CM	confiance en mathématiques	2.35	0.95
CT	confiance à la technologie	2.70	0.80
MT	attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	3.48	1.11
EA	engagement affectif	3.15	1.10
EC	engagement comportemental	2.98	0.94

Avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions les résultats montrent que globalement les scores moyens s'écartent au moins d'un écart-type du point milieu de l'échelle neutre pour chacune des sous-échelles.

Ce qui indique aucune tendance claire n'a été trouvé chez les élèves filles ayant utilisé le logiciel dynamique de mathématiques avant les séquences de cours sur le concept mathématique des fonctions.

En résumé, aucune tendance significative n'a été trouvée au départ en termes d'attitudes envers les mathématiques et la technologie en fonction du sexe des élèves mobilisant Geogebra.

2.6 Les scores de MTAS avant la séquence du cours selon la progression des élèves

Question statistique 4.5: Les attitudes des élèves en vers les mathématiques et la technologie avant la séquence de cours sur le concept mathématique de fonctions avec Geogebra influencent – t – elles significativement leur progression par niveau d'apprentissage?

Tableau 68: Corrélation entre scores MTAS et progression des élèves au niveau 2nde

Nom de l'échelle		Nombre	r	P
CM	confiance en mathématiques	90	0.24*	0.024
CT	confiance à la technologie	90	0.05	0.652
MT	attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	90	0.05	0.668
EA	engagement affectif	90	0.15	0.172
EC	engagement comportemental	89	0.13	0.219

L'analyse des corrélations entre les scores de MTAS et gain relatif montre que les résultats des élèves du niveau second sont positifs mais ils ne sont significatifs que dans le cas où les élèves ont déclaré avoir confiance dans les mathématiques. Ce qui indique que seule la confiance positive aux mathématiques a permis de faire progresser les élèves du niveau seconde au cours de l'apprentissage des fonctions numériques avec le logiciel dynamique Geogebra.

L'analyse de l'inter – corrélation entre les facteurs de MTAS montre que les résultats sont positifs et très significatifs. Ce qui indique une très forte relation entre l'attitude envers les mathématiques et l'attitude envers les technologies pour l'apprentissage des mathématiques d'autre part.

Cela indique que la confiance aux mathématiques a permis directement de faire progresser les élèves alors que , l’engagement affectif et l’engagement comportement et l’attitude envers l’apprentissage de mathématiques avec la technologie ont indirectement permis de faire progresser les élèves au cours des séquences de cours sur le concept de mathématique avec le logiciel dynamique de mathématique Geogebra.

Tableau 69: Corrélation entre scores MTAS et progression des élèves au niveau 1ère

Nom de l'échelle	Nombre	r	P
CM confiance en mathématiques	154	0.16*	0.045
CT confiance à la technologie	154	0.03	0.705
MT attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	154	0.12	0.136
EA engagement affectif	154	0.20*	0.012
EC engagement comportemental	154	0.25**	0.001

L’analyse des corrélations entre les scores de MTAS et gain relatif montre que les résultats sont positifs et ils sont significatifs à dans le cas où les élèves ont déclaré avoir confiance dans les mathématiques ($r = 0.16$ et $p < 0.045$) et faire preuves d’un engagement affectif ($r = 0.20$ et $p < 0.012$). Ce qui indique que la confiance positive aux mathématiques et l’engagement affectif positif très positif au départ ont permis de faire progresser les élèves du niveau première au cours de l’apprentissage des fonctions numériques avec le logiciel dynamique Geogebra.

L’analyse de l’inter – corrélation entre les facteurs de MTAS montre que les résultats sont positifs et très significatifs. Ce qui indique une très forte relation entre l’attitude envers les mathématiques et l’attitude envers les technologies pour l’apprentissage des mathématiques d’autre part.

Cela indique que les attitudes envers les mathématiques ont permis directement de faire progresser les élèves alors que l’attitude envers l’apprentissage de mathématiques avec la technologie a indirectement permis de faire progresser les élèves au cours des séquences de cours sur le concept de mathématique avec le logiciel dynamique de mathématiques Geogebra.

Tableau 70: Corrélation entre scores MTAS et progression des élèves au niveau 1le

Nom de l'échelle	Nombre	r	P
CM confiance en mathématiques	72	0.52**	0.000
CT confiance à la technologie	72	0.05	0.665
MT attitude à l'apprentissage des mathématiques avec la technologie	72	0.22	0.069
EA engagement affectif	72	0.40**	0.001
EC engagement comportemental	72	0.31**	0.008

L'analyse des corrélations entre les scores de MTAS et gain relatif montre que les résultats sont positifs et ils sont très significatifs dans le cas où les élèves ont déclaré avoir confiance dans les mathématiques ($r = 0.52$ et $p < 0.0$), faire preuves d'un engagement affectif ($r = 0.0.40$ et $p < 0.01$) et faire preuve d'un engagement comportemental ($r = 0.31$ et $p < 0.08$). Ce qui indique que les élèves ayant la confiance très positive aux mathématiques, l'engagement affectif très positif et l'engagement comportemental très positif au départ ont permis de faire progresser très significativement les élèves du niveau terminal au cours de l'apprentissage des fonctions numériques avec le logiciel dynamique Geogebra.

L'analyse de l'inter – corrélation entre les facteurs de MTAS montre que les résultats sont positifs et très significatifs. Ce qui indique une très forte relation entre l'attitude envers les mathématiques et l'attitude envers les technologies pour l'apprentissage des mathématiques.

Cela indique que les attitudes envers les mathématiques ont fortement et directement permis de faire progresser les élèves alors que l'attitude envers l'apprentissage de mathématiques avec la technologie a fortement et indirectement permis de faire progresser les élèves au cours des séquences de cours sur le concept de mathématique avec le logiciel dynamique de mathématique Geogebra.

En résumé, les attitudes envers les mathématiques ont contribué directement et significativement de faire progresser les élèves de chaque niveau d'apprentissage alors que l'attitude envers les mathématiques avec la technologie a indirectement contribué à leur progression. Ces résultats corroborent avec ceux d'observations de classe qui indiquent que les engagements des élèves ont significativement contribué à leur progression pour l'apprentissage des fonctions numériques. Ces résultats confirment

l'hypothèse nulle selon laquelle, les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie contribuent significativement à leur apprentissage du concept des fonctions numériques.

3 Interprétation des résultats principaux de cette recherche

3.1 Interprétation des résultats relatif à la performance des élèves

Pour ce qui est des *résultats relatifs à la performance des élèves en termes de progression en apprentissage de fonctions numériques*, on peut retenir :

- les moyennes aux scores du test préliminaire des élèves du groupe expérimental et ceux des élèves du groupe témoin sont très faibles. Mais également, les moyennes au posttest des élèves des deux groupes montrent certes une augmentation de scores des élèves mais ces moyennes restent relativement faibles car elles n'atteignent pas globalement la moyenne de 50 sur 100.
- La comparaison des gains relatifs entre les élèves du groupe expérimental et ceux du groupe témoin, a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre leurs gains relatifs moyens des deux groupes ($p - value = 0.514 > 0.05$). Ce qui signifie que les élèves ayant mobilisé le logiciel GeoGebra n'ont pas significativement progressé au cours de l'apprentissage de fonctions comparativement aux les élèves ayant travaillé dans un environnement traditionnel c'est-à-dire les élèves des deux groupes ont progressé de la même manière au cours de leur apprentissage. Néanmoins, il ressort de l'analyse des effets possibles des variables latentes, que :
- ✓ Le niveau de départ a influencé la progression des élèves du groupe expérimental. En effet, la comparaison de gains relatifs aux scores par catégories d'élèves a montré une différence significative dans le groupe expérimental comme le montre le graphique et que la corrélation est négative et significative entre le niveau de connaissances de départ et le gain relatif. En effets, Ces sont les élèves, les plus faibles au niveau de connaissances sur les fonctions numériques au départ, qui ont le plus progressé au cours de l'apprentissage des fonctions numériques avec le logiciel GeoGebra. Ce résultat corrobore avec les résultats des observations des activités des élèves qui ont montré que les élèves faibles ont pu contourner certaines difficultés mathématiques grâce à l'utilisation de GeoGebra, c'est le cas de la construction graphique de fonction numérique.

- ✓ Le niveau d'engagement a influencé la progression des élèves du groupe expérimental. En effet, ces sont les élèves qui ont déclaré s'engager fortement et positivement au cours de l'apprentissage avec GeoGebra qui ont atteint globalement un niveau de progression significatif.
- ✓ Mais le genre n'a pas influencé la progression des élèves du groupe expérimental ($t=-1.24$ et $p=0.218>0.05$). En effet, les élèves garçons du groupe expérimental et les élèves filles du groupe expérimental avaient développé des compétences similaires sur le concept mathématique de fonctions numériques au cours de leur apprentissage des fonctions numériques avec GeoGebra.
- ✓ Les observations des activités des élèves en situation d'apprentissage ont révélé que la plus part des élèves du groupe expérimental ne maîtrise pas les fonctionnalités du logiciel GeoGebra et ils n'arrivent pas à utiliser efficacement les commandes ou les boutons appropriés pour faire une tâche mathématique avec GeoGebra.
- ✓ Les entretiens semi - directifs ont également révélé les élèves ont un faible niveau de connaissances et compétences sur les fonctions numériques et ils n'ont pu utiliser tout le potentiel du logiciel GeoGebra au cours de leur apprentissage notamment les multiples représentations des registres de représentations sémiotiques des fonctions numériques de ce logiciel.

Tous ces résultats montrent que, les élèves qui parviennent à utiliser les fonctionnalités de Geogebra ont pu progresser au cours de l'apprentissage. Ses élèves sont en grande partie ceux qui ont un niveau de départ faible en connaissance sur les fonctions numériques et qui ont des difficultés à utiliser les représentations des fonctions numériques en version papier – crayon mais qui parviennent à le faire à l'aide de Geogebra. Ce qui confirme partiellement la première hypothèse de cette recherche et qui a conduit donc le chercheur à réaliser une expérimentation confirmatoire, pour vérifier si la maîtrise des fonctionnalités de GeoGebra par les élèves d'une classe de mathématiques permet à ses élèves de progresser significativement en apprentissage des fonctions numériques.

La deuxième phase de cette expérimentation au cours de laquelle une classe de 34 élèves ayant été tous préalablement préparée à la maîtrise des fonctionnalités de Geogebra avant l'intervention pédagogique de l'enseignant. Ainsi les résultats de ce groupe classe expérimental 2 a été donc comparé avec les résultats du groupe classe expérimental 1 (GCE1) et du groupe classe témoin (GCT) de même niveau et de même série de la phase 1 de l'expérimentation.

Le gain relatif moyen des élèves du groupe classe expérimental de la phase 2 vaut 64,62 alors que le gain relatif moyen du groupe classe expérimental de la phase 1 vaut 35,39 et celui du groupe classe témoin vaut 43,89. C'est-à-dire les élèves ayant été préparés à la maîtrise des fonctionnalités de GeoGebra ont atteint les deux tiers (2/3) de l'évolution possible en termes d'apprentissage des fonctions numériques. Les élèves n'ayant pas été préparés à maîtriser les fonctionnalités de GeoGebra ont atteint un tiers (1/3) alors que les élèves du groupe traditionnel ont atteint les deux cinquième (2/5) de la progression possible.

Le résultat du test du khi – deux de Kruskal Wallis, a montré que les élèves du groupe classe expérimentale (GCE2) ont significativement progressé en terme d'apprentissage du concept mathématique de fonctions comparativement aux deux autre groupe ($p - value < 0.05$). Ce résultat indique que, ce sont les élèves, qui ont été préparés par leur enseignant à la maîtrise des fonctionnalités de GeoGebra, qui ont progressé significativement en termes d'apprentissage, comparativement aux élèves qui n'ont pas été préparé par leur enseignant à utiliser GeoGebra et les élèves qui ont travaillé dans une classe traditionnelle de mathématiques.

L'analyse de corrélation entre le niveau de départ des élèves ayant été préparé à maîtriser les fonctionnalités de GeoGebra et leur gain relatif moyen, a montré une corrélation non significative ($p - value > 0.05$). Ce résultat indique que, l'apprentissage du concept de fonction avec le logiciel GeoGebra a permis de faire progresser les élèves quel que soit leur niveau de départ.

La triangulation de ces résultats indique, que l'utilisation du logiciel GeoGebra dans un environnement d'apprentissage structuré, c'est-à-dire un environnement où les élèves maîtrisent les fonctionnalités de GeoGebra en lien avec l'apprentissage du concept de fonctions numériques, a permis à l'ensemble des élèves de progresser significativement en terme d'apprentissage du concept mathématique de fonction. ***Ce qui confirme donc la première hypothèse de cette recherche, selon laquelle, l'utilisation de Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore de façon significative les performances aux scores des élèves du lycée.***

3.2 Interprétation des résultats relatifs à la dynamique d'apprentissage des élèves

Pour ce qui est des *résultats relatifs à la dynamique d'apprentissage des élèves*, on peut retenir :

- les résultats des observations des activités des élèves, ont montré que tous les comportements observés sont corrélés significativement et positivement entre eux c'est-à-dire les comportements d'apprentissage de participation, d'attention et interaction deux à deux entre eux ($r > 0$ et $p < 0.05$) alors que dans le groupe témoin seul deux sont corrélés significativement et positivement c'est-à-dire les comportements d'apprentissage de participation, et interaction ($r = 0.786$ et $p < 0.01$). Ce résultat indique que, l'utilisation de GeoGebra a contribué significativement à l'amélioration de la dynamique d'apprentissage des élèves. ***Ce qui confirme donc la deuxième hypothèse de cette recherche, selon laquelle, l'utilisation de logiciel GeoGebra, en enseignement – apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore significative la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen.***

Néanmoins, l'interprétation des résultats obtenus doit être faite avec prudence, car les élèves qui ont étudié les fonctions numériques avec Geogebra n'ont pas significativement progressé en termes d'apprentissage comparativement aux élèves qui ont étudié ce même concept dans une classe traditionnelle :

- En effet, l'analyse de gain relatif moyen des élèves tenus par le même enseignant, dans les classes expérimental, a montré que les interventions des enseignants de mathématiques dans un environnement d'apprentissage avec GeoGebra n'a pas permis de faire progresser significativement les élèves vers les maitrises des nouvelles connaissances et compétences sur les fonctions numériques.
- Les observations des pratiques enseignantes en lien avec l'apprentissage des élèves dans l'environnement GeoGebra, ont montré que ces enseignants ont adapté dans l'environnement GeoGebra, des stratégies et méthodes plus proches de leurs pratiques traditionnelles. En effet, les méthodes et stratégies d'enseignement mises en œuvre par les enseignants dans les deux environnements d'apprentissage, plus particulièrement les fréquences d'observation des comportements d'occupation de l'espace d'apprentissage et des formes de communications orales de l'enseignant dans la classe, ne montrent pas globalement de différence significative. Ce qui révèle que les quatre enseignants se sont inspirés de leurs pratiques pédagogiques traditionnelles au cours l'enseignement avec le GeoGebra et ce qui peut donc justifier que globalement que les interventions de ces enseignants n'ont pas permis aux élèves de significativement progresser au cours de l'apprentissage avec GeoGebra. Mieux ces résultats ont montré

que l'introduction de GeoGebra peut être un facteur de perturbation des pratiques enseignantes comparativement à leurs pratiques traditionnelles.

3.3 Interprétation des résultats relatifs aux attitudes des élèves envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie

Pour ce qui est des *résultats relatifs aux attitudes des élèves envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie*, on peut retenir :

- Comme le montre le calcul de moyenne et d'écart type, les résultats des attitudes déclarées envers les mathématiques et envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie, n'ont pas montré une tendance claire en termes de l'attitude positive, neutre ou négative chez les élèves.
- L'analyse de corrélation entre les quatre (4) items a montré une corrélation positive et significative entre confiances en vers les mathématiques, engagement comportemental et engagement affectif ($r > 0$ et $p < 0.05$). Ce qui indique que, les élèves du groupe expérimental, qui ont déclaré une attitude positive significative envers les mathématiques, ils ont également déclaré qu'ils s'engagent positivement et significativement pour l'apprentissage de mathématiques avec GeoGebra.
- L'analyse de corrélation entre les quatre (4) items a montré une corrélation positive significative entre les attitudes déclarées envers les mathématiques des élèves du groupe expérimental et leurs gains moyens aux scores ($r > 0$ et $p < 0.05$) mais aussi les résultats ont montré une corrélation positive et significative entre les attitudes déclarées envers les mathématiques et l'engagement observable des élèves en vers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie ($r > 0$ et $p < 0.05$). Ce qui indique que les attitudes envers les mathématiques des élèves du groupe expérimental ont fortement et directement permis de faire progresser les élèves du groupe expérimental.

La triangulation de ces résultats indique que, les élèves ayant au départ des attitudes positives à l'égard des mathématiques (confiance aux mathématiques, engagement affectif et engagement comportemental envers l'apprentissage des mathématiques) déclarent progresser très significativement au cours de l'apprentissage du concept mathématique de fonctions avec GeoGebra alors que l'attitude envers l'apprentissage de mathématiques avec la technologie a permis indirectement à ses élèves de progresser. Ceux – ci corroborent les résultats d'observation de la dynamique d'apprentissage des élèves avec GeoGebra. ***Ce qui confirme***

donc la deuxième hypothèse de cette recherche, selon laquelle, les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie contribuent significativement à leur apprentissage du concept des fonctions numériques.

4 Synthèse de chapitre 5

L'analyse des données, a permis de présenter les résultats sur les caractéristiques au départ de notre échantillon et sur l'apprentissage des selon les questions de notre recherche. Rappelons que notre échantillon a été sélectionné selon une méthode non probabiliste, la répartition dans le groupe expérimental et le groupe témoin a été faite au hasard. Pour s'assurer de l'équivalence des deux groupes avant l'expérimentation, les observables de deux types de groupes ont été croisés avec les caractéristiques, genre, âge, profession et catégorie socioprofessionnelle du père, confiances envers les mathématiques, confiance envers les technologies, confiance envers l'apprentissage de mathématiques avec le numérique, engagement affectif, engagement comportemental et niveau de connaissances des fonctions numériques au départ. Le test statistique du croisement entre le type de groupe et ses caractéristiques, n'ont pas montré de différence significative entre les deux groupes avant l'expérimentation. Ces résultats ont permis de conclure sur l'équivalence au départ de ces deux sous-échantillons sélectionnés au hasard et aussi de pouvoir réduire le biais de la recherche.

L'analyse des données, a permis de présenter les résultats sur le processus d'apprentissage et la performance des élèves. Les principaux résultats sont :

- l'utilisation du logiciel Geogebra dans un environnement d'apprentissage non structuré par l'enseignant n'a pas significativement amélioré l'apprentissage des élèves comparativement au groupe traditionnel. Ce résultat a été obtenu après la première phase de cette expérimentation, en comparant les performances aux tests aux scores des élèves ne maîtrisant pas les fonctionnalités du logiciel Geogebra et les élèves du groupe traditionnel. La comparaison des gains relatifs entre les deux groupes d'élèves, a indiqué que la différence entre leurs gains relatifs moyens est statistiquement non significative ($p - value = 0.514 > 0.05$).
- l'utilisation du logiciel Geogebra dans un environnement d'apprentissage structuré par l'enseignant a significativement amélioré l'apprentissage des élèves comparativement au groupe traditionnel. Ce résultat a été obtenu après la

deuxième phase de cette expérimentation en comparant les performances aux tests aux scores des élèves maîtrisant les fonctionnalités du logiciel Geogebra aux élèves de la première phase de notre expérimentation, ceux ne maîtrisant pas les fonctionnalités du logiciel Geogebra et ceux du groupe traditionnel. La comparaison des gains relatifs entre les trois groupes d'élèves, a indiqué que la différence entre leurs gains relatifs moyens est statistiquement significative et il est au profit des élèves maîtrisant les fonctionnalités de Geogebra ($p - value = 0.514 > 0.05$).

Ces résultats relatifs à la performance des élèves en termes de progression en apprentissage confirment la première l'hypothèse de cette recherche, selon laquelle, l'utilisation de Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore de façon significative les performances aux scores des élèves du lycée. Ceux – ci joignent d'ailleurs les résultats d'autres recherches comme celle de Dogan (2010) sur à l'utilisation du logiciel dynamique dans le processus d'enseignement – apprentissage de mathématique par des élèves maîtrisant les fonctionnalités de Geogebra avant l'intervention pédagogique.

Ces résultats relatifs à la performance des élèves en termes de progression en apprentissage montrent que, l'utilisation du potentiel de GeoGebra par les élèves influence significativement l'apprentissage des fonctions numériques dans une classe ordinaire de mathématique au lycée. En effet, ce résultats s'explique par le choix des tâches sur les fonctions numériques par l'enseignant et utilisation du potentiel dynamique de Geogebra par les élèves pour réaliser les tâches demandées (Rabardel, 1995; Guin et Trouche, 2002 et Trouche 2005a). Ce choix de tâches a en effet permis aux élèves ayant maîtrisé les fonctionnalités de GeoGebra, d'utiliser les boutons et les commandes du logiciel pour réaliser de manière efficace les tâches demandées et de progresser en terme d'apprentissage (Bussi et Mariotti, 2008).

- Les résultats des comportements observés en situation de classes ont indiqué que l'environnement d'apprentissage avec Geogebra a significativement influencé l'engagement affectif des élèves. La corrélation entre la participation, l'attention et l'interaction des élèves du groupe expérimental a indiqué à une relation significativement positive deux à deux entre ces items ($r > 0$ et $p < 0.05$)

alors dans le groupe témoin seul les comportements participatif et interactif ont été statistiquement reliés ($r = 0.786$ et $p < 0.01$).

- Les interventions pédagogiques avec Geogebra des enseignants de mathématiques un environnement d'apprentissage ordinaire n'ont pas permis de faire progresser significativement les élèves vers les maîtrises des nouvelles connaissances du concept de fonctions et des compétences en résolutions des problèmes. En effet, les gains relatifs moyens par enseignant dans les classes expérimentales sont inférieurs à 30% pour tous les quatre (4) enseignants de notre expérimentation.

Ces résultats sur la dynamique d'apprentissage des élèves avec le logiciel GeoGebra, confirment la deuxième hypothèse de cette recherche selon laquelle, l'utilisation de logiciel GeoGebra, en enseignement – apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore significative la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen. Ceux – ci joignent les résultats d'autres recherches comme celle de Depover, Karsenti et Komis (2007) sur la nécessité de structurer la classe de mathématique pour que l'enseignement avec les technologies puissent favoriser l'apprentissage des élèves et celle de Mehanovic (2011) sur l'utilisation du potentiel didactique de Geogebra pour rendre l'apprentissage des concepts mathématiques dynamique.

Ces résultats mettent évidence le lien entre les activités des élèves et les pratiques de l'enseignant dans une classe de mathématiques avec Geogebra et l'apprentissage actif des élèves (Abboud, Clark-Wilson, Jones, & Rogalski, 2018 ; Abboud, Robert, Rogalski, et Vandebrouck, 2017; Robert et Rogalski, 2002; Vandebrouck et Robert, 2017). Ces résultats s'expliquent par le rôle joué par les enseignants de mathématiques dans la gestion de l'environnement d'apprentissage dynamique. Plus précisément de l'adaptation plus ou moins réussit des méthodes et stratégies d'enseignement traditionnelles des enseignants des mathématiques à un environnement d'apprentissage avec Geogebra de leurs élèves.

- Les résultats des comportements déclarés ont indiqué que les attitudes déclarées envers les mathématiques des élèves du groupe expérimental ont significativement influencé l'apprentissage des élèves avec Geogebra. Une corrélation positive et statistiquement significative a été obtenue entre les attitudes déclarées envers les mathématiques des élèves du groupe expérimental et leurs gains moyens aux scores ($r > 0$ et $p < 0.05$).

Ces résultats sur les attitudes des élèves envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie, confirment la troisième hypothèse de cette recherche selon laquelle, les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie contribuent significativement à leur apprentissage du concept des fonctions numériques. Ceux – ci joignent les résultats d'autres recherches comme celle de Masri et al (2016) sur les attitudes des élèves et leurs effets sur l'apprentissage des élèves.

Ces résultats mettent évidence le lien entre les attitudes et comportements et l'apprentissage des élèves dans l'environnement Geogebra (Pierce, Stacey & Barkatsas, 2007). Ces résultats s'expliquent par le fait que, l'attitude positive des élèves envers l'utilisation de Geogebra apprentissage a directement contribué à l'apprentissage des fonctions numériques alors l'engagement affectif et l'engagement comportemental de ces mêmes élèves ont indirectement contribué.

CHAPITRE VI : DISCUSSION DE RESULTATS ET PERSPECTIVES

Ce chapitre, présente les discussions des résultats de notre recherche et les perspectives. Primo, il rappelle les questions et les hypothèses de notre recherche ; secundo il rappelle les principaux résultats obtenus ; tertio les discussions de ces résultats en comparant avec celles déduites d'autres de recherches antérieures ; quarto il termine par les perspectives avec des remarques finales sur la présente recherche, des implications pour la pratique, des implications pour des recherches ultérieures.

1 Rappels des questions et des hypothèses de notre recherche

1.1 Rappels des questions de notre recherche

Les questions spécifiques qui sont liées à cette question principale de recherche sont :

- ✓ **Question 1: L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore – t – elle de façon significative les performances aux scores des élèves du secondaire moyen en apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques?**
- ✓ **Question de recherche 2: L'utilisation de logiciel Geogebra selon le niveau d'apprentissage améliore-t-elle significativement la performance des élèves du secondaire moyen en l'apprentissage des fonctions numériques?**
- ✓ **Question 3: L'utilisation de logiciel Geogebra en l'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore – t – elle significative la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen ?**

Question 4: Les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie contribuent – elles significativement à leur apprentissage du concept des fonctions numériques?

1.2 Rappels des hypothèses de notre recherche

L'hypothèse principale de notre recherche est : **L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'enseignement – apprentissage favorise de façon significative l'apprentissage des concepts mathématiques des élèves du lycée.**

Pour guider cette recherche, les hypothèses suivantes ont été émises :

- ✓ **Hypothèse 1: L'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore de façon significative les performances aux scores des élèves du secondaire moyen en apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques**

Pour vérifier cette hypothèse de recherche, il sera établi le lien de causalité entre l'utilisation de Geogebra en apprentissage de mathématiques et les performances en termes de progression des élèves. En prenant appui sur les résultats de ses recherches antérieurs ont permis de décliner un faisceau adossé à la littérature que l'utilisation du logiciel de mathématiques améliore la performance des élèves en termes de scores.

- ✓ **Hypothèse2 : L'utilisation de logiciel Geogebra en enseignement – apprentissage du concept mathématique des fonctions numériques améliore significative la dynamique d'apprentissage des élèves du secondaire moyen.**

Pour vérifier cette hypothèse de recherche, il sera établi le lien de causalité entre les interactions avec de Geogebra des élèves et de l'enseignant et les performances en termes de progression dans le processus d'apprentissage du concept mathématique. En prenant appui sur les résultats de ses recherches antérieurs nous déclinons deux faisceaux adossés à la littérature:

Faisceau A : L'utilisation du logiciel de mathématiques améliore la dynamique d'apprentissage des élèves ;

Faisceau B : L'utilisation du logiciel de mathématiques par les enseignants en situation d'enseignement améliore significativement la dynamique d'apprentissage des élèves.

- ✓ **Hypothèse 3: Les attitudes des élèves du secondaire moyen envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie contribuent significativement à leur apprentissage du concept des fonctions numériques.**

Pour vérifier cette hypothèse de recherche, il sera établi le lien de causalité entre les attitudes des élèves envers les mathématiques et l'apprentissage de mathématiques avec Geogebra et les performances en termes de progression des élèves. En prenant appui sur les résultats de ses recherches antérieurs sur les effets des attitudes sur l'apprentissage des mathématiques avec le numérique nous déclinons le troisième faisceau adossé à la littérature :

Faisceau C : les attitudes des élèves contribuent significativement à l'apprentissage des concepts mathématiques dans un environnement numérique.

2 Les résultats de notre recherche

2.1 Les principaux résultats de notre recherche

2.1.1 Résultats relatifs à la performance des élèves en terme de progression

L'utilisation du logiciel Geogebra dans un environnement d'apprentissage structuré a permis à l'ensemble des élèves de progresser significativement en terme d'apprentissage du concept mathématique de fonction. Ce résultat est obtenu après une expérimentation menée en deux phases expérimentales sur deux années académiques dans un lycée public d'enseignement général.

L'analyse des résultats issus de l'environnement numérique utilisé au cours de la première partie de notre expérimentation a révélé que, les élèves des groupes classes expérimentales (GCE1) ont certes progressé significativement entre le prétest et le posttest ($p < 0.05$) mais ils n'ont pas significativement progressé en termes de performances aux scores comparativement aux élèves de groupes témoins. En effet, la comparaison des gains relatifs entre les deux groupes d'élèves, a indiqué que la différence entre leurs gains relatifs moyens est statistiquement non significative ($p - value = 0.514 > 0.05$).

L'analyse des résultats issus de l'environnement numérique structuré utilisé au cours de la deuxième partie de notre recherche a révélé que, les élèves du groupe classe expérimentale (GCE2) ont significativement progressé en terme d'apprentissage du concept mathématique de fonctions ($p - value < 0.05$). En plus, les élèves ayant travaillé dans un environnement structuré ont atteint les deux tiers (2/3) de l'évolution possible. Ce résultat est largement au-dessus des ceux obtenus à partir des deux autres modalités d'apprentissage. La corrélation entre le niveau de départ des élèves de ce groupe classe et leur gain relatif moyen n'est pas significatif ($p - value > 0.05$) *Ceux - ci indiquent que les performances des élèves mesurés en termes de progression sont significativement influencées par l'utilisation du potentiel du logiciel de mathématiques réalisée au cours de l'apprentissage du concept mathématique et que le dispositif d'apprentissage a permis de faire progresser l'ensemble des élèves.*

2.1.2 Résultats relatifs à la dynamique d'apprentissage des élèves

Les élèves des classes expérimentales ont été plus dynamiques au cours de l'apprentissage des nouvelles connaissances sur le concept de fonction comparativement aux élèves du groupe classe témoin. Les résultats des observations des classes ont indiqué que l'environnement d'apprentissage avec Geogebra a significativement influencé l'engagement

affectif des élèves. En effet, la corrélation entre les trois les comportements participatif, attentifs et interactif des élèves du groupe expérimental a indiqué a une relation significativement positive deux à deux entre eux ($r > 0$ et $p < 0.05$) alors dans le groupe témoin seul les comportements participatifs et interactifs observés chez ses élèves ont été statistiquement reliés ($r = 0.786$ et $p < 0.01$). *(Ces résultats corroborent avec ceux déclaratifs qui indiquent que les engagements des élèves ont significativement contribué à leur progression pour l'apprentissage des fonctions numériques)*

Les interventions des enseignants de mathématiques dans un environnement d'apprentissage ordinaire n'ont pas permis de faire progresser significativement les élèves vers les maîtrises des nouvelles connaissances du concept de fonctions et des compétences en résolutions des problèmes. En effet, les gains relatifs moyens par enseignant dans les classes expérimentales sont intérieurs à 30% pour tous les quatre (4) enseignants de notre expérimentation.

Les interventions pédagogiques avec le logiciel Geogebra des enseignants ordinaires de mathématiques dans le groupe expérimental ont permis de réduire les écarts de compétences en termes de résolution des problèmes sur les fonctions numériques qui existent au départ entre les élèves ayant mobilisé le logiciel Geogebra. La différence entre le coefficient de variation entre le score moyen au départ et le score moyen après l'intervention pédagogique des enseignants ont indiqué une réduction importante de la disparité (en moyenne 25%) qui existe entre les élèves des différents niveaux de connaissances requises aux départs dans le groupe expérimental comparativement à la réduction de la disparité (en moyenne 15%) dans le groupe témoin. *(Ses résultats corroborent avec ceux obtenus en 5).*

Les observations des pratiques enseignantes dans l'environnement Geogebra ont montré que les enseignants de notre expérimentation ont cherché au cours des séquences de cours à prendre en compte l'activité d'apprentissage de leurs élèves en organisant les élèves en groupe de travail. Mais le déroulement a montré une adaptation des stratégies et méthodes différentes pour chaque enseignant plus proche de leurs pratiques traditionnelles. En effet, le croisement des données de comportement d'enseignement de chaque enseignant dans un environnement Geogebra avec ceux de son enseignement dans l'environnement traditionnel ne montre pas globalement de différence significative. Ce qui révèle que les quatre enseignants se sont inspirés de leurs pratiques pédagogiques traditionnelles au cours l'enseignement avec le Geogebra et ce qui peut donc justifier que globalement les

interventions de ces enseignants n'ont pas permis aux élèves de significativement progresser au cours de l'apprentissage. En plus, le croisement des données des observations des pratiques enseignantes, dans l'environnement numérique de ces quatre enseignants avec les résultats des gains relatifs moyen de leurs élèves, ne montre pas une progression significative chez ces derniers pour la maîtrise des compétences. Mieux ces résultats ont montré *que l'introduction de Geogebra peut être un facteur de perturbation des pratiques enseignantes comparativement à aux pratiques traditionnelles.*

2.1.3 Résultats relatifs aux attitudes des élèves

Les résultats des attitudes et comportements déclarés envers les mathématiques et envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie ont indiqué qu'il n'y a pas de tendance en termes d'attitudes en vers les mathématiques et envers l'apprentissage de mathématiques avec la technologie entre les groupes, expérimental et le groupe témoin, ni par sexe chez les élèves ayant mobilisé le logiciel Geogebra. Néanmoins, les attitudes envers les mathématiques des élèves du groupe expérimental ont fortement et directement permis de les faire progresser alors que leur attitude envers l'apprentissage de mathématiques avec la technologie a fortement et indirectement permis de les faire progresser les élèves au cours des séquences de cours sur le concept de mathématique avec le logiciel dynamique de mathématique Geogebra. En effet une corrélation positive et statistiquement significative a été obtenue entre les attitudes déclarées envers les mathématiques des élèves du groupe expérimental et leurs gains moyens aux scores ($r > 0$ et $p < 0.05$) et aussi entre les attitudes déclarées envers les mathématiques et leurs engagements en vers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie ($r > 0$ et $p < 0.05$).

2.2 Résultats relatifs aux effets d'autres variables

Comme il n'y a pas eu de différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin dans la première partie de notre expérimentation alors nous avons cherché d'autres résultats qui peuvent permettre de savoir si d'autres variables influencent l'apprentissage du concept mathématique avec le logiciel. Les autres résultats alors obtenus sont les suivantes :

2.2.1 Résultats relatifs à l'effet des connaissances de départ des élèves

Les élèves du groupe expérimental et ceux du groupe témoin sont statistiquement au même niveau de départ en termes de scores du test préliminaire ($z = -0.498$ et $p - value =$

0.618 > 0.05). Néanmoins, les résultats ont indiqué que les élèves de cette expérimentation ne possèdent pas au départ suffisamment de connaissances requises sur la notion de fonction puisque leurs scores moyens sont largement en dessous de 50%.

Les résultats des entretiens semis directifs ont révélé également que les élèves de notre expérimentation ne possèdent pas suffisamment de connaissances préalables sur les notions mathématiques de la fonction numérique leur permettant de progresser significativement au cours de leurs apprentissages avec le logiciel dynamique. En effet, les résultats des entretiens semis directifs, réalisés avec les élèves du groupe expérimental et les enseignants ayant intervenu dans cette expérimentation, nous ont indiqué qu'ils ont une compréhension conceptuelle déficitaire des notions de la fonction numérique et que leur compréhension procédurale des notions mathématiques est très limitée. *(Ces résultats corroborent avec ceux obtenus en 1)*

Le test statique de corrélation a révélé que le niveau de départ des élèves du groupe expérimental 1 a un effet significatif sur la performance aux scores comparativement au niveau du départ des élèves du groupe témoin. En effet, l'utilisation de Geogebra a permis aux élèves les plus faibles de progresser significativement dans l'apprentissage du concept mathématique de fonctions. Ainsi, la comparaison des gains relatifs par niveau de départ, c'est-à-dire avant l'intervention pédagogique, a indiqué que la différence entre leurs gains relatifs moyens par niveau est statistiquement significative dans le groupe expérimental et il est au profit des élèves les plus faibles au départ ($khi2 = 8.59$ et $p = 0.035 < 0.05$) alors que dans le groupe témoin le résultat est non significatif ($Khi2 = 1.73$ et $p = 0.630 > 0.05$). *(Néanmoins les résultats ont montré que globalement l'effet du niveau de connaissances au départ est très réduit et n'explique que 5% la performance aux scores globale des élèves.)*

2.2.2 Résultats relatifs à l'effet de manque de maîtrise des fonctionnalités du logiciel

Les résultats de l'analyse des activités d'apprentissage du concept mathématique de fonction des élèves dans l'environnement Geogebra à travers les tâches instrumentés et des tâches mathématiques ont révélé que les élèves n'ayant pas maîtrisé ces fonctionnalités ont rencontré des difficultés d'utilisation du potentiel du logiciel Geogebra pour réaliser des sous tâches qui sont due à la médiation proposée par Geogebra. Par contre les élèves ayant maîtrisé les fonctionnalités de Geogebra avant l'intervention pédagogique n'ont pas rencontré des problèmes d'appropriation à temps pour réaliser les tâches demandées, ce qui leur a permis de progresser significativement au cours de leur apprentissage du concept de fonction.

Les résultats des entretiens semis directives ont révélé que les élèves de la première partie de notre expérimentation n'ont pas maîtrisé les fonctionnalités du logiciel Geogebra. En effet, les entretiens avec les élèves ont révélé qu'il manque l'adaptation de Geogebra en situation d'apprentissage des concepts mathématiques même si beaucoup d'entre eux utilise avec facilités certaines fonctionnalités telles qu'écrire une fonction avec le clavier de saisie ou visualiser la représentation graphique sur l'interface du logiciel comme l'affirme l'élève E2 affirme « *En travaillant avec Geogebra nous voyons les différentes formes de la représentation graphique des différentes fonctions sur le repère* » (E2, ligne 54 – 55) ou le témoignage de l'élève E4 « *A travers Geogebra on arrive à construire des figures auxquels nous ne pouvons pas les construire carrément car Geogebra nous facilite de les construire carrément* » (E4, ligne 58 – 59). L'élèves E7 affirme qu'en a lui « *Je ne sais pas pour les autres, mais il y a aussi un manque de compréhension sur l'application Geogebra, donc le problème, ce n'est pas tout le monde qu'ont pu donc le comprendre et l'utiliser mais quand même on a un peu essayé mais ça va* » (E7, lignes 54 – 56).

Des résultats des entretiens avec les enseignants révèlent les mêmes difficultés comme l'affirme l'enseignant Ali (pseudonyme) « *les difficultés maintenant par rapport à l'utilisation de Geogebra du logiciel ce que c'est des difficultés d'adaptation. C'est un logiciel, d'abord comprenez que les élèves c'est n'est pas tous les élèves qui ont accès aux moyens technologiques. Ce n'est pas tous les élèves qui ont accès à ces matérielles maintenant même si on se procure ces matériels pour mettre à la disposition des élèves, ils ont besoin d'un préalable. Ils ont besoin à ce qu'on leurs apprenne ça ce qui ne fait pas partie du programme officiel du Niger. Ça ne fait pas partie du programme officiel maintenant ce qui fait que vous allez constater qu'il y a une difficulté même d'adaptation, l'utilisation même ça cause problème*» (Ali, ligne 56 à 63).

Les résultats obtenus à la deuxième partie de notre expérimentation ont révélé que les élèves préparés à l'utilisation du logiciel Geogebra progressent significativement dans leur apprentissage comparativement aux autres groupes et cela peut être attribué au fait où ils maîtrisent les fonctionnalités du logiciel.

3 Discussions des résultats de l'expérimentation

3.1 La performance des élèves en terme de progression

L'utilisation du logiciel Geogebra dans un environnement d'apprentissage structuré a permis aux élèves de progresser significativement en terme d'apprentissage du concept

mathématique de fonction. Ce résultat est obtenu après une expérimentation menée en deux phases expérimentales sur deux années académiques dans un lycée public d'enseignement général.

L'analyse de la première partie de l'expérimentation a révélé que, les élèves du groupe expérimental n'ont pas significativement progressé en termes de performances aux scores comparativement aux élèves de groupes témoins. En effet, la comparaison des gains relatifs entre les deux groupes d'élèves, a indiqué que la différence entre leurs gains relatifs moyens est statistiquement non significative ($p - value = 0.514 > 0.05$).

L'analyse de la deuxième partie de l'expérimentation a révélé que, les élèves du groupe expérimental utilisant le potentiel de Geogebra ont significativement progressé en terme d'apprentissage du concept mathématique de fonctions ($p - value < 0.05$). En plus, les élèves ayant utilisé le logiciel de mathématiques dans un environnement structuré ont atteint les deux tiers (2/3) de l'évolution possible. La corrélation entre le niveau de départ des élèves de ce groupe classe et leur gain relatif moyen n'est pas significatif ($p - value > 0.05$). Ces résultats sont largement en dessus des ceux obtenus à partir des deux autres modalités d'apprentissage. *Ce qui indique que les performances des élèves mesurés en termes de progression sont significativement influencées par l'utilisation du potentiel du logiciel de mathématiques réalisée au cours de l'apprentissage du concept mathématique et que l'apprentissage dans un environnement structuré où les élèves se sont familiarisés avec le logiciel Geogebra a permis de faire progresser l'ensemble de la classe. De ce fait, on ne peut pas attribuer la progression des élèves dans un environnement numérique ne peut pas donc être attribué à utilisation du logiciel dynamique de mathématiques (Ismaël et Bouba, 2018)*

Une des premières raisons, qui peut expliquer la différence non significative en termes des performances entre les élèves du groupe expérimental et ceux du groupe témoin de la première partie de notre expérimentation sont les difficultés des élèves à utiliser les fonctionnalités du logiciel de la géométrie dynamique. Blondel, Bruillard et Tort (2008) ont mené une étude sur l'utilisation du logiciel Tableur pour faire à des fins personnelles et en classes en se concentrant sur le processus d'apprentissage des mathématiques par les élèves du secondaire. Les résultats de cette recherche ont révélé que les élèves du secondaire utilisent rarement le logiciel tableur en situation de classe et très rarement à la maison. Il ressort aussi de ces résultats que les élèves du secondaire ont des compétences faibles en matière

d'utilisation du logiciel. *Ces chercheurs ont observé que les élèves au cours de l'apprentissage effectuent les tâches avec le logiciel dynamique en utilisant les techniques d'exploration systématique et des essais et erreurs. La plupart des élèves cherchent la commande ou le bouton dans l'interface du logiciel pour effectuer la transformation demandée et pour écrire une formule nécessaire pour une tâche, ils essaient plusieurs écritures jusqu'à la syntaxe soit acceptée. Rares sont les élèves qui maîtrisent suffisamment les fonctionnalités du tableur pour les appliquer directement en résolution de problèmes mathématiques, que ça soit pour effectuer la tâche demandée ou pour faire une conjoncture. Ces chercheurs estiment que pour apprendre à utiliser le logiciel Tableur, ils combinent l'exploration systématique des menus et des boutons avec des essais et des erreurs.*

Vasquez (2015) a mené une étude dans un lycée situé dans une communauté urbaine de Californie du Sud aux USA sur l'utilisation du logiciel Geogebra dans un environnement riche en technologie pour améliorer les résultats des élèves. Les résultats de cette recherche révèlent qu'il n'y a pas globalement de différence significative en termes de performances aux scores entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Il conclut que *ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les élèves n'ont jamais utilisé Geogebra auparavant et n'avaient pas reçu des cours sur l'introduction au logiciel et à ses fonctionnalités avant cette expérimentation. Ce qui a eu pour conséquence, des difficultés à utiliser Geogebra au cours des activités d'apprentissage des mathématiques par les élèves. Ce chercheur a estimé que si les élèves ont appris à utiliser Geogebra avant cette étude, l'apprentissage des mathématiques des élèves avec le logiciel sera plus efficace, ce qui aura un effet positif et significatif sur les résultats leurs résultats globaux aux scores comparativement aux élèves du groupe témoin.*

Ljajko (2017) a mené une recherche sur l'utilisation de Geogebra par les élèves portant sur en minimum 50 séances de cours dont les résultats ont révélé qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative en termes de performance aux scores entre les élèves du groupe expérimental et les élèves du groupe contrôle. Mieux, le chercheur a révélé que *lors des deux premiers tests, les élèves du groupe expérimental ont montré de performances inférieures en termes de résolutions des problèmes dans un environnement autre que numérique comparativement à ceux du groupe témoin.* Bakar, Tarmizi, Ayub et Yunus (2009) ont trouvé des résultats aussi similaires lorsqu'ils ont mené une recherche pour étudier l'impact de l'enseignement des limites et de continuité d'une fonction dans un environnement soutenu par

Geogebra sur la compréhension conceptuelle des élèves et leurs attitudes à l'égard de l'apprentissage des mathématiques par la technologie. Les résultats ont révélé qu'il n'y a aucune différence statistiquement significative pour la compréhension conceptuelle où la connaissance procédurale des fonctions quadratiques entre le groupe témoin enseigné avec une approche traditionnelle et le groupe expérimental enseigné avec le logiciel de géométrie dynamique, en termes de performance des élèves après les interventions pédagogiques. *Ses chercheurs ont estimé que la principale raison de cette différence non significative est le temps de l'intervention, qui était limitée à six heures d'instruction, y compris le temps passé à apprendre les caractéristiques de base du système de gestion, dans le groupe expérimental. Les chercheurs ont estimé que pour pouvoir observer un impact en termes d'apprentissage, le temps de l'intervention devait être plus long.*

En effet, dans le contexte de notre première partie de l'expérimentation, le temps de l'intervention y compris celui d'apprentissage des caractéristiques de Geogebra est de trois (3) heures soit la moitié du temps utilisé par ces chercheurs. Cela pouvait donc être l'une des raisons qui justifient que le groupe d'élèves ayant mobilisé le logiciel Geogebra pour l'apprentissage du concept mathématique n'ait pas significativement progressé comparativement aux élèves du groupe témoin.

En effet des résultats significatifs en termes de performances aux scores peuvent être obtenus lorsque l'utilisation du logiciel augmente l'intérêt des élèves à apprendre les mathématiques. Williams, Charles-Ogan et Adesope (2017) ont mené une recherche sur l'intérêt et la réussite des élèves du secondaire ayant reçu un enseignement de mathématiques avec le logiciel Geogebra. Les résultats ont indiqué que le niveau d'intérêt des élèves a augmenté pour l'utilisation de Geogebra une influence significative. En plus, les résultats de tests aux scores ont indiqué une influence significative sur la réussite des élèves et cette influence peut être attribuée à l'utilisation de Geogebra. Arbain, et Shukor, (2015) ont mené une étude en Malaisie pour examiner l'efficacité de l'utilisation du logiciel Geogebra sur l'apprentissage des élèves en mathématiques et les résultats de la recherche révèlent que les élèves ayant utilisé ce logiciel obtiennent des meilleurs résultats d'apprentissage. Une autre étude menée par Tay et Mensah –Wonkyi (2018) pour déterminer l'effet de l'utilisation de Geogebra sur les performances des élèves du niveau lycée sur les théorèmes du cercle. Les résultats ont montré que les élèves ont été enseignés par la méthode Geogebra ont obtenu des meilleurs résultats aux scores comparativement à ceux qui ont été enseignés par la méthode traditionnelle. *Les chercheurs alors ont conclu que Geogebra a eu un effet positif et*

statistiquement significatif sur les élèves et la méthode Geogebra a rendu les leçons sur les théorèmes du cercle plus intéressants, pratiques et faciles à comprendre par les élèves d'autre part.

La deuxième raison qui peut expliquer ces résultats est que l'utilisation de Geogebra au cours de l'apprentissage a eu effet réduit sur la compréhension du concept mathématique de fonction.

Bell (2001) a mené une étude pour déterminer si les élèves utilisant un logiciel offrant un environnement d'apprentissage multi – représentation pour apprendre le concept des fonctions développent une meilleure compréhension conceptuelle des fonctions comparativement aux élèves apprenant dans un environnement traditionnel. Les résultats ont révélé qu'il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les compétences procédurales des deux groupes plus précisément leur capacité à modéliser des applications réelles et leur capacité à résoudre des problèmes en utilisant le logiciel. *Selon Belle (2001), comprendre les effets des technologies sur les capacités des élèves à résoudre des problèmes et à déterminer si l'apprentissage dans un environnement multi représentationnel influence la compréhension conceptuelle des fonctions par les élèves et leur image conceptuelle d'une fonction. Ce qui permettra aussi de comprendre la relation entre les connaissances procédurales et conceptuelles et la transition de l'utilisation des connaissances procédurales à l'utilisation des connaissances conceptuelles.*

Turkun et Ozturk (2013), ont mené une étude pour spécifier l'effet d'un environnement d'apprentissage enrichi le logiciel éducatif dans lequel Geogebra a été utilisé pour la réussite des élèves et de leur niveau de compréhension dans le processus d'enseignement de trigonométrie et de la pente au niveau du primaire. Les résultats ont montré globalement que le logiciel Geogebra a un effet significatif sur l'apprentissage des élèves et un effet positif sur leur rétention de l'apprentissage. Néanmoins les résultats ont montré que le logiciel Geogebra n'a pas eu d'effet significatif sur la compréhension de la géométrie des élèves en plus il n'y a pas de différence significative entre les acquis des niveaux des connaissances et d'application du groupe expérimental appliquant le logiciel Geogebra en termes de scores comparativement au groupe témoin. D'autre part, les résultats ont révélé qu'il existe une différence significative entre les élèves ayant utilisé le logiciel Geogebra. Aydos (2015) a mené une étude portant sur *l'impact de l'enseignement des mathématiques avec Geogebra sur la compréhension conceptuelle des limites et de la continuité chez les élèves du secondaire*. Les résultats ont révélé que les élèves du groupe

expérimental ont obtenu des résultats aux tests au score sur la compréhension conceptuelle statistiquement supérieure à ceux des élèves du groupe témoin. *Le chercheur a estimé que parmi les raisons qui expliquent les performances aux scores des élèves du groupe expérimental a été la possibilité de faire construire des notions mathématiques de limites et continuités à l'aide de Geogebra, en plus Geogebra offre aux élèves d'explorer plusieurs perspectives d'une même construction et la dernière est l'opportunité appropriée y comprise celle de Geogebra offerte aux élèves.*

Mwingirwa et Miheso –O'Connor's (2016) ont mené une étude sur l'utilisation de Geogebra dans l'enseignement de mathématiques au secondaire pour que les élèves conceptualisent les concepts mathématiques de la géométrie. *Les résultats ont montré qu'utilisation de Geogebra a permis aux élèves de comprendre des concepts mathématiques difficiles et qu'en plus les enseignants de cette étude ont été très enthousiastes à l'idée de son utilisation dans les classes du secondaire. En plus les résultats de cette étude ont montré que Geogebra a été révélé comme le logiciel le plus approprié comme outils d'enseignement et d'apprentissage de la géométrie néanmoins cela n'a pas empêché les enseignants à avoir du mal à enseigner la géométrie voire accentué des difficultés lorsqu'ils sont sollicités pour démontrer des concepts mathématiques difficiles à enseigner.* Les résultats de notre recherche ont indiqué que le niveau de maîtrise des nouvelles connaissances du concept de fonctions numériques est inférieur à la moyenne. En 2013, Turkun (2013) a mené une étude pour analyser l'effet du logiciel de la géométrie dynamique Geogebra sur le niveau de compréhension de la géométrie de Van Hiele par les élèves du lycée (âgé de 16 à 17 ans). *Les résultats ont montré que l'utilisation de Geogebra a un effet positif et significatif sur le niveau de compréhension de la géométrie de Van Hiele par les élèves du lycée. Selon ce chercheur, ce résultat obtenu par cette recherche peut s'expliquer par la méthode d'enseignement appliquée pour le groupe expérimental et par l'environnement d'apprentissage fourni par le logiciel. Les élèves du groupe expérimental ont eu l'occasion au cours de l'enseignement avec Geogebra de créer eux-mêmes des formes géométriques données, de déplacer des formes, de manipuler les formes, de tester et de construire leurs propres connaissances. En plus, grâce aux activités dans l'environnement numérique d'apprentissage, les élèves du groupe expérimental ont eu également la possibilité de participer activement au processus d'apprentissage, de partager des idées, de discuter avec leurs camarades des résultats obtenus et de construire leurs propres connaissances.*

Zakaria (2014) a mené une étude pour déterminer l'efficacité de l'utilisation de Geogebra sur les connaissances conceptuelles et procédurales des élèves. Les résultats de cette étude ont montré une différence significative en matière de connaissances conceptuelle et procédurale du concept de fonction entre les élèves de différents niveaux de compétence. Les résultats ont montré une différence significative en termes de connaissances conceptuelle en fonction du niveau des élèves, ainsi les élèves ayant un niveau de compétences faibles et ceux ayant un niveau de compétences élevé ont plus amélioré leurs connaissances conceptuelles comparativement aux élèves ayant un niveau de compétence moyen. Les résultats ont aussi montré une différence significative en termes de connaissances procédurales en fonction du niveau des élèves, ainsi les élèves ayant un niveau de compétences élevées avaient un niveau de connaissances supérieures à celui des élèves de niveau de compétences faibles et moyennes.

En effet l'utilisation du potentiel de Geogebra en apprentissage des mathématiques peut influencer significativement la compréhension du concept mathématique des élèves et leur capacité de rétention des nouvelles connaissances mathématiques, ce qui peut contribuer significativement aux performances des élèves. L'utilisation du potentiel de logiciel éducatif en particulier Geogebra dépend du niveau de connaissances requises et le niveau de compétences en résolution de problème mathématique mais aussi des opportunités appropriées offertes aux élèves pour l'apprentissage du concept mathématique.

La troisième raison qui peut expliquer ces résultats est que l'utilisation de Geogebra au cours de l'apprentissage a eu un effet réduit sur les compétences liées à la résolution de problèmes sur les fonctions numériques. En effet, Temperman et all. (2014) ont mené une étude pour évaluer l'effet du dispositif d'apprentissage en mathématique des élèves du primaire mobilisant le logiciel Scratch mais aussi étudié les effets de cet environnement sur la progression de la maîtrise de compétences de ses élèves. Les résultats de cette étude ont montré que le dispositif mis en place a eu un effet réduit pour les compétences liées à la résolution de problèmes et pour le raisonnement logique. Poh et Leong (2014) qui révèlent dans une étude que l'utilisation de Geogebra n'a pas permis de stimuler la pensée mathématique des élèves en situation d'apprentissage malgré le fait qu'ils savent manipuler l'outil. D'autres recherches comme Ogbonnaya et Alfred (2017), Carolyn (2013) ont également révélé que savoir utiliser le numérique en apprentissage de mathématique ne suffit pas en lui seul de faire progresser significativement les élèves en termes de performances aux

scores. Certes l'utilisation du logiciel facilite la résolution du problème mathématique et la visualisation des résultats (Saha, Ayub, et Tarmizi, 2010), mais en plus les élèves sont appelés à avoir des minimums des connaissances requis sur le concept à apprendre et de maîtrise des compétences en termes de résolution de problèmes mathématiques.

En effet des résultats significatifs en termes de performances aux scores ont été obtenus lorsque les élèves ont bien appris l'utilisation les fonctionnalités du logiciel d'apprentissage et son potentiel en résolution de problèmes mathématiques. Dogan (2010) a mené une recherche dont les résultats ont montré que les élèves du groupe expérimental ont significativement progressé en termes de performances aux scores comparativement au groupe témoin. Selon ce chercheur les raisons qui peuvent expliquer cet effet positif et significatif de l'utilisation de Geogebra par les élèves, sont d'une part le fait qu'ils se sont familiarisés avec ce logiciel et d'autre part, ils ont eu la possibilité au cours de l'apprentissage construire, explorer et observer les propriétés géométriques dans des conditions suffisantes d'utilisation du logiciel préalablement préparées et testées. Ainsi, cette stratégie d'intervention a facilité la réflexion de haut niveau des élèves en mettant en place une situation d'apprentissage qui dépasse le simple fait de dessiner les formes géométriques, un signe d'un haut niveau d'apprentissage. Contrairement à la situation d'apprentissage traditionnel au cours de laquelle les élèves dessinent des formes géométriques sans tenir compte de condition factuelle. En comparant ces résultats de recherche aux nôtres, il ressort clairement que les élèves de du groupe expérimental de notre recherche n'ont pas suivi un cours sur les fonctionnalités de Geogebra pour qu'ils puissent se familiariser efficacement avec le nouvel environnement d'apprentissage. En plus les activités ont été proposées sur la base des objectifs d'apprentissage selon le programme de mathématique en vigueur, il apparaît clair que ces activités n'ont pas été élaborées et préparées en prenant en compte les fonctionnalités du logiciel pour que les élèves puissent les utiliser de manière efficace dans cet environnement d'apprentissage dynamique.

La quatrième raison qui peut expliquer les résultats de notre recherche est le fait que les élèves n'ont pas pu utiliser le potentiel du logiciel Geogebra au cours de leur apprentissage. L'utilisation de Geogebra logiciel par les élèves n'a pas été très efficace pour améliorer significativement leurs connaissances du concept mathématique de fonction. La raison pourrait être due fait que la présentation des concepts par la méthode visuelle a été insuffisante pour permettre aux élèves de mobiliser des connaissances conceptuelles et procédurales lors des résolutions des problèmes (Hutkemri, 2014 ; Engelbrecht et all., 2005).

L'utilisation du potentiel didactique de Geogebra offre la possibilité aux élèves du second cycle du secondaire la possibilité de travailler les concepts mathématiques, de les communiquer de différentes manières et de les exprimer dans différentes représentations, ce qui rend l'environnement d'apprentissage plus dynamique contrairement à l'environnement traditionnel (Mehanovic, 2011)

En effet, des chercheurs ont estimé que les principales raisons qui font que les élèves mobilisant le logiciel au cours de leur apprentissage d'un concept mathématique puissent statistiquement progresser, sont le fait que le logiciel éducatif soit utilisé dans les activités d'apprentissage des représentations du concept, qu'ils puissent visualiser et explorer le concept mathématique enseigné, qu'ils puissent être capables de tester leurs propres conjectures et qu'ils puissent communiquer les résultats de leur apprentissage.

Leong (2013) a mené pour déterminer les effets de l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique sur l'enseignement et l'apprentissage des fonctions trigonométriques et des fonctions valeur absolue des élèves à partir de leurs représentations graphiques. Les résultats de cette étude ont montré qu'il y a une différence significative en termes de moyenne aux scores au profit du groupe expérimental. Ce qui signifie que l'utilisation du logiciel de géométrie dynamique en classe de mathématiques a eu un effet positif sur les résultats des élèves et a amélioré l'attitude des élèves à l'égard de l'apprentissage de la représentation graphique de fonctions. *Le chercheur a estimé que les principales raisons qui ont fait que les élèves du groupe expérimental ont significativement progressé comparativement aux élèves du groupe témoin, ce qu'ils utilisent le logiciel de la géométrie dynamique dans leurs activités d'apprentissage des représentations graphiques des fonctions, ils ont pu visualiser et explorer le concept mathématique enseigné, ils ont été capables de tester leurs propres conjectures et leur apprentissage était devenu amusant. En plus l'apprentissage avec le logiciel de géométrie dynamique a encouragé les élèves à interagir entre paires, ce qui certainement a amélioré leur communication entre eux.* Des résultats similaires ont été obtenus par Ellington (2003) lorsqu'il a étudié des effets des calculatrices sur le rendement des élèves et leurs niveaux d'attitudes à l'égard des mathématiques. Les compétences opérationnelles et la résolution de problèmes des élèves s'amélioraient lorsque les calculatrices faisaient partie intégrante du processus d'apprentissage en classe.

En somme, les raisons principales de cette différence significative en faveur du groupe expérimental préparé à l'utilisation du logiciel dynamique de mathématique sont dues au fait que les élèves de ce groupe ont maîtrisé les fonctionnalités de Geogebra

avant l'intervention pédagogique, ce qui a permis à l'ensemble des élèves plus familiarisés à l'environnement numérique de l'apprentissage (Dogan, 2010). En plus, la méthode d'apprentissage avec ce logiciel de mathématiques a rendu, les leçons sur le concept de mathématique de fonctions numériques plus intéressantes, plus pratiques et faciles à comprendre par l'ensemble des élèves de ce groupe expérimental (Tay et Mensah –Wonkyi, 2018).

3.2 La dynamique d'apprentissage des élèves

Les interventions des enseignants de mathématiques dans un environnement d'apprentissage ordinaire n'ont pas permis de faire progresser significativement les élèves vers les maîtrises des nouvelles connaissances du concept de fonctions et des compétences en résolutions des problèmes. En effet, les gains relatifs moyens par enseignant dans les classes expérimentales sont inférieurs à 30% pour tous les quatre (4) enseignants de notre expérimentation.

Les interventions des enseignants ordinaires de mathématiques dans le groupe expérimental ont permis de réduire les écarts de compétences en termes de résolution des problèmes sur les fonctions numériques qui existent au départ entre les élèves ayant mobilisé le logiciel Geogebra. La différence entre le coefficient de Variation entre les scores moyens au départ et les scores moyens après l'intervention pédagogique des enseignants a indiqué une réduction importante de la disparité (en moyenne 25%) qui existe entre les élèves des différents niveaux de connaissances requises aux départs dans le groupe expérimental comparativement à la réduction de la disparité (en moyenne 15%) dans le groupe témoin. *(ces résultats corroborent avec ceux obtenus en 5).*

L'une de raison qui peut expliquer que les interventions pédagogiques des enseignants n'ont pas eu d'effets significatifs sur l'apprentissage de fonctions des élèves est le fait que l'environnement d'apprentissage avec le numérique n'a pas permis aux élèves de construire des connaissances nouvelles et de maîtriser les compétences de résolution de problèmes sur les fonctions numériques. En effet, les recherches consultées relèvent que l'enseignant joue un rôle important en terme de conception et d'intervention pédagogique dans un dispositif d'apprentissage de mathématiques avec logiciel (Robert et Rogalski, 2002 ; Darricarrère et Brouillard, 2010 ; Depover, Karsenti et Komis, 2007 et Duroisin, Temperman et De lièvre, 2011).

Une autre étude à grand nombre menée aux Etats Unis, cité par Darling-Hammond, Zielezinski et Goldman (2014) a porté sur 9400 élèves dans 132 écoles pour évaluer l'impact d'une variété de logiciels de mathématiques sur les performances aux scores des élèves du second cycle du secondaire. Les résultats de cette étude révèlent qu'il n'y a pas de différence significative en termes de performance aux scores entre les groupes classes qui ont utilisé le logiciel et les groupes classes qui ne l'ont pas utilisé.

Une étude menée en Belgique par Temperman et al. (2014) pour évaluer l'effet du dispositif d'apprentissage en mathématiques des élèves du primaire mobilisant le logiciel Scratch mais aussi étudier les effets de cet environnement sur la progression de la maîtrise de compétences de ses élèves. Les résultats de cette étude ont montré que le dispositif mis en place a eu un effet réduit pour les compétences liées à la résolution de problèmes et pour le raisonnement logique. *Ces chercheurs ont également observé des effets positifs de cet environnement d'apprentissage sur le domaine de grandeurs, des nombres et de la structuration spatiale et le scénario ont eu un effet d'équité sur l'apprentissage des élèves.* Cette étude expérimentale de type prétest et posttest avec uniquement un groupe expérimental a été mise en place. L'échantillon est de 19 élèves d'une classe de primaire de la province de Hainaut en Belgique. Le choix de l'établissement n'a pas été fait au hasard mais du fait qu'il dispose des matériels informatiques et que les enseignants ont accepté de participer à cette recherche. La phase expérimentale a duré 4 mois et dix (10) séances de 2h chacune ont été organisées et des travaux collaboratifs entre élèves ont été envisagés.

L'une des raisons qui peut expliquer que les interventions pédagogiques des enseignants n'ont pas eu d'effets significatifs sur l'apprentissage de fonctions des élèves est le fait que les enseignants ont adapté les stratégies et méthodes traditionnelles dans l'environnement d'apprentissage avec le numérique, ce qui n'a pas permis aux élèves de progresser significativement.

Des recherches ont montré que l'apprentissage des élèves est en partie provoqué par leurs activités en classe qui sont influencées par les pratiques enseignantes et cela à partir des activités proposées aux élèves et plus particulièrement le choix des tâches mathématiques de l'enseignant (Robert et Rogalski, 2002). Dans le modèle de l'outil à potentiel cognitif développé par Depover, Karsenti et Komis (2007), ils mettent en évidence le choix de scénarisation pédagogique par l'enseignant comme un des facteurs clés pour que la médiation du contenu mathématique par l'outil à potentiel cognitif puisse favoriser l'apprentissage des élèves. Ainsi, pour que l'intervention de l'enseignant dans un environnement numérique ait

un effet significatif sur l'apprentissage des élèves, l'enseignant doit proposer aux élèves des activités les plus constructives, qui nécessiteront leur engagement et qui leur permettront d'exploiter suffisamment le potentiel du logiciel (Duroisin, Temperman et De lièvre, 2011). Mais Depover, Karsenti et Komis (2007) ont affirmé que l'«*exploitation efficace (des logiciels dynamiques de mathématiques) exige souvent des changements assez fondamentaux en ce qui concerne la manière de structurer la classe. Les technologies sont souvent gérées dans un premier temps en s'inspirant de pédagogies traditionnelles. Ce n'est qu'après plusieurs années d'expérience et un accompagnement pédagogique adéquat que le comportement des maîtres évolue pour intégrer des approches plus valorisantes pour l'exploitation des technologies* » (p. 229) En effet, une étude menée par Darricarrère et Brouillard (2010) a révélé que les enseignants ordinaires de mathématiques proposent des activités qui tendent leur manière de faire la classe et qui s'adaptent le mieux aux contraintes matérielles et pédagogiques qu'ils rencontrent et intègrent le logiciel de la géométrie dynamique pour renforcer leurs capacités à montrer ce qu'il souhaite montrer à leurs élèves. Selon, Mehanovic (2011), lorsque l'enseignant utilise le potentiel didactique de Geogebra alors il devient un bon outil mathématique pour soutenir les travaux mathématiques des élèves.

3.3 Les attitudes des élèves

Les résultats des attitudes et comportements déclarés envers les mathématiques et envers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie ont indiqué qu'il n'y a pas de tendance en termes d'attitudes en vers les mathématiques et envers l'apprentissage de mathématiques avec la technologie entre le groupe expérimental et le groupe témoin ni par sexe chez les élèves ayant mobilisé le logiciel Geogebra. Néanmoins, les attitudes envers les mathématiques des élèves du groupe expérimental ont fortement et directement permis de les faire progresser alors que leur attitude envers l'apprentissage de mathématiques avec la technologie a fortement et indirectement permis de les faire progresser les élèves au cours des séquences de cours sur le concept de mathématique avec le logiciel dynamique de mathématique Geogebra. En effet une corrélation positive et statistiquement significative a été obtenue entre les attitudes déclarées envers les mathématiques des élèves du groupe expérimental et leurs gains moyens aux scores ($r > 0$ et $p < 0.05$) et aussi entre les attitudes déclarées envers les mathématiques et leurs engagements en vers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie ($r > 0$ et $p < 0.05$).

Une des raisons qui peuvent expliquer effet des attitudes positives envers les mathématiques sur leur comportement d'apprentissage du concept de mathématique et leurs performances au test aux scores est le fait que les élèves ayant une attitude positive envers les mathématiques sont arrivés à utiliser les fonctionnalités de Geogebra au cours de leur apprentissage pour résoudre les problèmes des fonctions numériques et particulièrement ce qui probablement a permis de faire progresser les élèves sur l'acquisition des nouvelles connaissances du concept de fonctions. Mais également l'attitude positive envers les mathématiques a permis de rendre l'apprentissage plus dynamique.

En effet, les résultats des observations de situation d'apprentissage ont révélé que les classes des élèves expérimentaux ont été plus dynamiques au cours de l'apprentissage des nouvelles connaissances sur le concept de fonction comparativement aux classes des élèves du groupe témoin. Les résultats des observations des classes ont indiqué que l'environnement d'apprentissage avec Geogebra a significativement influencé l'engagement affectif des élèves. En effet, la corrélation entre les trois comportements participatif, attentif et interactif des élèves du groupe expérimental a indiqué une relation significativement positive deux à deux entre eux ($r > 0$ et $p < 0.05$) alors dans le groupe témoin seul les comportements participatifs et interactifs observés chez ses élèves ont été statistiquement reliés ($r = 0.786$ et $p < 0.01$). *(Ces résultats corroborent avec ceux déclaratifs qui indiquent que les engagements des élèves ont significativement contribué à leur progression pour l'apprentissage des fonctions numériques)*

Des résultats similaires ont été obtenus par Reed, Drijvers et Kirschner (2010) en menant une recherche pour étudier l'effet des attitudes et comportements des élèves sur l'apprentissage de mathématiques avec le numérique. Les résultats du test de l'échelle d'attitudes envers les mathématiques et la technologie sur 527 élèves du secondaire ont révélé d'une part, que les attitudes des élèves à l'égard des mathématiques ont un effet positif sur la compréhension du concept mathématique et les résultats aux scores quel que soit le niveau de connaissances de départ des élèves alors que les attitudes envers la technologie ont eu un effet négatif sur les élèves ayant un niveau élevé de connaissances requises. Les résultats de l'observation d'un groupe restreint d'élèves en situation d'apprentissage du concept de fonctions ont révélé que les attitudes envers les mathématiques ont un lien avec les comportements d'apprentissages avec le numérique et les performances aux scores des élèves même si ce lien n'est pas fort dû probablement au faible effet. Néanmoins, les chercheurs ont

constaté que les élèves ayant une attitude très positive envers les mathématiques sont arrivés à comprendre le fonctionnement de l'outil et son lien avec les exigences des tâches mathématiques demandées ce qui leur a probablement permis de progresser au cours de leur apprentissage et d'avoir des performances significatives en termes des scores. Barkatsas, Gialamas et Kasimatis (2008) également établie une étude sur la complexe relation entre l'attitude des élèves du secondaire à l'apprentissage de mathématiques avec les technologies numériques, la confiance à l'égard des mathématiques, la confiance aux technologies, l'attitude en vers l'apprentissage des mathématiques avec la technologie, l'engagement affectif et l'engagement comportemental, la réussite, le genre et le niveau scolaire. L'étude a porté sur un échantillon de 1068 élèves du secondaire. Ces chercheurs ont alors conclu que le niveau élevé de réussite en mathématiques des élèves du secondaire est associé au niveau élevé de confiance en mathématiques, aux niveaux fortement positifs à l'engagement affectif et l'engagement comportemental, à une confiance élevée pour l'utilisation des technologies et à une attitude fortement positive en vers l'apprentissage des mathématiques avec les technologies. Alors que le faible niveau de réussite en mathématiques des élèves est associé au faible niveau de confiance en mathématiques, aux niveaux fortement négatifs d'engagement affectif et d'engagement comportemental, à une faible confiance dans l'utilisation de la technologie, et à une attitude négative en vers l'apprentissage des mathématiques avec les technologies.

Dans une recherche menée par Malaisie, Masri et all (2016) ont également constaté que *les élèves du groupe expérimental ont montré une attitude positive en vers l'utilisation de Geogebra en apprentissage, ce qui indiquait que cette stratégie d'apprentissage peut être utilisée pour permettre aux élèves d'apprendre les concepts mathématiques mais aussi pour améliorer leurs performances à long terme.*

3.4 Effets d'autres variables

3.4.1 Effet des connaissances de départ des élèves

Les élèves du groupe expérimental et ceux du groupe témoin sont statistiquement au même niveau de départ en termes de scores du test préliminaire ($z = -0.498$ et $p - value = 0.618 > 0.05$). Néanmoins, les résultats ont indiqué que les élèves des deux groupes d'élèves ne possèdent pas au départ suffisamment de connaissances requises sur la notion de fonction puisque leurs scores moyens sont largement en dessous de 50%.

Le niveau de départ des élèves du groupe expérimental a un effet significatif sur la performance aux scores comparativement au niveau du départ des élèves du groupe témoin. En effet, l'utilisation de Geogebra a permis aux élèves les plus faibles de progresser significativement dans l'apprentissage du concept mathématique de fonctions. Ainsi, la comparaison des gains relatifs par niveau de départ, c'est-à-dire avant l'intervention pédagogique, a indiqué que la différence entre leurs gains relatifs moyens par niveau est statistiquement significative dans le groupe expérimental et il est au profit des élèves les plus faibles au départ ($\chi^2 = 8.59$ et $p = 0.035 < 0.05$) alors que dans le groupe témoins le résultat est non significatif ($\chi^2 = 1.73$ et $p = 0.630 > 0.05$).

Les résultats des entretiens semis directifs ont également révélé que les élèves de notre expérimentation ne possèdent pas suffisamment de connaissances préalables sur les notions mathématiques de la fonction numérique leur permettant de progresser significativement au cours de leurs apprentissages avec le logiciel dynamique. En effet, les résultats des entretiens semis directifs, réalisés avec les élèves du groupe expérimental et les enseignants ayant intervenu dans cette expérimentation, ont indiqué qu'ils ont une compréhension conceptuelle déficitaire des notions de la fonction numérique et que leur compréhension procédurale des notions mathématiques est très limitée.

La plupart des élèves interviewés ont une conception très limitée du concept de fonction. La plupart des élèves interviewés ne sont pas parvenus à donner une définition fonctionnelle de la fonction et même ceux ayant réussi, ils considèrent la fonction comme règle de correspondance souvent représentée par une formule.

La plupart des élèves interviewés ne connaissent que des fonctions affines ou linéaires, ceux sont les élèves ayant des connaissances antérieures sur les fonctions de références. Ils n'arrivent pas à identifier les caractéristiques des fonctions élémentaires, leurs représentations, symboliques algébriques ou numériques et ne pouvaient pas utiliser le raisonnement sur ces représentations.

La plupart des élèves interviewés ont tendance à posséder des connaissances antérieures des fonctions numériques plutôt locales et un niveau de compréhension limité. Les peu d'élèves ayant manifesté un niveau de compréhension élevé, ont tendance à posséder plus des connaissances antérieures procédurales plus que des connaissances conceptuelles du concept de fonction.

Les résultats aux scores par niveau au départ révèlent l'influence significative du niveau de départ des élèves mobilisant Geogebra sur leur approche nouvelle d'apprentissage comparativement à l'approche traditionnelle utilisée par les élèves n'ayant pas mobilisé le logiciel dynamique. En effet, l'utilisation de Geogebra a permis aux élèves les plus faibles de progresser significativement dans l'apprentissage du concept mathématique de fonctions. La recherche menée par Heutte (2008) a montré que les technologies permettent tout particulièrement les élèves à faible niveau de connaissances au départ de progresser significativement en apprentissage. L'utilisation du logiciel dynamique de mathématique peut participer à l'amélioration de l'apprentissage des élèves de notre étude surtout à long terme (Ibidem). Des résultats similaires ont été obtenus par Vasquez (2015) dont les résultats dans les groupes classes d'élèves utilisant le logiciel Geogebra ont révélé que, les élèves les moins performants au départ ont obtenu des scores les plus élevés en termes de rendement. Une autre recherche, menée par l'université de Stanford aux Etats Unis sur l'utilisation des logiciels de mathématiques au secondaire moyen, a révélé que l'utilisation du numérique aide les élèves les moins performants de réussir en mathématiques (Darling-Hammond, Zielesinski et Goldman, 2014). Selon ses chercheurs, les trois variables qui ont essentiellement contribué à la réussite de ses élèves peu performants en mathématiques au départ sont: l'apprentissage interactif, l'utilisation du logiciel de mathématique pour explorer et créer et le bon mélange d'enseignants et de technologie (Ibidem).

Mehanovic (2011) a mené une étude sur l'introduction et l'intégration de Geogebra dans les activités d'apprentissage des élèves du cycle du secondaire moyen. Les résultats de cette recherche ont révélé une différenciation de travail des élèves. Pour certains élèves, l'utilisation de Geogebra semblait prendre en charge leur travail alors que pour d'autres, il est un facteur qui perturbe leur progression en apprentissage. Les difficultés observées chez les derniers sont liées aux manques d'expériences en termes d'utilisation de Geogebra par conséquent ses élèves manquent de connaissances sur la façon d'exploiter le potentiel du logiciel dans leurs activités mathématiques (Ibidem).

Herceg et Herceg (2010) ont mené une étude sur l'intégration de Geogebra pour résoudre des équations numériques par les élèves du niveau lycée. Les résultats de cette recherche ont révélé une évolution progressive pour la résolution de problèmes avec Geogebra des élèves tout au long des cinq (5) années qu'a duré cette étude. Mais la progression des élèves mobilisant Geogebra n'a été significative qu'au cours des deux dernières années de l'expérimentation. L'utilisation de Geogebra à long terme a permis aux

élèves ayant mobilisant Geogebra à long terme de progresser significativement en termes de scores aux tests de connaissances et d'acquérir plus de connaissances et de compétences en terme de résolutions des équations numériques. Selon ces chercheurs, *l'utilisation de Geogebra à elle seule n'explique pas ce progrès significatif des élèves. En effet l'utilisation du logiciel a permis aux élèves qui ont rencontré des difficultés pour résoudre manuellement des problèmes mathématiques de se libérer et d'avoir plus de temps pour travailler sur les nouvelles connaissances mathématiques, les élèves ont pu utiliser le logiciel dans sa dimension interactive et ont développé une pensée mathématique. En plus, ils ont bénéficié des encouragements de la part de leur enseignant.*

Zakaria (2012) ont mené une étude pour identifier *les connaissances conceptuelles et procédurales sur le concept mathématique des fonctions en fonction des groupes et du genre*. Les résultats de cette recherche révèlent une différence significative dans les connaissances conceptuelles et procédurales des élèves en fonction des groupes et cela au profit des élèves utilisant Geogebra dans leur apprentissage. Cependant, il n'y avait pas de différence significative entre les connaissances conceptuelles et procédurales des élèves en fonction du sexe. Cette étude quasi expérimentale porta sur 284 élèves de deux établissements du lycée parmi lesquels 138 élèves sont placés dans le groupe expérimental c'est-à-dire utilisant Geogebra et 146 élèves sont dans le groupe témoin. Les données sont collectées à l'aide du test conceptuel et procédural sur le thème de fonction. Un prétest a été administré aux deux groupes avant les séances et un posttest à la fin. Les élèves du groupe expérimental ont suivi 8h de cours en utilisant Geogebra, trois fois par semaine alors que les élèves du groupe témoin ont suivi les cours avec la méthode traditionnelle.

3.4.2 Effet de manque de maîtrise des fonctionnalités du logiciel

L'analyse des activités d'apprentissage du concept mathématique de fonction des élèves dans l'environnement Geogebra ont révélé que, les élèves mobilisant Geogebra n'ayant pas maîtrisé les fonctionnalités de ce logiciel dynamique de mathématique ont rencontré plus des difficultés dans les tâches mathématiques qui demandent la mobilisation des sous-activités instrumentées (Robert et Vanderbrouk, 2017). Ces difficultés d'utilisation du logiciel pour réaliser des sous-tâches qui sont dues à la médiation proposée par Geogebra ne favorisent pas une avancée vers une homogénéité en matière de progression vers l'apprentissage du concept mathématique de fonction et de l'acquisition de connaissances pour les élèves de la classe de mathématiques (Vanderbrouk, et Robert, 2017). (*Confirmez les résultats sur le CV*).

Néanmoins ses élèves mobilisant le logiciel Geogebra au cours de leur apprentissage sont plus autonomes que ceux qui apprennent le même concept de fonction dans un environnement traditionnel mais les nouvelles sous tâches instrumentées demandent des adaptations pour les nouvelles connaissances à mettre en fonctionnement et pour les nouvelles sous tâches attendues (Vanderbrouk, et Robert, 2017). Il ressort des observations des activités de ses élèves mobilisant le logiciel Geogebra au cours de leur apprentissage que les médiations proposées par le logiciel Geogebra ne semblent pas permettre aux élèves à avancer significativement dans les tâches mathématiques demandées (Ibid.). Cela est probablement du fait qu'ils ne sont pas habitués à utiliser ce logiciel dynamique de mathématique et cela peut les conduire à travailler le concept de fonction dans cet environnement numérique de la même manière qu'ils peuvent travailler dans l'environnement traditionnel. Par contre l'analyse des activités des élèves ayant maîtrisé les fonctionnalités de Geogebra par des séances d'initiation aux tâches de manipulations dans les différentes interfaces du logiciel et de constructions de graphiques de fonctions a permis à ces derniers réaliser les tâches prescrites et de progresser au cours de leur apprentissage (Gelis et Assude, 2002).

La plupart des élèves interviewés ont tendance à utiliser les fonctionnalités du logiciel Geogebra dû à leur facilité de manipulation et le potentiel de Geogebra pour les résolutions des problèmes du concept mathématique de fonction. *L'adaptation de l'apprentissage avec le logiciel est principalement influencée par la facilité d'utilisation perçue par les élèves et non sur utilisation efficace de différentes interfaces du logiciel qui permet le jeu de registre de représentations sémiotiques du concept de fonction.* Ainsi, il ressort de l'analyse des résultats que le logiciel est perçu comme un outil permettant d'améliorer la présentation des contenus mathématiques et non considéré comme l'outil qui aide à la construction des savoirs. L'utilisation du logiciel Geogebra constitue un moyen au service de l'apprentissage des élèves du second cycle du secondaire et quoi qu'il en soit, il revient aux élèves de prendre en charge la construction de leur savoir sur les fonctions numériques selon leur rythme et en développant des activités qu'ils pourraient comprendre (Lagrange, 2010).

Ses différents résultats montrent que les élèves de notre recherche ont tendance à ne pas posséder suffisamment des connaissances antérieures sur les notions de fonctions, ce qui est un obstacle pour le développement des nouvelles connaissances dudit concept d'où les difficultés de progression significatives en apprentissage. D'autres résultats de recherches sur le processus d'apprentissage des concepts mathématiques ont montré que le développement des nouvelles connaissances du concept de fonction nécessite la maîtrise des notions

antérieures, l'utilisation et la coordination des différents registres de représentation par les apprenants c'est-à-dire un dépassement de conceptions purement procédurales (Hiebert et Lefevre, 1986, Sfard, 1991, Bell, 2001, Lagrange, 2000 et Anderson, 2015).

Le processus d'apprentissage du concept de fonction consiste en une interaction complexe entre les conceptions conceptuelles et les conceptions procédurales (Hiebert et Lefevre, 1986, Sfard, 1991). Selon Anderson (2015) la conception opérationnelle du concept mathématique est la première étape dans l'acquisition de nouvelles connaissances et le passage d'opérations de calcul ou procédural à des objets abstraits ou concepts est un processus long et intrinsèquement difficile pour les élèves. Les difficultés liées à l'efficacité procédurale du concept de fonction et à faire une transition efficace pourraient expliquer le pourquoi l'apprentissage des fonctions numériques n'a pas été significatif pour la plupart des élèves de notre recherche.

Denbel (2014) a mené une étude sur la transition entre enseignements de mathématiques secondaire et supérieur en Éthiopie pour examiner les difficultés et les idées fausses des étudiants de la première année sur le concept de limite d'une fonction. L'étude a conclu que la connaissance et la compréhension de nombreux étudiants reposent en grande partie sur des faits isolés, des calculs de routine, des algorithmes de mémorisation, des procédures et que leur compréhension conceptuelle des limites de fonction, de la continuité d'une fonction et de l'infini est déficiente. Le chercheur a utilisé une technique d'échantillonnage stratifié pour sélectionner 130 étudiants. Pour collecter les données le chercheur a élaboré un questionnaire et une grille d'entretien pour explorer la compréhension des apprenants de la limite d'une fonction et pour explorer les schémas cognitifs du concept de limite. Ainsi, l'enquête s'est déroulée en deux phases. La première phase à consister à l'administration du questionnaire aux 130 étudiants puis s'ensuit la deuxième phase où 14 étudiants ont été interviewés.

Un certain nombre de ces chercheurs ont noté que les apprenants interprètent les fonctions de manière point par point ou locale plutôt que globale. Les aides procédurales permettent seulement aux élèves de réaliser les tâches sur lesquelles ils travaillent, ce sont les aides constructives qui permettent de faire comprendre davantage ce qui est enjeu pour résoudre efficacement une situation problème du concept mathématique de fonctions (Robert, 2008).

En résumé, les résultats de notre recherche ont montré que l'intégration de Geogebra en situation d'apprentissage est un processus complexe. En effet, l'introduction de Geogebra en situation de classe de mathématiques a permis à certains élèves de prendre en charge le travail mathématique sur le concept de fonction et à d'autres élèves de les perturber au cours du processus d'apprentissage. Les résultats de l'observation de classe et les entretiens semi-directifs ont montré que les élèves qui n'ont aucune expérience sur le logiciel et qui n'ont pas des connaissances suffisantes pour exploiter les fonctionnalités de ce logiciel au cours de leurs activités mathématiques, ont rencontré des obstacles qui les avaient empêchés d'utiliser le potentiel de Geogebra au cours du processus d'apprentissage en situation de classe ordinaire. Les résultats ont montré que la pratique pédagogique des enseignants avec Geogebra n'est pas statistiquement différente de leur pratique pédagogique traditionnelle. Ce qui montre que, pour l'utilisation de Geogebra en enseignement du concept de fonctions, les enseignants se sont inspirés de leur pratique traditionnelle. Ce qui peut justifier les résultats non significatifs de l'utilisation de Geogebra au cours de l'apprentissage. Dans cette perspective d'adoption selon le modèle ASPID de Karsenti (2014), l'utilisation de Geogebra peut être considérée comme un facteur de perturbation de l'apprentissage du concept mathématique de fonction dans les classes ordinaires de mathématiques (Mehanovic, 2011).

D'autre part, les résultats de notre recherche ont montré que Geogebra peut jouer un rôle important dans le soutien à l'apprentissage et à la compréhension du concept mathématique de fonction à condition que les élèves exploitent de manière juste le potentiel du logiciel dans un environnement structuré (ibidem). Un environnement d'apprentissage structuré à l'aide de Geogebra offre la possibilité aux élèves de travailler le concept mathématique dans différentes représentations de manière plus large comparativement à un environnement traditionnel. Dans cette perspective d'intégration pédagogique selon le même modèle ASPID de Karsenti (2014), l'utilisation de Geogebra peut être considérée comme un facteur significatif de contribution à l'apprentissage du concept mathématique de fonction dans les classes ordinaires de mathématiques.

4 Perspectives

4.1 Implication pour les pratiques des classes de mathématiques

À la lumière de résultats de notre recherche, les recommandations suivantes ont été formulées pour améliorer l'apprentissage des élèves aux secondaires :

- Avant toutes interventions pédagogiques, l'enseignant doit s'assurer que les élèves maîtrisent les fonctionnalités du logiciel dynamique. C'est la condition d'une bonne utilisation des fonctionnalités du logiciel et de l'appropriation de l'outil numérique dans le processus d'apprentissage des concepts mathématiques.
- Un environnement d'apprentissage structuré, prenant en compte les registres de représentations, doit être préparé pour les élèves pour créer un environnement d'apprentissage dynamique pour que les élèves puissent significativement progresser en termes d'apprentissage des concepts mathématiques.
- Puisque l'utilisation de logiciel dynamique de mathématiques dans un environnement structuré favorise la compréhension des concepts mathématiques alors l'utilisation des logiciels de mathématiques spécifiques devra être encouragée dans tous les établissements du secondaire dans le pays. Ainsi des projets l'utilisation des logiciels de mathématiques spécifiques pour améliorer les compréhensions conceptuelles et procédurales doivent être renforcés.
- Enfin de Garantir l'efficacité du logiciel de la géométrie dynamique en apprentissage des concepts mathématiques en particulier Geogebra, des formations sur les fonctionnalités de ces types de logiciels libres doivent être renforcées chez les enseignants, des conseillers pédagogiques, des inspecteurs sur l'étendue du territoire. Cela, peut commencer par des formations des spécialistes des technologies éducatives pour l'enseignement et l'apprentissage de mathématiques au niveau des inspections pédagogiques régionales (IPR). Dans un tel projet, l'expérience de plusieurs années de l'institut de Geogebra du Niger (IGN) peut être un atout l'intégration de ces logiciels de mathématiques.
- Les écoles normales supérieures du pays en charge de formation des futurs professeurs de mathématiques du secondaire doivent penser à mieux outiller les futurs enseignants sur l'utilisation des potentiels des logiciels dynamiques à travers des modules de formation en didactiques de mathématiques et TICE, et encourager les enseignants sur le terrain à intégrer de manière efficace et efficiente de telles technologies qui contribue significativement à l'amélioration de la qualité de l'apprentissage des élèves en mathématiques.
- Le ministère des enseignements secondaires doit penser à l'élaboration d'un nouveau programme d'enseignement des mathématiques qui prendra en compte l'intégration

pédagogique des logiciels mathématiques à tous les niveaux d'enseignements pour garantir une maîtrise suffisante des outils numériques devenus nécessaires dans l'enseignement - apprentissage des mathématiques et des sciences.

- Les responsables de la politique éducative doivent encourager l'intégration physique de supports mobiles de logiciels libres de mathématiques (tablette et smartphone) dans le système éducatif secondaire puisque des technologies accessibles au grand nombre et qui coûtent moins chers. Cela peut pallier les insuffisances des matériels didactiques et leur intégration pédagogique favorisera significativement à l'amélioration de la qualité de l'enseignement des élèves ce qui du coup contribuera à l'atteinte des objectifs des OMD et du programme PSEF en particulier.

4.2 Implication pour des recherches futures

À la lumière de résultats de notre recherche, les recommandations suivantes ont été formulées pour des recherches futures :

- Des recherches sur d'autres notions de fonctions numériques peuvent être réalisées. La nécessité de conduire d'autre recherche se fait sentir du fait que les élèves du secondaire au Niger sont de moins en moins performants en mathématiques et sciences. Ces difficultés se manifestent par le fait que, les filières de mathématiques aux lycées d'enseignement général comme la série mathématique et sciences physiques (série C) accueillent de moins en moins des candidats et à l'université peu sont les nombres d'élèves et qui s'inscrivent dans les filières des sciences d'option mathématiques.
- *Des besoins des recherches sur le bien-être des élèves et des enseignants dans un environnement d'apprentissage numérique structuré pouvant favoriser le développement des connaissances conceptuelles et procédurales des élèves, peuvent être réalisés. Cela pourra améliorer l'intérêt des élèves et des étudiants pour les domaines de mathématiques et des sciences.*

5 Synthèse du chapitre 6

Les discussions ont permis de discuter les résultats de notre recherche par comparaison avec ceux obtenus par des recherches antérieures de la revue de la littérature. Il s'agit des résultats de recherches qui ont montré que, l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques améliore significativement l'apprentissage des élèves comparativement au

groupe contrôle. Mais également des résultats qui ont infirmé notre hypothèse de recherche c'est-à-dire l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques n'améliorent pas de manière significative l'apprentissage des élèves comparativement au groupe contrôle.

Les perspectives ont permis de faire des recommandations pour l'amélioration des apprentissages des élèves au lycée et des pratiques enseignantes. Mais également de formuler des recommandations sur des recherches futures qui peuvent être réalisées sur là que de l'utilisation de Geogebra pour améliorer l'apprentissage des élèves du secondaire.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de cette thèse est d'analyser l'impact de l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques en particulier Geogebra sur le processus d'apprentissage des concepts mathématiques des élèves et la performance aux scores dans le système éducatif du secondaire au Niger. La question posée est de savoir si l'utilisation du logiciel Geogebra dans le processus d'enseignement – apprentissage favorise de façon significative l'apprentissage des concepts mathématiques des élèves du lycée.

Pour répondre à cette question de recherche, une revue de littérature centrée sur l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques comme Geogebra en apprentissage des élèves et son effet sur la réussite scolaire, a été réalisée. Il ressort alors des travaux de recherche de Arbain, et Shukor, (2015), Dogan (2010), Saha, Ayub, et Tarmizi, (2010), que l'utilisation du logiciel dynamique de mathématiques pour l'enseignement - apprentissage de mathématiques au secondaire améliore significativement les performances des élèves. Par contre, d'autres recherches ont montré que l'utilisation du logiciel dynamique de mathématiques n'améliore pas significativement les performances des élèves (Mwingirwa et Miheso –O'Connor's, 2016 ; Tay et Mensah –Wonkyi, 2018 ; Williams, Charles-Ogan et Adesope 2017).

D'autres recherches, qui ont été réalisées sur l'impact des logiciels dynamiques de mathématiques dans des classes ordinaires de mathématiques, ont témoigné de la complexité de l'introduction de Geogebra et son effet sur le processus d'apprentissage et les performances des élèves (Mehanovic, 2011). Les conclusions de la recherche de Mehanovic, (2011), ont révélé que les obstacles techniques, didactiques et épistémiques que rencontre l'enseignant peuvent être considérés comme facteur de perturbation de l'utilisation de Geogebra pour l'apprentissage des élèves.

Les recherches, qui ont été mené sur l'enseignement – apprentissage au Niger, s'accordent sur le fait que les élèves du secondaire réussissent en mathématiques et en français. En plus les pratiques enseignantes des enseignants du secondaire est peu efficace. C'est pourquoi, cette recherche a intervenu dans un contexte où, les responsables politiques et administratifs cherchent des solutions au problème de manque de qualité de l'éducation au Niger. On peut noter parmi les solutions des réformes du programme d'enseignement – apprentissage et sur la formation des enseignants du secondaire (MES, 2019). En plus des initiatives pour favoriser l'intégration pédagogique du numérique en enseignement et

apprentissage des mathématiques ont été entreprises. Parmi ces initiatives on peut citer la création d'un institut nation de Geogebra et l'introduction, à l'école normale supérieure (ENS), de Niamey, d'un module de formation en techno-pédagogie pour former les futurs enseignants et encadreurs du secondaire à l'utilisation des nouvelles technologies. L'Institut de Geogebra au Niger en collaboration avec ENS de Niamey a formé durant plusieurs années, les enseignants de mathématiques et les conseillers pédagogiques sur l'utilisation de ce logiciel en situation de classe.

C'est au regard de ses nombreuses recherches sur l'intégration pédagogique des logiciels dynamiques de mathématiques, que notre projet de recherche est parvenu aux conclusions selon lesquelles l'utilisation des logiciels dynamiques de mathématiques en particulier Geogebra améliore significativement l'apprentissage des élèves du niveau lycée.

Au regard de la première partie des résultats sur les performances en termes de progression aux scores de notre recherche, il ressort que l'utilisation d'un logiciel mathématique ne contribue pas significativement à la progression des élèves en termes de scores comparativement aux élèves qui travaille sur le même concept mathématique dans un environnement traditionnel. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que ses élèves n'ont pas appris à utiliser Geogebra avant cette étude (Blondel, Bruillard et Tort, 2008 ; Vasquez, 2015). En effet, il ressort de notre étude que ses élèves n'avaient jamais utilisé Geogebra au paravent en situation d'apprentissage, ils n'avaient pas reçu l'introduction au logiciel et ces fonctionnalités avant cette recherche. En effet, les résultats des observations de classe et ceux des entretiens semi – directifs, ont révélé que la plupart des élèves de la phase 1 de notre expérimentation ont eu des difficultés à utiliser le logiciel Geogebra au cours de l'apprentissage.

Néanmoins, l'utilisation du logiciel de mathématiques peut significativement contribuer à l'apprentissage des élèves les plus faibles et à leur performance aux scores (Vasquez, 2015; Zakaria, 2014). Il ressort que, les élèves faibles ayant des difficultés à mobiliser certaines connaissances pour résoudre en version papier - crayon le problème mathématique peuvent contourner ces obstacles à l'aide du logiciel de mathématique. Ils parviennent par le processus d'exploitation systématique des menus et boutons de l'interface avec essai et erreur à effectuer certaines tâches comme écrire la formule algébrique d'une fonction numérique, obtenir et visualiser la représentation graphique ou bien utiliser la représentation graphique pour affaïre la représentation point par point en papier crayon. En effet, des témoignages des élèves ont révélé que les élèves de notre expérimentation qui

éprouvent des difficultés de représenter la fonction numériques point par point ont pu la représenter sur l'interface du logiciel Geogebra se qui leur a permis de visualisé les caractéristiques de cette fonction et tracer dans un repère en papier – crayon. Selon les témoignages des enseignants sur ces difficultés des élèves, il ressort que même si les élèves de notre expérimentation parviennent à utiliser certaines fonctionnalités de Geogebra avec facilité, ils éprouvent des difficultés d'adaptation de ce logiciel en apprentissage du concept mathématique de fonctions. Ainsi, les élèves parviennent à manipuler le logiciel pour représenter la fonction numérique et visualisé les différents résultats, mais ils ne parviennent pas à connecter les différentes représentations issues des interfaces de Geogebra et de faire la conjoncture de ces résultats.

Au regard de la deuxième partie des résultats sur les performances en terme de progression aux scores de notre recherche, il ressort que la mobilisation de Geogebra dans un environnement numérique structuré a contribué significativement à l'apprentissage des élèves et à leurs performances aux scores (Arbain, et Shukor, 2015 ; Turkun et Ozturk 2013). En effet, les élèves de ce groupe expérimental 2 ont suivi des séances d'introduction et de maîtrise des fonctionnalités de Geogebra avant l'intervention pédagogique de l'enseignant. L'ensemble des élèves de ce groupe expérimental 2 ont appris à utiliser les fonctionnalités de Geogebra avant l'intervention pédagogique de l'enseignant. La maîtrise des fonctionnalités de Geogebra par les élèves de ce groupe classe expérimental, aurait donc permis à ces derniers d'utiliser le potentiel de ce logiciel pour travailler les tâches mathématiques données, de progresser significativement au cours de l'apprentissage du concept de fonctions numériques et d'obtenir des meilleurs résultats aux scores comparativement aux élèves du groupe expérimental 1 et ceux du groupe témoin. Ses élèves ayant maîtrisé les fonctionnalités du logiciel dynamique de mathématiques parviennent directement à utiliser les commandes ou les boutons appropriés pour une tâche mathématique et ensuite appliquer la bonne technique pour faire cette tâche ou pour répondre à une question (Aydos, 2015), ce qui leur a permis de progresser significativement dans leur apprentissage du concept de fonctions. En somme, lorsque le logiciel de mathématiques fait partie intégrante du processus d'apprentissage du concept mathématique des élèves en classe, leurs compétences opérationnelles et de la résolution des problèmes s'amélioreraient.

Ces résultats peuvent être considérés d'une part du point de vue de la complexité à introduire le logiciel Geogebra dans les classes ordinaires de mathématiques (Mehanovic, 2011) et d'autre part à la lumière du potentiel didactique de Geogebra pour aider les élèves du

logiciel à apprendre le concept mathématique de fonction (Depover, 2007). La différence est large en terme d'apprentissage entre les élèves qui ont pu exploiter le potentiel du logiciel de mathématique Geogebra pour explorer d'une nouvelle manière le concept de fonctions et les élèves qui ont manqué des habilités pour une utilisation efficace des fonctionnalités de Geogebra leur permettant de bien explorer le concept de fonctions. En plus l'utilisation du potentiel de Geogebra au cours de l'apprentissage des fonctions numériques a permis de faire progresser l'ensembles des élèves quelques soit leur niveau de départ. Ce qui permet de conclure que l'introduction de Geogebra dans les classes de mathématiques peut contribuer significativement à créer une équité pédagogique quel que soit le niveau des élèves (Aïcha, 2012 ; De Ketele, et Sall, 1997). Des résultats en terme

Au regard des résultats sur la dynamique d'apprentissage des élèves, il ressort que, l'utilisation de Geogebra dans la classe a permis de rendre la dynamique d'apprentissage des élèves plus significative (Duroisin, Temperman et De lièvre, 2011 ; Robert et Rogalski, 2002 ; Temperman et all., 2014). En effet dans un environnement numérique, les élèves ont plus de possibilité d'interagir entre eux et avec l'enseignant, ce qui contribue à rendre les élèves plus actifs dans le processus d'apprentissage comparativement aux élèves qui travaille dans un dispositif traditionnel. Ainsi, l'apprentissage de concept mathématique, des fonctions numériques à l'aide du logiciel de mathématiques a rendu les comportements observables des élèves en termes d'attention, de participation et d'interaction sociale entre paires et avec l'enseignant plus significatives.

Au regard des résultats sur les attitudes des élèves envers les mathématiques et l'apprentissage de mathématiques avec le numérique, les résultats n'ont montré aucune tendance particulière qui montre que les élèves dans leur majorité déclarent qu'ils ont une attitude ou un comportement d'apprentissage spécifique. Néanmoins, la corrélation entre les attitudes des élèves et leurs résultats aux scores, ont révélé que les élèves ayant déclaré avoir une attitude positive envers les mathématiques a un effet significatif sur leur comportement d'apprentissage du concept de mathématique et leur performances au test aux scores (Barkatsas, Gialamas et Kasimatis, 2008). En plus, le fait qu'ils ont une attitude positive envers les mathématiques a significativement contribué leur utilisation des fonctionnalités de Geogebra au cours de leur apprentissage pour résoudre les problèmes des fonctions numériques ce qui a probablement permis aux élèves d'acquérir des nouvelles connaissances du concept de fonctions et de performer en terme de progression aux scores. Il faut également noté que l'attitude positive envers les mathématiques par les élèves a contribué à rendre

l'apprentissage du concept mathématique plus dynamique à l'aide de Geogebra (Masri et al., 2016).

L'utilisation de logiciel de mathématiques dans une classe ordinaire de mathématique permet aux élèves de travailler le concept mathématique de fonctions numériques de manière plus large (Bétrancourt, 2007), ce qui rend le processus d'apprentissage plus dynamique. Néanmoins, l'introduction de Geogebra en dans les classes de mathématiques ordinaire peut être un facteur de perturbation significatif du travail mathématique des élèves, si ces derniers ne maîtrisent pas l'utilisation du potentiel didactique du logiciel (Mehanovic, 2011).

Il est important de noter que les élèves qui développent une attitude positive envers les mathématiques développent des habilités de travail de manière interactives avec le logiciel Geogebra et progressent significativement en terme d'apprentissage des concepts mathématiques avec le logiciel de mathématique et performant significativement en termes de réussite aux scores.

Pour que l'utilisation du logiciel de mathématique puisse contribuer significativement à la compréhension du concept mathématique dans une classe ordinaire, il faut que les élèves maîtrisent a priori son potentiel didactique. Ainsi, les élèves qui maîtrisent les fonctionnalités des logiciels mathématiques développent des habilités mathématiques ce qui contribue significativement à la compréhension de nouvelles connaissances mathématiques et leurs performances en terme de scores.

Références bibliographiques

1. Abboud, M., Clark-Wilson, A. M., Jones, K., & Rogalski, J. (2018). Analysing teachers' classroom experiences of teaching with dynamic geometry environments: Comparing and contrasting two approaches. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 23, 93–118. Récupéré sur le site :
https://www.researchgate.net/publication/331801395_Analysing_teachers%27_classroom_experiences_of_teaching_with_dynamic_geometry_environments_comparing_and_contrasting_two_approaches
2. Abboud, M., Robert, A., Rogalski, J. & Vandebrouck, F. (2017). Activity Theory in Didactics of Mathematics : What is taken as shared. *Cahier du laboratoire de didactique André Revuz n°18, May 2017*. Récupéré sur le site:
https://www.researchgate.net/profile/Janine_Rogalski2/publication/332932821_Activity_Theory_in_Didactics_of_Mathematics_-_What_is_Taken_As_Shared/links/5cda7c94a6fdccc9ddaab8f9/Activity-Theory-in-Didactics-of-Mathematics--What-is-Taken-As-Shared.pdf?_sg%5B0%5D=NrwrlfxdY8yON-ppbWMIJ5mQ9D3BTorKLY6eBW2B11r0b4IUwzx50c4evP0QUi6f3t164hyDeloFwMjplDkGzFQ.-RFV3nQI3Qp4xGe-aEtrNHpNk6pVUW_GazvVdbvqvytf9Spdp1iDMjNFXB2zrpf83TYZN8UrDS3O_IW1ecpMsw&_sg%5B1%5D=4Pb3fDAIBGH_ejEXIzqxIBD49J8eg7lPbCvs3a7AOODYnogM9p7UPpiPS7TjGZKNecOidD19rBCArtu0o_dy3wgljAyRK0vp1SibOWGPR5.-RFV3nQI3Qp4xGe-aEtrNHpNk6pVUW_GazvVdbvqvytf9Spdp1iDMjNFXB2zrpf83TYZN8UrDS3O_IW1ecpMsw&_iepl=
3. Adeleke, A. K., Fajemidagba, M. O. & Akanmu. M. A. (2016). Senior school student's perception of use of the Geogebra instructional package in learning linear equations in Ogbomosho, Nigeria. *Institute of Timisoara, Romania*. Récupéré sur le site de academia:
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/49708515/Students_perception_of_the_use_of_Geogebra.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1546472806&Signature=tV515jsKhNT3aMA0rwmYHAud94g%3D&response-content-disposition=attachment%3B%20filename%3DSENIOR_SCHOOL_STUDENTS_PERCEPTION_OF_THE.pdf
4. Aden, H. M. & Roegiers, X. (2003). *À quels élèves profite l'approche par les compétences de base ? Études de cas à Djibouti*. COMPOSITION DU COMITE SCIENTIFIQUE, 2003. Récupéré sur le site :
http://www.bief.be/docs/publications/apc_djibouti_070223.pdf
5. Agaissa, A. (2018). *Usages et enjeux des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans la didactique de la géographie au Niger*. thèse unique de doctorat en Sciences de l'éducation (inédit), Laboratoire interdisciplinaire de didactique des disciplines (LABIDID), Université Norbert Zongo de Koudougou.

6. Aïcha, M. G. (2012). *Formations ouvertes à distance (FOAD) et équité : Cas du Niger*. Présentation 27 du Colloque international sur les TIC – TIC pour enseigner, TIC pour apprendre : Quelles stratégies ? – Quelles perspectives ?. Juin 2012, Antananarivo, (Madagascar). Récupéré sur le site :
http://www.recherches.gov.mg/IMG/pdf/27_FOAD_Equite_cas_du_Niger.pdf
7. Aïcha, M. G. N & al. (2010). L'accès des femmes à l'enseignement supérieur au Niger. *Revue Africaine de Développement de l'éducation-ROCARE*, 2010, pp. 168-187. Récupéré du site :
<http://www.rocare.org/AEDI2010/14-%20ACCES%20DES%20FEMMES.pdf>
8. Aliasgari, M., Riahinia, N. & Mojdehavar., F. (2010). Computer-assisted instruction and student attitudes towards learning mathematics. *Education, Business and Society: Contemporary Middle Eastern Issues*, 3(1), 6-14. Récupéré du site :
<https://doi.org/10.1108/17537981011022779>
9. Altet, M., Pare-Kabore, A., & Nacuzon, S. (2015). *Observation des Pratiques Enseignantes dans leur Rapport avec les Apprentissages des élèves (OPERA)*. Rapport final du programme de recherche OPERA, Burkina-Faso. Co-édition : Agence universitaire de la Francophonie – Éditions des archives contemporaines ISBN : 9782813001801. Récupéré du site : <http://opera.ifadem.org/sites/default/files/pdf/OPERA-rapport-final.pdf>
10. Arbain, N. & Shukor, N. A. (2015). The effects of Geogebra on student's achievement. *Procedia –Social and Behavioral Sciences*, 172, 208-214. Récupéré du site :
https://www.researchgate.net/profile/Nurbiha_Shukor/publication/272523399_The_Effects_of_Geogebra_on_Students_Achievement/links/54eb1b600cf27a6de116cba5/The-Effects-of-Geogebra-on-Students-Achievement.pdf?_sg%5B0%5D=IznUkvAM0UyoxIEqUvv-7WPq-QCfbCwfDMfCpVTkV0UehAE5wGc7KR4QhOX0kEhsFp6CzpuZpsB5mB7RJ0HUvg.UVy9cMGGqVfKU17bzZbAk2wDN_0zhvv48nhwRrwAIWZDcWAowJF0Zv5Iio7T20gTPtfp5SWRSTc5VcWmgAIL6A&_sg%5B1%5D=Zc1aMb g5Y110WU2Ymw3bf6jwXGvKMLvZhhPWsvv1MJ6-XYr8AmXoDWC9CszGY6aaBebbS8BIn1eWNM8NI8oSuxBjIez4iQLI507CPrYbdGrk.UVy9cMGGqVfKU17bzZbAk2wDN_0zhvv48nhwRrwAIWZDcWAowJF0Zv5Iio7T20gTPtfp5SWRSTc5VcWmgAIL6A&_iepl
11. Artigue, M. (2002). Learning mathematics in a CAS environment: The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7, 245-274. Récupéré du site :
https://www.researchgate.net/publication/226262115_Learning_Mathematics_in_a_CAS_Environment_The_Genesis_of_a_Reflection_about_Instrumentation_and_the_Dialectics_between_Technical_and_Conceptual_Work?el=1_x_8&enrichId=rgreq-

[0a966dab3f9894c3cbc6fd1151083162-](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00609701)

[XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIyMjQxNTY1ODtBUzozMDEzODc5NjQ0NDg3NzhAMTQwMTQyMjYwMTQxMA==](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00609701)

12. Artigue, M., Lenfant, A., & Roditi, E. (2003). La confrontation de cadres théoriques dans l'analyse didactique de vidéos réalisées dans des classes. In J. Colomb, J. Douaire & R. Noirfalise (éds.). *Faire des maths en classe ? Didactique et analyse de pratiques enseignantes (103-138)*. Paris : INRP – ADIREM. Récupéré du site : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00609701>
13. Assude, T. & Gelis, J-M.(2002). La dialectique ancien-nouveau dans l'intégration de Cabri-géomètre à l'école primaire. *Educational Studies in Mathematic*, 50, 259-287. Récupéré du site : <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1021293215485.pdf>
14. Assude, T. (2007). Modes et degré d'intégration de Cabri dans des classes du primaire. In R. Floris & F. Conne (Eds). *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques*. (pp. 119-134). Bruxelles : De Boeck.
15. Athias, F. (2015). Un logiciel de géométrie dynamique en cycle 3. *Adjectif.net* [En ligne]. Mis en ligne le vendredi 15 mai 2015. Récupéré du site : <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article347>
16. Aydos, M. (2015). *The impact of teaching mathematics with Geogebra on the conceptual understanding of limits and continuity: The case of Turkish gifted and talented students (master's thesis)*. The program of curriculum and instruction Ihsan dogramaci bilkent university, Ankara. Récupéré du site: <https://core.ac.uk/download/pdf/52940389.pdf>
17. Bakar, K. A., Tarmizi, R. A., Ayub, A. F. M., & Yunus, A. S. M. (2009). Effect of utilizing geometer's sketchpad on performance and mathematical thinking of secondary mathematics learners: An initial exploration. *International Journal of Education and Information Technologies*, 3(1), 20-27. Récupéré du site : <http://www.naun.org/main/NAUN/educationinformation/eit-70.pdf>
18. Bakar, K. A., Ayub, A. F. M, Luan, W. S., & Tarmizi, R. A. (2002). Exploring secondary school students' motivation using technologies in teaching and learning mathematics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 14, 4650-4654. Récupéré du site : https://www.researchgate.net/profile/Ahmad_fauzi_Mohd_Ayub/publication/248607372_Exploring_secondary_school_students'_motivation_using_technologies_in_teaching_and_learning_mathematics/links/55f9874408aeba1d9f1e8182/Exploring-secondary-school-students-motivation-using-technologies-in-teaching-and-learning-mathematics.pdf

19. Bardin , L. (2013). *L'analyse de contenu*. 11^{ème} Edition, Paris, Presses universitaires de France.
20. Barkatsas, A., Kasimatis, K., & Gialamas, V. (2009). Learning secondary mathematics with technology: Exploring the complex interrelationship between students' attitudes, engagement, gender and achievement. *Computers & Education*, 52, 562-570. Récupéré du site :
https://www.researchgate.net/profile/Tasos_Barkatsas/publication/278850141_Learning_secondary_mathematics_with_technology_Exploring_the_complex_interrelationship_between_students'_attitudes_engagement_gender_and_achievement/links/57676d0b08aeb4b9980987aa/Learning-secondary-mathematics-with-technology-Exploring-the-complex-interrelationship-between-students-attitudes-engagement-gender-and-achievement.pdf
21. Barrette, C. (2005). Vers une métasynthèse des impacts des TIC sur l'apprentissage et l'enseignement dans les établissements du réseau collégial québécois. Mise en perspective. *Clic*, 57, 18 – 24. Récupéré du site :
<http://clic.ntic.org/cgi-bin/aff.pl?page=article&id=1060>
22. Barnier, G. (2009). *Théories de l'apprentissage et pratiques de l'enseignement*. [En ligne]. Marseille: Académie de Nice. Récupéré du site :
<http://ekldata.com/NzUdKlrZMry9JVz6wSMN-wmUHwA.pdf>
23. Bell, C. J. (2001). *Conceptual understanding of functions in a multi-representational learning environment* (PhD thesis). The University of Texas at Austin, United States -- Texas. Récupéré du site : <https://search.proquest.com/docview/304734570>
24. Berelson, B. (1952). *Content Analysis in communication Research*. Glencoe, III: The Free Press, 1952.
25. Bétrancourt, M. (2007). Pour des usages des TIC au service de l'apprentissage. in G. Puimatto (ed.) *TICE : L'usage en travaux, Numéro Hors série des Dossiers de l'ingénierie éducative* (pp.127-137). Paris: CRDP. Récupéré du site :
https://tecfalabs.unige.ch/mitic/articles/Betrancourt_DIE_07.pdf
26. Béziat, J. (2012). Les TIC à l'école primaire en France : informatique et programmation. *Revue de l'EPI*. Récupéré du site de la revue :
<http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1311d.htm>
27. Bhagat, K. K., & Chang, C. Y. (2015). In corporating Geogebra into geometry learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(1), 77-86. Récupéré du site :

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36609033/Eurasia_Preview.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1546472461&Signature=4O0WmUls8X9WecWK0GWC0ukHC7w%3D&response-content-disposition=attachment%3B%20filename%3DIncorporating_Geogebra_into_Geometry_lea.pdf

28. Bloch, I. (2003). Teaching functions in a graphic milieu: what forms of knowledge enable students to conjecture and prove? *Educational Studies in Mathematics*, 52, 3–28. Récupéré du site :
https://www.researchgate.net/profile/Isabelle_Bloch/publication/227029213_Teaching_functions_in_a_graphic_milieu_What_forms_of_knowledge_enable_students_to_conjecture_and_prove/links/545b72840cf2f1dbcbcaf035/Teaching-functions-in-a-graphic-milieu-What-forms-of-knowledge-enable-students-to-conjecture-and-prove.pdf
29. Blondel, F. M., Bruillard, E., et Tort, F. (2008). Overview and main results of the Dida Tab -project. In D Ward (dir.) *Pursuit of spreadsheet Excellence, Proceeding of European Spreadsheet Risks interest Groupe, Annual onference* (pp. 187-198). London: EuSpRIG. Récupéré du site :
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0809/0809.3612.pdf>
30. Boro, I. (2011). *Utilisation des TIC dans l'enseignement secondaire et développement des compétences des élèves en résolution de problèmes mathématiques au Burkina Faso* (Thèse de doctorat, Université de Montréal). Récupéré du site :
https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/5349/boro_issa_2011_these.pdf?sequence=4
31. Bullat-Koelliker, C., & Gina, S. (2003). *Les apports des TIC à l'apprentissage. Ce qu'en pensent les enseignants qui utilisent les ateliers d'informatique avec leurs élèves (Mémoire de DESS)*. Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation, Université de Genève. Récupéré du site : http://tecfaetu.unige.ch/perso/staf/bullat/doc/Bullat-Koelliker_DESS-TECFA.pdf
32. Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(9.3), 309-336. Récupéré du site : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00686012/document>
33. Cabrilog SAS (2007). *Cabri II Plus Tutorials*. Help Feature of Cabri Geometry II Plus. Récupéré du site : <http://www.cabri.com>
34. Chesnais, A. (2011). Apprentissages en mathématiques en sixième : contextes différents, pratiques différentes et inégalités. *Revue française de pédagogie*. Récupéré du site : <https://journals.openedition.org/rfp/pdf/3162>

35. Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. Récupéré du site : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1024.9753&rep=rep1&type=pdf>
36. CollabNet Inc. (2008a). *Calc*. Spreadsheet software. Document trouvé en ligne : <https://www.openoffice.org/product/calc.html>
37. CONFEMEN (2008). *Enseignement secondaire et perspectives : Document de réflexion et d'orientation*. Récupéré de site de CONFEMEN : https://www.confemen.org/wp-content/uploads/2019/06/ENS_SECONDAIRE1.pdf
38. Contreras, R. R. (2002). *Changes in students' conceptual knowledge over a semester when provided opportunities to write about their understanding of calculus concepts (PhD Thesis)*. Institute: Texas A&M University.
39. Darling-Hammond, L., Zielesinski, M. B. and Goldman, S. (2014). *Using Technology to Support At-Risk Students' Learning*. Stanford, CA: Stanford Center for Opportunity Policy in Education, 2014. Récupéré du site : <https://edpolicy.stanford.edu/sites/default/files/scope-pub-using-technology-report.pdf>
40. Darricarrère, J. et Bruillard, E. (2010). Utilisation des TIC par des professeurs de mathématiques de collège : discours et représentations. *Bulletin de la Société des Enseignants Neuchâtelois de Sciences*, n° 39, Juin 2010, Outil informatique
41. de Vries, E. (2001). Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? *Revue Française de Pédagogie*, 137, 105-116. Récupéré du site : https://tecfalabs.unige.ch/mitic/articles/devries_logiciels_apprentissage.pdf
42. Depover, C., Karsenti, T. & Komis, V. (2007). *Enseigner avec les technologies : favoriser les apprentissages*. Presses Universitaire du Québec, Québec, 2007. Récupéré du site : https://www.researchgate.net/publication/234052593_Enseigner_avec_les_technologies_Favoriser_les_apprentissages_developper_des_compences
43. De Ketele, J.M. & Gerard, F.M. (2005). La validation des épreuves d'évaluation selon l'approche par les compétences. *Mesure et évaluation en éducation*, 28-3, 1-26. Récupéré du site : www.bief.be/docs/publications/validcomp_070221.pdf
44. De Ketele, J.-M. et Sall, H.N. (1997). L'évaluation du rendement des systèmes éducatifs : apports des concepts d'efficacité, d'efficience et d'équité. *Mesure et évaluation en éducation*, Vol. 19, n° 3. Document trouvé en ligne : <http://www.fastef-portedu.ucad.sn/cese/ens/articles/sall/salljmdk.pdf>

45. Demeuse, M. (éd.) (2004). *Introduction aux théories et aux méthodes de la mesure en sciences psychologiques et en sciences de l'éducation*. Liège : Les Editions de l'Université de Liège.
46. D'Hainaut, L. (1975). *Concepts et méthodes de la statistique : Un guide pour l'application de l'outil statistique aux phénomènes et aux situations des sciences de l'homme et de l'éducation*. Bruxelles : Labor, 1975.
47. Dicovic, L. (2009). Implementing Dynamic Mathematics Resources with Geogebra at the College Level. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol 4, 3. Récupéré du site de la revue :
<https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/download/784/1052>
48. Dogan, M. (2010). The role of dynamic geometry software in the process of learning: Geogebra example about triangles. *Journal of Human Sciences*, vol 8, 1. Récupéré du site de la revue :
http://www.time2010.uma.es/Proceedings/Papers/A026_Paper.pdf
49. Drijvers, P. et Trouche, L. (2007). From artifacts to instruments – a theoretical framework behind the orchestra metaphor. In Blume, G. W. and Heid, M. K., (eds.) *Research on Technology in the Learning and Teaching of mathematics: Syntheses and Perspectives*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Récupéré du site de la revue :
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32219334/Drijvers-Trouche.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1503858350&Signature=n1yuhydJbs38ZvnpXNt68xyOOh0%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DFrom_artifacts_to_instruments_a_theoreti.pdf
50. Duroisin, N., Temperman, G., et De Lièvre, B. (2011). Effets de deux modalités d'usage du tableau blanc interactif sur la dynamique d'apprentissage et la progression des apprenants. *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Conference EIAH'2011*, 257-269, Editions de l'UMONS, Mons 2011. <hal-00692008>
51. Dubois, L., & Dagau, P. C. (2007). Les modèles de l'apprentissage et les mathématiques.. Récupéré du site :
<http://www.formations.philippeclazard.com/ModelesApprentissage=maths.pdf>
52. Dufour, S. (2011). *L'utilisation des représentations par deux enseignantes du collégial pour l'introduction de la dérivée* (Mémoire de maîtrise en didactique des mathématiques à l'université du Québec à Montréal). Récupéré du site :
<https://archipel.uqam.ca/4059/1/M12005.pdf>

53. Duval, R. (2000). Basic issues for research in mathematics education. In T. Nakahara, & M.Koyama (Eds.), *Proceedings of the 24th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 1, pp. 55–69). Hiroshima University. Récupéré du site : <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED466737.pdf>
54. Duval, R. (2002). *Comment décrire et analyser l'activité mathématique ? Cadres et registres. Actes de la journée en hommage à Régine Douady*, 7, 83–105. Lien : <https://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/staf26/Doua.pdf>
55. Ellington, A. J. (2003). A Meta-Analysis of the Effects of Calculators on Students' Achievement and Attitude Levels in Precollege Mathematics Classes. *Journal for Research in Mathematics Education* 2003, Vol. 34, No. 5, 433–46. Récupéré du site : <https://pdfs.semanticscholar.org/61da/b6a97d7a64a13b9470e6320c91c1834035e9.pdf>
56. Engelbrecht, J., Harding , A & Potgieter, M. (2005). Undergraduate students' performance and confidence in procedural and conceptual mathematics. *International Journal of mathematical Education in sciences and technology*, vol. 36, 7. Récupéré du site : https://www.researchgate.net/profile/Marietjie_Potgieter/publication/255664944_Undergraduate_Students%27_Performance_and_Confidence_in_Procedural_and_Conceptual_Mathematics/links/54216f6e0cf203f155c6af4b/Undergraduate-Students-Performance-and-Confidence-in-Procedural-and-Conceptual-Mathematics.pdf
57. Erhan S. H., et Andreasen, J. (2013). Exploring calculus with dynamic mathematics software. *Mathematics and Computer Education*, 47(1), 6-18.
58. Faillet, V. (2014). La pédagogie inversée: recherche sur la pratique de la classe inversée. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 21(1), 651–665. Récupéré du site : <https://pdfs.semanticscholar.org/32a9/9537c08ca3dd318cdf7bf1d63382054df35e.pdf>
59. Fakomogbon, M. A., et al. (2014). Effect of computer assisted instructional package on the performance of students in mathematics in Ilorin metropolis. *European Scientific Journal*, Vol. 10, No.25. Récupéré du site : <http://ejournal.org/index.php/esj/article/download/4273/4095>
60. Freiman, V. (2008). Exploration des scénarios interdisciplinaires dans le cadre de l'accès direct à l'ordinateur portable (ADOP) avec les élèves de 7 e et 8 e années. *Enseignement des mathématiques et interdisciplinarité. Actes du colloque du Groupe des didacticiens des mathématiques du Québec, Université de Sherbrooke*, 89–96. Récupéré du site :

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42579549/2008_GDM_Actes.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DL_enseignement_des_mathematiques_dans_un.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190723%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20190723T155645Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=abf45996297bb4884a10e99c361a0443940d87dd70deca7e94e9cf2088a8e492

61. Freiman, V. ; Martinovic, D. ; Karadag, Z. (2009). Découvrir le potentiel éducatif du logiciel dynamique Geogebra : communauté de collaboration et de partage. *Bulletin AMQ, Vol. XLIX, no 4*, décembre 2009 – 34. Récupéré du site : <http://archimede.mat.ulaval.ca/amq/bulletins/dec09/Article-Geogebra.pdf>
62. Fuchs, K. J. (2007). *Fachdidaktische Studien, volume 1*. Shaker Verlag, Aachen.
63. Fuglestad, A. B. (2005). Students' use of ICT tools in mathematics and reasons for their choices. In Chick, H. L. and Vincent, J. L., (eds), *Proceedings of the 29th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol 3, pp. 1 — 8), Melbourne. University of Melbourne.
64. Forget, D. (2005). Impacts des TIC dans l'enseignement collégial. *Editeur, Association pour la recherche au collégial. Vol. 18, n°3*, mars 2005, 43 – 47. Récupéré du site : http://vega.cvm.qc.ca/arc/doc/ARC_metasyntheseTIC_articlefranco.pdf
65. Friedlander, A. (1998). An excellent bridge to algebra. *Mathematics Teacher, 91(50)*:382 — 383.
66. Fredricks, J., Blumenfeld, P., et Paris, A. (2004). School engagement: potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research, 74(1)*, 59–109. Récupéré du site : <http://gtnpd46.ncdpi.wikispaces.net/file/view/Fredericks%2C%20Blumfield%2C%20paris.pdf/538416770/Fredericks%2C%20Blumfield%2C%20paris.pdf>
67. Galbraith, P., et Haines, C. (1998). Disentangling the nexus: attitudes to mathematics and technology in a computer learning environment. *Educational Studies in Mathematics, vol. 36*, 275–290. Récupéré du site : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.453.3840&rep=rep1&type=pdf>
68. Gagnebin, A., Guignard, N., & Jaquet, F. (1997). *Apprentissage et enseignement des mathématiques: commentaires didactiques sur les moyens d'enseignement pour les degrés 1 à 4 de l'école primaire*. Neuchâtel : Institut de recherche et de documentation pédagogique.

69. Gasquet, S. (1991). *Les mathématiques au lycée : clés pour une réussite*. Paris : ESF éditeur. Récupéré sur le site: <https://books.google.ne>
70. Gelis, J-M. et Assude, T. (2002). Indicateurs et modes d'intégration du logiciel CABRI en CM2. *Sciences et techniques éducatives, volume 9 n°3-4*, 2002. pp. 457-490. Récupéré du site : https://www.persee.fr/docAsPDF/stice_1265-1338_2002_num_9_3_1516.pdf
71. Gelis J. M. et Lagrange J. B. (2007). The Casyopée project: computer symbolic computation for students' better access to algebraic notation and rich mathematics. *8 th ICTMT*. Récupéré du site : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.279&rep=rep1&type=pdf>
72. Gerjets, P. et Hesse, H. (2004). When are powerful learning environments effective? The role of learner activities and of students' conceptions of educational technology. *International Journal of Educational Research, 41(6)*, pp.445-465. Récupéré du site : <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00197416/document>
73. Gilly, M. (1995). *Approches socioconstructivistes du développement cognitif de l'enfant d'âge scolaire*. Manuel de psychologie pour l'enseignement. Paris : Hachette.
74. Guin, D., et Trouche, L. (eds) (2002). *Calculatrices symboliques. Faire d'un outil un instrument du travail mathématique, un problème didactique*, Collection Blanche (dir. N. Balacheff), Edition La Pensée sauvage.
75. Gürbüz, R., Emrullah Erdem, E., Fırat S. (2012). The Effects of Teaching Mathematics Performed with the Help of CSCM on Conceptual Learning. *Creative Rducation, 3 (7)*, 1231. Récupéré du site : <https://file.scirp.org/Html/24573.html>
76. Graumann, G., Ho'zl, R., Krainer, K., Neubrand, M., et Struve, H. (1996). Tendenzen der Geometriedidaktik der letzten 20 Jahre. *Journal fu'r Mathe- matikdidaktik, 17(3/4)*:163 — 237.
77. Gueudet, G., & Trouche, L. (2010). *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs de mathématiques (INRP, Ed.)*. Presses Universitaires de Rennes. Récupéré du site : http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/approche_documentaire/ressourcesvives-janvier2010v1.pdf
78. Gueudet, G., & Vandebrouck, F. (2009). Technologies, enseignement et apprentissage des mathématiques. *Séminaire national de didactique des mathématiques*, 219–240. IREM Paris 7. Récupéré du site :

<https://hal.univ->

[brest.fr/file/index/docid/469609/filename/Actessemnat2009_GGFV_29_octobre_2009.pdf](https://hal.univ-brest.fr/file/index/docid/469609/filename/Actessemnat2009_GGFV_29_octobre_2009.pdf)

79. Hal Ahassanne, D. (2018). *L'impact des simulations informatiques sur la compréhension des concepts de physique en situation d'enseignement en salle de classe au collège en Côte d'Ivoire : cas d'un simulateur d'oscilloscope*. Présentation orale, 7^{ème} Colloque International (RIFEFF 2018), Université de Cergy-Pontoise.
80. Halaoui, N. (Dir.) (2005). *L'enseignement bilingue au Niger*. Etucation en Afrique 10. L'Harmattan. Récupéré du site : http://www.adeanet.org/clearinghouse/sites/default/files/docs/10_niger_fr.pdf
81. Haladyna, T., Shaughnessy, J et I. M. Shaughnessy, L. M. (1983). A causal analysis of attitude toward mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, vol. 14, no. 1, p. J929
82. Hey, j. t. and Hirsch, c. r. (eds) (1992). *Calculators in mathematics education*. 1992 yearbook. reston, va: nctm
83. Haspekian, M. (2005). *Intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des mathématiques, Etude de cas des tableurs*. (Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot - Paris VII). Récupéré du site : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011388/document>
84. Haut Commissariat à l'Information et aux Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (HC/NTCI) (2004). *Programme de mise en œuvre du plan NICI du Niger*. Niamey, Niger. Récupéré du site : <http://www.hcctic.ne/doc/planNici.pdf>
85. Herceg, D. et Herceg, D. (2010). Numerical integration with Geogebra in High School. *International journal of Technology in Mathematics education* 17(4), 205-210. Récupéré du site : http://tmcs.math.unideb.hu/load_doc.php?p=144&t=doc
86. Heutte J. (2008). Influence de l'habitude à l'usage de l'outil informatique sur l'apprentissage et les résultats scolaires d'élèves du cycles 3 de l'école primaire. *Spirale- Revue de recherches en éducation*, 41 (1), 31-47. Récupéré du site : http://www.persee.fr/docAsPDF/spira_2118-724x_2008_sup_41_1_1688.pdf
87. Hohenwarter, M. (2002). *Geogebra – Ein Softwaresystem fu'r dy- namische Geometrie und Algebra der Ebene*. (Master's thesis, University of Salzburg, Salzburg).
88. Hohenwarter, M. (2008). *Geogebra*. Dynamic mathematics software. Récupéré du site : <http://www.Geogebra.org>
89. Huberman, A. M. et Miles, M. B. (1991). *Analyse des données qualitatives : Recueil de nouvelles méthodes*. Bruxelles : De Broeck – Wesmael Université.

90. Hurme, T.-R. and Järvelä, S. (2005). Students' activity in computer-supported collaborative problem solving in mathematics. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 10, 49 — 73. Récupéré du site : https://www.researchgate.net/publication/225963340_Students%27_Activity_in_Computer-Supported_Collaborative_Problem_Solving_in_Mathematics
91. Hutkemri, E. Z. (2014). Impact of using Geogebra on students' conceptual and procedural knowledge of limit function. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(23), 873. Récupéré du site : <http://www.mcser.org/journal/index.php/miss/article/viewFile/4604/4469>
92. Institut National de la Statistique (INS), (2018). *Les publications de la région d'Agadez. Annuaire Statistique, Edition 2018.* Récupéré du site www.stat-niger.org/statistique/file/Regions/Agadez/AS_Agadez_2013_2017.pdf
93. IsaBelle, C. (2002). *Regard critique et pédagogique sur les technologies de l'information et de la communication.* Montréal : Édition Chenelière/McGraw-Hill.
94. Ismaël, A. Y., & Bouba, A. (2018). TIC Et Performances Des Élèves Maitres Des Ecoles Normales d'Instituteurs Au Niger. *European Scientific Journal, ESJ*, 14(25), 293. Récupéré du site : <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n25p293>
95. Jaillet, A. (2004a). What Is Happening with Portable Computers in Schools? *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 115-128. Récupéré du site : <https://doi.org/10.1023/B:JOST.0000019644.31745.9e>
96. Jaillet, A. (2004b). *L'école à l'ère numérique.* Paris : l'Harmattan
97. Jeannin, L. (2018). Influence de la filière d'appartenance sur l'acquisition de compétences numériques d'étudiants de première année en lettres, sciences humaines et sociales. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 15(3), 1. Récupéré du site : <https://doi.org/10.18162/ritpu-2018-v15n3-01>
98. Jeannin, L., Veillard, L., & Tiberghien, A. (2010). Appropriation de nouvelles ressources d'enseignement par des professeurs de physique-chimie en seconde. Cas d'une séquence en mécanique. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (1), 267–292. Récupéré du site : <https://journals.openedition.org/rdst/235>
99. Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* (Vol. 327). Presses universitaires de France Paris.
100. Kadir, A. G., & Coulibaly, M. (2017). *Cours de méthodologie générale: Préparation de leçons à l'attention des enseignants du primaire, du secondaire et du supérieur.* Editions L'Harmattan. Document trouvé en ligne:

https://books.google.ne/books?id=Ve63DQAAQBAJ&pg=PA13&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false

101. Kaput, J. J. (2007). Technology and mathematics education. In Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning. In L. D. English (Ed.), *Handbook of International Research in Mathematics Education* (2nd edition). New York: Routledge. Récupéré du site : http://www.pucrs.br/ciencias/viali/tic_literatura/capitulos/TechnologyandMathematicsEducation.pdf
102. Kaput, J. J. and Thompson, P. W. (1994). Technology in mathematics education research: The first 25 years in the JRME. *Journal for Research in Mathematics Education*, 25(6), 676 — 684. Récupéré du site : http://www.pucrs.br/ciencias/viali/tic_literatura/artigos/tics/749579.pdf
103. Karsenti, T. (2003a). Favoriser la motivation et la réussite en contexte scolaire : les TIC feront – elles mouches. *Vie pédagogique*, 127, 27-32. Récupéré du site : http://www.viepedagogique.gouv.qc.ca/numeros/127/vp127_27-31.pdf
104. Karsenti, T. (2003b). Plus captivantes qu'un tableau noir : L'impact des nouvelles technologies sur la motivation à l'école. *Revue de la fédération suisse des psychologues*, 6, 24-29. Récupéré du site : http://karsenti.scedu.umontreal.ca/pdf/publications/2003/rfsp_6_24.pdf
105. Kendal, M., et Stacey, K. (2001). The impact of teacher privileging on learning differentiation with technology. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 6, 143-165. Document trouvé en ligne : http://descartes.ajusco.upn.mx/sube_baja/raggi/Kendal%26Stacey,%202001.pdf
106. Key Curriculum Press (2008). *The Geometer's Sketchpad*. Dynamic geometry software. Key Curriculum Press.
107. Kiem, M. T. (2011). Apprentissage des fonctions au lycée avec un environnement logiciel: situations d'apprentissage et genèse instrumentale des élèves (Thèse de doctorat, Université Paris Diderot – Paris 7). Récupéré du site : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00658680>
108. Kiem, M. T. (2012). Une approche expérimentale des fonctions au lycée avec casyopée. *Petit x*, 88, 49-74. Récupéré du site : http://www-irem.ujf-grenoble.fr/spip/squelettes/fic_x.php?num=88&rang=5
109. Klllogjeri, P., & Klllogjeri, Q. (2011). *Geogebra—a very effective tool for teaching mathematical concepts and properties*. In D. Takači (Ed.), *Proceedings of the 96*

International Geogebra Conference for Southeast Europe (pp. 90-98). Novi Sad: Stojkov.
Récupéré du site : [http://www.Geogebra.rs/Prilozi/20120125-GCSE-
Proceedings/Proceedings-GCSE2011.pdf](http://www.Geogebra.rs/Prilozi/20120125-GCSE-Proceedings/Proceedings-GCSE2011.pdf)

- 110.** Killogjeri, P. (2015). *Geogebra in Teaching and Learning Mathematics in Albanian Secondary Schools (PhD Thesis)*. Institute of Mathematics, University of Miskolc.
Récupéré du site :
https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/222044/Booklet_English.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- 111.** Kong, S. C. (2011). An Evaluation study of the use of a cognitive tool in a one-to-one classroom for promoting classroom-based dialogic interaction. *Computers & Education*, 57 (3), 1851-1864. Récupéré du site :
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131511000893>
- 112.** Kouawo, A. (2011). *Que pensent les enseignants et les élèves du secondaire des TIC?: une étude des représentations sociales au Niger* (Thèse de doctorat, Université de Montréal). Récupéré du site :
https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/5410/Kouawo_Achille_2011_these.pdf
- 113.** Kutluca, T. (2013). The effect of geometry instruction with dynamic geometry software; Geogebra on Van Hiele geometry understanding levels of students. *Educational Research and Reviews*, 8(17), 1509 – 1518. Document trouvé en ligne:
<https://academicjournals.org/journal/ERR/article-full-text-pdf/B8D2F785836>
- 114.** Laborde, C. (1999). L'activité instrumentée par des logiciels de géométrie dynamique. *Actes de la Xe Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques. Vol. I*, 235-244. Houlgate.
- 115.** Lagrange, J. B. & Psycharis, G. (2013). Investigating the Potential of Computer Environments for the Teaching and Learning of Functions: A Double Analysis from Two Research Traditions. *Technology, Knowledge and Learning*, 19-3), 255-286. Récupéré du site : <https://www.researchgate.net/publication/265171536>
- 116.** Lagrange, J. B. (2010). Teaching and learning about functions at upper secondary level: designing and experimenting the software environment Casyopée. *International Journal of Mathematical Education* 41(2), 243-255. Récupéré du site :
<http://jb.lagrange.free.fr/Preprints/JBLijmest.pdf>

117. Lagrange, J.-B. et Erdogan, E.O. (2009). Teachers' emergent goals in spreadsheet-based lessons: analyzing the complexity of technology integration. *Educational Studies in Mathematics* 71 (1), 65-84.
118. Lagrange, J.-B. et Gelis, J.-M. (2008). The Casyopée project: a Computer Algebra Systems environment for students' better access to algebra' better access to algebra. *Int. J. Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, Vol. 18, (5/6), 575–584. Récupéré du site : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.279&rep=rep1&type=pdf>
119. Lauzon, Y., Michaud, P. et Forgette-Giroux, R. (1991). Étude de l'incidence des nouvelles technologies en éducation : analyse longitudinale de l'impact de l'ordinateur sur les apprentissages, les enseignements et la gestion pédagogiques. Dans L. Sauvé (dir.), *La technologie éducative à la croisée des disciplines*. Sainte-Foy : Télé-université.
120. L'Écuyer, R. (1990). *Méthodologie de l'analyse développement du contenu. Méthode GPS et concept de soi*. Québec : Presse de l'université du Québec.
121. Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation*. 3^{ème} édition, Montréal, Guérin.
122. Leong, K.E. (2013). Impact Of Geometer's Sketchpad On Students Achievement In Graph Functions. *Malaysian Online Journal of Educational Technology* 1(2), 19-33. Récupéré du site : <https://ssrn.com/abstract=2431572>
123. Leuders, T., Barzel, B., et Hubmann, S. (2005). *Computer, Internet und co im Mathematikunterricht*. Cornelsen, Berlin.
124. Ljajko, E. (2017). Does the problem complexity impact students' achievement in a computer aided mathematics instruction? *Teaching of Mathematics*, 19(1). Récupéré du site : <http://elib.mi.sanu.ac.rs/files/journals/tm/36/tmn36p41-55.pdf>
125. Le Quentrec, E., Solène, Z., Christelle, C. et Georges – lui, B. (2015). *Bilan et perspectives d'une rxperimentation « Tablettes » au Niger*. *Adjectif* [En ligne]. Mis en ligne le vendredi 17 avril 2015. Récupéré du site : <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article343>
126. Macedo-Rouet, M., Charles, S., Ney, M., Batier, C., Humblot, L., Marquez, E., Lallich – Boidin, G. (2006). Un dispositif Web pour l'enseignement des mathématiques à l'université – quels impacts sur la performance et la motivation des étudiants ?. *Revue STICEF*, Vol. 12, 2006, ISSN : 1764 – 7223. Document trouvé en ligne : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2006/macedo-rouet-01/sticef_2006_macedo-rouet_01p.pdf

127. Maplesoft (2008). *Maple*. Computer algebra system. Maplesoft. Récupéré du site : <http://www.maplesoft.com/>
128. Marquet, P., Coulibaly, B. (2011). The concept of instrumental conflict: an application of the theory of activity to computer-supported teaching-learning situations. in A. Méndez-Vila (Éd.) *Education in a technological world: communicating current and emerging research and technological efforts*, Formatex, Badajoz. Récupéré du site : <https://pdfs.semanticscholar.org/40a8/9afe7d66deb436c0cdc6258c943ceaa75855.pdf>
129. Masri et all (2016). The effects of using Geogebra teaching strategy in Malaysian secondary schools: A case study from Sibul, Sarawak. *Malaysian Journal of Society and Space*, 12-7). Récupéré du site : https://www.researchgate.net/profile/Norain_Mohd_Tajudin/publication/303876551_The_effects_of_using_Geogebra_teaching_strategy_in_Malaysian_secondary_schools_A_case_study_from_Sibu_Sarawak/links/5759f6f508aec91374a3b50d/The-effects-of-using-Geogebra-teaching-strategy-in-Malaysian-secondary-schools-A-case-study-from-Sibu-Sarawak.pdf?_sg%5B0%5D=ozIzKMOuH0RNTFmu4eXXCXHUVIAO5qsshIrcVkfWwdyL5XTy1muwNitRpwvMnIGMVOntz0eqzeqj7XWGVmvWZw.aSqr46bKvdWITO7hkULxchr6xE_DfRJPEP0mV2uwHx9YUCX_qBkraYNokJmAUpzRmNxlyiuaYESwjnCI3WChgw&_sg%5B1%5D=Wvh_UfFYJXKJyG3RzO4mKxSjlvzjCpxyc9t4k9TPJAc9mRVTW31HxmzR2aLWEKCFIJ3mGkAt4S9OlgcWuKpDoYkL5TyXC4sUlXwGs2MtzQsp.aSqr46bKvdWITO7hkULxchr6xE_DfRJPEP0mV2uwHx9YUCX_qBkraYNokJmAUpzRmNxlyiuaYESwjnCI3WChgw&iepl=
130. Mehanovic, S (2011). *The Potential and Challenges of the Use of Dynamic Software in Upper Secondary Mathematics Students' and Teachers' Work with Integrals in Geogebra Based Environments* (mémoire, Linkoping University). Récupéré du site : <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:421408/FULLTEXT01.pdfSanela>
131. Ministère des enseignements secondaire, supérieur et de la recherche scientifique (2010). *Présentation du projet " Amélioration de l'enseignement des mathématiques et de sciences au secondaire au Niger" (SMASSE-Niger)*. Récupéré du site : <https://www.jica.go.jp/niger/french/activities/pdf/activity01.pdf>
132. Ministère des enseignements secondaires (MES) (2015). *Orientations pédagogiques de l'enseignement des mathématiques au cycle de base II et moyen*.
133. Ministère des enseignements secondaires (MES) (2019). *Programme de m'enseignement secondaire général : toutes disciplines second cycle*.
134. Microsoft Corporation (2007). *MS Excel*. Spreadsheet software. Microsoft Corporation. Récupéré du site : http://microsoft_excel.en.downloadastro.com/

135. Ministère de l'enseignement national (MEN), (1998). *Loi d'Orientation du Système Educatif au Niger (LOSEN)*. Récupéré du site : <http://www.men.ne/LOSEN.htm>
136. Ministère des enseignements secondaires (MES) (2016). *Statistiques des enseignements secondaires : annuaire statistique 2015 - 2016* Récupéré du site : http://www.stat-niger.org/statistique/file/Annuaire_Statistiques/MESSRT/Secondaire/ANNUAIRE_MES_2014-2015.pdf
137. Modibo, C. (2009). *Impact des TIC sur le sentiment d'auto – efficacité des enseignants du secondaire au Niger et leur processus d'adoption d'une innovation* (Thèse de doctorat, Université de Montréal). Récupéré du site : <http://www.crifpe.ca/download/verify/976>
138. Moussa, C. (2011). *Impact des TIC sur la motivation des étudiants à l'apprentissage des mathématiques à l'Université Abdou Moumouni au Niger* (Thèse de doctorat, Université de Montréal). Récupéré du site : https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/7048/Moussa-Tessa_Ousmane_2011_these.pdf?sequence=3&isAllowed=y
139. Mwei, P. K., Wando, D., et Too, J. K. (2012). Secondary school students' attitudes towards Mathematics computer assisted instruction environment in Kenya. *Educational Research and Reviews*, 7(9), 207-214. Document trouvé en ligne: <http://www.academicjournals.org/journal/ERR/article-full-text-pdf/CE856194628>
140. Mwingirwa, I. M., & Miheso-O'Connor, M. K. (2016). Status of teachers' technology uptake and use of Geogebra in teaching secondary school mathematics in Kenya. *International Journal of Research in Education and Science (IJRES)*, 2(2), 286-294. Document trouvé en ligne: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1105111.pdf>
141. Myers (1993). *A Middle School's Experience with Hypermedia and Problem-Based Learning / Robert J. Myers and Others*. [Washington, D.C.] : Distributed by ERIC Clearinghouse, 1993. Récupéré du site :: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED370567.pdf>
142. National Council of Teachers of Mathematics (NCTM) (2011). *Calculator Use in Elementary Grades*. Reston, Va.: NCTM, 2011. Récupéré du site : https://www.nctm.org/uploadedFiles/Standards_and_Positions/Position_Statements/Calculator_Use_in_Elementary_Grades.pdf
143. Neuendorf, K. A. (2002). *The Content Analysis Guidebook*. SAGE Publications.

144. O'Connell, E. J., Dusek, J. B., & Wheeler, R. J. (1974). A follow-up study of teacher expectancy effects. *Journal of Educational Psychology*, 66(3), 325–328.
145. Ngunu C. (2013). L'impact de l'intégration des logiciels éducatifs dans l'enseignement des sciences au Kenya. *Adjectif.net* Récupéré du site de la revue : <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article260>
146. Nouhou, A. M. (2017). Analyse de l'évolution des rôles de superviseurs pédagogiques de l'activité enseignante, avec le numérique. *Adjectif.net*. Récupéré du site de la revue: <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article425>
147. Nouhou, A. M. (2018). *Effets des technologies mobiles sur les pratiques pédagogiques dans les établissements d'enseignement secondaire au Niger*. 7^{ème} Colloque international du RIFEFF (RIFEFF 2018), Paris, France.
148. Numa-Bocage, L., Clauzard, P. et Pastré, P. (2012) Activité enseignante et didactique professionnelle : analyse de la co-activité en situation scolaire. In Altet, M., Bru, M. et Blanchard-Laville, C. (Coord) *Observer les pratiques enseignantes : pour quels enjeux ?* (p. 182-195). Paris : L'Harmattan. Récupéré du site : www.philippeclauzard.com/Article_Numa_Clauzard_Pastre_2006.pdf
149. Numa-Bocage, L., Marcel, J-F., & Chaussecourte, P. (coord.) (2014). *De l'observation des pratiques enseignantes. Recherches en Éducation*, 19. Récupéré du site : <http://www.recherches-en-education.net/IMG/pdf/REE-no19.pdf>
150. Ogbonnaya, I. O. et Alfred, . (2017). *The impact of using Geogebra to teach circle geometry on grade 11 student's achievement*. Récupéré du site : <http://uir.unisa.ac.za/bitstream/handle/10500/23417/Ugorji%20I.%20Ogbonnaya%20%2C%20Chimuka%20Alfred.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
151. Ourghanlian, P. (2006). *Les Théories de l'apprentissage : Enseigner/Apprendre*. Récupéré du site : <http://www. formations.philippeclauzard.com/Theories-apprentissage-enseigner-apprendre-Ourghanlian.pdf>
152. Ozgun-Koca, S. A. (2000). *Using spreadsheets in mathematics education*. ERIC Publications, ERI Digests in Full Text. Récupéré du site : <http://www.ericdigests.org/2003-1/math.htm>.
153. Pacurar et Abbas, (2014). Analyse des intentions d'usage d'un ENT chez les enseignants de lycées professionnels – Persée. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation Année 2014*, 21, 33-62. Récupéré du site : https://www.persee.fr/doc/stice_1764-7223_2014_num_21_1_1090

154. PASEC (2016). *PASEC2014 – Performances du système éducatif nigérien : Compétences et facteurs de réussite au primaire*. PASEC, CONFEMEN, Dakar. Récupéré du site : http://www.pasec.confemen.org/wp-content/uploads/2017/01/PASEC2014_Rapport-Niger_Final.pdf
155. Pavlopoulou, K. (1993). Un problème décisif pour l'apprentissage de l'algèbre linéaire : la coordination des registres de représentations. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*. IREM de Strasbourg, 5 (1993) (p.67 – 93). Récupéré du site : https://mathinfo.unistra.fr/fileadmin/upload/IREM/Publications/Annales_didactique/vol_05/adsc5_1993-004.pdf
156. Pernin, J-P., (2003). *Quels modèles et quels outils pour la scénarisation d'activités dans les nouveaux dispositifs d'apprentissage ?* INRP Séminaire 'TIC Nouveaux métiers et nouveaux dispositifs d'apprentissage.
157. Pierce, R., Stacey, K. et Barkatsas, A. (2007). A scale for monitoring students' attitudes to learning mathematics with technology. *Computer and Education*, 48 (2007), 285 – 300. Récupéré du site : http://www.nebhe.org/info/pdf/policy/Pierce_2004_MathAttitudeScaleTechnology.pdf
158. Poellhuber, B. (2007). *Les effets de l'encadrement et de la collaboration sur la motivation et la persévérance dans les formations ouvertes et à distance soutenues par les TIC* (Thèse de doctorat, université de Québec à Montréal). Récupéré du site : <http://www2.crifpe.ca/gif/these/TheseBrunoPoellhuberFinale2007.pdf>
159. Poellhuber, B. et Boulanger, R. (2001). *Un modèle constructiviste d'intégration des TIC* (Rapport de recherche n°2-922157-04-0). Collège Laflèche, 2001. Récupéré du site : www.cdc.qc.ca/textes/modele_constructiviste_integration_TIC.pdf
160. Poh, G. T. , et Leong, K. E. (2014). Improving Students' Van Hiele Level of Geometric Thinking Using Geometer's Sketchpad. *Malaysian Online Journal of Educational technology*, 2-3), 20-31. Récupéré du site : <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1086363.pdf>
161. Raby, C. (2004). *Analyse du cheminement qui a mené des enseignants du primaire à développer une utilisation exemplaire des technologies de l'information et de la communication en classe* (Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal) Récupéré du site : <https://tel.archives-ouvertes.fr/edutice-00000750/document>
162. Rajagopal, S., Ismail, Z., Ali, M., et Sulaiman, N. (2015). Attitude of Secondary Students towards the Use of Geogebra in Learning Loci in Two Dimensions.

International Education Studies, 8(13), 27. Récupéré du site :
<https://doi.org/10.5539/ies.v8n13p27>

163. Rajaonarimanana, H. E., & Totohasina, A. (2019). Initiation aux TIC par Geogebra dans des classes de mathématiques. *Revue Didaktika*, (3), 78. Récupéré du site :
<http://madarevues.recherches.gov.mg/IMG/pdf/art5.pdf>
164. Reed, H. C., Drijvers, P., et Kirschner, P. A. (2010). Effects of attitudes and behaviours on learning mathematics with computer tools. *Computers & Education*, 55 (1), 1–15. Document trouvé en ligne: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.11.012>
165. Riouch, M.-L. (2015). Utilisation des tablettes dans des activités mathématiques : Exemple activités de géométrie dynamique Application : Geogebra. In Theis L. (Ed.) *Oluralités culturelles et universalité des mathématiques : enjeux et perspectives pour leur enseignement et leur apprentissage*. Actes EMF2015-GT6, pp. 597-611. Récupéré du site ;
<http://emf.unige.ch/files/8814/6476/4762/ACTESEMF2015COMPLETFINAL.compressed.pdf>
166. Robert, A. D. et Bouillaguet, A. (1997). *L'analyse de contenu*. Collection Que sais – je ? Presse Universitaire de France.
167. Robert, A. (2008). Sur les apprentissages des élèves : Une problématique inscrite dans les théories de l'activité et du développement. In F. Vandebrouck (éd.), *La classe de mathématiques : Activités des élèves et pratiques des enseignants*. Toulouse : Éd. Octarès, p. 33-44.
168. Robert, A. et Rogalski, J. (2002) Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques: Une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, vol 2, n°4, p.505-528. Document trouvé en ligne:
http://eroditi.free.fr/Enseignement/DDM_M1_S2/07%20Robert%20%26%20Rogalski%202002%20-%20La%20double%20approche%20-%20CJSMTE%202-4.pdf
169. Robert, A. et Rogalski, J. (2005). A cross-analysis of the mathematics teacher's activity. An example in a French 10th-grade class. *Educational studies in mathematics*, vol. 59(1), p. 269-298.
170. Robert, A. et Vandebrouck, F. (2014). Proximités en acte mises en jeu en classe par les enseignants du secondaire et ZPD des élèves : analyses de séances sur des tâches complexes. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 34(2/3), 239-285. Récupéré du site :

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02111015/document>

171. Rogalski, J. (2015). Théorie de l'activité et didactique, pour l'analyse conjointe des activités de l'enseignant et de l'élève. *Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática*, 5(1). Récupéré du site : <https://revista.pgsskroton.com.br/index.php/jieem/article/viewFile/112/101>
172. Rogalski, J. (2003). Y at-il un pilote dans la classe?: une analyse de l'activité de l'enseignant comme gestion d'un environnement dynamique ouvert. *Recherches en didactique des mathématiques*, 23(3), 343–388. Récupéré du site : <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=781758>
173. Saha, R. A., Mohd Ayub, A. F., et Tarmizi, R. A (2010). The Effects of Geogebra on Mathematics Achievement: Enlightening Coordinate Geometry Learning. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 8 (2010), pp. 686-693. Récupéré du site : https://ac.els-cdn.com/S1877042810022007/1-s2.0-S1877042810022007-main.pdf?_tid=cf1b6a21-6eb8-4bf9-bd72_19355f2bc7e7&acdnat=1544321153_975ea50e4daea25d255848a4489cfa3b
174. Salifu, A. S. (2018). Effect Of Geogebra Instruction On Pre-Service Teachers' Attitudes And Achievement In Angles. *Journal of Mathematics*, 5(1), 2349-5375. Récupéré du site : <http://www.researchjournali.com/pdf/4056.pdf>
175. Savard, A., Freiman, V., Theis, L., & Larose, F. (2013). Discussing virtual tools that simulate probabilities: what are the middle school teachers' concerns? *McGill Journal of Education (Online)*, 48(2), 403–423. Document trouvé en ligne : <http://www.erudit.org/revue/mje/2013/v48/n2/1020978ar.pdf>
176. Savoie-Zajc, L. (1993b). Qu'en est – il de la triangulation : là où la recherche qualitative interprétative se transforme en intervention sociale. *ARQ*, 8, 1 – 14.
177. Savoie-Zajc, L. (2000). L'analyse de données qualitatives : pratiques traditionnelle et assisté par le logiciel NUD*IST. *Recherche qualitatives*, 20, 99 – 123.
178. Savoie-Zajc, L. (2004). La recherche qualitative /interprétative en éducation. Dans T. Karsenti et L. Savoie – Zajc (dir.), *La recherche en éducation : étapes et approches* (124 – 150). Sherbrooke : Université de Sherbrooke, Faculté d'éducation, Editions du CRP.
179. Schumann, H. and Green, D. (2000). New protocols for solving geometric calculation problems incorporating dynamic geometry and computer algebra software. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 31(3), 319 — 339.
180. Shadaan, P. et Leon, K. E. (2017). Students' Performance in Geometrical Reflection Using Geogebra. *The Malaysian online journal of educational technology*, 5(1). Récupéré du site : <http://www.mojet.net/frontend//articles/pdf/v5i1/v05-i01-05pdf.pdf>

181. Sträßer, R. (2002). Research on dynamic geometry software (DGS) – An introduction. *ZDM. The International Journal on Mathematics Education*, 34(3), 65.
182. Takači, D., & Vukobratović, R. (2011). On the role of Geogebra in examining functions. *International Geogebra Conference for Southeast Europe Me\ d junarodna Geogebra*, 2011, 18. Récupéré du site :
<http://www.Geogebra.rs/Prilozi/20120125-GCSE-Proceedings/Proceeededings-GCSE2011.pdf>
183. Tay, M. K et Mensah-Wonkyi, T. (2018). Effect of using Geogebra on senior high school students' performance in circle theorems. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, vol.14, 2018. Récupéré du site :
<https://www.ajol.info/index.php/ajesms/article/viewFile/173391/162795>
184. Texas Instruments. (2008). *TI – 92, Voyage 200. TI - Nspire*. Dallas, TX: Texas Instruments Incorporated.
185. Temperman, G., Anthoons, C., De Lièvre, B. et De Stercke, J. (2014). *Tâches de programmation avec Scratch à l'école primaire : Observation et analyse du développement des compétences en mathématique*. Frantice.net, Université de Limoges, 2014, TICE : scolarisation et évolution des pratiques. Récupéré du site :
<http://www.frantice.net/document.php?id=1013> . <halshs-01092656>
186. Tolbert, E. Jr. (2015). The Impact of Computer-Aided Instruction on Student Achievement. *Education Dissertations and Projects*. Récupéré du site :
https://digitalcommons.gardner-webb.edu/education_etd/127
187. Trouche, L. (2007). Environnements informatisés d'apprentissage : quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques ? In R. Floris, F. Conne (dir.), *Environnements informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques. Intégrer des artefacts complexes, en faire des instruments au service de l'enseignement et de l'apprentissage*, p. 19-38. Bruxelles : De Boeck.
Récupéré du site : www.academia.edu/download/32265674/LT-REF.pdf
188. Trouche, L. (2005a). Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques. *Le calcul sous toutes ses formes*. Inspection générale de mathématiques, 2005, Saint – Four, France. Récupéré du site : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01559831/document>
189. Trouche, L. (2005b). An instrumental approach to mathematics learning in symbolic calculator environments. In D. Guin, K. Ruthven, & L. Trouche (Eds.) *The Didactical Challenge of Symbolic Calculators Turning a Computational Device into a Mathematical Instrument*, Springer, 137-162. Récupéré du site :

https://www.researchgate.net/profile/Luc_Trouche/publication/226769415_Calculators_in_Mathematics_Education_A_Rapid_Evolution_of_Tools_with_Differential_Effects/links/0c9605201324c289fe000000/Calculators-in-Mathematics-Education-A-Rapid-Evolution-of-Tools-with-Differential-Effects.pdf#page=147

190. Tutkun, O. F. and Ozturk, B. (2013). The effect of Geogebra mathematical software to the academic success and the level of Van Hiele geometrical thinking. *International Journal of Academic Reserch Part B*, 5(4), 22-28. Récupéré du site : https://www.researchgate.net/profile/Omer_Tutkun/publication/314535790_The_effect_of_Geogebra_mathematical_software_to_the_academic_success_and_the_level_of_Van_Hiele_geometrical_thinking/links/58d0db5fa6fdcc344b0d6028/Th-e-effect-of-Geogebra-mathematical-software-to-the-academic-success-and-the-level-of-Van-Hiele-geometrical-thinking.pdf
191. Universität Bayreuth (2007). *GEONExT*. Dynamic mathematics software. Universität Bayreuth. Récupéré du site : <http://geonext.uni-bayreuth.de/?id=2453>
192. Vale, C., et Leder, G. (2004). Student views of computer-based mathematics in the middle years: does gender make a difference? *Educational Studies in Mathematics*, 56, 287–312.
193. Van der Maren, J. M. (1996). *Méthodes de la recherche pour l'éducation* (2^{ème} édition). Montréal /Bruxelles : Presses universitaires de Montréal /De Boek et Larcier, collection Méthodes en sciences humaines.
194. Vanderbrouk, F. et Robert, A. (2017). Activités mathématiques des élèves avec les technologies numériques : vers une théorie didactique de l'activité. *Cahiers du Laboratoire de Didactique André Revuz* (n°18), IREM de Paris. Récupéré du site : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02111613/document>
195. Vasquez, E. D., (2015). *Enhancing student achievement using Geogebra in a technology rich environment* (Master's thesis, California State Polytecnic University, Pomona). Récupéré du site : <https://core.ac.uk/download/pdf/48498993.pdf>
196. Wah, L. K. (2015). The effects of instruction using the arcs model and Geogebra on upper secondary students' motivation and achievement in learning combined transformation. *Asia Pacific Journal of Educators and Education*, 30, 141–15. Récupéré du site : [http://apjee.usm.my/APJEE_30_2015/APJEE%2030%20Art%209%20\(141-158\).pdf](http://apjee.usm.my/APJEE_30_2015/APJEE%2030%20Art%209%20(141-158).pdf)
197. Weigand, H.-G. and Weth, T. (2002). Computer im Mathematikunterricht: Neue Wege zu alten Zielen. *Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin*. Récupéré du site : <http://subs.emis.de/journals/ZDM/zdm033r3.pdf>

198. Williams, C., Charles-Ogan, G. et Adesope, R.Y. (2017). The Geogebra interactive software and senior secondary school tree (SSS3) student's interests' and achievement in mathematics. *International Journal of Mathematics and Statistics Studies*. 5(1), -8. Récupéré du site : <http://www.eajournals.org/wp-content/uploads/The-Geogebra-Interactive-Software-and-Senior-Secondary-School-Three-SSS3-Students%E2%80%99-Interest-and-Achievement-in-Mathematics.pdf>
199. Wolfram Research Inc. (2008). *Mathematica*. Computer algebra system. Wolfram Research Inc.
200. Zulnaidi, H. and Zakaria, E. (2012). The Effect of Geogebra on Students' Conceptual and Procedural Knowledge of Function. , 5(12), 3802-3808. Récupéré du site : <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/viewFile/30616/26534>
201. Zulnaidi, H. and Zakaria, E. (2012). The effect of sing Geogebra on conceptual and procedural knowledge of high school mathematics students. *Asian social Science*, 8(11), 102-106. Récupéré du site : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.883.3933&rep=rep1&type=pdf>
202. Zulnaidi, H. and Zakaria, E. (2017). The effectiveness of the Geogebra software: the intermediary role of procedural knowledge on students' conceptual knowledge and their achievement in mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Sciences and Technology Education*, 13(6), 2155-2180. Récupéré du site : <http://www.ejmste.com/The-Effectiveness-of-the-Geogebra-Software-The-Intermediary-Role-of-Procedural-Knowledge-On-Students-Conceptual-Knowledge-and-Their-Achievement-in-Mathematics,66531,0,2.html>

ANNEXES

1 ANNEXES : Fiches de leçons

1.1 Annexe A1 : Fiche pédagogique du modèle ASEI/PDSI

Fiche N° :

Séance :

Etablissement :

Classe :

Effectif :

Thème :

Date :

Sous – thème :

Durée :

Leçon :

1. Justification

.....
.....
.....

2. Objectifs d'apprentissage :

A la fin de la leçon, l'élève de la classe de

.....
.....
.....
.....

3. Prérequis

.....
.....

4. Matériels didactiques :

.....

5. Références

.....

6. Déroulement

Etape/Durée	Activité d'enseignement/apprentissage		Points d'apprentissage	Observations
	Activités du Professeur	Activités des élèves		
Etape1 : Introduction - Justification - Prérequis - Motivation - Objectifs d'apprentissage Durée : 10 mn				
Etape2 : - Développement				

- Synthèse				
Durée : 50 mn				
Etape3 : Conclusion				
Durée : 15 mn				
Etape4 : Evaluation		❖		
Durée : 15 mn				

Annexes

A1 : Activité d'apprentissage (30 minutes)

A2: Trace écrite

A3 : Evaluation (15 minutes)

1.2 Annexe A2 : Les fiches de leçons élaborées par les enseignants en UP

1.2.1 Les fiches de deux leçons des classes de 2^{nde}

FONCTION POLYNOME DU SECOND DEGRE

1. ETUDE DE LA FONCTION POLYNOME DU SECOND DEGRE

Objectifs d'apprentissage :

- Calculer le zéro de la fonction polynôme du second degré
- Déterminer la forme canonique de la fonction polynôme du second degré
- Déterminer la forme factorisée de la fonction polynôme du second degré
- Etudier le signe de la fonction polynôme du second degré.

1.1. Activité :

On considère les fonctions polynômes du second degré f , g et h définie par :

$$f(x) = -x^2 + 4x + 5; g(x) = 2x^2 - 2x + \frac{1}{2}; h(x) = 4x^2 - 2x + 1$$

- Dans chacun des cas vérifier si α annule la fonction polynôme de second degré puis conclure
 - $f(x) = -x^2 + 4x + 5$ et $\alpha = 5$
 - $g(x) = 2x^2 - 2x + \frac{1}{2}$ et $\alpha = \frac{1}{2}$
 - $h(x) = 4x^2 - 2x + 1$ et $\alpha = -3$
- Déterminer les fonctions polynômes du second degré f , g et h sous la forme canonique
- Peut-on déduire des formes canoniques les nombres de zéros des fonctions f , g et h ? Si oui justifier
- Peut-on déduire des formes canoniques si les fonctions f , g et h sont factorisables? Si oui justifier
- Etudier le signe de chacune des fonctions f , g et h

Solution

- Vérifions :

$f(5) = -5^2 + 4 * 5 + 5 = -25 + 20 + 5 = -25 + 25 = 0$ donc $f(5) = 0$ alors $\alpha = 5$ est un zéro (racine) de f

$g\left(\frac{1}{2}\right) = 2\left(\frac{1}{2}\right)^2 - 2 * \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 2 * \frac{1}{4} - \frac{2}{2} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{2}{2} = 0$ donc $g\left(\frac{1}{2}\right) = 0$ alors $\alpha = \frac{1}{2}$ est un zéro (racine) de g

$h(-3) = 4(-3)^2 - 2(-3) + 1 = 4 * 9 + 6 + 1 = 43$ donc $h(-3) \neq 0$ alors $\alpha = -3$ n'est pas une racine de h

- Déterminons les formes canoniques de :

$$a. f(x) = -x^2 + 4x + 5 \Rightarrow \alpha = -\frac{b}{2a} = -\frac{4}{2(-1)} = 2 \text{ et } \beta = -\frac{b^2-4ac}{4a^2} = -\frac{4^2-4(-1)5}{4(-1)^2} = -\frac{16+20}{4} = -9$$

Donc $f(x) = -[(x - 2)^2 - 9]$

$$b. g(x) = 2x^2 - 2x + \frac{1}{2} \Rightarrow \alpha = -\frac{b}{2a} = -\frac{-2}{2*2} = \frac{1}{2} \text{ et } \beta = -\frac{b^2-4ac}{4a^2} = -\frac{(-2)^2-4*2*\frac{1}{2}}{4*2^2} = -\frac{4-4}{4} = 0$$

Donc $g(x) = 2\left(x - \frac{1}{2}\right)^2$

$$c. h(x) = 4x^2 - 2x + 1 \Rightarrow \alpha = -\frac{b}{2a} = -\frac{-2}{2*4} = \frac{1}{4} \text{ et } \beta = -\frac{b^2-4ac}{4a^2} = -\frac{(-2)^2-4*4*1}{4*4^2} = -\frac{4-16}{4} = 3$$

Donc $h(x) = 4\left(x - \frac{1}{4}\right)^2 + 3$

- Déduisons les nombres zéros de f , g et h à partir de leurs formes canoniques puis justifions

On a : $f(x) = -[(x - 2)^2 - 9]$ et $\beta = -9 \Rightarrow \beta < 0$ alors f a deux zéros

Soit $f(x) = 0 \Leftrightarrow -x^2 + 4x + 5 = 0$

On pose $\Delta = b^2 - 4ac = 36$; $x_1 = \frac{-4-6}{2*(-1)} = 5$ et $x_2 = \frac{-4+6}{2*(-1)} = -1$ d'où les zéros sont $x_1 = 5$ et $x_2 = -1$

On a : $g(x) = 2(x - \frac{1}{2})^2$ et $\beta = 0$ alors g a une seule racine double

Soit $g(x) = 0 \Leftrightarrow 2x^2 - 2x + \frac{1}{2}$

Posons $\Delta = b^2 - 4ac = 0$, $x_1 = x_2 = -\frac{b}{2a} = -\frac{-2}{2*2} = \frac{1}{2}$ où le zéro $x = \frac{1}{2}$

On a : $h(x) = 4[(x - \frac{1}{4})^2 + 3]$ et $\beta = 3 \Rightarrow \beta > 0$ alors h n'a pas de zéro

Posons $\Delta = b^2 - 4ac = -12 \Rightarrow \Delta < 0$ alors h n'a pas de zéro

4. Dédudions des formes canoniques si les fonctions f , g et h sont factorisables

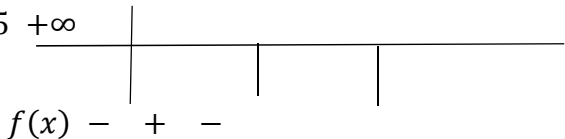
On a : $f(x) = -(x - 2)^2 - 9$ et $\beta = -9 \Rightarrow \beta < 0$ alors f est factorisable et sa forme factorisée est :

$$f(x) = -(x - 5)(x + 1)$$

On a : $g(x) = 2(x - \frac{1}{2})^2$ et $\beta = 0$ alors g est factorisable et sa forme factorisée est : $g(x) = 2(x - \frac{1}{2})(x - \frac{1}{2})$

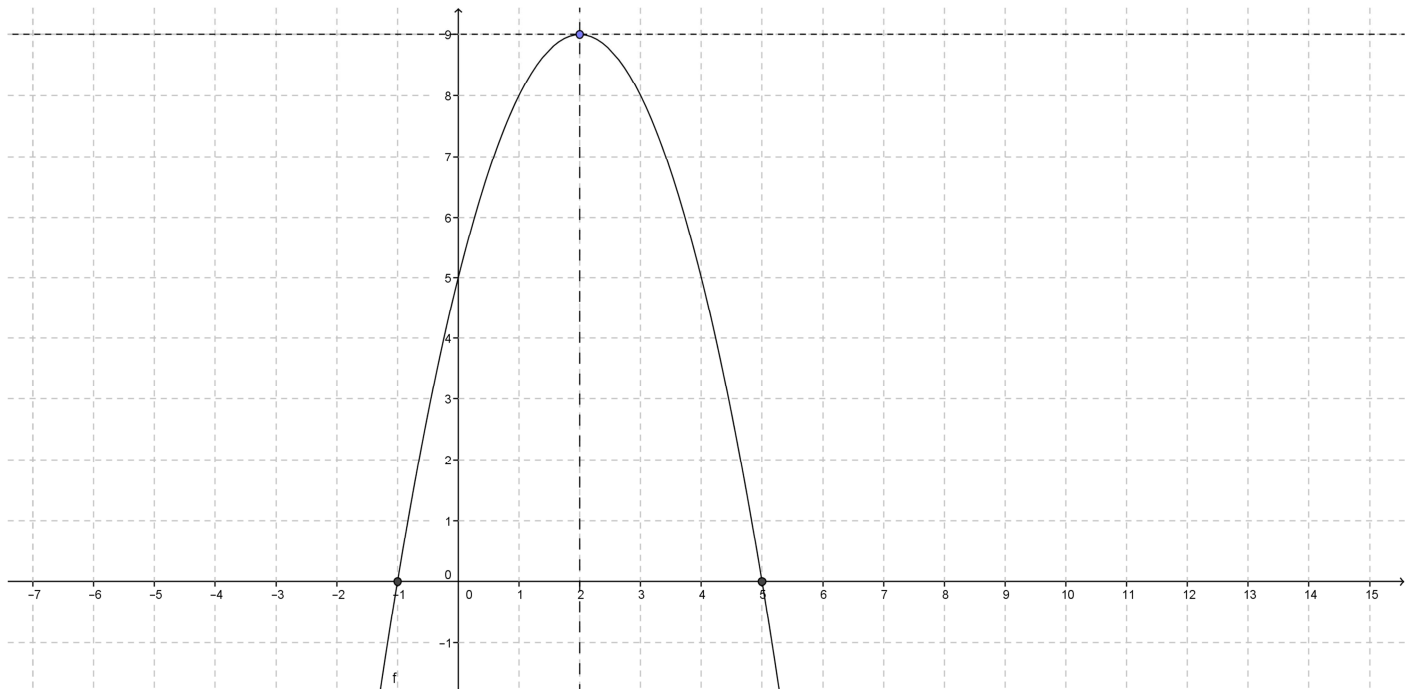
On a : $h(x) = 4[(x - \frac{1}{4})^2 + 3]$ et $\beta = 3 \Rightarrow \beta > 0$ alors h n'est pas factorisable

5. Etudions les signes de : $x \quad -\infty \quad -1 \quad 5 \quad +\infty$
 $f(x) = -x^2 + 4x + 5$
on a $\Delta = 36 \Rightarrow \Delta > 0$ et $a = -1 \Rightarrow a < 0$ alors



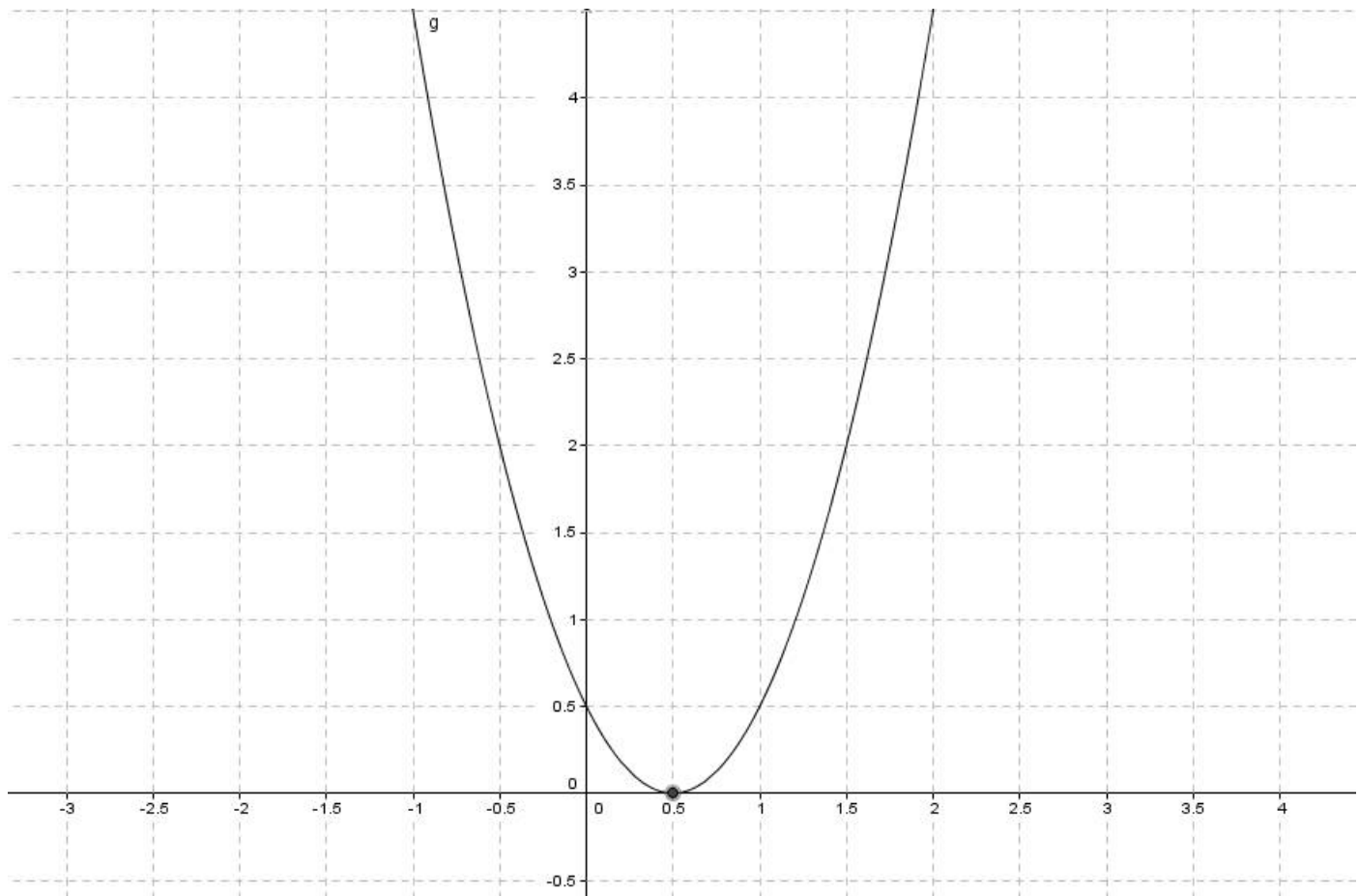
x	$-\infty$	-1	5	$+\infty$
$f(x)$	$-$	$+$	$-$	

- ❖ Pour $x \in]-\infty; -1] \cup [5; +\infty[$ $f(x) < 0$
- ❖ Pour $x \in [-1; 5]$ $f(x) > 0$



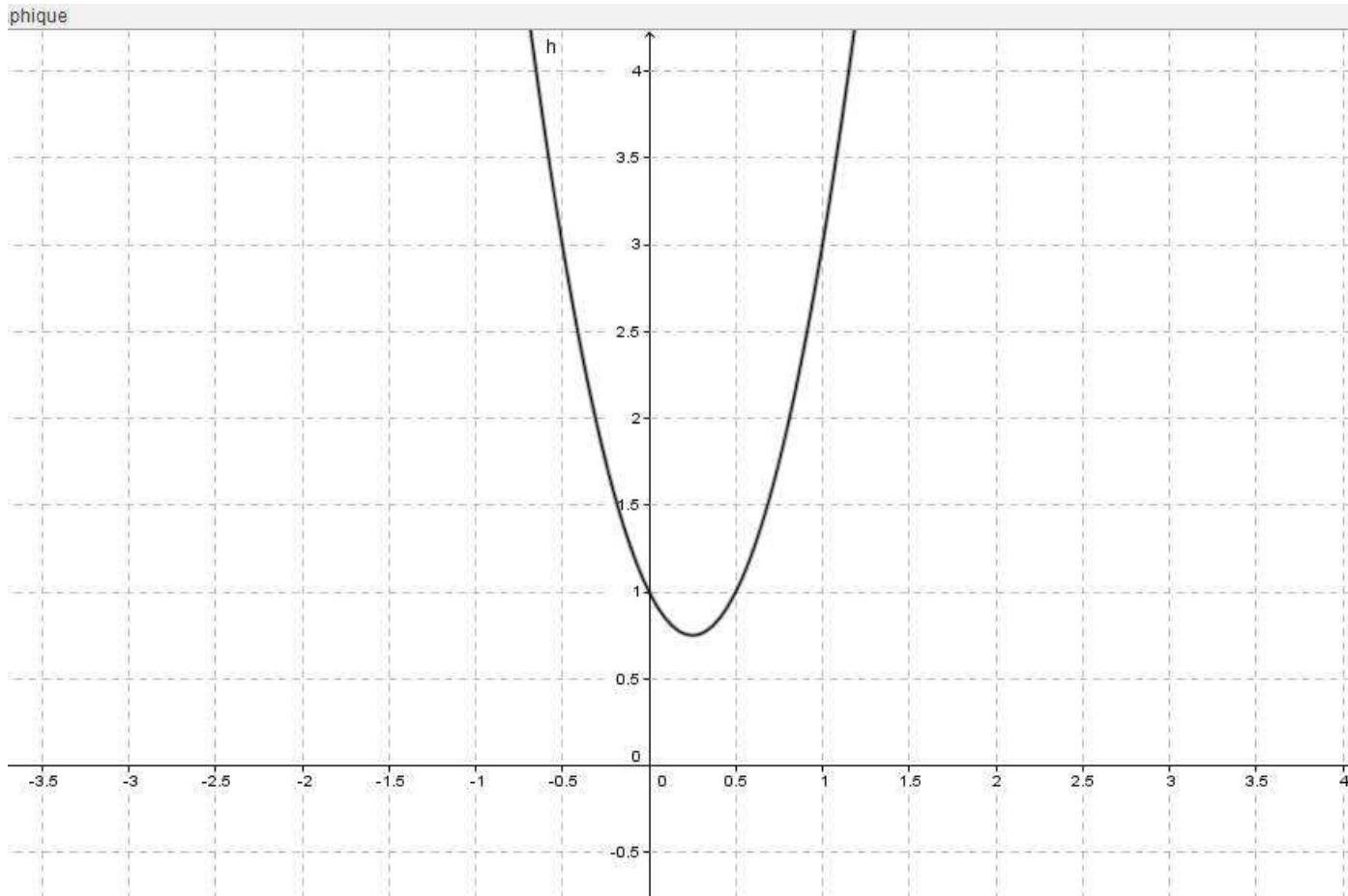
$$g(x) = 2x^2 - 2x + \frac{1}{2}$$

on a $\Delta = 0$ et $a = 2 \Rightarrow a > 0$ alors pour tout x , $g(x) > 0$ sauf en $x = \frac{1}{2}$



$$h(x) = 4x^2 - 2x + 1$$

on a $\Delta = -12 \Rightarrow \Delta < 0$ et $a = 4 \Rightarrow a > 0$ alors pour tout x , $h(x) > 0$



1.2. Définition

On appelle **fonction du second degré** toute fonction définie sur $]-\infty ; +\infty[$ par : $f(x) = ax^2 + bx + c$ avec a, b et c sont des nombres réelles, et $a \neq 0$.

1.3. La forme canonique d'une fonction polynôme du second degré

On appelle forme canonique d'une fonction polynôme du second degré $f(x)$ toute écriture où la variable x n'apparaît qu'une seule fois.

Exemple :

On veut mettre sous forme canonique $f(x) = x^2 + 8x - 9$.

$$f(x) = x^2 + 8x - 9$$

$$f(x) = x^2 + 2 \times 4 \times x - 9$$

(1) On fait apparaître une expression du type « $a^2 \pm 2ab \dots$ »

$$f(x) = x^2 + 2 \times 4 \times x + 4^2 - 4^2 - 9$$

(2) On rajoute/enlève un « $+ b^2$ » pour pouvoir factoriser.

$f(x) = x^2 + 2 \times 4x + 4^2 - 16 - 9$ (3) On reconnaît une identité remarquable que l'on va factoriser.

$f(x) = (x+4)^2 - 25$ (4) On obtient $f(x)$ sous forme canonique.

Mise sous forme canonique d'une fonction polynôme f .

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

$\Leftrightarrow f(x) = a \left(x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} \right)$ On met « a » en facteur pour que le coefficient de x soit 1.

$$\Leftrightarrow f(x) = a \left(x^2 + 2 \times \frac{b}{2a} \times x + \frac{c}{2a} \right) \quad (1)$$

$$\Leftrightarrow f(x) = a \left[x^2 + 2 \times \frac{b}{2a} \times x + \left(\frac{b}{2a} \right)^2 - \left(\frac{b}{2a} \right)^2 + \frac{c}{2a} \right] \quad (2)(3)$$

$\Leftrightarrow f(x) = a \left[\left(x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2}{4a^2} + \frac{c}{2a} \right]$ On va mettre au dénominateur le terme constant.

$$\Leftrightarrow f(x) = a \left[\left(x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2}{4a^2} + \frac{4ac}{4a^2} \right]$$

$$\Leftrightarrow f(x) = a \left[\left(x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2 - 4ac}{4a^2} \right] \quad (4)$$

Propriétés :

1. La forme canonique d'une fonction polynôme $f(x) = ax^2 + bx + c$ est $f(x) = a \left[\left(x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2 - 4ac}{4a^2} \right]$
2. On a vu qu'une telle fonction peut être écrite sous la forme canonique $f(x) = a(x - \alpha)^2 + \beta$
3. La forme canonique d'une fonction polynôme permet de calculer aisément les racines éventuelles (zéros), de factoriser la fonction et d'étudier le son signe.

1.4. Zéros d'une fonction polynôme du second degré

1.4.1. Définition

On appelle zéro (ou racine) d'une fonction polynôme du second degré, tout nombre réel x_0 tel que : $f(x_0) = 0$

Remarque : Déterminer les zéros de f , c'est résoudre l'équation $f(x) = 0$

1.4.2. Résolution de l'équation $f(x) = 0$

Soit $f(x)$ une fonction polynôme du second degré mis en forme canonique : $f(x) = a(x - \alpha)^2 + \beta$.

- Si $\beta > 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ n'a pas des zéros
- Si $\beta = 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ a un seul zéro x
- Si $\beta < 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ admet deux zéros x_1 et x_2

1.5. La forme factorisée d'une fonction polynôme du second degré

Soit $f(x)$ une fonction polynôme du second degré mis en forme canonique : $f(x) = a(x - \alpha)^2 + \beta$.

- Si $\beta > 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ n'est pas factorisable
- Si $\beta = 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ est factorisable et sa forme factorisée est $f(x) = a(x - \alpha)^2$
- Si $\beta < 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ est factorisable et sa forme factorisée est $f(x) = a(x - x_1)(x - x_2)$

1.6. Etudier le signe d'une fonction polynôme du second degré

Soit f une fonction polynôme du second degré mis en forme canonique : $f(x) =$

$$a\left[\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{b^2 - 4ac}{4a^2}\right].$$

De la forme canonique on déduit : $\Delta = b^2 - 4ac$ appelé le discriminant

- Si $\Delta < 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ est toujours de signe de a
- Si $\Delta = 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ est toujours de signe de a sauf pour $x = -\frac{b}{2a}$ (il est alors nul)
- Si $\Delta > 0$, alors $f(x) = ax^2 + bx + c$ est du signe de a à l'intérieur des racines et du signe de $-a$ à l'extérieur des racines

2. Propriétés de la fonction polynôme du second degré

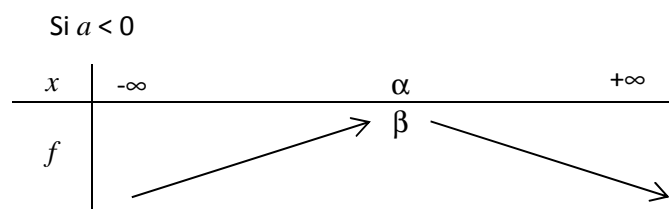
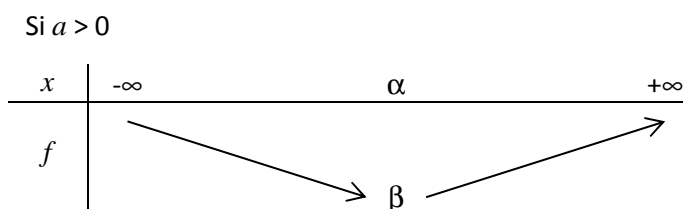
2.1. Sens de variation

Soit f une fonction polynôme du second degré

On admettra que le sens de variation d'une fonction du second degré dépend du signe de a .

- Si a est positive, f est d'abord décroissante puis croissante
- Si a est négative, f est d'abord croissante puis décroissante

Tableaux de variation



Si $a > 0$, f admet un **minimum** quand $x = \alpha$
quand $x = \alpha$

Si $a < 0$, f admet un **maximum**

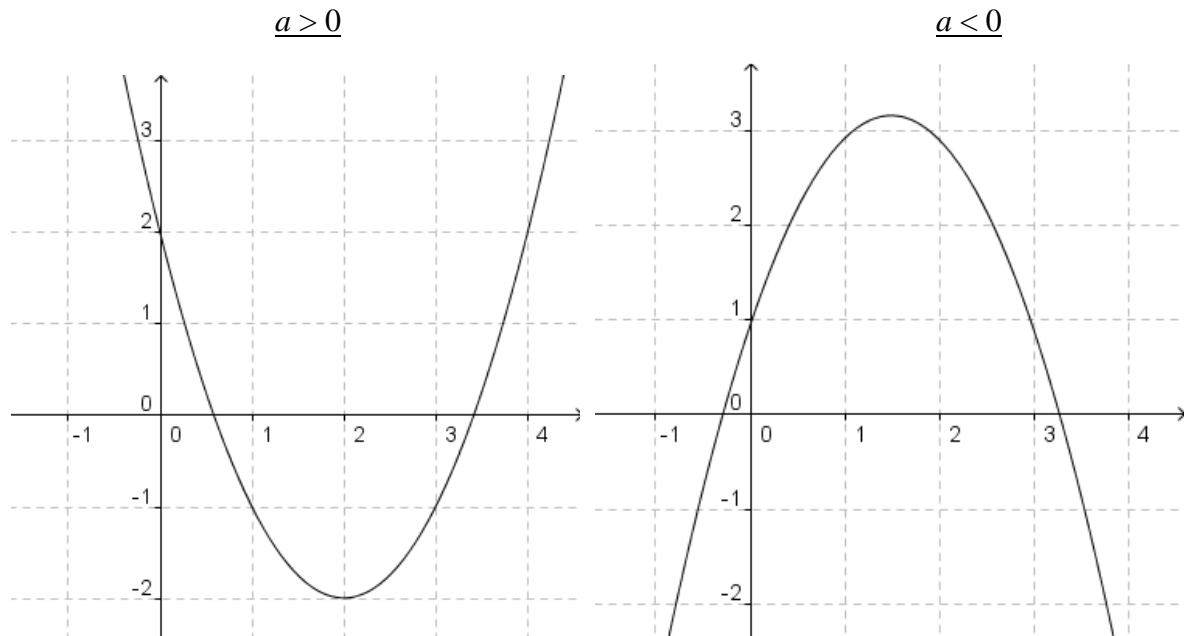
2.2. Courbe représentative de la fonction polynôme du second degré

Dans le plan muni d'un repère (O, I, J) , on appelle courbe représentative (C_f) d'une fonction polynôme du second degré f définie sur $D_f = \mathbb{R}$, l'ensemble des points de coordonnées $(x, f(x))$ avec x élément de D_f .

Un point $M(x, y)$ se trouve sur la courbe si et seulement si $y = f(x)$.

On dit que, $y = f(x)$ est une équation de la courbe.

Graphiquement on a :



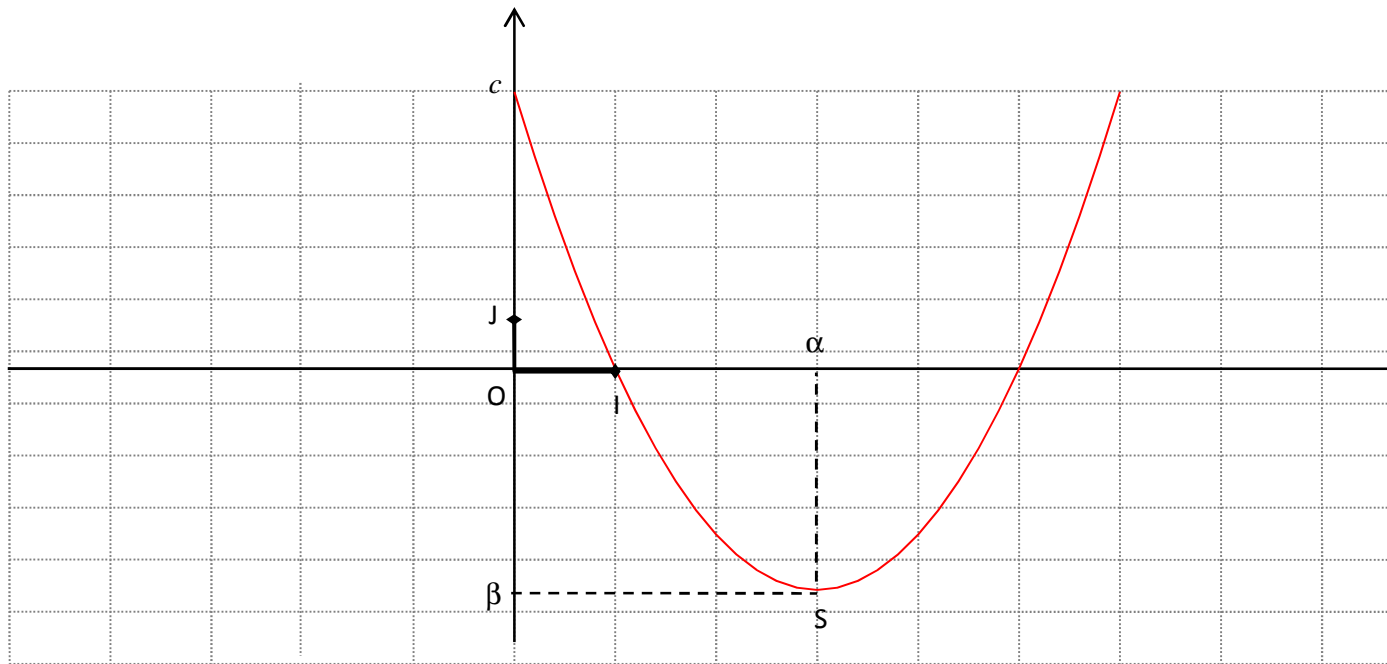
Remarques

1. La courbe représentative (C_f) d'une fonction polynôme de second degré f telle que :
 $f(x) = ax^2 + bx + c = a(x - \alpha)^2 + \beta$ est une parabole de sommet $S(\alpha ; \beta)$

Si $a > 0$, la parabole est dans le même sens que la fonction carré.

Si $a < 0$, la parabole est « retournée »

2. Cette fonction n'est pas paire, mais elle admet pour axe de symétrie la droite parallèle à (OJ) passant par S .
3. Le point d'intersection de (C_f) avec (OJ) est le point C de coordonnées $(0 ; c)$
4. Les points d'intersections éventuels de (C_f) avec (OI) sont les points $A(x_1 ; 0)$ et $B(x_2 ; 0)$ où x_1 et x_2 sont les solutions de l'équation $f(x) = 0$ (que l'on résout en factorisant $f(x)$)



1.2.2 Les fiches de deux leçons des classes de 1^{ère}

Généralité sur les fonctions

I) Comparaison de deux fonctions

1. **Activité :** On considère les fonctions f et g définies par : $f(x) = x^2$ et $g(x) = x^3$. C_f et C_g sont les courbes représentatives de f et g .
 - a) Représenter graphiquement les fonctions f et g à l'aide du logiciel Geogebra.
 - b) Compléter le tableau des valeurs suivant puis placer chacun de ces points.

x	-3	-2	-1	0	1	2	3
$f(x)$							
$g(x)$							

- c) Quelles sont les points d'intersection de f et g ?
- d) Comparer graphiquement les fonctions f et g sur l'intervalle $[-3 ; 3]$.
- e) Déterminer les points d'intersection de C_f et C_g avec l'axes des abscisses.

Solution

On a: $f(x) = x^2 \Rightarrow D_f = \mathbb{R} =]-\infty; +\infty[$

On a: $g(x) = x^3 \Rightarrow D_g = \mathbb{R} =]-\infty; +\infty[$

- a) Représentons graphiquement f et g



b) Compléter le tableau des valeurs suivant puis placer chacun de ces points.

x	-3	-2	-1	0	1	2	3
$f(x)$	9	4	1	0	1	4	9
$g(x)$	-27	-8	-1	0	1	8	27

c) les points d'intersection de f et g

$$C_f \cap C_g = \{A(1; 1); B(0; 0)\}$$

d) Comparons graphiquement les fonctions f et g sur l'intervalle $[-3 ; 3]$

- Pour $x \in [-3 ; 1]$, C_f est en dessus de C_g donc $f(x) \geq g(x)$
- Pour $x \in [1 ; 3]$, C_f est en dessous de C_g donc $f(x) \leq g(x)$
- Si $x = 0$ ou $x = 1$, $f(x) = g(x)$

e) les points d'intersection de C_f et C_g avec l'axes des abscisses

- ❖ $C_f \cap (xx') = \{O(0; 0)\}$ donc $f(x) = 0$ admet pour solution $x = 0$
- ❖ $C_g \cap (xx') = \{O(0; 0)\}$ donc $g(x) = 0$ admet pour solution $x = 0$

2. Définition

Soit f et g deux fonctions définies sur E , on dit que f est inférieur ou égale à g sur E si pour tout x élément de E , on a $f(x) \leq g(x)$. On dit que f est minorée par g .

- ❖ f est minorée sur E , s'il existe un nombre réel m tel que $\forall x \in E, on a f(x) \geq m$.
- ❖ f est majorée sur E , s'il existe un nombre réel M tel que $\forall x \in E, on a f(x) \leq M$.

Fiche pédagogique de mathématiques

Fiche N° : ...

Séance : 2

Etablissement : CES SM

Classe : 1ère Effectif :.....

Thème : Fonctions numériques Date :.....

Sous – thème : Limites Durée : 1h30mn

Leçon : Limites à l'infinie des fonctions

7. Justification

Les limites interviennent dans plusieurs activités de la vie notamment la physique, la santé, le commerce. D'où l'utilité de la leçon.

8. Objectifs d'apprentissage :

A la fin de la leçon, l'élève de la classe de première doit être capable de :

- ❖ Etablir le comportement des fonctions de référence quand $|x|$ tend vers $+\infty$
- ❖ Déterminer la limite d'une fonction en $+\infty$ et $-\infty$

9. Prérequis

Monômes, fraction, image d'un réel par une fonction

10. Matériels didactiques :

Fiche de préparation, craie, règle, Tableau. Calculatrices pour élèves.

11. Références

- ❖ Programme officiel
- ❖ CIAM 1^{ère} SE

12. Déroulement

Etape/Durée	Activité d'enseignement/apprentissage		Points d'apprentissage	Observations
	Activités du Professeur	Activités des élèves		
Etape1 : Introduction - Justification - Prérequis - Motivation - Objectifs d'apprentissage Durée : 10 mn	Le professeur justifie le thème Le professeur demande aux élèves : <ul style="list-style-type: none"> ❖ De préciser le degré de chacun des polynômes suivants : $f(x) = x^2$; $g(x) = -2x$ ❖ De calculer x^2 pour $x = 100$ et $x = 0,1$ ❖ Propose l'exercice suivant : Soit $f(x) = 3x$ Que devient $f(x)$ lorsque x devient infiniment grand ? Le professeur annonce les objectifs d'apprentissage.	Les élèves écoutent Les élèves exécutent Les élèves tentent de retrouver la limite	Degré d'un monôme Image d'un monôme par une fonction réel	
Etape2 : - Développement	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Répartie les élèves en groupes ❖ Distribue l'activité 1 ❖ Fait lire l'activité par un/une élève ❖ Explique l'activité et donne des consignes 	Les élèves <ul style="list-style-type: none"> ❖ Se mettent en groupes ❖ Exécutent 	Limites des fonctions en en $+\infty$; en $-\infty$	

<p>- Synthèse</p> <p>Durée : 50 mn</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aide les élèves pendant la recherche ❖ Demande aux élèves de restituer ❖ Aide les élèves à élaborer la synthèse 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Restituent ❖ Participent à l'élaboration de la synthèse 		
<p>Etape3 :</p> <p>Conclusion</p> <p>Durée : 15 mn</p>	<p>Propose la trace écrite</p>	<p>Recopient la trace écrite (voir Annexe)</p>		
<p>Etape4 :</p> <p>Evaluation</p> <p>Durée : 15 mn</p>	<p>Propose un exercice aux élèves</p> <p>Envoie des élèves au tableau pour la correction</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cherchent dans leur cahier ❖ Corrigent et prennent la correction dans leur cahier 		

Annexe

Activité

1. Compléter le tableau ci – dessous. On donnera les résultats sous forme d'une puissance de 10.

X	-1000	-100	-10		10	100	1000
x^2							
x^3							
\sqrt{x}							
$\frac{1}{x}$							
$\frac{1}{x^2}$							

2. a. Que devient x^2 lorsque x devient indéfiniment grand ?

b. Lorsque x devient « indéfiniment grand », on convient de dire que x tend vers $+\infty$.

Remplacer alors les pointillés par $+\infty$.

Lors que x tend vers ; x^2 tend vers

3. Remplacer alors les pointillés par $+\infty$, $-\infty$ ou 0 .

a. Lors que x tend vers $+\infty$; x^3 tend vers

b. Lors que x tend vers $+\infty$; \sqrt{x} tend vers

c. Lors que x tend vers $+\infty$; $\frac{1}{x}$ tend vers

d. Lors que x tend vers $+\infty$; $\frac{1}{x^2}$ tend vers

e. Lors que x tend vers $-\infty$; x^2 tend vers

f. Lors que x tend vers $-\infty$; x^3 tend vers

g. Lors que x tend vers $-\infty$; $\frac{1}{x}$ tend vers

h. Lors que x tend vers $-\infty$; $\frac{1}{x^2}$ tend vers

Durée de recherche : 30 mn

Trace écrite

1. Limites d'une fonction à l'infinie

1.1. Limites à l'infinie des fonctions de référence

1.1.1. Limites en $+\infty$ des fonctions de références

❖ Les fonctions x^2, x^3, \dots, x^n ($n \in \mathbb{N}^*$) tendent vers $+\infty$ lorsque x tend vers $+\infty$

On écrit : $\lim_{x \rightarrow +\infty} x^2 = +\infty$; $\lim_{x \rightarrow +\infty} x^3 = +\infty$

De façon générale, pour tout entier naturel n non nul : $\lim_{x \rightarrow +\infty} x^n = +\infty$

❖ Les fonctions $\frac{1}{x}$ et $\frac{1}{x^2}$ tendent vers 0 lorsque x tend vers $+\infty$

Pour tout entier naturel n non nul, $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x^n} = 0$

❖ $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt{x} = +\infty$

1.1.2. Limites en $+\infty$ des fonctions de références

On a : $\lim_{x \rightarrow -\infty} x^2 = +\infty$; $\lim_{x \rightarrow -\infty} x^3 = -\infty$

De façon générale, pour tout entier naturel n non nul :

❖ Si n est paire, alors $\lim_{x \rightarrow -\infty} x^n = +\infty$

❖ Si n est impaire, alors $\lim_{x \rightarrow -\infty} x^n = -\infty$

❖ $\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{1}{x} = 0$, $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x^2} = 0$

Pour tout entier naturel n non nul, $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x^n} = 0$

Evaluation

On donne $f(x) = x^5$; $g(x) = x^6$, $h(x) = \frac{1}{x^5}$ et $k(x) = \frac{1}{x^4}$

1. Déterminer les limites de f et g en $+\infty$ et en $-\infty$

2. Déterminer les limites de h et k en $-\infty$ et en $+\infty$

1.2.3 Fiche de deux leçons des classe de T^{le}

Représentation graphique d'une fonction

Objectifs d'apprentissage :

Utiliser les représentations graphiques de fonctions pour :

- Déterminer le domaine de définition
- Dresser le tableau de variation
- Résoudre graphiquement les équations et les inéquations du second degré ans IR

Activité : On considère la fonction f définie par : $f(x) = \frac{1}{2}x^2 + x$

- 1) Représenter à l'aide de Geogebra la courbe représentative C_f de f sur un repère orthonormé $(O; \vec{i}; \vec{j})$ unité 1 cm.
- 2) Utiliser cette représentation graphiquement pour :
 - a) Préciser la valeur de la dérivée f' de la fonction f en $x = -1$?
 - b) Dresser le tableau de variation de f
 - c) Résoudre graphiquement les équations $f(x) = 0$ et $f(x) = 4$
 - d) Résoudre graphiquement l'inéquation $f(x) \leq 0$
- 3) Soit $(T): y = -(x + 2)$ l'équation de la tangente à C_f au point d'abscisse -2 .
Représenter (T) dans le même repère puis déterminer la position de C_f par rapport à (T) .

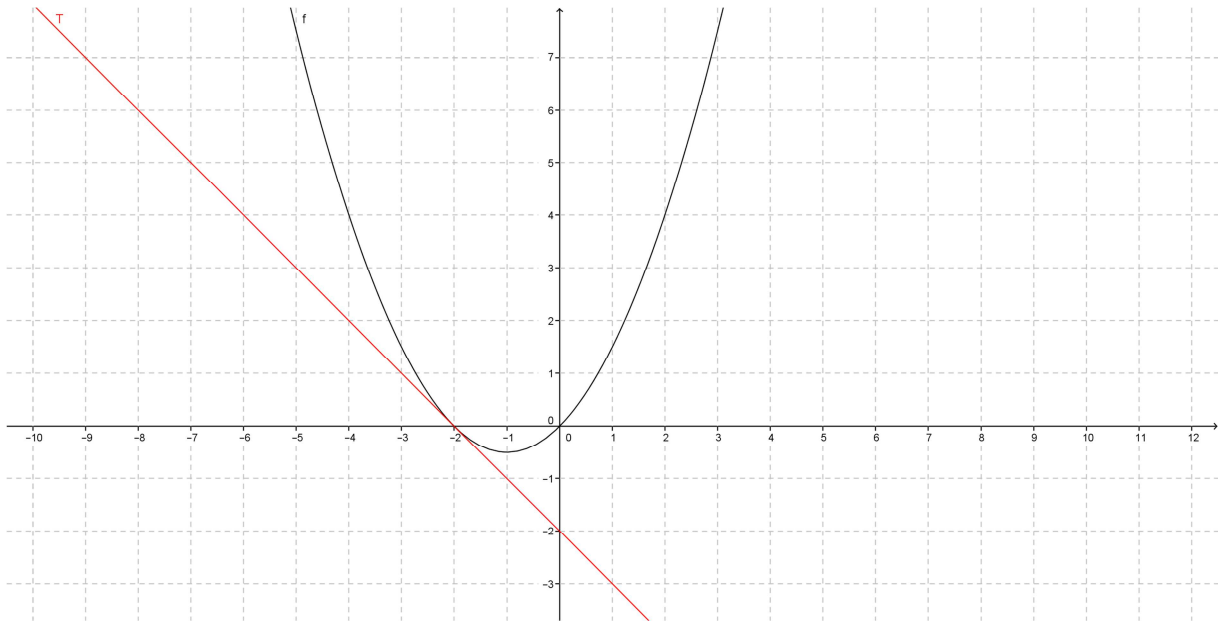
Solution

On a: $f(x) = \frac{1}{2}x^2 + x. \Rightarrow D_f = IR =] - \infty; +\infty[$

- 1) Le tableau des valeurs suivant puis placer chacun de ces points.

x	-3	-2	-1	0	1	2	3
$f(x)$	3/2	0	-1/2	0	3/2	4	15/2

Représentons graphiquement



- 2) a. $f'(-1) = 0$ car C_f admet un extremum (un minimum) au point d'abscisse -1
 b. Dressons le tableau de variation

	$x \rightarrow -\infty$	-1	$+\infty$	
$f'(x)$	$-$	0	$+$	
f	$+\infty$		$+\infty$	

$-\frac{1}{2}$

- c. $f(-2) = 0$ et $f(0) = 0$ alors $S_{IR} = \{-2; 0\}$
 d. $\forall x \in [-2; 0], f(x) \leq 0$ alors $S_{IR} = [-2; 0]$

- 3) Déterminons la position de C_f par rapport à (T)

Calculons : $f(x) - y = \frac{1}{2}x^2 + x + 2$

Soit $\frac{1}{2}x^2 + x + 2 = 0 \Rightarrow \Delta = 1^2 - 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = 1 - 4 = -3 \Rightarrow \Delta < 0$

$\forall x \in IR, \frac{1}{2}x^2 + x + 2 > 0 \Leftrightarrow f(x) - y > 0$ donc C_f est au-dessus (T)

3. Étude graphique de fonctions

Quand on connaît l'écriture d'une fonction, on peut préciser son ensemble de définition et déterminer son sens de variation. On complète ensuite un tableau de valeurs pour faire sa représentation graphique. Réciproquement, on peut partir de la représentation graphique d'une fonction pour trouver son ensemble de définition et déduire son tableau de variation. On peut également utiliser les représentations graphiques de fonctions pour résoudre des équations ou des inéquations.

3.1. Comment lire l'ensemble de définition sur la représentation graphique d'une fonction ?

Sur l'axe horizontal, on lit les abscisses des points de la courbe. L'ensemble de définition est l'ensemble de ces abscisses. Il s'écrit sous la forme d'un intervalle ou d'une réunion d'intervalles.

3.2. Comment établir le tableau de variation d'une fonction à partir de sa représentation graphique ?

- ❖ Une fonction est **croissante** sur un intervalle I , si, en parcourant la courbe de gauche à droite, les images en ordonnées augmentent.
- ❖ Une fonction est **décroissante** sur un intervalle I , si, en parcourant la courbe de gauche à droite, les images en ordonnées diminuent.
- ❖ Une fonction est **constante** sur un intervalle I lorsque sa représentation graphique est un segment horizontal.

3.3. Comment lire les solutions d'une équation sur une représentation graphique de fonction(s) ?

- ❖ Les solutions de l'équation $f(x) = k$ sont les abscisses des points d'intersection de la courbe représentant la fonction f avec la droite horizontale d'équation $y = k$.
- ❖ Les solutions de l'équation $f(x) = g(x)$ sont les abscisses des points d'intersection de la courbe représentant f avec la courbe représentant g .

Remarque : Dans le cas particulier de l'équation $f(x) = 0$, les solutions sont les abscisses des points d'intersection de la courbe avec l'axe des abscisses.

3.4. Comment lire les solutions d'une inéquation sur une représentation graphique de fonction(s) ?

- ❖ Les solutions de l'inéquation $f(x) < k$ sont les abscisses des points de la courbe situés au-dessous de la droite d'équation $y = k$.
- ❖ Plus généralement, les solutions de l'inéquation $f(x) < g(x)$ sont les abscisses des points de la courbe représentant f , situés au-dessous de la courbe représentant g .

Remarque : Dans le cas particulier de l'équation $f(x) < 0$, les solutions sont les abscisses des points de la courbe situés au-dessous de l'axe des abscisses.

4. Etude et représentation d'une fonction homographique

Objectifs d'apprentissage :

- Etudier une fonction homographique
- Représenter graphiquement la fonction homographique

Activité : Soit f la fonction définie par : $f(x) = 2x + 3 + \frac{4}{x-5}$

- 1) Donner le domaine de définition de la fonction f
- 2) Etudier la variation de la fonction f (sens de variation et tableau de variation)
- 3) Montrer que $y = 2x + 3$ est une asymptote oblique à la courbe C_f à ∞
- 4) Tracer la courbe de la fonction f et ces asymptotes dans un repère $(O; \vec{i}; \vec{j})$.
- 5) Montrer que $I(5; 13)$ est un centre de symétrie à C_f

- 6) Résoudre l'équation $f(x) = 0$, graphiquement et par calcul.
 7) Résoudre l'inéquation $f(x) > 0$, graphiquement et par calcul

Solution

On a: $f(x) = 2x + 3 + \frac{4}{x-5}$

1) Le domaine de définition de f : $D_f = \mathbb{R} \setminus \{5\} =]-\infty; 5[\cup]5; +\infty[$

2) Etudions la variation de f

Calculons d'abord la dérivabilité

f est continue et dérivable sur D_f : $f'(x) = 2 - \frac{4}{(x-5)^2}$

Etudions le signe de $f'(x)$

$$f'(x) = 0 \Leftrightarrow 2 - \frac{4}{(x-5)^2} = 0 \Rightarrow \frac{2x^2 - 20x + 46}{(x-5)^2} = 0 \Rightarrow 2x^2 - 20x + 46 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4ac \Rightarrow \Delta = (-20)^2 - 4 * 2 * 46 = 32 \text{ donc } x_1 = -\sqrt{2} + 5 \text{ et } x_2 = \sqrt{2} + 5$$

x	$-\infty$	$-\sqrt{2} + 5$	5	$\sqrt{2} + 5$	$+\infty$
$f'(x)$	$+$	0	$-$	0	$+$

❖ Pour $x \in]-\infty; -\sqrt{2} + 5] \cup [\sqrt{2} + 5; +\infty[$, $f'(x) \geq 0$ donc f croissante

❖ Pour $x \in [-\sqrt{2} + 5; \sqrt{2} + 5]$, $f'(x) \leq 0$ donc f décroissante

Tableau de variation

x	$-\infty$	$-\sqrt{2} + 5$	5	$\sqrt{2} + 5$	$+\infty$
$f'(x)$	$+$	0	$-$	0	$+$
$f(x)$	$-\infty$	$+\infty$	$+\infty$	$-\infty$	$+\infty$

On a :

❖ $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} 2x + 3 + \frac{4}{x-5} = -\infty$

❖ $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow +\infty} 2x + 3 + \frac{4}{x-5} = +\infty$

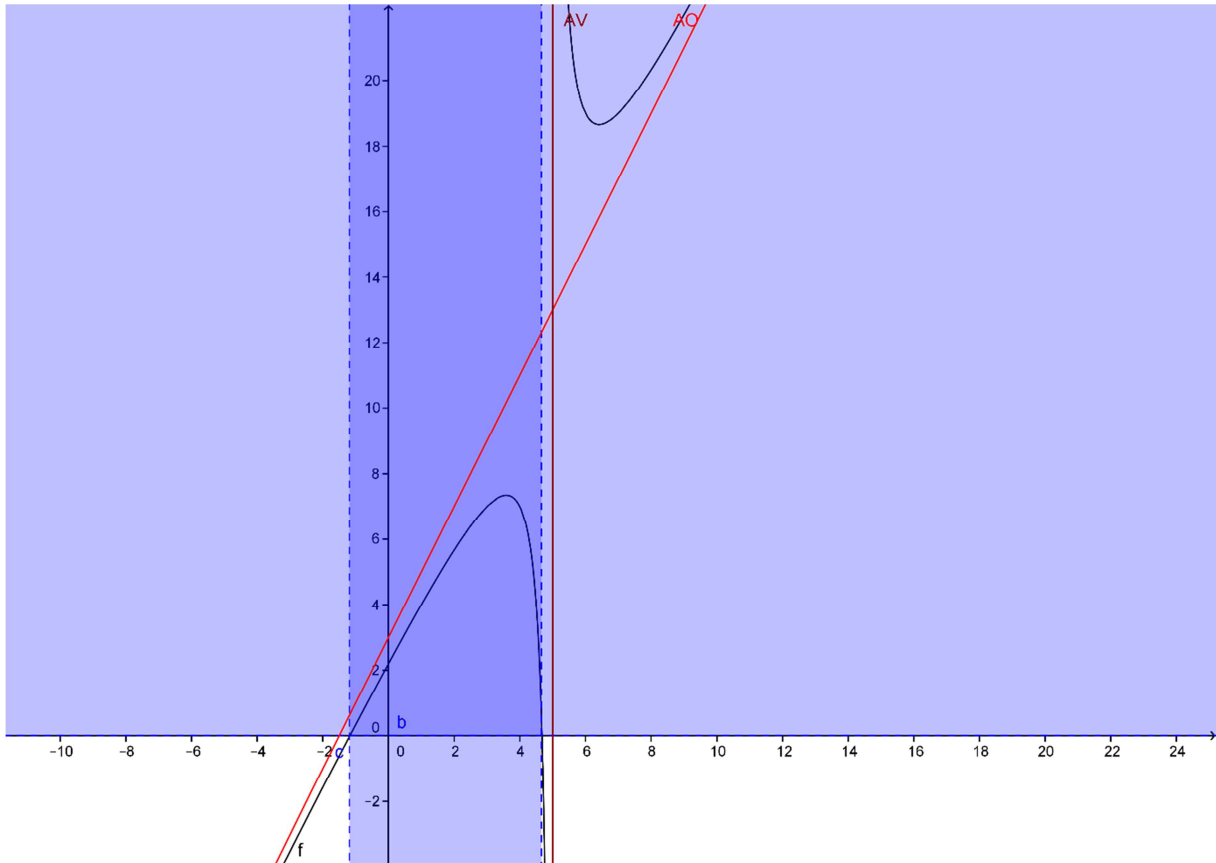
❖ $\lim_{x \rightarrow 5^-} g(x) = \lim_{x \rightarrow 5^-} 2x + 3 + \frac{4}{x-5} = 2 * 5 + \frac{4}{5-5} = 10 + \frac{4}{0^-} = -\infty$

❖ $\lim_{x \rightarrow 5^+} g(x) = \lim_{x \rightarrow 5^+} 2x + 3 + \frac{4}{x-5} = 2 * 5 + \frac{4}{5-5} = 10 + \frac{4}{0^+} = +\infty$

3) Montrons que $y = 2x + 3$ est une asymptote oblique

Calculons : $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} (f(x) - (2x + 3)) = \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \frac{4}{x-5} = 0$ donc $y = 2x + 3$ est une asymptote oblique à C_f

4) Traçons C_f et les asymptotes



5) Montrer que $I(5; 13)$ est un centre de symétrie à C_f

Il suffit de prouver que $f(2a - x) + f(x) = 2b$

$$\text{Ici } \begin{cases} a = 5 \Rightarrow 2a = 10 \\ b = 13 \Rightarrow 2b = 26 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} f(10 - x) + f(x) &= \frac{2(10 - x)^2 - 7(10 - x) - 11}{(10 - x) - 5} + \frac{2x^2 - 7x - 11}{x - 5} \\ &= \frac{2(100 - 20x + x^2) - 7(10 - x) - 11}{-x + 5} + \frac{2x^2 - 7x - 11}{x - 5} \\ &= \frac{200 - 40x + 2x^2 - 70 + 7x - 11}{-x + 5} + \frac{2x^2 - 7x - 11}{x - 5} \\ &= \frac{-200 + 40x - 2x^2 + 70 - 7x + 11 + 2x^2 - 7x - 11}{x - 5} \\ &= \frac{26x - 130}{x - 5} = \frac{26(x - 5)}{x - 5} = 26 \end{aligned}$$

Donc $I(5; 13)$ est un centre de symétrie à C_f

6) Résolvons l'équation $f(x) = 0$,

a. graphiquement (voire la figure)

b. par calcul $f(x) = 0 \Leftrightarrow 2x + 3 + \frac{4}{x-5} \Rightarrow \frac{2x^2 - 7x - 11}{x-5} = 0 \Rightarrow 2x^2 - 7x - 11 = 0$

$\Delta = b^2 - 4ac \Rightarrow \Delta = (-7)^2 - 4 * 2 * (-11) = 137$ donc $x_1 = \frac{7 - \sqrt{137}}{4}$ et $x_2 = \frac{7 + \sqrt{137}}{4}$

Donc $S_{IR} = \left\{ \frac{7 - \sqrt{137}}{4}; \frac{7 + \sqrt{137}}{4} \right\}$

7) Résolvons l'inéquation $f(x) > 0$

a. graphiquement (voire la figure)

b. Par calcul : tableau de signe

$x - \infty$	$\frac{7 - \sqrt{137}}{4}$	5	$\frac{7 + \sqrt{137}}{4}$	$+\infty$
$f(x)$	-	0 +	+ 0 -	

Donc $S_{IR} =] \frac{7 - \sqrt{137}}{4}; 5[\cup] 5; \frac{7 + \sqrt{137}}{4} [$

5. Fonction homographique

5.1. Définition : On appelle fonction homographique toute fonction sous la forme

$$\frac{ax^2 + bx + c}{dx + e}$$

5.2. Ensemble de définition

Toute fonction de ce type admet une unique valeur interdite $x_0 = -\frac{e}{d}$

5.3. Décomposition en éléments simples

Toute fonction homographique peut s'écrire sous la forme décomposée en élément simple $ax + b + \frac{c}{dx + e}$

5.4. Remarques:

❖ La fonction est définie sur $] -\infty; x_0 [\cup] x_0; +\infty [$

❖ La courbe admet pour centre de symétrie $\{I\} = (AO) \cap (AV)$

Les droites d'équation $x = x_0$ et $y = ax + b$ sont des asymptotes de la courbe.

2 ANNEXES : Questionnaires

2.1 Annexe A3 : Prétest et poste de connaissances mathématiques des élèves de 2^{nde}

Exercice 1: Parmi les fonctions suivantes, indiquer celles qui sont des fonctions du second degré ?

$$f(x) = 3x^2 - 3x + 2 \quad g(x) = -4x^2 + 1 \quad h(x) = -3x + 9 \quad i(x) = (x - 3)(x + 2)$$

$$j(x) = 5x - x^2 - 8 \quad k(x) = 9x^2 \quad l(x) = \frac{1}{x^2} - 3x + 2 \quad m(x) = x(3x - 6)$$

.....

Exercice 2:

On considère la fonction $f(x) = x^2 - 6x + 8$ et $g(x) = -x^2 + 2x - 2$

1. Compléter le tableau de valeurs suivant

x	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$f(x)$									
$g(x)$									

2. Déterminer les formes canoniques de chacune de fonctions f et g

.....

3. Déterminer si possible les zéros des fonctions f et g

.....

4. Factoriser si possible chacune des fonctions f et g

.....

5. Etudier le signe de chacune des fonctions f et g

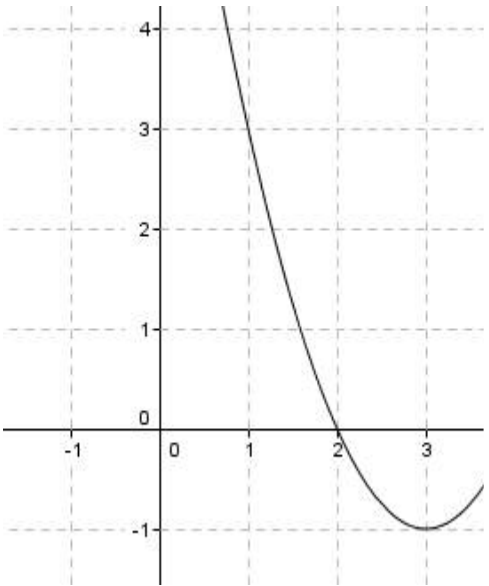
.....

Exercice 3: Soit f la fonction polynôme définie sur \mathbb{R} par : $f(x) = -x^2 + 2x - 2$, alors :
 (penser à l'allure de la courbe)

1. f est strictement décroissante sur $] - \infty ; 1]$ Vrai ; Faux
2. f est strictement croissante sur $[1 ; +\infty[$ Vrai ; Faux
3. f est strictement décroissante sur \mathbb{R} Vrai ; Faux
4. $f(4) > 0$ Vrai ; Faux

Exercice 4:

On considère la fonction polynôme du second degré f de représentation graphique C_f suivante :



1. Compléter le tableau de valeurs suivant

x	1	2	3	4	5
$f(x)$					

2. f est strictement décroissante sur $] - \infty ; 3]$
 Vrai ; Faux
3. f est strictement décroissante sur $[3 ; +\infty[$
 Vrai ; Faux
4. Quel est le minimum de f ? Pour quel x est-il atteint ?

..... Prénom classe : Ecole.....

2.2 Annexe A4 : Prétest et poste de connaissances mathématiques des élèves de 1^{ère}

Exercice1 QCM: Pour chaque question cochée la ou les bonnes réponses.

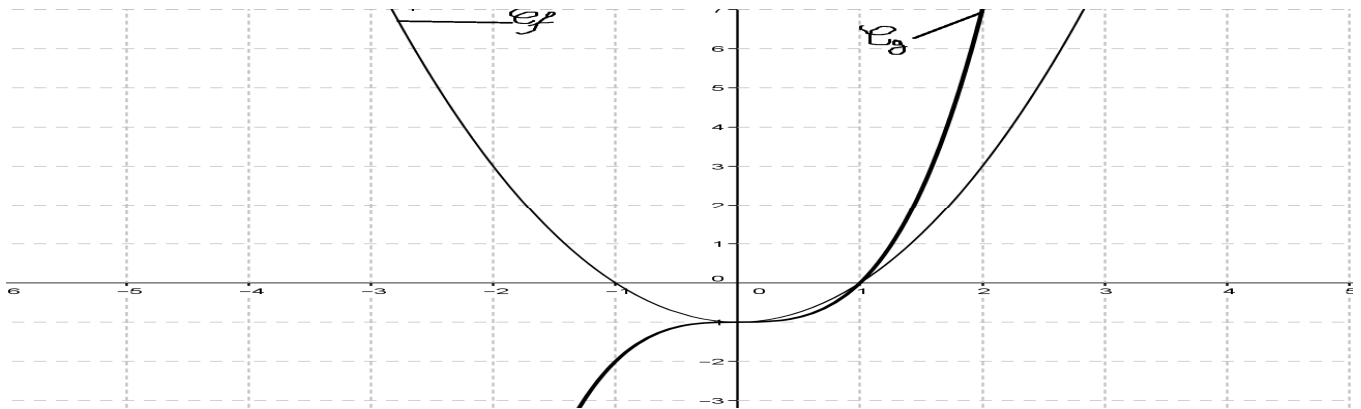
Soit f la fonction définie par $f(x) = x^2 - 3$ alors : (penser à l'allure de la courbe)

1	f est strictement décroissante sur $] - \infty ; 0[$	<input type="checkbox"/> Vrai	<input type="checkbox"/> Faux
2	f est strictement croissante sur $]0 ; +\infty[$	<input type="checkbox"/> Vrai	<input type="checkbox"/> Faux
3	f est strictement décroissante sur \mathbb{R}	<input type="checkbox"/> Vrai	<input type="checkbox"/> Faux
4	La courbe de la fonction f coupe l'axe des abscisses en deux points	<input type="checkbox"/> Vrai	<input type="checkbox"/> Faux

5	La courbe de la fonction f admet un extrémum	<input type="checkbox"/> Vrai	<input type="checkbox"/> Faux
---	--	-------------------------------	-------------------------------

Exercice2: (NB: les réponses seront directement portées sur pointillés de chaque question)

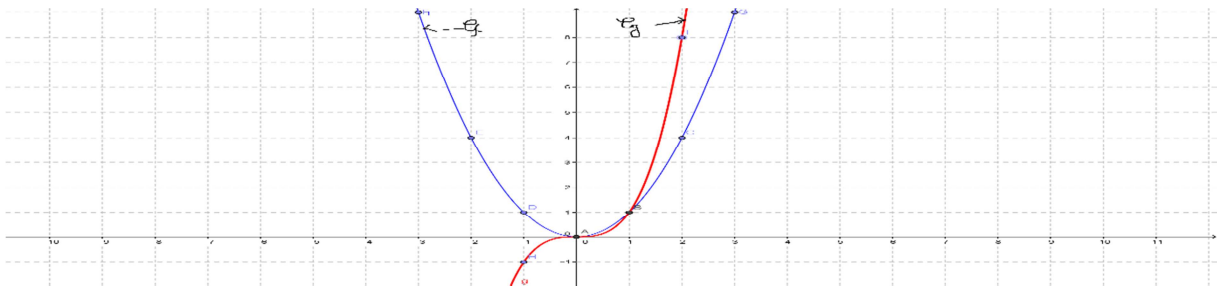
Soit f et g deux fonctions numériques admettant pour courbe représentative C_f et C_g



1. Pour quelles valeurs de x , $f(x) = g(x)$
2. Déterminer l'intervalle I pour lequel $f(x) \leq g(x)$

Exercice3: Soit f et g deux fonctions numériques admettant pour courbes représentatives C_f et C_g

telles que : $f(x) = x^2$ et $g(x) = x^3$.



f) Compléter le tableau des valeurs suivant :

x	-10^4	-10^3	-10^2	0	10^2	10^3	10^4
$f(x)$							
$g(x)$							

- g) Que devient $f(x)$ lorsque x devient de plus en plus grand ?.....
- h) Que devient $f(x)$ lorsque x devient de plus en plus petit?
- i) Que devient $g(x)$ lorsque x devient de plus en plus grand ?.....
- j) Que devient $g(x)$ lorsque x devient de plus en plus petit?

Exercice4: Remplacer les pointillés par $+\infty$; $-\infty$ ou 0

1. Lorsque x tend vers $+\infty$, alors $f(x) = 4x^2$ tend vers
2. Lorsque x tend vers $-\infty$, alors $g(x) = 3x^3$ tend vers

3. Lorsque x tend vers $-\infty$, alors $h(x) = \frac{1}{4x^2}$ tend vers

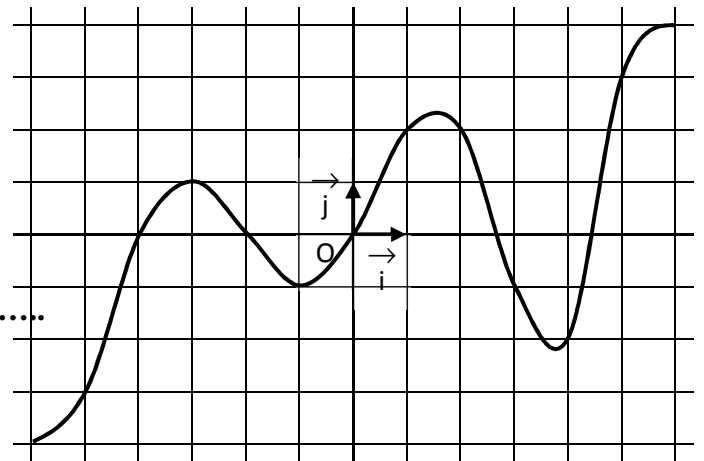
4. Lorsque x tend vers $+\infty$, alors $k(x) = -\frac{1}{3x^3}$ tend vers

Nom Prénom classe : Ecole.....

2.3 Annexe A5: Prétest et poste de connaissances mathématiques des élèves de T^{le}

Exercice 1:

La courbe ci-contre représente la fonction f



1. Déterminer le domaine de définition de f

.....

2. Compléter les phrases suivantes :

❖ L'image de 1 est

❖ L'antécédent de -3 est

❖ L'image de est 4.

❖ L'antécédent de est 4.

3. Compléter les égalités :

$$f(-3) = \dots \quad f(0) = \dots$$

$$f(\dots) = 3 \quad f(\dots) = -4$$

4. Compléter le tableau de valeurs

x	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

5. Préciser la valeur de la dérivée f' de la fonction f en $x =$

-3?.....

6. Dresser le tableau de variation de f

.....

7. Résoudre graphiquement les équations $f(x) = 0$ et $f(x) = 3$

.....

8. Résoudre graphiquement l'inéquation $f(x) \leq 0$

.....

Exercice 2: Cocher la ou les bonne (s) réponses.

1. Soit $f(x) = \frac{x^3+6x^2+3}{x^2+x}$ $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = 0$; $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = +\infty$;
 $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 1$

2. Soit $f(x) = \frac{2x^2-x+1}{x}$
 $f(x)$ est dérivable sur \mathbb{R}_+^* ; $f(x)$ est dérivable sur \mathbb{R} ; $f(x)$ est dérivable sur \mathbb{R}^*

3. Soit $f(x) = x + 2 - \frac{1}{x+1}$ définie sur $\mathbb{R} - \{-1\}$. La droite $y = x + 2$ est asymptote à la courbe représentative de la fonction f . Vrai Faux

4. Soit f une fonction continue sur un intervalle I . f est donc dérivable sur I . Vrai ; faux

5. Soit $f(x) = \frac{1}{x}$ définie sur \mathbb{R}^* . La droite d'équation $y = 0$ est asymptote à la courbe quand x tend vers 0 . Vrai ; faux

Exercice 3: Cocher la bonne réponse

Soit $f(x) = x + 2 - \frac{1}{x+1}$

1. f est une fonction homographique Vrai ; Faux

2. $D_f = \mathbb{R} - \{-1\}$ Vrai ; Faux

3. $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = -\infty$ Vrai ; Faux

4. La dérivée f' de la fonction f est $f'(x) = -\frac{2}{x^2-2x+1}$ Oui ; Faux
5. f est ne fonction strictement décroissante sur son domaine de définition Oui ; Faux

Nom Prénom classe : Ecole.....

2.4 Annexe A6 : Questionnaire de mesure d'attitudes mathématiques et technologies

Ce questionnaire vous est adressé pour réaliser une étude sur les attitudes des élèves envers les mathématiques et les technologies numériques dans le système de l'enseignement secondaire au Niger.

N.B. : Les informations qui seront recueillies de ce questionnaire ne pourront être utilisées que dans le cadre des objectifs de cette étude.

Informations générales

- | | |
|---|---|
| <p>1. Ville :</p> <p>2. Etablissement: <input type="checkbox"/> publique, <input type="checkbox"/> privé</p> <p>3. Niveau : <input type="checkbox"/> de , 1^{ère} <input type="checkbox"/> le <input type="checkbox"/></p> <p>4. Sexe : <input type="checkbox"/> masculin, <input type="checkbox"/> féminin</p> | <p>5. Age : <input type="checkbox"/> moins de 17 ans ; 17 <input type="checkbox"/> 19 ans ;
Plus <input type="checkbox"/> de 19 ans</p> <p>6. Profession des parents: <input type="checkbox"/> cadre ;
<input type="checkbox"/> Ouvrier ; <input type="checkbox"/> Fonctionnaire; <input type="checkbox"/> Retraité
<input type="checkbox"/> Commerçant ; <input type="checkbox"/> Entrepreneur
Autre</p> |
|---|---|

Instruction : Sur la base de vos connaissances personnelles, sélectionnez une réponse appropriée pour chaque des questions suivantes.

1. Avez-vous accès à un ordinateur ? Oui, Non
 - a. Si oui de quel type ? ordinateur de bureau, Ordinateur portable
 - b. Si oui utilisez-vous les logiciels de l'ordinateur comme Excel, calculatrice pour faire des calculs ou des figures mathématiques ? Oui, Non
2. Avez – vous une tablette numérique ? Oui, No
3. Avez – vous un téléphone mobile ? de type: Androïde ou IP one
4. Utilisez-vous des logiciels sur votre téléphone ou tablette pour faire des calculs ou des figures mathématiques ? Oui, Non
5. Connaissez-vous le logiciel de mathématiques Geogebra ? Oui, N

Instruction : Pour indiquer votre niveau d'attitudes envers les mathématiques et technologies pour chacun des items suivant, veuillez utiliser l'échelle proposée graduée de

1 à 5

Veillez juste entourer d'un trait le chiffre indiquant votre réponse

	Jamais	Parfois	La moitié du temps	Généralement	Presque toujours
Je me concentre beaucoup en mathématiques	1	2	3	4	5
J'essaie de répondre aux questions que le professeur pose	1	2	3	4	5
Si je commets des erreurs, je continue à travailler jusqu'à ce que je les corrige	1	2	3	4	5
Même si je n'arrive pas résoudre un problème, je continue en essayant différentes idées	1	2	3	4	5

Instruction : Pour indiquer votre niveau d'attitudes envers les mathématiques et technologies pour chacun des items suivant, veuillez utiliser l'échelle proposée graduée de 1 à 5

Veillez juste entourer d'un trait le chiffre indiquant votre réponse

	Pas du tout	Pas	Ni désaccord ni	d'accord	Tout à fait d'accord
Je suis bon en utilisation des ordinateurs	1	2	3	4	5
Je suis bon dans les choses comme les téléphones mobiles, les tablettes numériques	1	2	3	4	5
Je peux réparer beaucoup de problèmes informatiques	1	2	3	4	5
Je peux maîtriser tout programme informatique nécessaire à l'école	1	2	3	4	5
J'ai un esprit mathématique	1	2	3	4	5
Je peux obtenir de bons résultats en mathématiques	1	2	3	4	5
Je sais que je peux gérer les difficultés en	1	2	3	4	5

mathématiques					
Je suis confiant avec les mathématiques	1	2	3	4	5
Je suis intéressé d'apprendre de nouvelles choses en mathématiques	1	2	3	4	5
En mathématiques, vous obtenez des récompenses pour votre effort	1	2	3	4	5
Apprendre les mathématiques dans le plaisir	1	2	3	4	5
Je ressens la satisfaction lorsque je résous des problèmes de mathématiques	1	2	3	4	5
J'aime les technologies pour les mathématiques	1	2	3	4	5
L'utilisation des logiciels éducatifs pour les mathématiques demande des efforts supplémentaires	1	2	3	4	5
Les mathématiques sont plus intéressantes lors de l'utilisation des logiciels éducatifs pour les mathématiques	1	2	3	4	5
Les logiciels éducatifs pour les mathématiques m'aident à mieux apprendre les mathématiques	1	2	3	4	5

Merci de renseigner vos coordonnées pour pouvoir vous contacter.

Nom et prénom:

Numéro de téléphone :.....

Merci pour votre collaboration

3 ANNEXE : Kit de codage

3.1 Annexe A7 : Grille d'observation du comportement de l'élève

Comportement	Indicateurs spécifiques	Code	
		OUI (1)	Non (0)
Participatif	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prise spontanée de parole 2. Pose une question 3. Répond à une question 4. Coopération des élèves 		

	5. Réalise la tâche demandée	
Attention	<ol style="list-style-type: none"> 1. Regarde le professeur 2. Ecoute le professeur 3. Regarde son camarade 4. Ecouter le pair parler du travail 5. Prend des notes 	
Interaction	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interaction le professeur 2. Interactions son camarade 3. Interaction avec logiciels de mathématiques 	

3.2 Annexe A8: Grille d'encodage

Dimension : Cognitive	Codage
a) Comportement observable en terme d'occurrence	1 (Oui) 2 (Non)
b) Performance en terme de gain relatif aux scores	1 (Oui) 2 (Non)

3.3 Annexe A9: Grille d'observation de comportement de l'enseignant adopté de Ngunu (2013)

Comportement	Indicateurs spécifiques	Code	
		1 (Oui)	2 (Non)
Occupation de l'espace	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le professeur est proche du tableau 2. Le professeur est parmi les élèves 3. Le professeur marche aisément 		
Communication orale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quantité de propos 2. Qualité des propos 		

	<ul style="list-style-type: none"> - Formule des attentes et du sens des tâches à réaliser - Demande à exécuter une tâche - Donne des explications - Pose des questions - Répond aux questions - Reprend les propos de l'élève - Fait la discipline - Explique les concepts et les consignes 	
Communication écrite	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualité de l'écrit en accord avec le logiciel, le cours 2. Quantité 	
Supports didactiques	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cahier et fiche de cours 2. Documents numériques 3. Trace écrite au tableau 4. Photocopies 5. Manuels scolaires 6. Des sites éducatifs 7. Des logiciels mathématiques 8. Evaluations 	

4 ANNEXES : Entretiens

4.1 Annexe A10 : Entretien avec les enseignants

Entretien avec Omar (pseudonyme) : homme, enseignant titulaire avec 14 ans d'expérience

1	O1 Pouvez-vous vous présenter en quelques mots ?
2	o1 Je m'appelle Omar (en disant son vrai nom de famille), je suis professeur de
3	mathématique, ici CES Sanda Maigari. J'interviens dans les terminales, dans tous les

4	niveaux.
5	O2 M. Omar, nous souhaitons savoir, un élève qui va suivre un cours sur les généralités
6	sur les fonctions en classe de première et plus particulièrement la leçon qui porte sur la
7	comparaison des fonctions numériques. Quels sont les prérequis nécessaire pour lui
8	pour qu'il puisse suivre ce cours la ?
9	o2 Donc un élève qui doit suivre le cours sur les comparaisons des fonctions
10	numériques en première doit avoir comme prérequis, donc connaitre l'ensemble de
11	définition des fonctions, savoir tracer les courbes des fonctions élémentaires, par
12	exemples les fonctions $f(x) = \frac{1}{x}$ c'est-à-dire fonction inverse, les fonctions racines
13	carré de x ($f(x) = \sqrt{x}$) ou x au cube ($f(x) = x^3$) donc un élève doit être en mesure de
14	tracer ces courbes et de préférence dans le même repère pour qu'il puisse voir lui-
15	même comment se présente les courbes de ces différentes fonctions et sur un intervalle
16	bien précis. Donc il doit être en mesure d'interprété la position de ces fonctions de ces
17	courbes tracée dans le repère. Par exemple s'il arrive à tracer deux à trois courbes, il
18	doit interpréter la position de ces courbes l'une par rapport à l'autre. Donc c'est ça qui
19	doit lui permettre de bien comprendre le cours de comparaison des fonctions.
20	O3 Alors quelles sont les difficultés auxquelles les élèves sont confrontés lorsqu'ils
21	suivent un cours sur les comparaisons de fonctions numériques ?
22	o3 Il y a plusieurs problèmes que nous avons eu à noter par rapport à la comparaison,
23	les élèves n'arrivent pas à comprendre que lorsqu'une courbe est au dessus d'une autre
24	veux dire que la fonction de la courbe là est supérieure à l'autre donc ils ont du mal à
25	interpréter même les données c'est-à-dire des valeurs que les deux fonctions présentent
26	dans un même intervalle donc à partir de ces valeurs ont peu comprendre ...comment

27	dirait je la comparaison de ces fonctions, donc vraiment ils ont un problème
28	d'interprétations de ces valeurs et un problème d'interprétation de la position des
29	courbes dans un intervalle bien précis
30	O4 Est-ce qu'il y a d'autres insuffisances que ses élèves présentent qui font en sorte que
31	l'apprentissage des fonctions numériques devient un peu difficile pour ses élèves la de
32	niveau première ?
33	o4 Donc Il ne manque pas d'insuffisances surtout dans la langue parce que si on dit
34	fonctions numériques, il y a ceux qui ne savent pas exactement ce que veut dire donc la
35	langue donc ils ont un problème de la langue d'interprétation donc si on dit comparaison
36	ils doivent comprendre vraiment ce qu'on attend d'eux donc vraiment moi je dirai
37	problème de langue c'est vraiment un problème crucial que nous faisons face
38	O5 M. Omar j'aimerais savoir est ce qu'il y a un exemple concret de leçon de classe que
39	vous avez tenu qui illustre donc la compréhension de langue des fonctions numériques ?
40	o5 Justement donc quand on introduit la notion de fonction numérique donc nous avons
41	demandé aux élèves de nous fournir des phrases dans lesquelles il y a le mot fonction au
42	début ils avaient eu des difficultés mais par après ils ont compris de quoi il s'agissait
43	donc ils ont commencé à donner des exemples du genre comme la moto fonctionne
44	avec de l'essence, le ventilateur fonctionne avec de l'électricité, donc un moment ils ont
45	même dit que les élèves viennent à l'école en fonction de leur emploi de leur temps j'ai
46	dit ça c'est vraiment des bons exemples et nous avons introduit la notion de la fonction
47	numérique à partir de ces exemples et nous avons expliqué aux élèves que la fonction
48	n'est rien d'autre que deux grandeurs qui sont liées donc si l'une varie ça fait varié
49	l'autre aussi, ils ont compris vraiment on a bien introduit la notion de la fonction

50	numérique à partir de ces quelques exemples.
----	--

Entretien avec Ali (pseudonyme) : homme, enseignant titulaire avec 6 ans d'expérience

1	A1 Pouvez-vous vous présenter en quelques mots ?
2	a1 Bonjour d'abord. Je me présente au nom de Ali (en disant son vrai nom de famille),
3	professeur de maths au CES Sanda Maigari.
4	A2 M. Ali, vous avez eu à intervenir dans les classes de 1 ^{ère} D et Tle D lors des
5	différentes séances avec Geogebra qui ont été réalisé par vous avec les élèves sur
6	l'étude fonctions numériques, Nous voulons savoir quels sont les prérequis qu'un élève
7	de première ou de terminal aura besoin pour suivre un cours qui va suivre
8	convenablement un cours sur les fonctions numériques
9	a2 Le prérequis nécessaire pour un élève quand même qui est en classe de première
10	d'abord, le prérequis nécessaire pour l'étude d'une fonction surtout sur le thème que
11	nous avons étudié c'est la comparaison de fonctions, sur la comparaison les prérequis
12	nécessaire c'est la représentation graphique d'une fonction, les calculs des images que
13	ça soit selon le registre graphique ou bien selon le registre numérique. C'est ça le
14	prérequis nécessaire qu'un élève doit avoir quand même en classe de première pour bien
15	faire la comparaison, et ... pour bien comparer deux fonctions définis sur un ensemble
16	quelqu'un que. Pour ce qui est de la terminale, c'est ... le prérequis, le thème d'abord
17	c'était sur ..., le thème c'est toujours l'étude de fonction mais l'utilisation de la
18	représentation graphique d'une fonction pour déterminer son sens de variation et tous
19	ca, Maintenant le prérequis nécessaire pour un élève c'est le calcul des images tout
20	comme les élèves de la première seulement de façon un peu plus approfondis. Pour les
21	élèves de la première tout ce qu'ils ont besoin c'est ils ont besoin des prérequis sur les

22	fonctions de références mais pour un élève de la terminale il a besoin de prérequis sur
23	les fonctions numériques de façon générale. C'est-à-dire leur représentations graphique, le
24	sens de variation d'une fonction et autre.
25	A3 Alors lors de ces séances que vous avez eu à présenter dans les classes de 1 ^{ère} et Tle,
26	Quelles sont les difficultés d'ordre de connaissances que vous avez observé, constaté
27	chez ses élèves-là ?
28	a3 Et ...les premières difficultés que l'on peut constater c'est que surtout pour les élèves
29	de la première d'abord compte tenu de l'évolution de l'année, avec les perturbations
30	qu'on a connu les années antécédentes, je crois les élèves sont venu en première sans
31	étudier les fonctions en seconde. C'est qui a fait qu'on eut des difficultés même pour
32	introduire les notions puisque c'est des notions qui sont supposé être étudié en
33	seconde mais ils n'ont pas la base cette base-là, c'est en première qu'ils ont commencé a
34	étudier la fonction c'est qui fait que on a eu des difficultés de mettre en relief ce qu'ils
35	ont fait en seconde et ce qu'ils ont fait en première puisque pratiquement en première
36	ils n'ont pas étudié les fonctions, c'est tait ça les difficultés, en seconde ils n'ont pas
37	étudier les fonctions, c'est ce qui a fait qu'on a constaté que les élèves, ils ont un peu
38	beaucoup plus de difficultés à s'adapter aux notions même de fonctions à plus forte
39	raison étudier confortablement ces fonctions.
40	A4 Est les élèves de la terminale ?
41	a4 Et les élèves de la terminale aussi, il y a toujours ce même facteur de perturbation
42	même si ..., ils ont certes étudié les fonctions en première mais ils n'ont pas fait une
43	étude complète, ils ont juste fait juste les généralités quelques notions élémentaires, et
44	même les notions élémentaires ce n'est pas toutes les notions élémentaires qu'ils ont sur

45	les fonctions. Ils ont étudié certes les fonctions mais ce n'est pas toutes les fonctions qu'ils
46	ont étudié, ce n'est pas toutes les notions nécessaires qu'ils ont étudiées. C'est pour cela on
47	constate certes par rapport à eux y a une différentes, les difficultés ne sont pas les
48	mêmes pour les élèves de la seconde et ... de la première et pour ceux de la terminale.
49	On constate que toujours c'est plus ou moins la difficulté majeure est liée aux
50	perturbations qu'avait connues les années antérieures.
51	A5 c'est qui n'a pas permis de consolider les acquis
52	a5 qui n'a pas permis Voilà les acquis
53	A6 Alors qu'elles sont les difficultés que les élèves ont rencontrées lors de l'utilisation
54	de Geogebra qui peuvent être donc sources de manque de compréhension ou de
55	progression dans leur apprentissage.
56	a6 Les difficultés maintenant par rapport à l'utilisation de Geogebra du logiciel ce que
57	c'est des difficultés d'adaptation. C'est un logiciel, d'abord comprenez que les élèves
58	c'est n'est pas tous les élèves qui ont accès aux moyens technologiques. C'est pas tous
59	les élèves qui ont accès à ces matérielles maintenant même si on se procure ces matériels
60	pour mettre à la disposition des élèves, ils ont besoin d'un préalable. Ils ont besoin à ce
61	qu'on leurs apprennent ça ce qui ne fait pas parti du programme officiel du Niger. Ça
62	fait pas parti du programme officiel maintenant ce qui fait que vous allez constater qu'il
63	y a une difficulté même d'adaptation, l'utilisation même ca cause problème à plus forte
64	raison utiliser l'application ou bien adapter le logiciel à un certain nombre de notions
65	qui sont ... qui ne sont pas tout à fait vue dans les classes extérieures. En réalité, les
66	difficultés qu'on constate dans l'utilisation c'est du fait que non seulement que le

67	logiciel est nouveau pour les élèves mais aussi la majeure partie des élèves n'ont pas accès
68	aux moyens technologiques.

4.2 Annexe A11: Entretien avec les élèves Entretien de groupe 1 à 2 voix (E1 et E2)

1	I Pouvez-vous vous présenter en quelques mots ?
2	E1 Je me présente au nom de E1 (en disant son vrai nom de famille) en classe de 1 ^{ère} au
3	titre de l'année 2018- 2019
4	E2 Je me présente au nom de E2 (en disant son vrai nom de famille) en classe de 1 ^{ère} au
5	titre de l'année 2018- 2019
6	I Donc j'aimerais vous posez une question liée aux fonctions, si on vous demande d'utiliser
7	le mot fonction dans une phrase particulière qui aura un sens pour la fonction, est ce que
8	vous pouvez me donner un exemple ?
9	E2 Une fonction veut dire les chiffres qu'on devrait suivre
10	E1 Une fonction c'est une relation
11	I Alors donnez-moi un exemple d'une relation qui fait ressortir une fonction...(silences)
12	un exemple quelconque de la vie qu'on peut appliquer la relation d'une fonction.
13	E1 Le marché
14	I Oui le marché, oui par exemple, ..oui ... le marché, lequel de marché ?
15	E2 le marché de bétail
16	I Oui si tu veux allez au marché de bétail, tu vas faire quoi ?
17	E2 Je veux d'abord marcher pour aller
18	I Oui, on part au marché en fonction de ...
19	E2 de son pied

20	I Est-ce que je peux aller au marché de bétail acheté un mouton alors que j'ai 10francs ?
21	E2 Non, non à travers son argent
22	E1 : en fonction de
23	I En fonction de ?
24	E1 de l'argent
25	I très bien. Donc on peut aller acheter en fonction de son argent, si on a beaucoup d'argent
26	on acheté même ...
27	E2 plusieurs
28	I si on a peu d'argent on ne peut que acheter peut et si on a rien on ne peut rien acheté,
29	donc c'est une relation entre ce que j'ai comme moyen et le nombre de bétail que je peux
30	acheter.
31	I alors j'aimerais savoir qu'elles sont les fonctions que vous avez déjà étudié avant la
32	classe de 2 ^{nde} à savoir en classe de troisième
33	E2 Les fonctions polynômes
34	I Oui
35	E1 les fonctions rationnelles
36	I vous avez étudié les fonctions rationnelles en 3 ^{ème}
37	E2 seconde nous avons étudié
38	I non on parle de la troisième, avant d'étudier les fonctions polynôme
39	E1 fonction affine
40	E2 fonction linéaire
41	I donc vous avez étudié cela avant
42	I Est-ce que vous connaissez les différentes propriétés de ces différentes fonctions là?

43	Fonction affine, fonction linéaire, fonction rationnelle
44	E2 Pour les fonctions affines et linéaires, $f(x) = ax + b$
45	E1 Pour les fonctions linéaires est de forme de ax
46	I Est-ce que vous pouvez calcule les valeurs, les images de x pour ces fonctions là
47	E1 Oui
48	E2 Oui
49	I Vous pouvez représenter les fonctions affines linéaires dans un repère ?
50	E2 Oui
51	E1 Oui
52	I Alors j'aimerais savoir lors que vous avez fait les séances de cours avec Geogebra
53	quels sont les avantages que vous avez eu en travaillant avec Geogebra
54	E2 En travaillant avec Geogebra nous voyons les différentes formes de la représentation
55	graphique des différentes fonctions sur le repère. A travers ça on peut représenter
56	notre propre fonction sur un repère
57	I Un repère sur papier
58	I Est-ce que vous avez eu des difficultés pour travailler avec Geogebra ?
59	E2 <i>Non à travers le clavier c'est trop simple</i>
60	I Alors est ce que quand on vous a demandé d'étudier certaines propriétés par exemple le
61	sens de variation en utilisant, en regardant observant Geogebra Est-ce que vous avez eu à
62	répondre à ces questions-là, à interpréter ce qu'on vous dit de démontrer ou bien vous eu
63	des difficultés pour regarder et interpréter les résultats
64	E2 Non non il y a pas de difficultés à travers des formules enregistré on a pas de difficultés
65	I Alors avez-vous eu des difficultés à travailler avec Geogebra

66	E2 non non
67	E1 : non
68	E2 elle est trop simple
69	I Alors j'aimerais savoir [silences] est ce que vous pensez quand vous avez fait le cours là
70	vous pu bien comprendre le contenu de ce qu'on vous a enseigné ?
71	E1 Oui
72	E2 Oui à travers Geogebra c'est plus simple même, on peut le remarquer le cours a été bien
73	compris.

Entretien de groupe2 à 3 voix (E3, E4 et E5)

1	I Pouvez-vous vous présentez ?
2	E3 Bonjour, je me présente au nom de E3 (en disant son vrai nom de famille) en classe de
3	2 nd e C1 dans le lycée de l'enseignement général CES sanda Maigari
4	E4 Bonjour, je me présente au nom de E4 (en disant son vrai nom de famille) en classe de 2 nd e
5	C1 et je fréquente l'établissement CES sanda Maigari d'Arlit
6	E5 Bonjour, je me présente au nom de E3 (en disant son vrai nom de famille) en classe de 2 nd e
7	C1 au CES sanda Maigari
8	I Alors j'aimerais vous posez une question liée donc à la définition d'une fonction, selon vous
9	si on vous dit de prendre un exemple de la vie courante qui illustre une fonction et une phrase
10	dans laquelle vous pouvez utiliser le terme fonction est ce que vous pouvez me donner un
11	exemple.
12	I [silence] ...est ce que vous pouvez donner un exemple de phrase avec le mot fonction
13	[silence]
14	I Alors selon vous c'est quoi une fonction, une fonction numérique ? [silence]

15	I qu'est-ce que vous comprenez par fonction ?
16	E3 On n'arrive pas à répondre
17	E5 une fonction c'est un exercice pour trouver les valeurs de x [silence]
18	I une fonction, je pars au marché acheté des produits en fonction de mon argent.... Ces des
19	exemples de fonction
20	I Alors j'aimerais savoir qu'elles sont les fonctions que vous avez déjà étudié avant la
21	seconde ?
22	E5 Fonction affine
23	E4 fonction numérique
24	I Oui fonction affine ce n'est pas une fonction numérique ? [silence] c'est la fonction affine
25	seulement que vous avez étudié ?
26	E3 fonction polynôme
27	I la fonction affine s'écrit comment ? [silence] qui peut me donner un exemple d'une fonction
28	affine ? [silence]
29	E3 un exemple d'une fonction affine [silence]
30	I Vous avez déjà étudié, avant même depuis même la troisième la fonction affine, donc
31	donnez-moi un exemple d'une fonction affine.
32	E4 $f(x) = 2x$ [hésitation] $2x + 3$
33	I $f(x) = 2x + 3$ est une fonction affine
34	E4 oui
35	I toute fonction pouvant, s'écrire sous la forme $f(x) = ax + b$ est une fonction affine. Mais en
36	dehors de la fonction affine qu'elle autre fonction avez-vous étudiée ? [silence]
37	I Avant d'étudier la fonction affine qu'est-ce qu'on étudie d'abord?

38	E5 fonction polynôme
39	I oui mais parmi les fonctions numériques vous étudiez la fonction linéaire.
40	E3 fonction linéaire
41	I oui bien ce n'est pas ça
42	E4 c'est ça
43	I Alors est ce que vous connaissez les propriétés de ces fonctions-là ? [silence] est ce que vous
44	pouvez par exemple bien construire ces fonctions là, vous pouvez construire, calculer les
45	images des valeurs des fonctions affines, des fonctions linéaires? [silence] vous pouvez faire
46	cela, quand vous demande retrouvez les images à partir de ces fonctions, de les représenter de
47	déterminer le domaine de définition, vous avez vu tout ça en troisième non ?
48	E3 Oui
49	I est ce que vous êtes en mesure de le faire
50	E5 on a oublié
51	I A d'accord, alors une autre question, j'aimerais savoir vous avez eu à travailler avec
52	Geogebra, Qu'est-ce que Geogebra vous a permis de faire et est-ce que vous avez eu des
53	difficultés ?
54	E4 on a pas eu mais on arrive à comprendre grâce à cette application-là, <i>on a construit des</i>
55	<i>images [référence à la courbe de fonction] à travers Geogebra donc on peut dire même que</i>
56	<i>Geogebra nous a aidé beaucoup</i>
57	I quelqu'un à quelque chose à ajouté
58	E4 <i>A travers Geogebra on arrive à construire des figures auxquels nous ne pouvons pas les</i>
59	<i>construire carrément</i> car Geogebra nous facilite de les construire carrément.
60	I est ce que quelqu'un à quelque chose à ajouter ?

61	E5 non
62	I c'est bon
63	E5 oui
64	I E3 [silence] vous avez eu des difficultés à l'utiliser ou bien [silence]?
65	I Alors j'aimerais savoir est ce que vous avez pu bien interpréter ce qui est sur Geogebra, ce
66	que vous avez vue, ce que vous avez construit avec Geogebra, est ce que vous avez pu bien
67	reproduire sur le papier, est ce qu'avez pu bien l'interpréter? [silence]
68	I Il y a eu des figures qui ont été construite, on vous a demandé de retrouver un certain nombre
69	de propriétés comme celle de variation de la fonction, est ce que vous avez bien exploité
70	Geogebra pour interpréter les figures que vous avez faites?
71	E4 Oui <i>on a essayé mais on n'arrive pas à tout le faire comme sur Geogebra mais on a un</i>
72	<i>peu essayé</i>

Entretien de groupe3 à 6 voix (E6, E7, E8, E9, E10 et E11)

1	I Pouvez-vous vous présentez ?
2	E6 Je me présente au nom de E6 (en disant son vrai nom de famille)
3	E4 Je réponds au nom de E7 (en disant son vrai nom de famille)
4	E8 Je me présente au nom de E8 (en disant son vrai nom de famille)
5	E9 Je me présente au nom de E9 (en disant son vrai nom de famille)
6	E10 Je me présente au nom de E10 (en disant son vrai nom de famille)
7	E11 Moi, je me présente au nom de E11 (en disant son vrai nom de famille)
8	I Alors ma première question, j'aimerais savoir est ce que vous pouvez définir une fonction ?
9	I [silence] ...est ce que vous pouvez définir une fonction numérique..[silence] selon vous

10	c'est quoi une fonction ?
11	E6 Une fonction numérique, humm [silence]
12	I Alors pouvez-vous me donner un exemple de la vie courante qui illustre une fonction
13	numérique ? qui montre ça l'est une fonction numérique [silence]
14	E7 Une fonction numérique est une fonction qui se pose numériquement à travers les nombres
15	ou à travers une distribution donnée, donc une opposition donnée
16	I c'est une opposition
17	E7 Oui
18	I Est-ce que vous voyez une fonction comme une opposition entre de nombre comme
19	votre camarade vient de le dire?
20	E8 C'est pas comme une opposition mais c'est comme une opération
21	I Une opération ou une ...
22	E10 Solution
23	E11 Solution
24	E8 Une relation des données
25	I c'est des mots
26	E9 des chiffres
27	I voilà une relation des chiffres, des nombres numériques
28	I Alors quelles sont les fonctions que vous avez déjà étudié dans le passé? Que ça soit au
29	collège ou au début du lycée.
30	E10 Linéaire
31	E8 La fonction linéaire, la fonction affine
32	E9 la fonction [hésitation] ...[silence]

33	I Alors connaissez-vous les propriétés de ces fonctions-là ? Quand on vous dit une fonction
34	affine, comme elle se représente, comment on l'écrit ? [Silence] rappelez-vous de comment on
35	écrit une fonction affine ? [silence] ...ou une fonction linéaire ?
36	I Pouvez-vous ne donner un exemple des fonctions affines, des fonctions linéaire ? [silence]
37	E7 Exemple d'une fonction affine
38	I Oui un exemple d'une fonction affine, comme vous avez vu, vous avez étudié affine, une
39	fonction linéaire quand vous étiez au collège, alors c'est pourquoi, je vous demande si vous
40	connaissez comment on écrit une fonction affine, une fonction linéaire ?
41	E7 On a un peu oublié
42	I Alors, j'aimerais savoir lors que vous avez étudié les fonctions polynômes du second degré,
43	on vous a donné des problèmes à résoudre en utilisant l'application Geogebra, est ce que
44	l'application Geogebra vous a permis d'avancer, est ce que vous n'avez pas eu des difficultés
45	à l'utiliser ?
46	E8 On a eu des difficultés
47	I vous avez eu des difficultés,
48	E8 Oui
49	E10 Oui
50	I comme quoi comme difficultés ? [silence]
51	E8 Par rapport à son utilisation même
52	I Par rapport à son utilisation
53	E8 Oui, il y a un peu de complication
54	E7 Je ne sais pas pour les autres, mais il y a aussi un manque de compréhension sur
55	l'application Geogebra, donc le problème, ce n'est pas tout le monde qu'on pu donc le

56	comprendre et l'utiliser mais quand même on a un peu essayé mais ça va
57	I Mais est-ce que vous avez pu par exemple quand non a demandé de représenter la
58	fonction..[silence] par exemple quand on vous a demandé de représenter la fonction polynôme
59	avec Geogebra. Est-ce que vous avez eu tous des difficultés pour représenter ça avec
60	Geogebra ?
61	E7 vraiment lorsqu'on a fait, on a un peu avec Geogebra, on a représenté du repère dans
62	l'application, on nous a montré comment on l'utilise et on a trouvé notre formule, on a
63	appliqué un repère, on vu des points
64	I Les autres c'est la même chose ? Vous avez pu représenter la fonction sur Geogebra o bien
65	vous avez eu des difficultés comme l'a eu à le soulevez E8 ? [silence]
66	I Alors j'aimerais savoir, quand on vous a demandé faire l'interprétation, par exemple de
67	regarder, observer c'est qu'il y a sur Geogebra et de pouvoir interpréter le sens de variation,
68	est-ce que vous avez été en mesure de le faire ou bien vous avez eu des difficultés à regarder
69	bien comment la fonction là elle varie sur Geogebra et pouvoir bien interprétez ?
70	E7 Bon en ce qui me concerne, on a vraiment, on a suit et on a regardé l'image de cette
71	application.
72	I est les autres ? E9 est ce que tu as pu bien utiliser l'application qu'on t'a donné, tu as pu bien
73	représenter. Est-ce que tu peux le faire facilement, représenter une fonction avec Geogebra?
74	E9 Non
75	I E8 tu as eu des difficultés à représenter une fonction avec Geogebra ?
76	E8 non
77	I E11 tu as eu des difficultés ?
78	E11 Oui un peu

79	I un peu comme quoi ? [Silence] tu peux nous dire ce que tu as eu comme difficultés ?
80	E11 L'utilisation, il y a trop de complication
81	I il y a trop de complication ?
82	E11 Oui
83	I E6 ?
84	E6 oui j'ai eu des difficultés
85	I Alors j'aimerais aussi savoir, à la fin du cours qui a été fait vous avez bien compris objectifs
86	de ce cours, vous avez bien assimilés lors qu'on vous a fait le cours avec Geogebra sur les
87	propriétés de ces fonctions polynômes, est ce que vous avez bien compris le cours?
88	E7 Bon moi mon cas j'ai compris le résultat, normalement si on a utilisé plusieurs fois, ça
89	demande beaucoup d'utilisation pour comprendre, si on a utilisé une seul fois deux fois trois
90	fois ça va...vraiment on a utilisé une seul fois, deux fois mais à la maison on n'utilise pas
91	Geogebra.
92	I E8 ?
93	E8 pour ce qui ont compris ils vont voir leur objectif mais pour ce qui on pas compris cette
94	application ils ne verront rien de leur objectif
95	I Et ton cas ?
96	E8 Pour moi, je l'ai utilisé une seul fois, je voie elle va me faire perdre mon temps et je laisse
97	I E9 est ce que tu as bien saisi le cours qui a été fait avec Geogebra ou bien tu n'as pas bien
98	compris ce cours ça ne t'a pas permis de progresser dans les propriétés des polynômes ou
99	comment étudier les fonctions ?
100	E9 Moi je n'ai pas utilisé Geogebra
101	I Même dans le groupe quand c'est quelqu'un autre qui l'a utilisé est non toi.

102	E9 Oui
103	I est tu n'as pas essayé de l'utiliser en dehors de la classe ?
104	E9 Oui
105	I Oui E10, est ce que tu as compris le cours qui a été fait les deux séances de cours qui vous a
106	été fait avec Geogebra ?
107	E9 Un peu
108	I un peu
109	E9 Moi je ne l'ai pas utilisé
110	I Oui mais vous avez utilisé ça en groupe, même vous avez utilisé ca en groupe
111	E9 Oui
112	I Même la personne n'a pas utilisé ça lui-même, il y a quelqu'un du groupe qui l'utilise, qui le
113	manipule et les autres l'aide a répondre quand il y a des erreurs, c'est ce qui a été fait non ?
114	E7 Oui
115	E8 Oui
116	I C'est ce qui a été fait non, même si tu n'as pas utilisé toi-même c'est quelqu'un dans le
117	groupe pour que chacun ne fasse pas le travail pèle - mêle que le professeur a soit un élève
118	pour l'utiliser et que les autres l'aide, si tu l'as aidé donc tu as utilisé
119	E8 Oui
120	I Même si tu n'as pas utilisé tu l'a aidé à bien fait donc c'est un travail que vous avez fait
121	ensemble
122	E8 Oui
123	E11 Oui
124	I Ou bien tu n'as pas participé dans le travail

125	E9 J'ai participé mais je n'ai rien saisi
126	I tu n'as rien saisi
127	I E6, tu as quelque chose à ajouter ? Tu as bien compris ?
128	E6 Oui
129	I Ah, il ne faut pas aller dans le même sens que moi, est ce que tu as bien compris ou bien tu
130	as eu des difficultés ?
131	E6 J'ai bien compris mais c'est par rapport à l'utilisation de Geogebra que je n'ai pas
132	compris.
133	I donc c'est par rapport à l'utilisation de Geogebra que tu n'as pas bien compris
134	E6 Oui

Entretien de groupe4 à 2 voix (E12 et E13)

1	I Pouvez-vous vous présenter ?
2	E12 Je me présente au nom de E12 (en disant son vrai nom de famille) en classe de Terminal
3	D1, CES Sanda Maigari
4	E13 Je me présente au nom de E13 (en disant son vrai nom de famille) en classe de Terminal
5	D1
6	I Au titre de quel année ?
7	E12 2018 – 2019
8	I voilà, donc nous avons travaillé avec vous l'année passé 2017 – 2018 quand vous étiez en
9	classe de première
10	E12 Oui
11	E13 Oui

12	I La première question que j'aimerais vous posez, est ce que vous posez utiliser le mot
13	« fonction » à partir d'une phrase quelconque ?
14	I Terme fonction
15	E12 Oui, oui on a l'habitude de l'utiliser dans le problème.
16	I Oui, j'aimerais que vous me donniez un exemple de phrase dans laquelle utiliser le mot
17	fonction.
18	E12 La phrase ... [silence]
19	E13 Par exemple on peut nous demander de calculer les fonctions et de déterminer [silence]
20	I une phrase dans la vie courante
21	E12 On a l'habitude de nous demander de calculer la fonction, un exemple la fonction
22	numérique
23	I Oui est ce que vous avez un exemple de la vie courante dans lequel le mot fonction peut
24	intervenir. Eh, une phrase quelconque que vous pouvez utilisé dans laquelle on peut faire
25	ressortir la fonction et on peut constater que cela donne une explication ou une définition de la
26	fonction numérique.
27	E12 Un exemple sur la fonction numérique $\frac{x+1}{x-2}$, on a l'habitude de nous demander déterminer
28	la fonction de moins l'infinie a plus l'infini. Un exemple, c'est un problème qui se pose
29	comme nous le disons chaque problème à une solution, c'est ça de moins l'infini à plus
30	l'infini.
31	I Est-ce que vous connaissez l'utilité de la fonction numérique ? pourquoi on vous enseigne les
32	fonctions, la où en réalité quand on regarde le problème, c'est une étude de fonction ?
33	E12 Une étude fonction dans la vie courante...[silence]
34	I Vous n'avez pas des exemples précis

35	E12 Oui
36	I Par exemple si on peut dire [silence] on peut donner l'exemple la moto fonctionne avec le
37	carburant, sans le carburant la moto ne
38	E12 ne fonctionne pas
39	I On peut donner la croissance se fait en fonction de l'âge, l'enfant ça taille est petite plus il
40	grandi sa taille
41	E13 Augmente
42	I Augmente, donc la taille est en fonction de ..., c'est aussi un exemple de fonction, une
43	relation entre la taille et l'âge de l'enfant. Vous avez d'autre exemple ? [silence] donc un
44	exemple entre l'ensemble de départ et l'ensemble d'arrivé.
45	I Alors est ce que vous connaissez les fonctions usuelles ?
46	E12 les fonctions usuelles ?
47	E13 Oui
48	I donnez-nous quelques exemples.
49	E13 Exemple de fonctions usuelles, ..., exemple de fonctions logarithme
50	I fonction logarithme, je parle de première
51	E12 les fonctions numériques, il y a quelque fonctions usuelles
52	I comme quoi ?
53	E12 Comme $f(x) = \frac{x+1}{x-1}$
54	I Oui
55	E13 $f(x) = \frac{2x+3}{x-1}$
56	I c'est sont des fonctions usuelles ?
57	E13 Non

58	E12 C'est une fonction numérique
59	I Oui c'est des fonctions numériques
60	E12 Parmi eux il y a des fonctions usuelles
61	I Alors ces les fonctions usuelles là que j'aimerais savoir ? Les fonctions élémentaires, les
62	fonctions simples que vous avez déjà vu, les fonctions simple.
63	E12 $f(x) = 2x^2 + 3x - 1$
64	I c'est avec ces fonctions que vous avez commencé l'étude de fonction. [silence]
65	E13 $2x + 3$
66	I les exemples des fonctions utiles, $(x) = x$, $f(x) = x^2$, $f(x) = \frac{1}{x}$, $f(x) = \sqrt{x}$ ou la
67	fonction cubique ou la fonction valeur absolue de x ces sont telles les fonctions usuelles.
68	I Est-ce que vous savez représenter ces genres des fonctions $f(x) = x^2$, $(x) = \frac{1}{x}$, fonction
69	cubique ? Est-ce que vous savez les représenter ces fonctions
70	E12 Oui
71	I Tu ne pouvez pas représenter les fonctions $(x) = x$, $f(x) = x^2$,
72	E12 On peut les représenter
73	I dans un repère orthonormé
74	E12 Oui
75	E13 En classe de première on a fait
76	E12 Là on est en classe de terminale
77	I Bon on parle plus précisément en classe de première, mais nous avons travaillé là-dessus
78	non.
79	E12 avec le logiciel
80	I Voilà avec le logiciel, mais est-ce que vous savez les représenter avec le logiciel

81	E13 Oui
82	E12 on a représentez ça avec vous avec le logiciel
83	I Est ce que vous pouvez représentes les fonctions carrés, les fonctions x carré est ce que vous
84	pouvez les représenter avec le logiciel ?
85	E13 Oui
86	I Est-ce que vous pouvez les représenter sur papier crayon.
87	E13 Oui, on peut les représenter
88	I connaissez-vous leurs propriétés, les propriétés de ces fonctions ? [silence] Par exemple une
89	fonction $f(x) = x^2$, est ce que vous connaissez toutes les propriétés de la fonction $f(x) = x^2$.
90	E12 Bon non mais plus précisément $f(x) = x$
91	I vous connaissez ces propriétés. Donnez-nous les propriétés de cette fonction
92	E12 non pas $f(x) = x^2$
93	I de $f(x) = x$
94	E12 $f(x) = x$ les propriétés
94	I oui
95	E12 Quand on prend un exemple de 0 à 1, tout ce qui se passe de 0 à 1, de tout ce qu'il y a de
96	0 à 1. Ça peut être [hésitation] hmm, zéro cinquante, zéro soixante-quinze, jusqu'à [silence]
97	I Est-ce que vous savez calculer les valeurs de x pour les fonctions usuelles. Les valeurs, dans
98	le tableau de valeur,
99	E12 Le tableau de valeur
100	E13 Oui
101	I Alors lors des activités que vous avez mené en classe, vous avez eu à travailler sur les
102	représentations, les résolutions des graphiques des équations, des fonctions x carré, f de x au

103	cube. [silence] vous avez travaillé pendant les séances sur les comparaisons des fonctions,
104	vous avez eu à bien repérer les positions de ces fonctions-là $f(x)$ et $g(x)$?
105	E12 Oui, on a bien identifié, on avait identifié...[silence].
106	I On a demandé de comparer les fonctions $f(x)$ et $g(x)$ sur l'intervalle de -3 à 3. Alors qu'est-
107	ce que vous avez utilisé pour faire cette comparaison-là ?
108	E12 le logiciel
109	I Le logiciel
110	E12 Oui
111	I Vous avez regardez, vous avez fait comment
112	E12 On a cherché sur les fonctions dans un [hésitation]
113	E13 <i>Nous avons d'abord présenté les fonctions ensuite nous avons identifié les fonctions,</i>
114	<i>nous les avons regardez et à partir de ça nous les avons comparé.</i>
115	I D'accord, Et ...c'est seulement à l'aide donc de la représentation graphique que vous avez
116	pu identifier et puis comparer ?
117	E12 Même au tableau on a calculé quelques fonctions [<i>signifie les images de x par les</i>
118	<i>fonctions</i>] et encore on a représenté sur le repère.
119	I Donc vous avez calculé des valeurs dans un, est ce que ça vous a aidé le tableau de valeurs
120	pour comprendre la fonction?
121	E12 Ah oui ça nous a beaucoup aidé parce que sans le tableau est ce que on sait comment on
122	va calculer les fonctions.
123	E13 On va représenter
124	I Pour représenter sur le papier
125	E13 Oui

126	I Comme vous avez dit vous avez déjà utilisé le logiciel Geogebra pour identifier, regarder et
127	comparer, ce pour cela j'ai dit est ce que le calcul que vous avez fait sur le tableau vous a aussi
128	aidé pour faire la comparaison ?
129	E12 <i>Ah oui ça nous a aidé parce que sur le logiciel là c'est facile tant qu'on met les</i>
130	<i>fonctions c'est directement elle va se placer dans un repère.</i>
131	I Alors, Eh! ...Est-ce que vous avez eu des difficultés pour interpréter ce vous avez eu à
132	chaque fois sur Geogebra ? [silence] Interprétation par exemple essayer de d'exploiter les
133	données de Geogebra pour répondre aux questions.
134	E12 Bon pour le moment, nous ce qu'on va dire depuis la première nous on a jamais utilisé le
135	logiciel c'est pourquoi maintenant nous ne savons pas ce qu'on va dire.
136	I Pourtant j'ai constaté beaucoup d'entre vous utilisai des logiciel similaire
137	E12 C'est ça
138	I j'ai vu vous utilisé f(x), trigonométrie plusieurs sorte de logiciels et je n'ai pas vu des
139	difficultés, ou bien vous vous avez eu des difficultés pour représenter les fonctions, pour
140	calculer valeurs avec Geogebra ?
141	E13 Non
142	E12 Non, on n'a pas eu de difficultés. Nous ce qu'on va dire que c'est depuis la classe de
143	première, c'est avec vous qu'on a une fois utilisé en classe.
144	I Oui en classe, pas moi mais le professeur qui vous a fait cours [en mentionnant son nom de
145	famille]
146	E13 Oui c'est le prof [en mentionnant son nom de famille]
147	I Maintenant, puisque vous n'avez pas de problème liés aux calculs, aux représentations,
148	comme vous venez de le dire, donc j'aimerais savoir si vous avez eu d'autres problèmes, est ce

149	que comme par exemple on vous a demandé, par exemple de comparer graphiquement les
150	fonctions $f(x)$ et $g(x)$.
151	E12 Monsieur on n'a pas eu de problème parce que depuis la sixième on pratique ça au
152	tableau, on place
153	I Je ne parle pas de placer, mais la position l'une est en dessus de l'autre. Est-ce que vous avez
154	eu de problème par rapport à la comparaison. Est-ce que vous avez eu des problèmes quand on
155	vous a demandé par exemple d'observer la fonction et pouvoir calculer les limites ? [silence],
156	rappelez-vous de la deuxième partie du cours quand on vous a demandé les limites à moins
157	l'infinie et à plus l'infinie en regardant, en observant ce qu'il y a sur la figure, en observant
158	aussi ce qu'il y a sur le tableau de valeurs. Est-ce que vous avez eu des difficultés à faire ce
159	travail là ?
160	E13 Non on n'a pas eu des difficultés, on n'a pas eu de difficultés...
161	E12 On n'a pas eu de difficultés pourquoi parce que depuis toujours les mathématiques c'est
162	au tableau qu'on représente ça.

4.3 Annexe A12 : Lettre d'entente avec les professeurs de mathématiques



Entente avec les professeurs participants

Invitation à participer et formulaire de consentement pour la recherche : **Impacte des technologies numériques sur le développement professionnel des enseignants de mathématiques dans le système de l'enseignement secondaire au Niger.**

Abdoul Massalabi NOUHOU, doctorant de la chaire UNESCO « francophonie et révolution des savoir », Université de Cergy Pontoise (France).

Madame, Monsieur,

Nous vous invitons à participer à la recherche en titre. L'objectif de ce projet de recherche est d'identifier une approche d'intégration efficace et efficiente des TIC dans l'enseignement des mathématiques au secondaire moyen (lycée) à travers une analyse de l'impact du logiciel Geogebra sur le développement des compétences professionnelles des enseignants de mathématiques, mais également sur les attitudes et comportements d'apprentissages de leurs élèves. Afin que vous participiez à ce projet, nous avons besoin de votre accord.

En quoi consiste la participation au projet?

Votre participation à ce projet consiste à donner comme à votre habitude des séquences d'enseignement sur les fonctions numériques avec et sans le logiciel Geogebra, qui seront enregistrées (audio-vidéo) au cours de l'année académiques 2017 – 2018. Les cours devront être donnés selon les consignes du chercheur principal et demanderont une adaptation de votre part, compte tenu que tous les groupes ne recevront pas le même enseignement.

Qu'est-ce que le chercheur fera avec les données recueillies ?

Pour éviter l'identification des enseignants comme personnes participantes à cette recherche, les données recueillies par cette étude seront traitées de manière entièrement confidentielle. La confidentialité sera assurée par l'utilisation de codes numériques pour identifier les participants. Les résultats de la recherche ne permettront pas d'identifier les personnes participantes. Les résultats seront diffusés par des articles scientifiques ou professionnels destinés aux enseignants, et présentés dans le cadre de colloques nationaux et internationaux. Les données recueillies seront conservées électroniquement et vous aurez également accès aux données concernant vos groupes.

Est-il obligatoire de participer?

Non. La participation à cette étude se fait sur une base volontaire. Vous êtes totalement libre de participer ou non à cette étude.

Y a-t-il des risques, inconvénients ou bénéfices?

Que faire si j'ai des questions concernant le projet? Si vous avez des questions concernant ce projet de recherche, n'hésitez pas à communiquer avec moi aux coordonnées indiquées ci-dessous :

Abdoul Massalabi NOUHOU, doctorant en sciences de l'éducation et enseignant au Complexe d'enseignement secondaire Sanda Mai Gari, Arlit (Niger), chercheur responsable du projet de recherche. E- mail : abdoul-massalabi.nouhou@etu.u-cergy.fr

Téléphone : (+227) 92795377

J'ai lu et compris le document d'information au sujet du projet : Impacte des technologies numériques sur le développement professionnel des enseignants de mathématiques dans le système de l'enseignement secondaire au Niger. J'ai compris les conditions, les risques et les bienfaits de cette participation. J'ai obtenu des réponses aux questions que je me posais au sujet de ce projet. J'accepte librement de participer à ce projet de recherche. Je comprends toutefois que je suis libre de me retirer de la recherche en tout temps et sans préjudice.

Professeur de mathématiques : _____

Signature: _____ Date: _____

S.V.P. Signez les deux copies. Conservez une copie et remettez l'autre au chercheur.

4.4 Annexe A13 : Lettre de demande d'autorisation de recherche



Abdoul Massalabi Nouhou Niamey, le 24 Février 2017

Doctorant en Science de l'Éducation

Laboratoire EMA (Ecole, Mutations, Apprentissages)

Université de Cergy Pontoise (France)

Mail : massalabiabdoul@yahoo.fr

Cél : (+227) 92795377/89805822

BP : 351 (Arlit)

A

M. Le Ministre des enseignements secondaires

Objet : Autorisation de recherche

J'ai l'honneur de solliciter votre haute bienveillance, M. Le Ministre, l'octroi d'une autorisation de recherche au cours de mes travaux de recherche de thèse de doctorat.

Je suis doctorant en sciences de l'éducation, de la chaire UNESCO « Francophonie et révolution des savoirs » de l'université de Cergy Pontoise (France). Mes recherches dans le cadre de cette thèse portent sur le processus du développement professionnel des enseignants de mathématiques du secondaire pour améliorer l'apprentissage des élèves à travers une intégration pédagogiques efficace et efficiente des technologies numériques. Ma thèse cadre parfaitement avec l'esprit et la lettre du programme sectoriel de l'éducation et de la Formation (PSEF) 2014 - 2024 qui fixe les grandes orientations de développement du système éducatif nigérien.

Mon directeur de thèse est le Professeur Allain Jaillet, titulaire de la Chaire UNESCO et vice-président délégué Francophonie et Afrique, Université de Cergy Pontoise ; adresse mail « alain.jaillet@u-cergy.fr » et téléphone « +331 1 34 25 23 08 ».

Ci – Joint :


- Une copie du résumé de mon sujet de recherche
- Une attestation de présence au séminaire doctoral de la chaire UNESCO
- Une copie légalisée de mon master recherche
- Une copie de mon CV
- Copies légalisées de l'extrait de naissance et du certificat de nationalité

Dans l'attente d'une suite favorable, veuillez agréer, M. Le Ministre, l'expression de ma très haute considération.

Intéressé

4.5 Annexe A14 : Lettre d'autorisation de la recherche

RÉPUBLIQUE DU NIGER



Fraternité - Travail - Progrès

MINISTÈRE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRES

Niamey, le **09 MAY 2018**

Le Secrétaire Général

à

Mesdames et Messieurs les
responsables des services centraux et
déconcentrés du Ministère des
Enseignements Secondaires

N°: **00254** /MES/SG/DL


Objet : Autorisation de recherche


Dans le cadre des travaux de recherche de sa thèse de **doctorat en sciences de l'éducation**, l'étudiant **Adoul Massalabi Nouhou** est appelé à faire appel à vos services respectifs. Celui -ci a soumis un dossier et une demande d'autorisation de recherche qui, après étude ont reçu une réponse favorable.

Je vous saurais gré des dispositions diligentes que vous feriez prendre à cet effet.

Ampliations :

IGS.....01
DGE.....01


MOHAMED ZEIDANE



Ministère des Enseignements Secondaires - Tél. +227 20 72 25 55 - Fax : +227 20 72 29 37