

**L'APPRENTISSAGE PAR RÉOLUTION DE PROBLÈMES MATHÉMATIQUES
AVEC UTILISATION DE LOGICIEL DE GÉOMÉTRIE DYNAMIQUE
CHEZ L'ÉLÈVE D'ORIGINE AFRICAINE SUBSAHARIENNE
IMMIGRANT RÉCENT EN ONTARIO AU PRIMAIRE**

AWA MBODJE

Thèse soumise à l'Université d'Ottawa
dans le cadre des exigences du programme
Maîtrise ès arts en éducation

Faculté d'éducation
Université d'Ottawa

© Awa Mbodje, Ottawa, Canada, 2023

SOUTENANCE DE LA THÈSE

Président de la soutenance: El Hadji Yaya Koné, Ph. D.
Université d'Ottawa

Membres du comité d'évaluation: Christine Suurtamm, Ph. D.
Université d'Ottawa

Carole Fleuret, Ph. D.
Université d'Ottawa

Directeur de thèse: Richard Barwell, Ph. D.
Université d'Ottawa

REMERCIEMENTS

J'adresse mes chaleureux remerciements à mon directeur de thèse, le professeur Richard Barwell, doyen de la Faculté d'éducation, qui, malgré son emploi du temps chargé et ses multiples obligations, a su régulièrement consacrer une plage horaire à nos rencontres de supervision. Merci pour ses judicieux conseils, son orientation et sa patience. L'informaticienne fraîchement diplômée à la formation initiale à l'enseignement que j'étais, qui lui a été introduite par la très respectée professeure Phyllis Dalley, revenait de loin. Professeur Barwell a été présent pour moi à toutes les étapes du processus d'étude et de rédaction de ma thèse et même plus, par toute la bienveillance dont il a fait preuve quand, au tout début de mon programme d'études, j'ai été affectée par la tornade dévastatrice historique de la région d'Ottawa-Gatineau.

Merci aux membres de mon comité de recherche, la professeure Carole Fleuret et la professeure Christine Suurtamm, pour leurs commentaires constructifs qu'elles ont pris le temps d'apporter à mes textes de proposition de projet et de thèse.

Merci également à mes professeurs du premier cycle en éducation qui m'ont encouragée et soutenue dans mon choix de projet d'études au second cycle. Je veux nommer: la professeure Karine Turner, la professeure Natacha Louis, le professeur Pierre Poulin, la professeure Louise Brasseur, le professeur David Guillemette, la professeure Eliane Dulude.

Merci à mes enfants, Madeleine et Amadou, de s'être prêtés à mes essais techniques et pratiques d'avant collecte et pour leurs pertinentes remarques.

Un grand merci à mon université, uOttawa, pour m'avoir accordé une bourse d'admission à la maîtrise qui a couvert une grande partie de mes droits de scolarité.

Un grand merci à tous les professeurs de la Faculté d'éducation qui ont eu confiance en moi en m'attribuant des contrats d'assistantat dans leurs projets de recherche. Ces emplois ont non seulement été très instructifs dans la conduite de ma propre recherche, mais aussi l'aspect financier qu'ils représentaient m'a apporté une certaine stabilité me permettant de me concentrer sur l'essentiel, mes études. Je veux nommer: la professeure Donatille Mujawamariya, le professeur Francis Bangou, le professeur Emmanuel Duplâa, pour ne citer qu'eux.

DÉDICACE

En hommage à mes chers parents:

*mon père, le professeur A. Mbodje, Le Brack
et
ma mère, l'enseignante « Mme Mbodje », La Linguère*

RÉSUMÉ

Au cours des dernières décennies, l'immigration d'enfants d'origine africaine en Ontario n'a cessé de croître. Le système scolaire franco-ontarien censé les accueillir, en plus de recommander la résolution de problème comme moyen d'apprentissage des mathématiques dès les premiers apprentissages, est grandement axé sur l'intégration des nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC). Or, l'utilisation des TIC dans le secteur de l'éducation de la majorité des pays d'Afrique subsaharienne d'où arrivent ces élèves est peu développée. La présente étude explore l'expérience vécue par des élèves du primaire d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario (élèves ASSI) en situation de résolution de problème mathématique (RP) intégrant la technologie. Elle permet de mieux comprendre le rôle qu'occupe un logiciel de géométrie dynamique (LGD) dans un tel dispositif d'apprentissage. L'approche méthodologique choisie est celle d'une recherche qualitative/interprétative menée sous la forme d'une étude de cas multiples. Deux dyades d'élèves ASSI (quatre élèves) ont été observées en situation de RP usant de LGD puis rencontrées. Pour nos analyses, nous avons eu recours à la triangulation des théories de notre cadre théorique: l'approche socioconstructiviste de Vygotsky, la théorie instrumentale de Trouche et le modèle de résolution de problème de mathématiques de Pólya. Le croisement des données d'observations des processus d'instrumentalisation et d'instrumentation et des processus de résolution de problème a permis d'apporter des éléments de réponse à notre question de recherche. Les résultats révèlent, d'une part, que le LGD occupe une place prépondérante dans la construction de connaissances chez les élèves ASSI et le développement de leurs habiletés de résolution de problèmes, d'autre part que les propos des élèves quant au dispositif d'apprentissage sont certes nuancés, mais majoritairement positifs. Cette recherche contribue à favoriser l'inclusion dans les classes de mathématiques du primaire de la minorité africaine subsaharienne en contexte minoritaire francophone de l'Ontario.

Mots-clés: apprentissage, mathématiques, résolution de problèmes, logiciel dynamique, outil, schème, genèse instrumentale, instrumentalisation, instrumentation, Afrique subsaharienne, immigration, inclusion

ABSTRACT

Over the past few decades, the immigration of children of African origin to Ontario has increased. The Franco-Ontarian school system supposed to welcome them, in addition to recommending problem solving as a means of learning mathematics from the very first learning, is largely focused on the integration of new information and communication technologies (ICT). However, the use of ICT in the education sector of most sub-Saharan African countries from which these students come from is not very developed. This study explores the experience of elementary school's students of sub-Saharan African origin who are recent immigrants to Ontario (ASSI students) in a situation of mathematical problem solving (PR) integrating technology. It provides a better understanding of the role played by the dynamic geometry software (DGS) in such a learning device. The chosen methodological approach is that of qualitative/interpretative research conducted in the form of a multiple case study. Two dyads of ASSI students (four students) were observed in a PR situation using DGS and then were met. For our analyses, we resorted to the triangulation of the theories of our theoretical framework: the socioconstructivist approach of Vygotsky, the instrumental theory of Trouche and the mathematical problem-solving model of Pólya. The cross-referencing of the observation data of the instrumentalization and instrumentation processes and the problem-solving processes has made it possible to identify certain elements of the answer to our research question. The results reveal, on the one hand, that the DGS occupies a preponderant place in the construction of knowledge among ASSI students and the development of their problem-solving skills, on the other hand, that the students' words about the learning are certainly nuanced, but mostly positive. This research contributes to promoting the inclusion in primary mathematics classes of the sub-Saharan African minority in a French-speaking minority context in Ontario.

Keywords: learning, mathematics, problem solving, dynamic software, tool, scheme, instrumental genesis, instrumentalization, instrumentation, sub-Saharan Africa, immigration, inclusion

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iii
DÉDICACE.....	iv
RÉSUMÉ.....	v
ABSTRACT	vi
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	xiii
INTRODUCTION	1
PROBLÉMATIQUE.....	4
1. Mise en contexte.....	4
1.1 Immigration infantile et diversité ethnoculturelle au primaire francophone en Ontario....	4
1.2 Défis d'intégration des TIC en éducation dans les pays africains d'origine des élèves.....	5
2. Problème général	5
3. Problème spécifique	7
3.1 L'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques (RP)	8
3.2 L'apprentissage de la géométrie (GEO).....	9
3.3 L'apprentissage avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique (LGD).....	9
4. Objectif général et question de recherche	10
CADRE THÉORIQUE	11
1. Résolution de problèmes de géométrie avec usage de LGD	11
2. Fondements théoriques.....	17
2.1 L'approche socioconstructiviste de Vygotsky	17
2.2 La théorie d'orchestration instrumentale de Trouche	18
2.3 Le modèle de résolution de problèmes de Pólya.....	25
3. Synthèse et questions spécifiques	27
MÉTHODOLOGIE	29
1. Le choix méthodologique.....	29
2. Les contextes de déroulement de la recherche	29
3. Le choix des participants.....	30
4. Le processus de recrutement des participants	31
5. Les considérations éthiques.....	31
6. Les participants	32
7. Les instruments de collecte de données	33
8. Le déroulement de la collecte de données.....	36
9. Les analyses.....	41
9.1 Analyse de l'apprentissage de transformations géométriques instrumentées	42
9.1.1 Traitement des données d'observations	42
9.1.2 Analyse des données d'observations.....	43
9.1.2.1 Analyse <i>a priori</i> de la situation d'apprentissage.....	44
9.1.2.1.1 Les instruments Transformations attendus.....	44
9.1.2.1.2 Analyse en termes de stratégies de transformations gagnantes.....	44
9.1.2.1.3 Schèmes d'utilisation <i>a priori</i>	45

9.1.2.2 Analyse de la situation d'apprentissage en termes de schèmes d'utilisation	47
9.1.2.2.1 Schèmes d'utilisation <i>a posteriori</i>	48
9.1.2.2.2 Les instruments empiriques.....	49
9.1.2.2.3 Analyse de la situation-problème	49
9.1.2.3 Croisement des données issues des théories (Pólya et Trouche)	50
9.2 Analyse de l'habileté en RP et des propos sur l'activité	50
9.2.1 Traitement des données d'entrevues d'explicitation	50
9.2.2 Analyse des données d'entrevues d'explicitation	50
10. Le contrôle de la qualité de recherche.....	51
RÉSULTATS	53
1. Les résultats d'observations	53
1.1 Genèses instrumentales des dyades.....	57
1.1.1 Séance d'initiation.....	57
Schème d'usage « usage ludique des outils du logiciel ».....	59
Schème d'action instrumentée « construire un polygone »	59
1.1.2 Séance de RP	60
1.1.2.1 Construction d'instruments Transformations et développement d'habiletés de RP	60
1.1.2.1.1 En phase 1 de Pólya (PP1) <i>compréhension du problème</i>	60
Schème d'usage « présenter/partager son écran »	63
Schème d'usage « donner/reprendre/demander le contrôle ».....	64
Schème d'usage « configurer le plan cartésien ».....	64
1.1.2.1.2 En phase 2 de Pólya (PP2) <i>élaboration d'un plan</i>	66
Schème d'usage « sélection outil rotation »	66
Schème d'usage « sélection outil symétrie axiale »	66
Schème d'usage « sélection outil translation ».....	67
Schème d'usage « affichage de l'aide »	67
1.1.2.1.3 En phase 3 de Pólya (PP3) <i>exécution du plan</i>	69
Schème d'usage « dédoublement de la dalle »	69
Schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle »	70
Schème d'usage « recopiage de la dalle »	73
Schème d'usage « sélection objet à transformer ».....	73
Schème d'usage « affichage de l'aide détaillée »	74
Schème d'action instrumentée « transformer par rotation pour daller »	75
Schème d'action instrumentée « mesurer/calculer l'angle de rotation ».....	77
Schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller ».....	78
Schème d'usage « choix direction et grandeur de translation »	78
Schème d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller »	82
Schème d'usage « choix axe de symétrie »	83
1.1.2.1.4 En phase 4 de Pólya (PP4) <i>évaluation des résultats</i>	85
Schème d'usage « effacer une construction en cours »	86
1.1.2.2 Collaboration d'équipe au sein des dyades	87
1.2 Bilan des résultats d'observations	90
2. Les résultats d'entrevues	92
2.1 Explicitation de l'observance des phases de RP	92
2.2 Propos sur l'apprentissage avec LGD	97

DISCUSSION ET CONCLUSION	103
1. Des contraintes et potentialités du LGD aux instruments Transformations en RP	104
<i>Instrumentation et instrumentalisation, articulation entre processus duals</i>	107
2. Du geste instrumenté aux propos sur l'expérience vécue	112
3. Les limites de l'étude	119
4. Les perspectives	120
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	122
ANNEXES	131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Rôles attribués à l'élève et à l'enseignant	15
Tableau 2. Trois procédures de résolution d'un problème.....	26
Tableau 3. Fiche de classification et regroupement des élèves participants	33
Tableau 4. Synthèse des données de la collecte et notes du journal de la chercheure	34
Tableau 5. Récapitulatif des activités et outils de la situation d'apprentissage	38
Tableau 6. Synthèse des schèmes d'utilisation mobilisés en situation d'apprentissage	91

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schème d'action instrumentée (vs technique instrumentée).....	20
Figure 2. Les deux composantes de la genèse instrumentale	21
Figure 3. Synthèse de « l'activité mathématique instrumentée »	23
Figure 4. Tracé ludique de lignes courbes.....	59
Figure 5. Exemples et définition de dallage	61
Figure 6. Illustration de dallage obtenu à partir de la dalle <i>Princesse</i>	62
Figure 7. Découverte fortuite d'un nouveau quadrillage du plan.....	65
Figure 8. Sélection de l'outil <i>Symétrie axiale</i>	66
Figure 9. Boîte de dialogue de l'aide contextuelle	67
Figure 10. Image obtenue par modelage de la rotation	68
Figure 11. Image obtenue par modelage de la symétrie	68
Figure 12. Image obtenue par modelage de la translation.....	69
Figure 13. Modelage de la mesure de l'angle de rotation	69
Figure 14. Le <i>dragging</i> de la figure en « double » trahit un espacement.	70
Figure 15. Ajuster par juxtaposition manuelle de la dalle en « double »	70
Figure 16. Imbrication manuelle de deux « doubles » et de la figure initiale	71
Figure 17. <i>Dragging</i> des deux « doubles » indépendamment de la figure initiale	71
Figure 18. Ajuster en effectuant une nouvelle rotation	71
Figure 19. Ajuster par tentative de changement de direction de la figure image.....	72
Figure 20. Réflexion par recopiage de la dalle.....	73
Figure 21. Affichage de l'aide détaillée de l'outil <i>Rotation</i>	75
Figure 22. Affichage de la boîte de dialogue de la rotation	76
Figure 23. Image obtenue en changeant le sens horaire.....	76

Figure 24. Aide contextuelle de l'outil <i>Angle</i>	77
Figure 25. Interprétation erronée du concept de rotation	78
Figure 26. Réponse du logiciel à l'objet de translation sélectionné	79
Figure 27. Construction de la flèche de translation.....	80
Figure 28. Nouvelle construction de flèche pour « accrocher un sommet »	80
Figure 29. Évolution dans la manipulation de la flèche de translation	81
Figure 30. Exemple de flèche de translation qui garantirait un dallage	81
Figure 31. Construction perceptive de dallage.....	81
Figure 32. Les deux coéquipiers construisent simultanément des flèches de translation.	82
Figure 33. La modification de grandeur de flèche entraîne des « copies ».	82
Figure 34. Symétrie: l'axe des x comme axe de la symétrie.....	83
Figure 35. Modelage pour le choix d'axe de réflexion	84
Figure 36. Symétrie axiale suivant une droite et non pas un point	84
Figure 37. Tentative de sélection de l'axe de symétrie adéquat.....	85
Figure 38. Les essais successifs mènent à un dallage par réflexion.	85
Figure 39. Invalidation de stratégie qui aboutit à des figures qui ne « collent » pas.....	86
Figure 40. Construction validée par la dyade.....	87
Figure 41. Situation confuse non compris par le logiciel.....	89
Figure 42. Matérialisation corporelle de la réflexion d'un triangle	95

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

APP	Apprentissage par problèmes
ASSI	d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario
BG	activité brise-glace
EIAH	Environnements informatiques pour l'apprentissage humain
GEO	géométrie
IDEAL	modèle de résolution de problème
LGD	logiciel de géométrie dynamique
MEO	ministère de l'Éducation de l'Ontario
NCTM	Conseil national des enseignants des mathématiques des États-Unis
OQRE	Office de la qualité et de la responsabilité en éducation
PANA	Programme d'appui aux nouveaux arrivants
PISA	Programme international pour le suivi des acquis des élèves
RP	résolution de problèmes mathématiques
SGD	(voir LGD)
TIC	nouvelles technologies de l'information et de la communication
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

INTRODUCTION

En termes de recensement de la population canadienne, l'Afrique est le deuxième continent en importance de l'immigration récente au Canada (Statistique Canada, 2014, 2017). Les enfants africains immigrants récents inscrits à l'école primaire¹ doivent tous s'approprier les savoirs académiques, notamment les mathématiques. Dans ce processus d'acquisition des savoirs mathématiques, le ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO, 2006b) reconnaît l'importance d'utiliser la résolution de problèmes mathématiques (RP) comme moyen d'apprentissage des concepts.

Peu d'études ont été menées dans le milieu francophone en ce qui concerne l'apprentissage des mathématiques par les élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario (élèves ASSI²) au primaire. Par conséquent, il est important de comprendre comment, à travers les interactions entre les élèves ASSI au primaire et l'environnement d'apprentissage, ce dernier participe aux apprentissages mathématiques. C'est l'objectif central de cette recherche.

« La réussite en mathématiques dans les premières années d'études est d'une importance capitale. » C'est ce qu'on peut lire dans le rapport du MEO (2003, p. 1) élaboré par une Table ronde d'experts dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques. Plus particulièrement, offrir aux jeunes enfants des possibilités de développer leur sens spatial est essentiel à la réalisation de leur potentiel en tant qu'apprenants des mathématiques (Sinclair et Bruce, 2014). Pour Barwell (2008), pour que les enfants apprennent les mathématiques, il faut que nous mettions l'accent sur la construction du sens mathématique. Pour que les mathématiques aient un sens, elles doivent être apprises dans un environnement scolaire qui soutient les élèves dans leurs explorations, dans les représentations et dans l'établissement de liens entre les concepts mathématiques par l'entremise de discussions dans le contexte de la résolution de problèmes, renchérisse Suurtamm, Quigley et Lazarus (2015).

Mon expérience personnelle m'a amenée à identifier ma problématique de recherche. En environnement traditionnel (papier-crayon ou tableau noir) de résolution de problèmes, la compétence en mathématiques de mes pairs universitaires, spécifiquement les étudiants d'origine

¹ « à l'école primaire », dorénavant « au primaire »

² « élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario », dorénavant « élèves ASSI »

africaine à la formation initiale à l'enseignement, était souvent d'un excellent niveau, mais lorsqu'il s'est agi de résoudre un problème sur ordinateur avec usage de logiciel de géométrie dynamique (LGD), GeoGebra[®], j'ai noté que ces mêmes étudiants africains, contrairement aux autres pairs d'origine franco-ontarienne, avaient rencontré des difficultés à accomplir la tâche. Cette observation des défis que l'utilisation du logiciel³ engendrait dans l'activité de résolution de problème en géométrie (GEO) pour ces étudiants d'origine africaine, m'a amené à me questionner sur l'impact d'un LGD sur l'apprentissage par RP chez des élèves d'écoles primaires d'origine africaine subsaharienne récemment immigrés en Ontario. En géométrie, selon Rigaut (2013), le LGD permettrait un certain changement de représentation chez des enfants du primaire, soit le passage du dessin à la figure.

Quelles sont les difficultés ou les réussites potentielles pour les élèves ASSI dans leurs apprentissages par RP avec utilisation de LGD? Est-ce que l'usage d'outils des nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC) contribue ou non à leur réussite scolaire en mathématiques? Quels moyens faudrait-il mettre en œuvre pour parer aux difficultés ou pour renforcer les réussites des élèves ASSI, dès le primaire?

Toutes ces questions nous ont amenée à mener une recherche sur le processus d'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique chez l'élève d'origine africaine subsaharienne immigrant récent en Ontario au primaire.

Dans un premier temps, nous présentons notre problématique et la question de recherche à laquelle nous avons tenté de répondre.

Dans un deuxième temps, nous présentons les fondements théoriques dans lesquels s'inscrit la présente recherche, notamment, l'approche socioconstructiviste de Vygotsky (1980), la théorie d'orchestration instrumentale de Trouche (2003), le modèle de résolution de problèmes en quatre phases de Pólya (1965) ainsi qu'une recension des écrits.

Dans un troisième temps, nous exposons l'approche méthodologique empruntée afin de conduire notre expérimentation et ainsi, recueillir les données nécessaires pour cette recherche.

³ dans le texte, désigne le logiciel de géométrie dynamique GeoGebra

Dans un quatrième temps, nous présentons les résultats pertinents à la compréhension du phénomène étudié, obtenus de l'analyse des données recueillies.

Finalement, nous exposons les éléments de discussion de ces résultats à la lumière des travaux empiriques abordés dans le cadre théorique sur lequel nous nous sommes appuyée pour interpréter les données recueillies.

Il est important de préciser d'emblée qu'au moment de notre proposition de projet de thèse et ce, jusqu'à une date récente, celle de la mise en service d'une nouvelle version du curriculum de mathématiques en 2020, c'est le modèle de recherche en résolution de problème inspiré du modèle en quatre phases de Pólya (1965) que le programme-cadre de mathématiques de l'Ontario recommandait formellement d'utiliser au primaire. Le modèle avait été mis en œuvre dans les écoles franco-ontariennes depuis 1997. Nous avons choisi de poursuivre notre étude, somme toute antérieure à cette nouvelle version du document, sur la base du modèle de Pólya puisque nous estimons que sa pertinence est encore criarde d'actualité dans l'apprentissage des mathématiques. Le nouveau curriculum ne mentionne pas un modèle de résolution de problèmes en particulier à privilégier; de ce fait, elle ouvre la voie au choix éclairé de chaque acteur de la vie scolaire d'un modèle qu'il juge adéquat à mettre en application pour résoudre un problème. Pour toutes ces raisons, dans cette recherche, le modèle de résolution de problèmes qui a été adopté pour l'analyse des données est le modèle de Pólya. Nos références à la pertinence de ce modèle dans cette thèse portent donc toutes sur le programme-cadre de mathématiques du curriculum de 2005.

Le sujet central que nous avons étudié dans cette thèse est de savoir en quoi le logiciel participe au développement des habiletés de résolution de problèmes pour ces élèves et à l'apprentissage des concepts mathématiques. Mon intérêt est à la fois personnel, en tant que citoyenne canadienne d'origine africaine subsaharienne, et professionnel, en tant qu'étudiante diplômée en éducation en didactique des mathématiques et enseignante agréée de l'Ontario.

PROBLÉMATIQUE

Dans ce chapitre, nous tentons de cibler la problématique de l'apprentissage par la résolution de problèmes mathématiques en milieu technologique pour des élèves d'origine africaine subsaharienne. Nous exposons les défis dans l'intégration des TIC en éducation dans les pays d'Afrique subsaharienne. Par la suite, la pertinence scientifique et sociale de la recherche est exposée.

1. Mise en contexte

Cette section permet de situer le sujet étudié dans son contexte. Elle apporte quelques précisions sur les conditions d'intégration des TIC en éducation en Afrique subsaharienne.

1.1 Immigration infantile et diversité ethnoculturelle au primaire francophone en Ontario

L'école ontarienne de langue française accueille de nos jours une population d'apprenants immigrants dont les acteurs de la scène éducative ne peuvent faire fi. En effet, en 2016, Statistique Canada recensait en Ontario 685 085 immigrants âgés de 5 à 14 ans, d'âge scolaire. Plus précisément, entre 2011 et 2016, l'Ontario a accueilli 4750 élèves provenant d'Afrique Subsaharienne (Houle et Maheux, 2016). Avec ses 12 conseils scolaires de langue française, l'Ontario est la province canadienne qui reçoit le plus grand nombre de francophones à l'extérieur du Québec (MEO, 2004b). À ce titre, des mesures particulières ont été prises par le MEO dont le *Programme d'appui aux nouveaux arrivants* (PANA) pour les élèves venant de pays où la langue de l'administration ou de l'enseignement est le français (la majorité de ces élèves viennent des anciennes colonies belges et françaises). Selon Kamano (2014), le PANA a pour but, entre autres, d'aider les élèves nouveaux arrivants à se familiariser avec leur nouvel environnement. Un test diagnostique en français et en mathématiques est aussi effectué par les conseils scolaires. Ces éléments permettent d'identifier les besoins et de déterminer les profils des élèves. Une *Trousse de précision des acquis en mathématiques* du MEO, destinée aux élèves de la 1^{re} à la 8^e année, a également été conçue à l'intention de l'élève qui a subi des interruptions dans sa scolarisation ou qui a connu une scolarisation très différente de celle offerte ici.

Cependant, toutes ces mesures gouvernementales sont-elles suffisantes pour déceler chez l'élève africain immigrant récent les défis potentiels induits par l'utilisation d'outils technologiques à des fins pédagogiques, plus précisément de résolution de problèmes mathématiques?

1.2 Défis d'intégration des TIC en éducation dans les pays africains d'origine des élèves

Pour l'Institut de statistique de l'UNESCO (Wallet, 2016), l'intégration des TIC dans les systèmes d'éducation est relativement lente dans de nombreux pays africains à cause de divers facteurs, tels que l'absence de politiques formelles, de ressources financières, d'infrastructures de base (électricité, appareils, accès Internet) et d'enseignants qualifiés.

Dans un tel contexte, de l'absence d'accès à toute forme de TIC pour la majorité des écoles de l'enseignement primaire dans ces pays, on pourrait légitimement se demander quel impact l'usage des TIC a dans l'apprentissage des mathématiques chez les élèves ASSI au primaire. Encore que « les mathématiques continuent à être redoutées par de nombreux élèves qui trouvent leur apprentissage difficile » (Boro, 2011, p. 5), notre propos est de savoir comment, pour ce groupe d'élèves spécifique, l'utilisation des TIC influe sur la réussite dans leurs apprentissages par résolution de problèmes de géométrie.

2. Problème général

Selon Jacquet et Masinda (2014), s'intéressant à l'intégration scolaire des jeunes immigrants (francophones, noirs, de l'Afrique subsaharienne), plusieurs études (Bouchamma, 2009; Madibbo, 2008; Kanu, 2008; MacKay et Tavares, 2005; Okito, 2007; Moke Ngala, 2005; Jacquet et al., 2013; Jacquet et al., 2008b), portant sur les élèves immigrants en milieux francophones minoritaires dans différentes provinces canadiennes, ont relevé une problématique émergente dans ces milieux et semblent unanimes sur les difficultés auxquelles ces jeunes immigrants sont confrontés, notamment, le choc culturel rencontré au niveau des stratégies éducatives et d'apprentissage, les défis liés au rattrapage scolaire pour celles et ceux qui arrivent dans le système scolaire à un âge plus avancé et avec un degré de préparation académique insuffisant. En Ontario, ces enfants qui arrivent avec un bagage culturel différent, sont parfois peu préparés à discerner les exigences et les objectifs du système d'éducation de langue française, car ils ne connaissent pas les normes socioculturelles attendues dans le cadre scolaire (MEO, 2004a). Pour Fleuret, Bangou et Ibrahim (2013), la « maîtrise » de la langue de scolarisation, la remise en question d'une conception homogène de l'identité culturelle ainsi que la mission historique de l'école francophone dans la reproduction de la langue et de la culture françaises sont autant de défis importants que représente l'intégration des élèves immigrants. Ces auteurs mettent en garde d'ignorer que ceux-là qui

fréquentent les écoles francophones arrivent dans la province avec un bagage linguistique qu'ils ont développé, pour la plupart, dans leur langue d'origine.

Martin et al. (2012), examinant les compétences en résolution de problèmes dans les résultats du *Programme international pour le suivi des acquis des élèves* (PISA) de 2003 des élèves immigrants en sciences et en mathématiques, nous apprennent que lesdits résultats confirment que les compétences en résolution de problèmes sont un facteur de réussite des élèves immigrants en mathématiques et en sciences, mais que ces derniers obtiennent de moins bons résultats en résolution de problèmes que les élèves non immigrants, compte tenu de certains facteurs, tels que: le statut socioéconomique des parents, le bagage linguistique, l'âge d'arrivée dans la société d'accueil, le sexe et l'âge, etc. Selon eux, ce n'est pas tant le statut d'immigrant en soi qui explique la baisse des résultats et des compétences en résolution de problèmes que divers facteurs qui sont intégrés et associés au statut d'immigrant qui expliquent la majeure partie de ces variances. Dans le même ordre d'idées, l'attitude et les perceptions des élèves à propos de la résolution de problèmes seraient des facteurs importants qui influent sur l'apprentissage (MEO, 2006b). Il va sans dire que la perception que l'élève a de ses apprentissages avec usage de technologie peut également avoir une incidence sur la façon dont l'élève va apprendre. Buizard (2015, p. 742) donne une définition classique de la perception suivant laquelle: « La perception telle qu'elle se trouve habituellement définie – dans les manuels de philosophie ou dans la littérature scientifique traitant de ses mécanismes – se conçoit comme le processus par lequel le sujet acquiert une connaissance consciente du monde extérieur à partir de son activité sensorielle. »

Le programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e année dans le curriculum de l'Ontario de 2005 fournit un cadre d'apprentissage pour tous les élèves des écoles financées par les fonds publics. Il détaille les connaissances et les habiletés que chaque élève doit avoir acquises au terme d'une année d'études donnée (MEO, 2004a). On y mentionne que l'élève « dispose d'une gamme variée d'outils pour résoudre des problèmes simples ou complexes » (MEO, 2005, p. 20). Parmi ces outils, on note que l'utilisation de logiciel de géométrie est suggérée pour divers contenus d'apprentissage en géométrie et sens de l'espace, de la 4^e à la 8^e année, afin que l'élève soit en mesure de satisfaire aux attentes, telles que: « créer des frises et des dallages [...] en utilisant des transformations comme régularité » (MEO, p. 55), en 4^e année; « démontrer la congruence de figures planes en fonction des mesures de leurs côtés et de leurs angles... » (MEO, p. 65), en 5^e année; « construire divers cercles de mesures données [...] construire différentes figures planes

en utilisant des médiatrices et des bissectrices [...] réaliser des vues de face, de côté et de dessus de divers solides [...] définir et créer des dallages réguliers et semi-réguliers [...] construire des dallages ayant plus d'une forme » (MEO, p. 81), en 7^e année; etc. (voir l'Annexe A pour une liste exhaustive des attentes mentionnant les logiciels de géométrie en particulier (partie 1 de l'annexe A) et des attentes mentionnant la technologie en général (partie 2 de l'annexe A)). Les résultats de l'enquête 2018-2019 de l'Office de la qualité et de la responsabilité en éducation (OQRE) sur l'utilisation de logiciels en enseignement des mathématiques au primaire (voir l'Annexe B pour les détails) montrent une forte progression du pourcentage d'enseignants qui reconnaissent les inclure dans leurs pratiques. Le rapport d'enquête ne contient pas de données précises sur l'utilisation de LGD par ces enseignants. Néanmoins, notre étude s'attarde spécifiquement sur l'attente « créer des frises et des dallages... », porte d'entrée pour tous les élèves dans le monde des transformations géométriques, pour justifier l'activité d'apprentissage par résolution de problème que nous avons proposée aux élèves ASSI participants à l'étude, afin de décrire le développement de leurs habiletés de résolution de problème mathématique lors de l'utilisation d'un LGD dans leurs apprentissages.

3. Problème spécifique

Dans une étude portant sur de jeunes Africains scolarisés dans les écoles francophones en Alberta, Moke Ngala (2005, cité dans Jacquet et al., 2008a), note que rien ne prépare ces jeunes à apprendre, à négocier et embrasser de nouvelles significations dans un environnement scolaire qui fonctionne selon une culture éducative différente de celle(s) qu'ils ont connue(s) dans les pays d'origine ou de transit. Aussi, selon lui, ces jeunes immigrants, principalement ceux qui arrivent au Canada à l'adolescence, font face à des problèmes qui leur sont propres: affronter non seulement un nouveau système scolaire, mais également une nouvelle culture de l'école et, notamment, d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques. Ils doivent aussi se faire de nouveaux amis, apprendre l'anglais, se faire à la variété du français canadien, voire apprendre le français standard. Jacquet et al. précisent toutefois que les parents des élèves africains scolarisés dans les écoles francophones sont unanimes sur la question de la conservation de l'identité francophone qui, pour eux, devient même une préoccupation essentielle. Certains d'entre eux reconnaissent néanmoins la disparité des expériences scolaires de leurs jeunes; ainsi, les enfants qui fréquentaient les écoles publiques sont moins préparés que ceux qui fréquentaient les écoles privées. Moke Ngala souligne combien les attentes des parents africains quant à la réussite scolaire de leurs enfants sont loin d'être satisfaites

dans la mesure où certains élèves africains sont non seulement en situation d'échec académique, mais leur intégration sociale reste problématique. En somme, leur étude révèle une grande complexité des situations quant à leurs statuts de migrants (réfugiés politiques, immigrants économiques, parrainés), à leurs origines, à leurs langues et cultures ainsi qu'à leurs expériences sociales et scolaires antérieures.

À notre connaissance, aucune recherche n'a été, à ce jour, menée sur l'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques avec usage des TIC chez des élèves ASSI en milieu francophone minoritaire. Les défis inhérents à l'intégration scolaire des jeunes africains scolarisés dans les écoles francophones auxquels s'ajoute l'importance accordée à la résolution de problèmes mathématiques dans la réussite scolaire des élèves immigrants, incluant les élèves ASSI, incitent à porter une meilleure attention aux habiletés de ces derniers en résolution de problèmes avec utilisation de LGD et à leurs sentiments, leurs attitudes et leurs opinions à l'égard de ce processus.

Étant donné la paucité d'études s'étant attardées à la situation problématique mise en exergue supra, il nous semblait important de nous concentrer sur l'apprentissage par la résolution de problèmes mathématiques, en géométrie, avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique. Les écrits scientifiques et les publications présentés dans les lignes qui suivent, au sujet de RP, de GEO et de LGD, participent à la clarification de ces derniers.

3.1 L'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques (RP)

La définition que donne le MEO (2003, p. 83) de la résolution de problèmes est la suivante: « Le fait d'entreprendre une tâche dont la solution n'est pas évidente ni connue à l'avance. » Pour le MEO (2003, 2006a), pour résoudre le problème, les élèves doivent faire appel à leurs connaissances antérieures, essayer différentes stratégies, établir des liens et parvenir à une conclusion. La résolution de problèmes serait donc une activité intellectuelle supérieure qui mobilise toutes les facultés intellectuelles et affectives de l'apprenant, qui est placé dans une situation de résolution de problèmes lorsqu'il fait face à une situation qu'il n'a jamais rencontrée auparavant et qu'il cherche à maîtriser (Vienneau, 2011). Toutefois, l'expression peut désigner autre chose que cette activité intellectuelle supérieure. Par exemple, au primaire, on parlera couramment de résolution de problèmes pour désigner l'habileté consistant à trouver la solution à un problème écrit en mathématique; il s'agit, en fait, d'une procédure de résolution de problèmes.

3.2 L'apprentissage de la géométrie (GEO)

La *Géométrie et sens de l'espace* est l'un des cinq domaines d'étude que comporte le programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e année du curriculum de 2005. Le sens de l'espace étant la conscience intuitive que l'on a de son environnement et des objets qui s'y trouvent, la géométrie nous aiderait à représenter et à décrire, de façon ordonnée, les objets qui nous entourent et leurs relations spatiales (MEO, 2005). La géométrie serait donc un des fondements des mathématiques. Selon le NCTM (2000), « la modélisation en géométrie et le raisonnement lié au sens de l'espace offrent aux élèves des moyens d'interpréter et de décrire le monde qui nous entoure et constituent des outils importants dans un contexte de résolution de problèmes » (MEO, 2006d, p. 5, traduction libre).

L'utilisation de logiciels développerait une maturité mathématique et permettrait de résoudre des problèmes plus complexes en mathématiques (MEO, 2006a). Le travail en collaboration avec les camarades peut s'avérer efficace surtout lorsque la complexité de la tâche assignée se situe au-delà du niveau des connaissances de l'élève (MEO, 2005). Dans cette étude, nous nous sommes intéressée de savoir comment, à travers le travail collaboratif entre pairs, cet usage d'outil technologique dans l'apprentissage de la géométrie chez les élèves ASSI les influence dans le processus de résolution de problèmes mathématiques.

3.3 L'apprentissage avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique (LGD)

Tout en se questionnant, à savoir si les LGD remplacent les outils de constructions habituels (règle, équerre, compas), Rigaut (2013, p. 21) les définit comme suit: « Les logiciels de géométrie dynamique ont pour but d'exploiter l'écran d'ordinateur comme support à la création de figures géométriques par l'utilisation d'icônes. En plus de pouvoir créer ces figures, ces dernières peuvent être déformées tout en conservant leurs propriétés initiales ». Le LGD permettrait donc de visualiser de nombreuses configurations de la figure tout en conservant ses propriétés géométriques, qui restent invariantes lors des déplacements.

Vu les conditions d'intégration des TIC dans les systèmes d'éducation en Afrique subsaharienne, d'où sont originaires les élèves ASSI, auxquelles s'ajoutent les enjeux liés à la résolution de problèmes mathématiques, il nous semblait légitime de se poser des questions sur l'utilisation d'outils numériques dans leurs apprentissages par résolution de problèmes pour

satisfaire aux attentes du programme d'étude en mathématiques du curriculum de 2005. Les propos de l'élève ASSI au primaire quant à un tel dispositif d'apprentissage ont également été recueillis.

4. Objectif général et question de recherche

À la lumière de ces différents éléments de problématique, notre objectif de recherche guide la conduite de notre étude et sert d'assises au cadre de référence à suivre. Cette recherche axée sur l'apprentissage des élèves ASSI au primaire a pour but:

Explorer l'expérience vécue par les élèves ASSI au primaire en situation de résolution de problème mathématique intégrant les TIC.

L'étude s'intéresse non seulement au développement des habiletés de résolution de problèmes (le processus), mais également aux propos sur la situation de résolution de problème (l'activité).

La question de recherche qui oriente cette étude est donc la suivante:

Quel est le rôle du LGD dans l'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques au primaire chez des élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario?

Dans la recension des écrits qui suit, nous procédons à l'articulation des idées importantes en rapport avec les théories et concepts qui constituent les lignes directrices de l'étude, tout en soulignant, le cas échéant, leurs points de convergence et leurs points de différence.

CADRE THÉORIQUE

Dans ce chapitre, nous présentons les fondements conceptuels et théoriques qui situent et encadrent notre question de recherche. Le volet synthèse nous permet ensuite d'aboutir à une formulation scientifique des questions spécifiques et des objectifs de recherche et de justifier de la pertinence de cette étude. En résumé, la figure de l'Annexe C présente la carte conceptuelle (interactive) de ce cadre théorique.

1. Résolution de problèmes de géométrie avec usage de LGD

Au début du XXI^e siècle, la résolution de problèmes est devenue un élément central de l'enseignement de mathématiques en Amérique du Nord (Freiman et Manuel, 2013). L'habileté de pouvoir résoudre des problèmes ferait ainsi partie des Principes et Standards du Conseil national des enseignants des mathématiques des États-Unis (NCTM, 2000), une compétence clé dans le programme-cadre de mathématiques du curriculum du MEO de 2005. Pour ce dernier, citant plusieurs auteurs (Kilpatrick, Swafford et Findell, 2001; NCTM, 2002; National Research Council, 1989; NCTM, 2000), « la résolution de problèmes aide à appuyer les processus essentiels comme l'utilisation de la représentation, de la communication et des liens entre les idées mathématiques » (MEO, 2003, p. 17). Selon le MEO (2005), en mathématiques, le processus de résolution de problèmes joue un rôle central dans l'apprentissage. Pour Van de Walle et Folk (2005, cités dans MEO, 2006d, traduction libre), l'activité de résolution de problèmes et l'apprentissage sont intimement liés. En outre, les enfants parviennent à comprendre les concepts mathématiques et à acquérir des habiletés de résolution de problèmes en résolvant des problèmes, plutôt qu'en recevant un enseignement explicite (Hiebert et al., 1997). Selon Gauthier et al. (2013), l'enseignement explicite se divise en trois étapes subséquentes: le modelage, la pratique guidée ou dirigée, et la pratique autonome. Dans l'étape du modelage, l'enseignant s'efforcerait de rendre explicite tout raisonnement qui est implicite en enseignant les quoi, pourquoi, comment, quand et où faire. La résolution de problèmes ne doit pas être perçue comme une activité spéciale, mais comme un processus inhérent à une classe de mathématiques (MEO, 2003).

Problème

Pour Boro (2011), de façon générale, il y a problème lorsqu'on est dans une situation où on ne peut pas produire automatiquement une réponse adaptée à une certaine demande. Le problème

mathématique peut être caractérisé, quant à lui, par le recours à une base de connaissances mathématique pour sa résolution. Être confronté à un problème signifie donc se retrouver dans une « situation où ne sont pas disponibles des automatismes pour s’y confronter et où l’élaboration d’une stratégie de résolution apparaît nécessaire » (Johsua et Dupin, 1993, p. 75). On parle alors de situation-problème caractérisée par la situation initiale, le but à atteindre et les actions permises (Boro).

Situation-problème

Une situation-problème (Meirieu, 1987) en mathématiques, comme dans plusieurs disciplines, est un élément clé d’une séquence didactique. Idéalement, une situation-problème:

- amène les élèves à remettre en question certaines de leurs conceptions ou représentations initiales;
- leur permet de jouer un rôle actif dans leur apprentissage;
- est perçue par les élèves comme un défi, une énigme, ce qui permet la dévolution (c’est-à-dire l’engagement de l’élève);
- se situe dans la zone proximale (ce qui signifie que la situation-problème n’est ni trop facile, ni trop difficile) qui permet une bonne mobilisation intellectuelle;
- comporte diverses solutions ou permet diverses approches;
- prévoit des échanges entre les élèves;
- conduit les élèves à une évolution de leurs conceptions (Thouin, 2014, p. 26).

Selon Hermann (2002), la formule pédagogique de l’apprentissage par problèmes (APP) viserait l’acquisition de connaissances, le développement d’habiletés de haut niveau et le transfert des connaissances. Bergé et Duarte (2015) considèrent, quant à eux, la résolution de situations problèmes comme moyen pour construire de nouvelles connaissances s’accompagnant d’une inversion dans le processus didactique en classe: le problème précède l’explication des notions qui seront mises en jeu lors de l’élaboration de la solution, au lieu de lui succéder. Le MEO (2006b) dont la présente étude partage la vision appuie ces dires en promouvant la résolution de problèmes comme moyen d’apprentissage des mathématiques.

Procédure de résolution de problèmes

La procédure de résolution de problèmes préconisée dans le programme-cadre de mathématiques du curriculum de 2005 (voir la figure *Modèle de recherche en résolution de problème* de l’Annexe D) s’inspire du modèle en quatre phases de Pólya (1945): *comprendre le problème, concevoir un plan, exécuter le plan* et *examiner la solution retenue* (MEO, 2006b, p. 42). On précise toutefois que ces quatre phases n’ont pas à être suivies de façon linéaire; elles sont

interreliées et doivent plutôt être utilisées avec souplesse. Elles doivent être utilisées comme guides plutôt que comme des directives formelles afin d'aider les élèves à résoudre des problèmes (MEO, 2006a)⁴. « Les élèves devraient être en mesure d'utiliser ce modèle comme guide ou outil de référence lors de leur choix de stratégies et de procédures. Plus les problèmes deviennent complexes, plus ce choix est important. Les élèves doivent apprendre à évaluer l'efficacité de leur démarche et des étapes utilisées pour résoudre un problème » (MEO, 2006b, p. 42). L'efficacité, celle d'aboutir à des résultats attendus au cours de la démarche, la rigueur dans l'utilisation du langage et du vocabulaire mathématique, la cohérence exprimée dans la fluidité du raisonnement sont autant d'indicateurs d'habiletés de résolution de problèmes.

Pour répondre à notre problématique, nous avons pris appui sur le *Modèle de recherche en résolution de problème* recommandé dans le programme-cadre de mathématiques du curriculum du MEO de 2005 qui reproduit les quatre phases de Pólya. Il nous a permis d'observer le développement des habiletés en résolution de problèmes des élèves ASSI au cours de la situation d'apprentissage en géométrie; chaque phase de résolution du problème comportant autant de thèmes à observer dans la démarche.

Selon le MEO (2014), la recherche a montré qu'en Amérique du Nord, moins de temps et d'attention sont consacrés en classe à la discipline par excellence des mathématiques spatiales – la géométrie et le sens de l'espace – qu'aux autres sujets et domaines des mathématiques. Des résultats de recherches indiquent « qu'il y a une forte corrélation entre le sens de l'espace et l'habileté à résoudre des problèmes, ce qui laisse sous-entendre que l'habileté à visualiser est un bon prédicteur du rendement en résolution de problèmes (Owens, 1993) » (MEO, 2006d, p. 27, traduction libre). En géométrie et sens de l'espace, le dallage offre une excellente avenue dans la visualisation des transformations que l'on peut faire subir à une figure.

Dallage

Le dallage est le « procédé qui permet de recouvrir le plan à l'aide de polygones sans laisser d'espace et sans chevauchement » (MEO, 2006d, p. 84). Selon le MEO, pour animer la construction d'un dallage à l'aide de l'ordinateur, il est important de déterminer à l'avance quelle transformation

⁴ Chacune des phases du modèle de Pólya ainsi que les implications pédagogiques qui s'y rattachent sont présentées dans le tableau de l'Annexe E. « Les quatre étapes peuvent être affichées dans la classe afin que les élèves puissent s'y référer au besoin » (MEO, 2006b).

on va utiliser pour déplacer une figure. Pour ce faire, les élèves doivent bien comprendre le rôle des transformations dans la construction d'un dallage.

Transformations géométriques

Les transformations (géométriques) contribuent au développement du sens de l'espace et de l'habileté à visualiser des déplacements d'objets dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel (MEO, 2006d). Selon les van Hiele (Van Hiele, 1959), les élèves doivent passer par chacun des cinq niveaux de la pensée géométrique pour chaque nouveau concept (MEO, 2006c). Ils peuvent progresser d'un niveau de pensée à un autre dans la mesure où ils sont exposés à des activités qui misent sur la comparaison et la classification des formes géométriques, et sur l'analyse de leurs propriétés. Les transformations géométriques (au primaire: réflexion, translation, rotation) constituent une notion intéressante à travailler avec les LGD puisque, selon Roegiers (1998), l'étude des transformations géométriques fait partie de l'aspect dynamique de la géométrie (Corriveau, 2006). Les logiciels de géométrie dynamique permettraient donc de faire travailler les élèves sur des représentations dynamiques qui conservent les propriétés géométriques au cours du mouvement (Restrepo, 2008). De plus, le MEO (2005) recommande l'accès des élèves à un ordinateur du fait que c'est un des « outils efficaces qui peuvent les aider à approfondir leur compréhension des concepts liés à la géométrie du plan cartésien » (MEO, p. 9).

Pour Coutat (2012), une solution valide dans un LGD doit conserver ses caractéristiques de construction (objets libres, liés, etc.) lorsqu'on déplace les objets qui la constituent; le rectangle (parallélogramme) doit rester rectangle (parallélogramme) lorsqu'on déplace les sommets. Rigaut ajoute que, les logiciels de géométrie dynamique étant considérés comme des outils qui favorisent la distinction entre dessin et figure, fondement du travail géométrique, le déplacement de points permet de distinguer les connaissances spatiales des connaissances géométriques; « *dragging* offers a mediation between drawing and figure... » précisent Laborde et al. (2006, p. 286). Le glissement (*dragging*) offrirait donc une médiation entre dessin et figure. Cependant, selon Mattiussi (2013), Artigue (1998) émet quelques mises en garde; considérant les points de base d'une figure de géométrie dynamique, cette dernière énonçait ceci:

Avec tout logiciel de géométrie dynamique (Cabri, CaRMétal, GeoGebra, etc.), pour construire une figure un tant soit peu complexe, il faut bien définir et partir des points de base qui en assurent les fondations sur lesquelles repose la dynamique de la figure. Une erreur sur les points de base et la figure s'écroule lors de l'animation.

Il faut souvent recommencer entièrement la construction de la figure en partant des bons points de base. Mais ce problème n'existe pas dans une construction papier-crayon avec la règle et le compas. On peut corriger facilement, gommer et remplacer un élément par un autre. Dans le cas de la construction avec un logiciel, l'algorithme de la construction est inhérent à la figure. Dans la construction papier-crayon, l'algorithme réside dans la pensée de l'élève. De fait, il y a là un décalage cognitif dans la construction informatique des figures. Il peut évidemment être compensé par une formation adéquate des élèves, par une instrumentation de l'apprenant (Mattiussi, 2013, p. 89).

Laborde (1992), cité en exemple par Gomes (1999), reconnaît quant à lui que les caractéristiques d'un SGD (LGD) particulier peuvent affecter le processus de résolution d'un problème. Karadag et McDougall (2009) et Gauthier (2014) évoquent, quant à eux, GeoGebra comme outil cognitif dont l'utilisation se déroule selon les trois modes (*expliquer, explorer et modéliser*) et les quatre phases de résolution de problèmes de Pólya (1957) (voir le tableau de l'Annexe F). Coutat (2012) précise toutefois que c'est par l'interaction entre les élèves et l'enseignant que les élèves parviennent à s'appropriier les procédures d'utilisation des outils du LGD.

Pour transformer le logiciel en un outil d'apprentissage, l'enseignant doit appuyer les élèves dans leur enquête sur l'environnement de l'ordinateur, les assister dans la découverte et l'appropriation de ses caractéristiques particulières (Polotskaia et Freiman, 2016). Le tableau 1 que nous proposons ci-dessous fait la synthèse des citations des auteurs quant aux rôles qu'ils attribuent d'une part aux élèves et d'autre part aux enseignants à cet égard.

Tableau 1. Rôles attribués à l'élève et à l'enseignant
selon Bergé et Duarte (2015), Rigaut (2013), Coutat (2012) et Polotskaia et Freiman (2016)

Auteurs	Rôle de l'élève	Rôle de l'enseignant
Bergé et Duarte (2015)	L'élève résout des problèmes à différentes étapes de l'apprentissage et non plus seulement à la toute dernière. On passe du raisonnement des notions acquises au développement d'habiletés intellectuelles (estimer, généraliser, abstraire, déduire, justifier, organiser). On passe aussi de l'application des connaissances acquises à leur exploration, leur élargissement et leur approfondissement (p. 65).	Gérer une inévitable incertitude: la variété de stratégies de résolution (p. 64). Oblige les enseignants à prendre de nombreuses décisions en temps réel. Ils devront choisir et mettre en commun certaines des résolutions proposées par les élèves et décider comment les faire dialoguer, comment les reprendre pour faire avancer la classe, comment les remettre en question, comment les expliciter, etc. D'ailleurs, une réflexion

		sur les actions accomplies ainsi qu'une intervention établissant les liens entre ce qui a été fait et les savoirs mathématiques en voie de constitution à l'intérieur de la classe reposent aussi sur la responsabilité de l'enseignant (p. 64).
Rigaut (2013)	Les déplacements permettent à l'élève de vérifier par eux-mêmes la validité de leur construction grâce à la rétroaction du logiciel (p. 14).	Il s'agit de faire réfléchir l'enfant sur ce qu'il doit construire et à quel endroit afin de réaliser une véritable figure et d'en tirer des conclusions sur des propriétés géométriques (p. 18).
Coutat (2012)	Les élèves peuvent eux-mêmes valider leurs constructions en déplaçant les sommets afin de contrôler si les relations sont toujours présentes, quelle que soit la configuration des sommets (p. 54).	Le rôle l'enseignant est central dans l'introduction et l'appropriation des outils de construction (p. 54).
Polotskaia et Freiman (2016)	Ainsi, grâce à l'outil, les élèves se trouvent dans des conditions qui implicitement sollicitent une analyse de la structure mathématique du problème et suggèrent une manipulation avec des lettres (p. 67).	L'enseignant utilise une organisation particulière de travail avec l'outil pour réorienter l'attention des élèves vers la recherche des difficultés liées à la structure mathématique du problème. Ainsi, la manière habituelle « comment résoudre? » est complétée dorénavant par un effort métacognitif « où sont les obstacles? » ou « qu'est-ce que je dois retenir pour après? ». Cette nouvelle organisation cyclique essai-défi-construction-essai a le potentiel de transformer l'activité de résolution de problèmes en activité de recherche et de construction de nouveaux savoirs en mettant l'élève en position d'apprenant actif (p. 67).

Pour Gauthier (2014), l'utilisation des outils technologiques a un impact bénéfique sur la motivation des élèves en leur permettant d'apprendre à leur rythme. Beatty et Geiger (2009), quant à eux, soutiennent que des LGD (tels que Cabri Géomètre et Geometer's Sketchpad) appartiendraient à une catégorie de technologies qui ont été conçues spécifiquement pour travailler avec des idées mathématiques, mais qui n'ont pas été spécifiquement conçues pour la promotion de l'interaction sociale.

2. Fondements théoriques

Les choix théoriques qui sont présentés dans cette section servent de pierre angulaire à l'étude pour sa conceptualisation et son opérationnalisation.

2.1 L'approche socioconstructiviste de Vygotsky

Le tableau de l'Annexe G décrit les distinctions entre les trois approches: *cognitiviste*, *constructiviste* et *socioconstructiviste* (Hermann, 2002, p. 54). Tandis que le *cognitivisme* considère l'apprentissage comme étant un système de traitement de l'information, le *constructivisme* le considère comme un processus de construction des connaissances qui se réalise dans l'interaction entre le sujet pensant et l'environnement dans lequel il évolue. Lorsque l'accent est mis aussi bien sur les conflits sociocognitifs que sur les interactions vécues par les élèves entre eux, on parle alors de *socioconstructivisme* (Vygotsky, 1934/1997) plutôt que de simple constructivisme. Plus encore, le constructivisme met l'accent sur les schèmes à acquérir avant de passer à un niveau supérieur - étapiste (p. ex., Piaget, 1923) - alors que le socioconstructivisme (Vygotsky), parle de l'inter vers l'intra, donc la socialisation permet de développer la pensée psychique supérieure sans qu'aucune structure précise ne soit nécessaire. Le socioconstructivisme souscrirait donc aux postulats du constructivisme, mais y ajouterait une dimension supplémentaire: celle des interactions sociales. Ce sont les interactions avec les autres et avec l'environnement qui façonnent nos connaissances et par lesquelles nous créons nos propres connaissances. Vygotsky (1980) considère ainsi l'apprentissage comme « un processus social dans lequel les participants situés culturellement et historiquement se livrent à des activités culturellement valorisées, en utilisant des outils culturels » (Norton et Toohey, 2011, p. 418-19, traduction libre).

La perspective vygotskienne, tout en affirmant que tout apprentissage se déroule dans un contexte social, met l'accent sur le rôle du langage dans l'apprentissage, à la fois comme outil de réflexion et comme moyen de communication (Hoyles et Lagrange, 2010). Restrepo (2008) suggère plusieurs types de langage mathématique que les élèves peuvent utiliser pour décrire leurs constructions, parmi lesquels: un langage précis, un langage correct, un langage plus commun, un langage plus descriptif, un langage spatial. L'apprentissage engendre le développement de capacités mentales, non encore maîtrisées par les élèves (Hermann, 2002). Selon Vygotsky (1986), les concepts ne peuvent être assimilés tels quels par l'enfant, ils doivent suivre un certain développement, mais plus important encore, le développement est précédé par l'apprentissage. Le

développement n'est pas préordonné, il dépend de ce que l'élève apprend, et de la manière dont il l'apprend.

L'approche historico-culturelle proposée par Vygotsky est le seul courant théorique qui se soit donné pour objet d'étude les rapports entre l'enseignement et le développement intellectuel médiatisés par un apprentissage « instrumental » (Hermann, 2002). Certains enseignants ont perçu dans la conclusion de Vygotsky une exhortation à « ne pas dire » aux élèves le comment des mathématiques, pour les laisser plutôt le « découvrir » (Chazan et Ball, 1999). Pour cette raison, « les jeunes enfants ont besoin de ressources appropriées, telles que du matériel de manipulation, du matériel technologique et des activités de résolution de problèmes qui favorisent le travail mathématique » (MEO, 2003, p. 10), la résolution de problèmes étant un concept clé du socioconstructivisme en éducation (Vienneau, 2011).

La présente étude s'intéresse à l'interaction sociale, d'un point de vue *socioconstructiviste*, prenant place dans l'activité intellectuelle de résolution de problèmes mathématiques au sein des dyades d'élèves ASSI.

2.2 La théorie d'orchestration instrumentale de Trouche

En cherchant à comprendre l'influence d'un outil de calcul sur la construction de la connaissance, et ce, à travers l'analyse des contraintes de l'outil, Trouche (2003), se situant dans une perspective vygotskienne de l'apprentissage, a, selon Boro (2011), introduit le concept d'orchestration instrumentale pour expliquer comment, à travers l'utilisation de l'outil dans la résolution de problèmes, on atteint un but didactique dans la construction de savoir chez les apprenants. La didactique est définie par Thouin (2014, p. 8) comme étant « l'étude des questions d'ordre cognitif posées par l'enseignement et l'apprentissage des différentes matières scolaires ».

Pour Trouche (2003) et Gomes (1999), la notion de situation est au cœur de la théorie développée par Brousseau (1998). Une situation adidactique est une situation de résolution d'un problème que l'apprenant cherche à résoudre avec toutes ses connaissances, dans lequel n'apparaît pas d'intention didactique. Balacheff, Luengo et Vadcard (2006) soulignent que les concepts de milieu et de situation adidactique sont particulièrement efficaces. D'après Trouche (2005a), ce qui distingue l'homme de l'animal, ce n'est pas la capacité de créer un outil, matériel ou symbolique, mais la succession cumulative d'un appareillage de connaissance et de transformation du monde. Cet appareillage serait lié aux médiations constitutives de tout processus d'apprentissage

(Vygotsky, 1986). Pour Mattiussi (2013), l'apport théorique de Trouche consiste en la définition, pour ses analyses, de trois objets technologiques distincts en relation avec l'utilisateur: *l'artefact*, *l'outil*, *l'instrument*. Pour Trouche (2005b), cette distinction à trois niveaux, à partir des *relations* entre l'utilisateur et l'objet technique, est fondamentale.

- le mot *artefact* désignera un *objet technique nu*, indépendamment de toute relation avec un usager (un artefact peut être une calculatrice, une notation, un compas ou un panier);
- le mot *outil* désignera un *objet technique intégré, ou susceptible d'être intégré* par un usager dans ses gestes (scolaires, professionnels ou quotidiens);
- le mot *instrument* désignera une *entité mixte composée de l'objet technique et des modes d'utilisation* construits par un usager (Rabardel, 1995) (Trouche, 2005a, p. 93).

Balacheff, Luengo et Vadcard (2006) notent l'intérêt de l'approche complémentaire de Trouche (2005a) partant de l'approche instrumentale (Rabardel, 1995) pour introduire les concepts d'instrumentalisation et d'instrumentation en environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH). L'approche instrumentale qui, pour l'essentiel, distingue l'objet ou artefact et l'instrument que cet objet devient au service de l'activité mathématique d'un individu donné ou d'une institution, s'est développée initialement dans le contexte de logiciels de calcul formel et de calculatrices symboliques en didactique des mathématiques (Artigue, Lenfant et Roditi, 2003). La transition artefact-instrument se produirait *via* une genèse instrumentale, en général complexe.

Rabardel (1995) définit ainsi un *instrument* comme issu d'une construction (la *genèse instrumentale*) par le sujet, à partir d'un *artefact* donné.

Pour Trouche (2005a), comprendre **la genèse instrumentale** suppose saisir plusieurs articulations, entre autres:

- articulation entre les **schèmes sociaux** et les **schèmes individuels**.
 - Les schèmes sociaux sont ceux préconstruits dans l'artefact par ses concepteurs ou construits dans l'environnement socioculturel du sujet.
 - Les schèmes individuels sont ceux que le sujet constitue par et pour lui-même.
- articulation entre **deux types de schèmes d'utilisation**: les schèmes d'usage et les schèmes d'action instrumentée.
 - Les **schèmes d'usage** sont les tâches directement liées à l'artefact. Les gestes sont les **observables** des schèmes.

L'observable du schème d'usage est qualifié de **geste instrumenté**, « **grain élémentaire** » de l'activité (Trouche, 2005a, p. 99).

Les schèmes d'usage sont orientés vers **les tâches secondes** correspondant aux actions et activités spécifiques directement liées à l'artefact.

- Les **schèmes d'action instrumentée** sont ceux dont le but est d'opérer des transformations sur l'objet de l'activité.

L'observable du schème d'action instrumentée est qualifié de **technique instrumentée**.

Une technique instrumentée étant composée d'une succession de gestes instrumentés.

Les schèmes d'action instrumentée, relatifs aux **tâches premières**, sont des schèmes « dont la signification est donnée par l'acte global ayant pour but d'opérer des transformations sur l'objet de l'activité » (Rabardel, 1995, p. 91).

La figure 1 ci-après illustre le lien qui unit ces deux types de schèmes d'utilisation.

Un schème relie, dialectiquement, les gestes à la pensée.

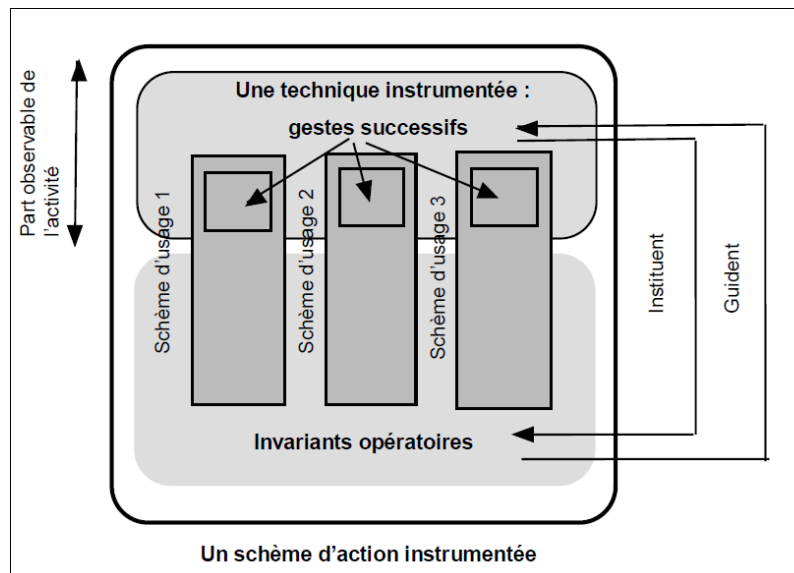


Figure 1. Schème d'action instrumentée (vs technique instrumentée) (Trouche, 2005a, p. 103)

La partie observable de l'activité mathématique instrumentée serait donc les gestes successifs constitutifs de techniques instrumentées.

Les schèmes d'action instrumentée seraient constitués plus précisément:

- d'une partie observable des schèmes d'usage, les gestes successifs, et
- d'**invariants opératoires**, la partie non observable des schèmes d'usage.

Les invariants opératoires guident les gestes (ils permettent de réaliser la tâche) et les gestes instituent (*construisent*) les invariants opératoires.

Outre le concept de schème, un autre phénomène apparaissant dans les environnements contraints est la *catachrèse*. Celle-ci désigne « l'utilisation d'outils pour des usages pour lesquels ils n'ont pas été conçus » (Vom Hofe, 2000, p. 43). Les catachrèses sont sujettes à être analysées « comme indices des *processus d'instrumentalisation* » (Trouche, 2005a, p. 105), lequel processus est orienté vers la composante artéfactuelle de l'instrument, entre autres schèmes d'usage.

- articulation entre **deux composantes de la genèse instrumentale**: l'instrumentalisation et l'instrumentation.
 - Le processus d'**instrumentalisation**, composante artéfactuelle de l'instrument, est la composante relative à l'artefact (p. ex., à la découverte et la sélection des commandes, à la personnalisation de l'objet), à l'émergence et l'évolution des composantes artefact de l'instrument.
 - Le processus d'**instrumentation**, composante de l'instrument tournée vers le sujet, est la composante relative au sujet, à l'émergence et à l'évolution des schèmes pour la réalisation d'un type de tâches ou un ensemble de types de tâches.

La figure 2 ci-après schématise cette dualité.

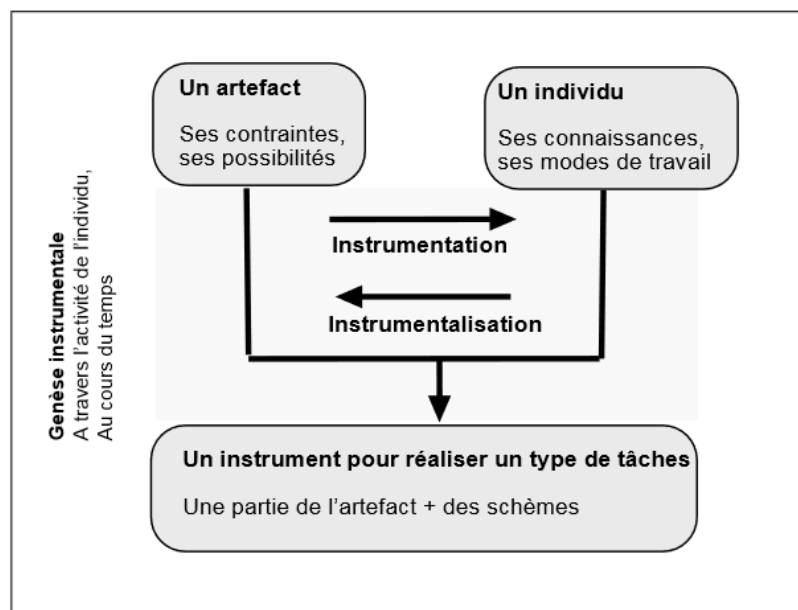


Figure 2. Les deux composantes de la genèse instrumentale (Trouche, 2005a, p. 101)

- articulation entre ce que **l'outil** impose (les contraintes) et ce qu'il permet (les potentialités).
 - Les **contraintes** sont celles imposées par l'outil.
 - Les **potentialités** sont celles qu'offre l'outil.

La figure 3 ci-après présente un récapitulatif de ces divers concepts émanant de la théorie de Trouche (2005a) qui ont servi de cadre de référence à notre analyse.

Cette approche serait essentiellement *dialectique* et est particulièrement féconde pour étudier les processus d'apprentissage des mathématiques dans des environnements technologiques complexes (Artigue, 2002). À titre d'exemple, Artigue évoque les algorithmes mis en œuvre dans un logiciel qui, selon elle, « conduisent à une plus grande diversité dans les représentations d'objets mathématiques que ce à quoi on pourrait s'attendre dans le travail en classe avec du papier et du crayon » (Artigue, p. 265, traduction libre). Pour Drijvers et Gravemeijer (2005), dans un tel environnement, les aspects sociaux de l'apprentissage prennent la forme d'une activité de l'élève où les schèmes explicites que les individus ont développés sont partagés avec un petit groupe ou toute la classe. Ces schèmes sont ainsi disponibles pour appropriation par les autres membres de la classe.

This approach describes the process of instrumental genesis in which the possibilities and constraints shape the conceptual development of the user, while at the same time the user's conceptualization of the artefact and thus its instrumentation lead, in some cases, to the user changing the instrument (Drijvers et Gravemeijer, 2005) (Hoyles et Lagrange, 2010, p. 267).

La présente étude vise à montrer et à analyser comment, en situation de résolution de problème mathématique, à travers les médiations constitutives du dispositif d'apprentissage, à savoir, les interactions entre l'artefact (le LGD) et les élèves ASSI, d'une part, les interactions sociales des élèves ASSI dans la résolution du problème, d'autre part, se manifestent la genèse instrumentale de Transformations et le développement de leurs habiletés de résolution de problèmes.

Comprendre la <i>genèse instrumentale</i> suppose saisir plusieurs articulations			préconstruits dans l'artéfact
		o schèmes sociaux	
			construits dans l'environnement socio-culturel du sujet
	• articulation entre —		
		o schèmes individuels	que le sujet se construit
		o schèmes d'usage (tâches directement liés à l'artéfact)	geste instrumenté
	• articulation entre 2 types de schèmes d'utilisation —		* les gestes: sont <i>les observables</i> des schèmes
		o schèmes d'action instrumentée (but:opérer des transformations sur l'objet de l'activité)	technique instrumentée
			*technique: succession de gestes (gestes successifs)
		o instrumentalisation : relative à l'artéfact (découverte et sélection des commandes, personnalisation de l'objet)	
	• articulation entre 2 composantes de la genèse instrumentale —	o instrumentation : relative à l'émergence et à l'évolution des schèmes pour la réalisation d'un type de tâches ou un ensemble de types de tâches	
		o impose (contraintes)	
	• articulation entre ce que l'outil —	o permet (potentialités)	

Figure 3. Synthèse de « l'activité mathématique *instrumentée* » (Trouche, 2005a, p. 101)

Un schème est l'organisation invariante de l'activité, composée:

○ pour les schèmes d'usage:

- des **règles d'action, de prise d'information et de contrôle**;
les « règles » d'action sont de type « *si* condition *alors* action à faire ».

○ pour les schèmes d'action instrumentée:

- des **invariants opératoires** permettant à la fois la prise et le traitement de l'information pertinente.
 - Le **théorème-en-acte** est un invariant opératoire de type « proposition » susceptible d'être *vrai* ou *faux*.
 - Le **concept-en-acte** est un invariant opératoire de type « fonction propositionnelle »; il n'est pas évalué comme vrai ou faux, mais par sa *pertinence* ou *non-pertinence* dans la prise d'informations.
- des **anticipations**, celles des effets à attendre qui permettent de rendre compte des opérations de planification et de contrôle.
- des **inférences** (raisonnements), qui permettent de calculer les règles et les anticipations à partir des informations et du système d'invariants opératoires dont dispose le sujet, ce qui permet au sujet d'ajuster le schème aux caractéristiques spécifiques de la situation présente (Coulet, 2007).

Les règles d'action, de prise d'information et de contrôle, les invariants opératoires, les anticipations et les inférences sont ensuite traduits en termes de fonctions:

- **heuristique**: fonction relative au contrôle, à l'organisation de l'action;
- **pragmatique**: fonction relative à l'action, à la transformation des objets;
- **épistémique**: fonction relative à la prise d'information et à la compréhension des objets.

La constitution d'un instrument, la genèse instrumentale, est aussi la constitution d'*un corps de connaissances* sur l'objet de l'activité. Cette constitution peut être comprise **à partir de l'étude des schèmes**. Tandis que la particularité d'un instrument est d'être issue d'une construction par le sujet, à partir d'un artefact donné, le schème est, quant à lui, « une construction de l'observateur à partir des différentes traces de l'activité du sujet » (Trouche, 2005a, p. 102). Le schème communiquerait donc des informations à l'observateur sur ses schèmes d'utilisation en

construction par suite de l'action du sujet. Les instruments seraient des propositions que les individus développent ou non; ils sont internes au sujet.

Dans la perspective de l'analyse de la situation d'apprentissage, l'approche instrumentale nous offre une méthode d'analyse idéale des interactions de l'élève avec l'outil technologique en termes de schèmes d'utilisation.

2.3 Le modèle de résolution de problèmes de Pólya

Pólya (1965), cité par Boro (2011), résume en quatre temps les phases de la résolution de problème de mathématiques: la compréhension du problème, l'élaboration d'un plan, l'exécution du plan et l'évaluation des résultats. Nous présentons ici une définition simplifiée de chacune de ces phases, suivant celle de Boro.

La compréhension du problème. L'élève cherchera à comprendre le problème posé en portant l'attention sur l'information importante en s'efforçant de comprendre le vocabulaire mathématique; il s'efforcera de reformuler le problème avec ses propres mots en lui donnant du sens.

L'élaboration d'un plan. Le plan passera par un recensement des idées de stratégies par analogie ou une génération de stratégies nouvelles avant l'adoption de la stratégie la plus appropriée.

L'exécution du plan. Il s'agit de la mise en œuvre de la stratégie choisie et peut révéler l'inefficacité ou des insuffisances de celle-ci.

L'évaluation des résultats. Elle peut s'appliquer à toutes les étapes de la résolution de problèmes et permet de détecter les erreurs et de tester la validité d'une solution. (Boro, 2011, p. 48-49).

Plusieurs autres mathématiciens ont publié des travaux sur la résolution de problèmes en mathématiques et ce processus, résoudre un problème, a été divisé par les chercheurs en *phases* ou en *étapes* (Rincon Bahamon, 2011). Vienneau (2011) en cite quelques-uns, dont: Bruning, Schraw et Norby (2011), Snowman, McCown et Biehler (2008), Bransford et Stein (1993, cités dans Slavin, 2014) (voir le tableau 2 ci-après).

Selon le MEO (2006b), le modèle de résolution de problèmes le plus couramment utilisé est le processus en quatre phases de Pólya (PP: (PP1) *compréhension du problème*, (PP2) *élaboration d'un plan*, (PP3) *exécution du plan*, (PP4) *évaluation des résultats*). Cependant, dans son livre *Mathematical Problem Solving*, Schoenfeld (1985) considère insuffisants les éléments d'analyse suggérés par Pólya pour la résolution de problèmes. En effet, Schoenfeld affirme que ce processus implique non seulement les connaissances préalables sur les mathématiques et les

Tableau 2. *Trois procédures de résolution d'un problème (Vienneau, 2011, p. 203)*

Bruning, Schraw et Norby (2011)	Snowman, McCown et Biehler (2008)	Bransford et Stein (1993): IDEAL
1. Identifier le problème.	1. Réaliser l'existence du problème.	1. Identifier le problème (<i>Identify</i>).
2. Représenter le problème.	2. Comprendre la nature du problème.	2. Définir et représenter le problème avec précision (<i>Define</i>).
3. Choisir une stratégie.	3. Ressortir l'information pertinente.	3. Explorer les stratégies possibles (<i>Explore</i>).
4. Appliquer la stratégie.	4. Choisir et appliquer une stratégie.	4. Appliquer les stratégies choisies (<i>Act</i>).
5. Évaluer la solution.	5. Évaluer la solution.	5. Examiner les résultats de l'application des stratégies (<i>Look at the effects</i>).

connaissances heuristiques, mais aussi un troisième élément, soit les croyances et les intuitions que les élèves ont des mathématiques (Rincon Bahamon, 2011). Ainsi, selon Schoenfeld, la résolution de problèmes est un processus plus complexe que celui explicité par Pólya. Selon Reys et al. (2001), « le modèle de Pólya peut aussi être trompeur si on le suit au pied de la lettre. Sauf pour certains problèmes simples, il est rarement possible de suivre les étapes dans l'ordre indiqué. Les élèves qui croient pouvoir procéder une étape à la fois risquent d'être aussi décontenancés que s'ils n'avaient pas de modèle [...] De plus, ces étapes ne sont pas distinctes; il n'est pas nécessaire non plus de passer par chaque étape » (MEO, 2006b, p. 42, traduction libre).

Le modèle de Pólya, à la différence des modèles cités par Vienneau (2011) dans le tableau 2 ci-dessus, ne comporte que quatre phases; cela laisse supposer que la première et la deuxième des phases des mathématiciens cités par Vienneau se confondraient dans la première phase du modèle de Pólya. Tout en tenant compte des critiques qui ont été émises à l'égard du modèle de Pólya, nous acceptons que les élèves puissent choisir de suivre les phases de résolution de problème comme indiqué dans le modèle de Pólya, tant de manière linéaire que non linéaire. On pourra considérer l'habileté d'un élève ASSI dans la résolution du problème qui lui est soumis comme résultant d'une correcte observation des quatre temps de Pólya (Boro, 2011).

3. Synthèse et questions spécifiques

Toute recherche constituant une construction de la réalité par les chercheurs (Van der Maren, 2007), il nous semblait important de mettre en évidence les fondements théoriques et conceptuels qui ont servi d'assises à l'analyse et à l'interprétation des résultats de cette étude concentrée sur l'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique. Afin de répondre à la question de recherche, cette recherche adopte une perspective socioconstructiviste vygotkienne de l'apprentissage qui place l'élève au centre du système didactique (Brousseau, 1998), l'élève étant responsable de son apprentissage (MEO, 2005). Notre intention de mettre l'accent sur les interactions vécues par les élèves entre eux et avec leur environnement d'apprentissage sous-tend ce choix théorique. L'approche instrumentale de Trouche (2005a) est mise à contribution pour analyser les manifestations de l'habileté de l'élève ASSI à interagir dans une situation didactique de résolution de problème dans laquelle l'ordinateur intervient à titre d'élément du milieu et participe, à la fois, à l'organisation dudit milieu et à l'institutionnalisation de nouvelles connaissances. Le modèle en quatre phases de Pólya sert de cadre d'analyse du développement des habiletés de résolution de problèmes de l'élève ASSI durant l'activité d'apprentissage qui porte sur des concepts de transformations géométriques.

Cette étude répond, rappelons-le, à la question suivante:

Quel est le rôle du LGD dans l'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques au primaire chez des élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario?

Voici les questions de recherche spécifiques:

- Quel rôle exerce le LGD dans la construction d'instruments Transformations et dans le développement des habiletés de résolution de problèmes mathématiques de l'élève ASSI?
- Quels sont les propos de l'élève ASSI sur l'expérience vécue en apprentissage par résolution de problèmes mathématiques avec utilisation de LGD?

Dans cette étude, notre objectif est double; nous visons à:

- Décrire les interactions entre le LGD et l'élève ASSI et ses pairs dans l'apprentissage par RP.
- Analyser les actions posées par l'élève ASSI et ses pairs en situation de RP avec utilisation de LGD afin de connaître l'impact de l'outil technologique sur ses habiletés de résolution de problème et le développement de ses connaissances en mathématiques.

À ce jour, très peu d'études ont été effectuées sur ces questions, d'où l'importance de cette recherche centrée sur les élèves ASSI dans le but de mieux comprendre comment l'outil technologique participe aux apprentissages par résolution de problèmes mathématiques pour ces élèves. Atteindre ces objectifs étendra considérablement les recherches limitées sur l'immigration et l'apprentissage des mathématiques.

MÉTHODOLOGIE

1. Le choix méthodologique

Cette étude vise à documenter l'impact de logiciels de géométrie dynamique en résolution de problèmes mathématiques auprès d'élèves ASSI au primaire. Afin d'atteindre les objectifs de notre recherche, nous avons tenté de mieux comprendre ce phénomène par une approche qualitative/interprétative (Van der Maren, 1996) menée, plus précisément, sous la forme d'une étude de cas multiples (Albarello, 2011; Gagnon, 2012). L'étude de cas est appropriée quand on veut tirer des renseignements d'une situation peu connue (Fortin et Gagnon, 2016); le chercheur explore plusieurs cas sur une certaine période, au moyen d'une collecte de données approfondie auprès de multiples sources d'information et fait une description des cas et des thèmes utilisés (Creswell, 2007). Le but de l'étude de cas multiples (multicas) est de « découvrir des convergences entre plusieurs cas, tout en contribuant à l'analyse des particularités de chacun des cas » (Karsenti et Savoie-Zajc, 2018, p. 294). Cette méthode de recherche heuristique exige rigueur et similarité dans le processus d'investigation (Yin, 2003). Plus précisément, puisqu'elle se veut interprétative, cette étude de cas contient une description détaillée de chaque cas, puis les données recueillies servent « à illustrer, soutenir ou réfuter des postulats théoriques adoptés avant la collecte de données » (Karsenti et Savoie-Zajc, p. 299).

2. Les contextes de déroulement de la recherche

Avec les contraintes liées aux mesures sanitaires dictées par la pandémie de Covid-19, la collecte de données, initialement planifiée pour se dérouler dans une bibliothèque municipale, un terrain neutre, au trimestre printemps-été 2020, en présence physique de la chercheure principale⁵, d'une étudiante-assistante bénévole et des enfants accompagnés de leurs parents/tuteurs éventuellement, s'est plutôt déroulée, en février 2021, en mode virtuel: en ligne, à distance.

Contrairement à ce qui était planifié, à savoir procéder au recrutement au sein d'organismes d'aide aux nouveaux arrivants dans la région de la capitale nationale, du fait du confinement sanitaire, le recrutement se fait plutôt au téléphone, de « bouche à oreille », à partir du réseau d'une personne-contact de la chercheure.

⁵ aussi désignée dans le texte par: « chercheure », « observatrice », « intervieweuse », « utilisateur plus expérimenté » ou « étudiante-chercheure »

Initialement, l'étude visait des élèves de niveau 5^e à 6^e, mais nous avons fait le choix d'élargir ce critère d'âge à un niveau scolaire légèrement supérieur à la 6^e année, du fait du manque d'accessibilité d'un plus grand nombre d'élèves participants potentiels dont le souci serait de ne pas dépasser le temps de travail des enfants passé en ligne avec leur propre classe, en contexte de pandémie.

La plateforme de collaboration virtuelle Microsoft Teams[®] (Teams) a été retenue pour les rencontres, en raison de sa facilité d'utilisation et aussi pour sa gratuité offerte par notre université à ses étudiants.

L'activité d'apprentissage que nous avons proposée aux élèves ASSI, réunis en dyades (équipes de deux élèves chacune) pour la collecte de données, leur est présentée sous la forme d'une résolution de problème mathématique qui repose sur l'attente suivante du curriculum: « la création de frises et de dallages en utilisant des transformations géométriques comme régularité » (MEO, 2005, p. 55), avec utilisation du logiciel de géométrie dynamique GeoGebra[®].

3. Le choix des participants

Une des caractéristiques de l'étude de cas à visée heuristique est qu'on peut mener une étude avec un échantillon réduit. Le Compte et Preissle (1993, cité dans Louis, 2021) soulignent que bien qu'il soit important d'identifier dès le début de la recherche le nombre de participants à l'étude, il est important de garder en tête qu'il est essentiel de maintenir une certaine flexibilité et de rajouter ou modifier, au besoin, l'échantillon de départ. Nous avons constitué un échantillon intentionnel/par choix raisonné (Fortin et Gagnon, 2016) composé de quatre (4) élèves ASSI. L'échantillon par choix raisonné, aussi appelé échantillon typique, fait appel au jugement; il s'agit de constituer un échantillon d'individus en fonction d'un trait caractéristique. Le recrutement des participants s'est fait sous la forme d'une lettre envoyée à l'adresse courriel des parents intéressés à faire participer leur enfant.

Population

Cette étude exploratoire s'est effectuée auprès d'élèves ASSI fréquentant des classes de mathématiques de niveau 5^e à la 8^e année d'écoles primaires de conseils de langue française de l'Ontario. Le choix de ces années d'études s'explique par le fait que c'est à partir de la 4^e année du primaire que les concepts mathématiques que nous leur avons proposés d'étudier (les concepts de transformations géométriques) sont introduits par le MEO dans les apprentissages des élèves. À

partir de la 5^e, les élèves sont donc déjà initiés au concept de transformation. A été exclue de l'étude toute participation d'élève dont le statut migratoire ne permettait pas de s'assurer que le participant avait déjà vécu une expérience de scolarisation à l'élémentaire ailleurs qu'au Canada. L'activité d'apprentissage que nous avons observée et les entrevues d'explicitation subséquentes ont servi de cueillette de données pour notre étude. S'intégrer dans le quotidien des élèves ASSI, quoique virtuel, que nous avons veillé à ne pas bouleverser, nous a permis d'avoir une véritable description de leurs expériences.

4. Le processus de recrutement des participants

Dans le contexte de pandémie décrit plus haut, la chercheure entre en contact téléphonique avec une première personne-contact dont elle connaissait son implication et son dynamisme au sein de la communauté africaine subsaharienne, lettre de recrutement à l'appui (voir [Annexe H](#)). Cette personne met à son tour la chercheure en contact avec des parents dont, éventuellement, l'enfant pourrait répondre aux critères de participation à l'étude et pourrait souhaiter vivre l'expérience d'une activité mathématique inédite. Parmi les personnes contactées, certaines, intéressées, répondent aux critères de la recherche et entrent directement en contact avec la chercheure, d'autres, soit n'y répondent pas, soit ne souhaitent pas participer. Les parents intéressés et leurs enfants reçoivent alors un formulaire de consentement (voir [Annexe I](#)) et une lettre d'assentiment (voir [Annexe J](#)) leur expliquant les principaux enjeux des travaux.

5. Les considérations éthiques

Les protocoles d'approbation éthique de l'université avaient été obtenus avant le début de l'étude. Dans le formulaire de consentement et la lettre d'assentiment envoyés aux familles, nous avons veillé à recueillir le consentement libre et éclairé de tous les élèves ASSI au primaire participants et leurs parents/tuteurs et à les assurer de l'anonymat et de la confidentialité des données qui seront recueillies.

Une fois les formulaires dûment complétés, signés et retournés à la chercheure, la collecte de données pouvait débuter, avec l'envoi des questionnaires préliminaires « parent/tuteur » et « enfant » aux participants. Ils les complètent avec des données générales sur leur famille et leur enfant, les signent et les renvoient à la chercheure. Toutes ces correspondances s'effectuent par courriel.

6. Les participants

Les quatre (4) élèves ASSI participants, Marc, Yolande, Brielle et Joachim (prénoms fictifs), fréquentent des écoles publiques ou catholiques en Ontario, tous francophones à l'exception de Brielle qui est présentement scolarisée dans une école primaire anglophone, mais elle parle un français courant, tout comme les trois autres participants. À ce titre, nous avons jugé utile de l'inclure dans cette étude. Ses parents sont issus d'un pays africain, le Cameroun, dont les deux langues officielles, tout comme le Canada, sont le français et l'anglais. Pour certains, l'activité proposée pourrait n'être qu'une activité de consolidation des apprentissages des transformations géométriques, pour d'autres, d'apprentissage de nouveaux concepts de géométrie. Ces élèves ASSI participants ont entre 10 et 13 ans. Ils ont tous été scolarisés en Afrique, certains ailleurs au Canada également, avant de venir en Ontario les deux dernières années (entre 2018 et 2020). Marc est le seul à indiquer avoir déjà utilisé GeoGebra. Brielle et Joachim indiquent connaître un autre logiciel de mathématiques, Netmath; Reflexmath en plus pour Brielle. Yolande n'a jamais utilisé de logiciel dans ses apprentissages de mathématiques. Ils vivent tous avec leurs parents. Dans leurs questionnaires, ces derniers indiquent tous être entrés au Canada, la même année que leurs enfants, avec un statut de résident permanent, d'immigrants choisis donc, en provenance d'Afrique subsaharienne, plus précisément d'Afrique de l'Ouest ou d'Afrique centrale. Ils ont tous un niveau d'études universitaires, premier ou deuxième cycle et sont tous employés en éducation, sauf le parent de Joachim qui dit être étudiante. Ils disent tous parler français en permanence à la maison, exclusivement, sauf le parent de Brielle qui indique parler, outre l'anglais, deux autres langues locales de leur pays (Bassa et Bafia). Seul le parent de Joachim indique que son enfant fréquentait l'école publique avant de venir au Canada, les autres indiquent avoir envoyé leurs enfants à l'école privée.

Aucun des quatre enfants n'a subi de retard ou de rupture de scolarisation. Parents et enfants ont tous accès à des outils technologiques; les enfants, sous forme d'ordinateur, tablette, téléphone intelligent ou Chromebook. L'accès aux TIC se fait pour tous les enfants à la maison, mais aussi, selon le cas, à l'école ou à la bibliothèque municipale, mais aucun chez des amis. Tous indiquent s'en servir pour utiliser un programme de jeu électronique, échanger des messages sur Internet; ils l'ont démontré à l'activité brise-glace (BG) lorsqu'il s'est agi de se présenter individuellement en utilisant la messagerie instantanée de Teams (le *Chat*) ou encore, chercher de l'information sur la Toile. Brielle, Marc et Yolande sont tous familiers avec la saisie et la mise en forme de texte,

quoique seuls les deux premiers le sont avec l'utilisation de feuille de calcul, tel que dans Excel. Joachim n'a rien indiqué à ce sujet. Marc est le seul à indiquer avoir une connaissance, « moyenne », du logiciel GeoGebra, partagée par son père. Brielle indique avoir un niveau de maîtrise « très bon » dans deux logiciels de soutien à l'apprentissage des mathématiques.

Dans le tableau 3 ci-dessous, nous présentons la fiche de classification des élèves ASSI participants. Le regroupement des dyades s'est fait par agencement des niveaux scolaires (élémentaire et élémentaire supérieur) et groupe d'âge (10-11 et 12-13). La première dyade observée est formée de Marc et Yolande (dyade 1), la deuxième de Brielle et Joachim (dyade 2).

Tableau 3. *Fiche de classification et regroupement des élèves participants*

	Pays origine	Arrivée en Ontario	Niveau scol.	Sexe	Groupe âge	Connaissances antérieures					
						saisie&mise en forme de texte	utilise feuille de calcul	utilise logiciel de maths	niveau maîtrise logiciel maths	Justification (niv. maîtrise)	utilise logiciel maths en classe
Joachim	Côte d'Ivoire	2020	5 ^e	M	10-11	non	non	Netmath	Bon	parce que je connais à peu près tous les exercices	non
Brielle	Cameroun	2019	6 ^e	F	10-11	oui	oui	Netmath, Reflexmath	Très bon	Je me familiarise facilement avec les logiciels	non
Marc	Cameroun	2020	7 ^e	M	12-13	oui	oui	GeoGebra	Moyen	Pour travailler seul	non
Yolande	Côte d'Ivoire	2018	8 ^e	F	12-13	oui	non	non	S/O	S/O	non

« L'étude de cas bénéficie de l'élaboration à priori de pistes ou de propositions théoriques qui servent à mieux guider le chercheur dans sa collecte de données et l'analyse des résultats. » (Yin, 2003, cité dans Fortin et Gagnon, 2016, p. 295).

7. Les instruments de collecte de données

Les instruments du devis qualitatif comprennent: l'observation participante (avec grille d'observation), l'entretien d'explicitation (avec guide d'entrevue), les questionnaires préliminaires aux parents/tuteurs et aux élèves, le journal de bord de la chercheuse. Le tableau 4 suivant offre un résumé des données collectées. Ensuite, nous détaillons la manière dont et à quelles fins ces instruments ont été utilisés. Mentionnons d'emblée que ces instruments que nous avons construits ont été validés avant le début de l'étude par des experts en didactique des mathématiques, puis une étude pilote a été menée avant de l'administrer à notre population, afin d'en assurer la validité de contenu.

Tableau 4. Synthèse des données de la collecte et notes du journal de la chercheure

Dyades	Élèves	Questionnaires	Tests de connectivité	Observations, Notes de chercheure		Entrevues	
				Brise-glace et Initiation (date, vidéo, transcription et notes)	Situation-problème (date, vidéo, transcription et notes)	Audios	Verbatim
Dyade 1	Marc	✓	✓	2021-02-27 BG et Init-Marc et Yolande.mp4 : - 76 minutes - 362 627 kilo-octets	2021-02-27 RP-LGD-Marc et Yolande.mp4 : - 135 minutes - 375 647 kilo-octets	2021-02-27 Entrevue-Marc.mp4 : - 50 minutes - 394 212 kilo-octets	Entrevue-Marc_transcription.docx : - 85 kilo-octets
	Yolande	✓	✓	BG et Init-Marc et Yolande_transcription.docx : - 92 kilo-octets	RP-LGD-Marc et Yolande_transcription.docx : - 109 kilo-octets	2021-02-27 Entrevue-Yolande.mp4 : - 37 minutes - 280 897 kilo-octets	Entrevue-Yolande_transcription.docx : - 83 kilo-octets
Dyade 2	Brielle	✓	—	2021-02-28 BG et Init-Brielle et Joachim.mp4 : - 63 minutes - 287 336 kilo-octets	2021-02-28 RP-LGD-Brielle et Joachim.mp4 : - 99 minutes - 360 912 kilo-octets	2021-02-28 Entrevue-Brielle.mp4 : - 29 minutes - 226 821 kilo-octets	Entrevue-Brielle_transcription.docx : - 78 kilo-octets
	Joachim	✓	✓	BG et Init-Brielle et Joachim_transcription.docx : - 115 kilo-octets	RP-LGD-Brielle et Joachim_transcription.docx : - 119 kilo-octets	2021-03-01 Entrevue-Joachim.mp4 : - 54 minutes - 425 930 kilo-octets	Entrevue-Joachim_transcription.docx : - 92 kilo-octets

Observation participante

Elle nous a permis d'analyser les actions posées par les élèves ASSI pour résoudre le problème de géométrie avec utilisation de LGD. Nous avons consigné nos notes prises durant l'observation dans une grille d'observation (voir Annexe K), tout en ayant à l'esprit que la qualité des données dépend de la qualité de la prise de notes par l'observateur (Van der Maren, 1996).

Entretien d'explicitation

Nous avons utilisé l'entretien d'explicitation (Vermersch, 2003) en vue d'amener les participants à non seulement s'exprimer à propos de l'activité d'apprentissage par résolution de problèmes, mais aussi expliciter davantage les actions posées lors de la situation-problème, ce qui nous a permis d'approfondir l'analyse de ces actions et de confirmer nos observations. Cet instrument dont la finalité poursuivie est de décrire et d'élucider ce qui s'est passé, tel que cela s'est passé dans l'action (Martinez, 1997), « s'applique particulièrement bien à toutes les études de cas qui se déroulent auprès de quelques élèves ou enseignants » (Thouin, 2014, p. 140). La validation de l'instrument s'articule autour de deux axes: « un axe de validation interne [...], un axe de validation externe: par triangulation. Il s'agit de confronter et d'articuler les données obtenues dans l'entretien d'explicitation avec des traces observables et publiques comme l'enregistrement en vidéo du moment correspondant » (Martinez, p. 7). Un guide d'entrevue (voir Annexe L) a servi de support pour conduire les entretiens (entrevues).

Questionnaires préliminaires aux parents/tuteurs et aux élèves

Nous avons recueilli auprès des parents/tuteurs et de leurs enfants des informations générales (voir Annexe M et Annexe N, respectivement): le lieu d'origine sur le continent africain, les conditions de vie familiale et de parcours migratoire, etc. Ces données nous ont permis d'avoir une compréhension plus approfondie des apprentissages de l'élève ASSI en contexte ontarien.

Journal de bord de la chercheure

Les entrées du journal de bord de la chercheure documentant « ses biais, suppositions et préconceptions » (Lincoln et Guba, 1985, cités dans Thouin, 2014, p. 154) ont été prises en compte lors de l'analyse pour assurer une meilleure fiabilité à notre étude. Les notes entrées lors des séances de test de connectivité, des observations et entrevues relataient nos commentaires et

impressions et ont grandement aidé à la compréhension et à la mise en contexte de certains faits observés pertinents à l'analyse.

Supports des instruments

Comme supports pour ces instruments, nous avons utilisé les fichiers de sauvegarde des enregistrements audio et vidéo de la plateforme de rencontre virtuelle Teams et la caméra de téléphone portable de la chercheure pour enregistrer et filmer le travail des dyades. Les captures d'écran que nous en avons tirées se sont focalisées uniquement sur les traces du travail des élèves et non pas sur leurs visages.

8. Le déroulement de la collecte de données

La collecte de donnée s'est déroulée suivant la chronologie ci-après. Elle comportait trois séances: deux séances d'activités ((la situation d'apprentissage) = la séance brise-glace et initiation au logiciel + la séance de résolution du problème) et une séance destinée aux entrevues d'explicitation.

Déroulement chronologique

Dans un premier temps, la connectivité est simulée avec le concours des enfants de la chercheure, munis chacun de son propre ordinateur, pour tester: la connexion à la plateforme Teams, l'adéquation de la bande passante du réseau Wi-Fi au domicile de la chercheure, lieu de départ de la collecte, la performance de l'ordinateur fraîchement acheté pour l'occasion et, par-là, sa capacité à soutenir efficacement la tenue et l'enregistrement d'une demi-journée de session d'activités tout entière.

Dans un deuxième temps, les enfants participant à l'étude reçoivent individuellement, *via* l'adresse courriel du parent, une invitation à rejoindre la chercheure sur la plateforme pour effectuer ces mêmes tests de connectivité en vue de la collecte de données proprement dite. Ces séances de tests de connectivité étaient en même temps l'occasion pour la chercheure de se faire connaître des enfants et d'établir un lien de confiance avec eux. Les tests effectués donnent un résultat satisfaisant; même que celui fait avec Marc permet de détecter un problème de son avec son ordinateur et donne ainsi l'occasion de le régler grâce à une participation active d'un Marc très enthousiaste. Seul le test avec Brielle n'a pas été effectué, en raison du manque de temps évoqué par son parent. Ces séances de tests offrent également le moyen de recueillir les disponibilités horaires de chaque élève ASSI participant afin de fixer les rendez-vous pour les sessions

d'activités, pour la collecte de données proprement dite. Il est finalement retenu de tenir les sessions le week-end, le samedi pour rencontrer la première dyade et le dimanche pour la deuxième, deux rencontres qui se succèdent immédiatement l'une après l'autre pour assurer l'uniformité de la collecte.

Dans un troisième temps, le protocole de recherche, préalablement validé par un comité de thèse composé de deux professeurs en didactique des mathématiques et d'une professeure en didactique des langues secondes, est administré aux enfants de l'étudiante-chercheure, à qui il est de nouveau demandé le concours pour effectuer l'étude pilote, car eux-mêmes originaires de l'Afrique subsaharienne et immigrés au Canada au niveau scolaire primaire. De cette démarche découlent des remarques très constructives prises en compte dans la conduite de l'étude. Par exemple, ils expriment leurs inquiétudes quant à la durée de la session d'activités qu'ils trouvent longue pour des enfants de l'âge de nos participants. Yolande et son parent ont eux aussi exprimé les mêmes inquiétudes, lors de leur séance de test de connectivité et de prise de rendez-vous; d'autant plus que Yolande prévoyait avoir une semaine d'avant collecte assez chargée avec son école, avec deux examens à la clé. Tenant compte de l'expression de ces inquiétudes, des ajustements sont faits quant aux meilleurs moments de la collecte pour, d'une part tenir les entrevues post-séance d'activité de résolution de problème, quitte à laisser le choix de ces moments-là aux élèves participants, d'autre part prendre les pauses revigorantes entre les séances d'activités, moments également laissés à la discrétion de ces derniers. L'élève a ainsi le choix de donner son entrevue au moment qui lui convient, soit immédiatement après la fin des séances d'activités de la demi-journée, soit le jour d'après au plus tard, pour favoriser l'évocation. Tous les élèves prennent le premier choix, excepté Joachim qui, lui, accorde l'entrevue le jour suivant la session à laquelle il a pris part.

Finalement, l'occasion est donnée d'observer en deux demi-journées consécutives le travail des dyades durant les deux séances d'activités puis de mener les entrevues auprès des élèves ASSI participants. Au fil de la session, nous avons été témoins de la sympathie et la confiance que les élèves avaient envers la chercheure. Nous avons joué, toute proportion gardée, un double rôle d'enseignante et de chercheure. Le double rôle enseignante/chercheure constitue une richesse dans une démarche de recherche interprétative puisqu'elle assure une connaissance contextualisée des sujets et de l'intervention (Racine, 2009).

Outils technologiques en situation d'apprentissage

Nous présentons dans le tableau 5 ci-dessous une description succincte des activités et outils technologiques mis en place dans le dispositif d'apprentissage, le type de tâche exécutée, l'intention pédagogique et l'objectif mathématique ou technologique visé, puis nous donnons des détails de ces activités et outils dans les paragraphes suivants.

Les séances d'activités se sont tenues les 27 et 28 février 2021. Les deux dyades ont été amenées à opérer dans la même séquentielle de séances. Notons toutefois que, dû à l'intérêt à l'égard des activités et l'engagement qui s'est manifesté au sein des deux dyades, la durée de la séance de RP a, dans les deux cas, été légèrement prolongée, plus qu'initialement prévue.

Globalement, la situation d'apprentissage a permis d'observer les productions des élèves et leurs interactions, de construire différents schèmes Transformations relatifs à la tâche mathématique que les élèves avaient à résoudre à l'ordinateur.

Avant le début de l'étude, nous n'avons rien touché à la configuration du logiciel, notamment la barre d'outils; nous leur avons fourni tel quel l'applet contenant la dalle *Princesse* du problème écrit et l'agencement prédéfini des outils du logiciel.

Tableau 5. Récapitulatif des activités et outils de la situation d'apprentissage

Activité / Outil technologique	Type de tâche à exécuter	Intention pédagogique	Objectifs mathématiques ou technologiques visés
Outil Teams	Communication virtuelle	S/O	Prise en main de la messagerie, du contrôle et partage de l'affichage à l'écran
Activité brise-glace / Outil La roue	Socialisation	S/O	Prise en main de la souris et du contrôle et partage de l'affichage à l'écran
Séance d'initiation / GeoGebra	Exploration Construction	Introduire les élèves au logiciel et aux transformations géométriques instrumentées	Pas d'objectif mathématique visé Prise en main du logiciel Première tâche de construction avec le logiciel.

Séance de RP / GeoGebra	Construction	Construire des instruments de transformations géométriques	Objectif mathématique visé.
	Communication mathématique	Communiquer les solutions	Effectuer diverses transformations en utilisant le logiciel et les décrire, dans une démarche de
	Résolution de problème	Développer les habiletés de RP	résolution de problème.

Séances d'activités et entrevues

L'étude s'est tenue sur trois (3) séances consécutives, une première d'environ 30 minutes puis une deuxième et une troisième planifiées pour durer environ 60 minutes chacune. Le nombre exact de minutes n'avait pas été déterminé à l'avance pour ces deux dernières, afin de laisser aux élèves participants toute la latitude et le temps nécessaire pour tenter de résoudre le problème de géométrie et de répondre aux questions de l'entretien d'explicitation. La première séance (voir [Annexe O](#)) est une séance d'initiation sommaire au logiciel choisi, GeoGebra, elle permet la familiarisation des élèves ASSI avec le logiciel. Elle débute par une petite activité brise-glace (voir [Annexe P](#)), intitulée Wheel decide[®] (La roue), destinée à initier une relation de qualité avec la chercheuse et les élèves entre eux, afin d'assurer la qualité des échanges au cours de la session d'activités. À la fin de la séance d'initiation, on présente brièvement aux élèves le tableau « Modèle en quatre étapes de Polya » (MEO, 2006b, p. 43) de l'[Annexe E](#). Cette première séance n'avait aucune visée mathématique, étant donnés les objectifs de la recherche. La deuxième séance, de visée éminemment mathématique, nous permet de faire de l'observation participante afin d'analyser les actions posées par les élèves ASSI pour résoudre le problème de géométrie avec usage de LGD. Les incidents critiques sont également documentés lors de ces observations (p. ex., les interrogations soulevées par les élèves ASSI, les impasses, les surprises, les aides de la chercheuse). Cette activité d'apprentissage (la situation-problème, voir [Annexe Q](#)), intitulée *Transformons des diamants*, est inspirée de l'activité *Giantiles-The Princess and the Diamond-Problem* (Hähkiöniemi et al., 2016, p. 100) qui visait à amener les participants de leur étude à utiliser GeoGebra pour concevoir des dallages pour résoudre un problème. Selon ces auteurs, à l'école primaire, les dallages fournissent un bon contexte pour étudier les figures. L'activité d'apprentissage nous permettait ainsi, à la fois de rejoindre les quatre phases du modèle de

résolution de problèmes mathématiques de Pólya qui est au cœur de notre thèse, de l'adapter facilement à notre population et, parallèlement, d'inclure la dimension technologique (le LGD principalement) dont on cherchait à étudier la participation à l'apprentissage visé et la dimension collaborative. Les enfants avaient la latitude de prendre des pauses concertées à leur convenance. À la troisième séance, après les observations, des entretiens d'explicitation sont effectués, afin de mieux comprendre comment les élèves ASSI ont vécu l'activité d'apprentissage par résolution de problèmes, en revenant, par exemple, sur: « les actions qu'ils ont posées, les incidents critiques, les réflexions qu'ils se sont faites, la façon dont leurs idées ont évolué » (Thouin, 2014, p. 142).

L'activité brise-glace atteint, dans une certaine mesure, ses objectifs, car les participants déclarent tous en entrevue avoir « aimé » cette partie. Outre ses visées de point de départ de la socialisation des principaux acteurs de la collecte, les élèves entre eux, les élèves avec la chercheure, elle permet de confirmer la bonne fonctionnalité du partage mutuel du contrôle d'écran par le pointeur de la souris de chacun sur Teams. Ce faisant, un problème tactile de partage est décelé avec la connexion de Brielle qui, rappelons-le, est le seul élève participant à ne pas avoir eu l'occasion de réaliser le test de connectivité précollecte. Le temps pris à résoudre ce problème de partage d'écran, avec le soutien de son parent de son côté, influe ainsi sur la durée de la session à laquelle a pris part la dyade de Brielle et Joachim en l'étirant. Cette activité offre aussi l'occasion de leur proposer de se choisir leur alias à utiliser dans l'étude en tant que prénom fictif. Deux des élèves l'ont communiqué sur le *Chat* et deux autres ont donné « leur langue au chat » en choisissant de laisser cette tâche à la chercheure.

La séance d'initiation sommaire au logiciel permet aux enfants de se familiariser avec le plan cartésien de GeoGebra et sa barre d'outils et de s'exercer à réaliser des polygones simples et de tenter d'y apporter des transformations géométriques, par suite du modelage offert par un animateur à travers une vidéo tutoriel (Dubé, 2011). Une brève présentation par la chercheure du modèle de résolution de problème en quatre étapes de Pólya vient clôturer cette séance. À la demande générale des quatre participants, une première petite pause-santé est prise.

La séance de résolution de problème avec usage de LGD, dont la durée exacte n'avait pas été fixée à l'avance, mais dont le maximum avait initialement été approximé à une heure, a, pour les deux équipes, dépassé cette limite, en ce sens que les élèves eux-mêmes, désireux de présenter une juste résolution du problème écrit, ont demandé à la déplacer.

La séance d'entrevue, pour le cas des deux équipes, est précédée par une pause plus ou moins longue, suivant les besoins de chacun des quatre élèves participants; pour Joachim, on l'a dit, elle se tient le lendemain de la participation de son équipe à l'activité de résolution de problème. N'ayant pas décidé à l'avance sous quelle forme se tiendra l'entrevue, soit en présence des deux membres de la même équipe ou non, au vu de la timidité affichée par Marc à la séance de résolution de problème (la collecte s'est faite avec son équipe en premier), nous avons jugé plus profitable pour l'étude de conduire chaque entrevue individuellement sans la présence de coéquipier. L'entrevue de Marc se tient de son côté dans un environnement relativement calme. Pour celles de Joachim, Brielle et Yolande, il est noté un certain nombre d'interférences dans leurs environnements immédiats dues, notamment, à la proximité à leurs côtés d'autres enfants qui font du bruit ou qui, parfois, tentent carrément de participer à la discussion. Néanmoins, une écoute attentive et répétée pour tous les enregistrements récupérés de la plateforme de collaboration permet de produire des transcriptions intégrales de type *Verbatim* très fidèles de ces entrevues qui sont soumises à l'analyse. Notre plan d'analyse vient en complément de la validité des instruments de collecte de données utilisés dans l'étude.

9. Les analyses

Dans une étude de cas, la qualité de l'analyse des données dépend, en premier lieu, de la pertinence du choix des cas et des unités d'analyses (Thouin, 2014). Dans cette recherche, une analyse de contenu a été effectuée à partir des données colligées (données générales des élèves ASSI, notes prises par la chercheure principale, transcriptions textuelle et visuelle des enregistrements audio et vidéo, *Verbatim* d'entrevues avec les élèves ASSI) pour faire émerger des thèmes pertinents du cadre théorique les défis et les facilités dans le processus de résolution de problème avec utilisation de LGD. Tout d'abord, nous avons analysé la façon dont l'outil technologique est instrumentalisé à chacune des phases de RP constitutives de l'instrumentation de l'élève ASSI et les incidents critiques qui accompagnent cette genèse instrumentale; notamment, les données d'observation au sujet de chaque cas (la dyade) sont analysées en détail, tout en veillant particulièrement à faire ressortir les similitudes et les différences et les ressemblances entre les expériences des participants. Ensuite, l'analyse des données d'entrevues produit une description détaillée incluant des éléments d'interprétation.

9.1 Analyse de l'apprentissage de transformations géométriques instrumentées

L'approche instrumentale nous offre un cadre idéal pour l'« analyse de l'activité mathématique instrumentée » (Trouche, 2005a, p. 101). La finalité de cette analyse réside dans l'observation et la soutenance de la genèse instrumentale chez les apprenants. Ce choix d'analyse de données part d'une position inductive délibératoire du chercheur (Fortin et Gagnon, 2016) qui consiste à utiliser le cadre théorique comme un outil. La grille d'analyse initiale qui guide le processus d'analyse s'enrichit toutefois, dans la mesure où d'autres dimensions pertinentes pour le problème étudié ressortent des données.

9.1.1 Traitement des données d'observations

À la suite des séances d'activités, nous avons transcrit, mot à mot, la partie sonore des enregistrements vidéo et audio en textes et la partie visuelle en capture d'images afin de faire ressortir les unités de sens pertinentes à l'analyse des observations. Les notes entrées dans le journal de bord de la chercheuse relatant ses commentaires et ses impressions ont également été incluses dans les textes.

À la base, seule la séance de RP (la situation-problème) devait faire l'objet d'observations, mais pour les raisons dues à la situation pandémique évoquées plus haut, dans la section intitulée « Les contextes de déroulement de la recherche », nous avons choisi de prendre en considération les données d'observations issues de la séance d'initiation et l'épisode BG, puisque l'outil technologique intervient dans une certaine mesure dans les apprentissages des élèves. Ainsi, pour la BG et l'initiation, nous avons pu recenser des schèmes d'usage tant de La roue que de la plateforme Teams.

Néanmoins, quoique la technologie y soit présente, nous avons choisi d'ignorer les données produites par les séances de connectivités, qui auraient pu produire, elles aussi, d'intéressantes données à analyser. Rappelez-vous, Marc démontrait déjà sa familiarité avec le paramétrage de son système d'ordinateur. La raison est que, pour d'autres enfants, la séance s'est jouée avec le soutien des proches ou de la chercheuse censés être neutres. Cependant, des éléments de cette nature ont été inscrits dans les notes de la chercheuse et se sont avérés utiles pour les analyses.

En somme, séance d'initiation et BG et séance de RP ont fait l'objet d'observations systématiques à analyser.

9.1.2 Analyse des données d'observations

Tout d'abord, nous procédons à une analyse *a priori* en termes de stratégies gagnantes possibles de la situation d'apprentissage. Ces stratégies sont, par la suite, traduites en schèmes d'utilisation attendus qui servent, ultimement, à observer et soutenir la genèse instrumentale. Tous les outils technologiques qui ont servi dans la situation d'apprentissage, à savoir: Teams (pour la session tout entière), La roue (pour l'activité brise-glace), GeoGebra (pour l'initiation et pour la situation-problème), ont fait l'objet de ce recensement de schèmes *a priori*.

Ensuite, nous analysons la situation d'apprentissage dans son ensemble en termes de schèmes d'utilisation dont la construction était attendue (schèmes *a priori*) et de schèmes dont la construction s'est révélée en cours d'observation par suite de l'action des élèves (schèmes *a posteriori*). L'analyse est effectuée sous l'angle des interactions:

- les interactions verbales entre élèves ASSI au sein de l'équipe;
- les interactions avec la RP, notamment l'observance des quatre phases de Pólya: (PP1) *compréhension du problème*, (PP2) *élaboration d'un plan*, (PP3) *exécution du plan*, (PP4) *évaluation des résultats*;
- les interactions avec le LGD, à savoir les schèmes d'utilisation, les catachrèses ou détournements d'usage. Par la manipulation virtuelle des outils à l'écran, le mouvement du pointeur de la souris traduit une interaction tactile de l'utilisateur et reçoit la rétroaction visuelle du LGD en réponse à ce mouvement.

Enfin, nous croisons les phases de RP observées relatives au modèle de Pólya avec les manifestations de la construction des schèmes recensés relatives à la théorie de Trouche, afin de renseigner sur la constitution d'instruments Transformations (la genèse instrumentale des transformations géométriques) de chaque dyade et sur les habiletés de résolution de problèmes des élèves participants à l'étude.

À priori, les trois types de transformations géométriques au primaire (réflexion, translation, rotation) seraient autant d'instruments Transformations construits par les élèves au cours de la genèse instrumentale. Cependant, il n'est pas exclu qu'on assiste à la construction de nouveaux instruments au fil du déploiement de leurs stratégies de résolution du problème.

9.1.2.1 Analyse *a priori* de la situation d'apprentissage

Du fait des contraintes et des potentialités de l'outil, processus de conceptualisation et processus de construction des instruments s'articulent au sein d'« une dialectique du contrôle de l'individu et de la préstructuration de son action et de sa pensée par l'outil » (Trouche, 2005a, p. 99). Dès lors, pour réaliser leurs dallages, les élèves ASSI doivent respecter certaines règles dictées par le logiciel. Par suite de l'étude des fonctionnalités visées, eu égard aux contraintes et potentialités du logiciel GeoGebra, nous présentons, ci-après, les instruments Transformations attendus, les schèmes d'action instrumentée dont ils découlent par le biais de stratégies gagnantes possibles et leurs schèmes d'usage corrélés pour la réalisation de la tâche proposée.

9.1.2.1.1 Les instruments Transformations attendus

Les concepts mathématiques que nous proposons de faire acquérir ou consolider aux élèves sont ceux liés aux trois transformations géométriques au programme au primaire, à savoir: la réflexion, la translation et la rotation. L'appropriation de ces transformations en géométrie dynamique donne lieu, à priori, à la construction de divers instruments Transformations, respectivement: « Réflexion pour daller », « Translation pour daller », « Rotation pour daller », y compris l'instrument « Mesure d'angle de rotation ». Dans l'activité de RP que nous proposons aux élèves, l'instrument « Mesure d'angle de rotation » pourrait être/est un prérequis à la rotation, dans la mesure où les élèves doivent connaître puis indiquer au logiciel la valeur de l'angle de rotation. En fin de compte, l'obtention d'une construction géométrique qui respecte les propriétés du dallage reviendrait à la construction de l'instrument « Dallage ».

9.1.2.1.2 Analyse en termes de stratégies de transformations gagnantes

Pour chaque transformation géométrique, nous présentons une stratégie gagnante possible que pourraient utiliser les élèves pour produire une dalle: par réflexion, par translation, par rotation. Ensuite, les stratégies sont caractérisées en termes de schèmes d'utilisation relatifs aux Transformations, nous permettant subséquentement d'analyser finement les actions des élèves.

Les stratégies gagnantes suivantes pourraient être observées chez les élèves.

Stratégie gagnante par réflexion

La stratégie consiste à d'abord sélectionner l'icône *Symétrie axiale* de la boîte d'outils du logiciel, puis à sélectionner l'objet à transformer et ensuite faire son choix de l'axe de symétrie, un segment

de droite. Cette stratégie donne lieu à l'observation de la technique instrumentée *transformer par réflexion pour daller*.

Stratégie gagnante par translation

La stratégie consiste à d'abord sélectionner l'icône *Translation* de la boîte d'outils du logiciel, puis à sélectionner l'objet à transformer et ensuite faire son choix de direction et grandeur de la translation. Cette stratégie donne lieu à l'observation de la technique instrumentée *transformer par translation pour daller*.

Stratégie gagnante par rotation

Comme mentionné plus haut, un prérequis à la rotation est de connaître la valeur de l'angle de la rotation. Une stratégie gagnante par rotation consisterait donc à d'abord obtenir la valeur de l'angle (voir ci-dessous la stratégie gagnante pour mesurer l'angle de rotation). Ensuite, on sélectionne l'icône *Rotation* de la boîte d'outils du logiciel, puis l'objet à transformer, on fait son choix du centre de la rotation, on entre la valeur de l'angle de la rotation et enfin on fait son choix du sens de la rotation. Cette stratégie donne lieu à l'observance de la technique instrumentée *transformer par rotation pour daller*.

Stratégie gagnante pour mesurer l'angle de rotation

La valeur de l'angle de rotation peut être obtenue par mesure d'un angle ou par calcul déductif de la mesure d'un autre angle. Pour mesurer un angle dans GeoGebra, une stratégie gagnante consisterait à d'abord sélectionner l'icône *Angle* de la boîte d'outils du logiciel, puis de sélectionner les deux segments de droites qui forment l'angle à mesurer. Ce faisant, le logiciel affiche la valeur. Cette stratégie donne lieu à l'observance de la technique instrumentée *mesurer/calculer l'angle de rotation*.

9.1.2.1.3 Schèmes d'utilisation *a priori*

Comme premier niveau d'analyse, nous avons identifié des schèmes d'utilisation attendus. Ces schèmes ont été recensés par suite de l'exploration préexpérimentale des outils technologiques. Nous nommons et récapitulons, ci-dessous, les schèmes d'action instrumentée *a priori*, en précisant, pour chaque schème, les schèmes d'usage qui constituent les observables de la technique instrumentée dont il est la représentation. Nous présentons également les schèmes d'usage singuliers directement liés à l'usage des outils technologiques.

Teams

les schèmes sociaux suivants, préconstruits dans l'artefact:

- schème d'usage « chatter »
- schème d'usage « présenter/partager son écran »
- schème d'usage « donner/reprendre/demander le contrôle »

La roue

- schème d'action instrumentée « tourner la roue »
 - schème d'usage « effacé des mots précédents »
 - schème d'usage « sélection bouton commande Apply Wheel Changes »
 - schème d'usage « tour de la roue »

GeoGebra - pour la séance d'initiation au logiciel

- schème d'action instrumentée « construire un polygone »
 - schème d'usage « sélection outil polygone »
 - schème d'usage « tracé des points »
 - schème d'usage « tracé des droites »

les schèmes d'usage singuliers suivants:

- schème d'usage « configurer le plan cartésien »
- schème d'usage « effacer une construction en cours »

le schème social suivant, préconstruit dans l'artefact:

- schème d'usage « affichage de l'aide »

Les trois schèmes d'action instrumentée attendus suivants sont constitués des mêmes schèmes d'usage que les schèmes d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller », « transformer par translation pour daller » et « transformer par rotation pour daller » ci-après, respectivement. Toutefois, la visée mathématique de ces derniers est l'obtention d'un dallage par transformations géométriques; par contre, le but de la séance d'initiation est uniquement de s'exercer à effectuer des transformations instrumentées avant la séance de RP et non de procéder à un dallage proprement dit.

- schème d'action instrumentée « transformer par réflexion »
- schème d'action instrumentée « transformer par translation »
- schème d'action instrumentée « transformer par rotation »

GeoGebra - pour la séance d'activité de RP

- schème d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller »
 - schème d'usage « sélection outil symétrie axiale »
 - schème d'usage « sélection objet à transformer »
 - schème d'usage « choix axe de symétrie »
- schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller »
 - schème d'usage « sélection outil translation »
 - schème d'usage « sélection objet à transformer »
 - schème d'usage « choix direction et grandeur de translation »
- schème d'action instrumentée « transformer par rotation pour daller »
 - schème d'usage « sélection outil rotation »
 - schème d'usage « sélection objet à transformer »
 - schème d'usage « choix centre de rotation »
 - schème d'usage « entrée valeur angle de rotation »
 - schème d'usage « choix sens de rotation »
- schème d'action instrumentée « mesurer/calculer l'angle de rotation »
 - schème d'usage « sélection outil angle »
 - schème d'usage « sélection angle à mesurer »

Il est à noter que le schème d'usage « sélection objet à transformer » est essentiellement présent dans tous, ce que nous appelons par, les *schèmes d'action Transformations*: « transformer par réflexion pour daller », « transformer par translation pour daller », « transformer par rotation pour daller ».

Nous distinguons ces schèmes obtenus, *a priori*, par suite de l'exploration des outils technologiques, dont la construction est attendue, des schèmes, complémentaires, obtenus, *a posteriori*, par suite des actions des élèves ASSI, de construction empirique.

9.1.2.2 Analyse de la situation d'apprentissage en termes de schèmes d'utilisation

L'étude des schèmes d'utilisation permettrait, selon Trouche (2005a), de repérer le processus de construction des instruments. En fait, l'étude des schèmes d'usage et des schèmes d'action instrumentée revient à étudier, au-delà des gestes et des techniques, leurs fonctions heuristiques, pragmatiques, épistémiques.

Nous sommes consciente qu'une étude plus poussée des schèmes d'utilisation à travers leurs fonctions heuristiques, pragmatiques, épistémiques aurait pu être réalisée afin de porter des précisions sur la dimension invariante de l'organisation de l'activité. Le temps alloué dans le cadre du programme de maîtrise n'aurait pas été suffisant pour conduire avec efficacité une telle étude. Il aurait fallu pouvoir observer les cas sur une période plus longue, un trimestre par exemple. Pour la présente étude, le rôle joué par le LGD dans l'apprentissage par RP des élèves et les propos de ces derniers sur cet apprentissage sont au cœur de nos investigations.

Néanmoins, nous nous sommes appuyée sur les diverses dualités énoncées dans la théorie de Trouche pour analyser les données de la session d'activités présentée aux élèves ASSI. Rappelons que la situation d'apprentissage comprenait deux séances: une séance d'initiation au LGD (l'initiation) et une séance de RP avec LGD (la situation-problème). Les outils technologiques Teams et GeoGebra utilisés durant ces séances ont tous deux été considérés dans notre analyse en termes de schèmes.

De ce deuxième niveau d'analyse, en termes de schèmes, nous avons identifié dans l'observation de la situation d'apprentissage certains des schèmes d'utilisation attendus, décrits ci-dessus, et d'autres construits *a posteriori*.

9.1.2.2.1 Schèmes d'utilisation *a posteriori*

Ces schèmes *a posteriori*, empiriques, ont été recensés par suite de l'action des élèves participants et sont explicités dans les genèses instrumentales des élèves. Ce sont les suivants.

le schème d'action instrumentée suivant:

- **schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle »**

le schème d'usage suivant:

- **schème d'usage « dédoublement de la dalle »**

les catachrèses/détournements suivants:

- **schème d'usage « recopiage de la dalle »**
- **schème d'usage « usage ludique des outils du logiciel »**

le schème social suivant, préconstruit dans l'artefact:

- **schème d'usage « affichage de l'aide détaillée »**

9.1.2.2.2 Les instruments empiriques

La genèse instrumentale des deux dyades a permis d'observer la constitution de certains des instruments attendus, mais également la constitution d'instruments *a posteriori*, les suivants:

- « Déplacement pour ajuster », instrument défini par le schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle »;
- « Construction de polygone », instrument défini par le schème d'action instrumentée « construire un polygone ».

9.1.2.2.3 Analyse de la situation-problème

En addition à une analyse des données de la séance d'initiation au logiciel, nous effectuons l'analyse de la situation-problème. L'activité de résolution de problème proposée a, en soi, des visées mathématiques. La finalité mathématique de la tâche réside dans le fait qu'elle veut amener les élèves ASSI à consolider leurs connaissances des transformations géométriques et à développer leurs habiletés spatiales et leurs habiletés en RP.

La situation-problème comportait deux étapes: une étape de construction, dans laquelle le but est d'utiliser les outils du logiciel pour obtenir directement des images de la dalle *Princesse* par une ou plusieurs transformations géométriques et une étape de description, dans laquelle le but est de caractériser chaque transformation obtenue.

L'étape de construction est analysée en termes de schèmes mobilisés ou construits par l'action des élèves. Les éléments de description des caractéristiques des transformations prévus à l'étape de description sont résumés dans le tableau de l'Annexe R (cf. MEO, 2006d, p. 36). Aussi, voir la figure de l'Annexe S (cf. MEO, 2006d, p. 37), pour des exemples de translation (de direction (4D,4B): 4 unités vers la droite (symbole: lettre D), 4 unités vers le bas (symbole: lettre B)), de réflexion et de rotation; pour chacune de ces transformations, le point A est un point sur la figure initiale, le point A' est le point correspondant au point A sur l'image obtenue par suite de la transformation. Les élèves pourraient, bien entendu, vouloir faire des allers-retours entre ces deux étapes: construire une image et la décrire puis construire une suivante et la décrire, ainsi de suite, ou vouloir construire quelques dalles de la construction avant de décrire chacune des transformations opérées. Qu'elles soient linéaires ou itératives, on devait pouvoir déceler dans le déroulement de ces deux étapes de construction et description la manifestation de leurs habiletés de résolution de problèmes par l'observance des quatre phases de RP de Pólya. Ainsi, la situation-

problème est analysée en termes de schèmes d'utilisation dans un premier temps et en termes de phases de RP dans un deuxième temps.

9.1.2.3 Croisement des données issues des théories (Pólya et Trouche)

Dans cette analyse, nous avons poursuivi notre investigation des données d'observation, par le croisement des phases de RP relatives au modèle de Pólya avec l'évolution de la construction de schèmes d'utilisation de la théorie de Trouche mobilisés par les élèves ASSI, afin de décrire les genèses instrumentales des deux dyades à chaque phase.

9.2 Analyse de l'habileté en RP et des propos sur l'activité

Pour rendre compte de l'habileté en résolution de problèmes et des propos des élèves ASSI, nous avons choisi d'adopter une démarche d'analyse structurée dans laquelle les catégories sont prédéterminées. L'analyse porte, d'une part sur les données de la séance d'apprentissage par RP avec usage de LGD, à savoir la situation-problème, d'autre part sur les données d'entrevues, tant la première partie, celle d'explicitation des quatre phases de Pólya par les élèves ASSI, que la deuxième partie, celle portant sur leurs propos. L'analyse de l'habileté en résolution de problèmes part d'une catégorisation prédéfinie liée aux quatre phases de Pólya (PP1, PP2, PP3, PP4).

9.2.1 Traitement des données d'entrevues d'explicitation

À la suite des séances d'entrevues, les données recueillies de la partie sonore des enregistrements vidéo et audio de la plateforme de communication Teams ont tout d'abord fait l'objet de transcription de type *Verbatim*, sous forme de texte (voir la légende de la transcription à l'Annexe T) afin de faire ressortir les unités de sens pertinentes à l'analyse des entrevues. Les notes du journal de la chercheuse relatant ses commentaires et ses impressions ont également été incluses dans le texte. Ensuite, le modèle de Pólya ayant guidé l'élaboration du guide d'entrevue de l'élève a fourni les catégories prédéfinies d'analyse des données relatives aux habiletés en résolution de problèmes. Une lecture et plusieurs relectures ont permis de dégager de nouvelles catégories relatives aux habiletés en RP et aux propos des enfants sur leur apprentissage en contexte.

9.2.2 Analyse des données d'entrevues d'explicitation

Nous l'avons dit, l'analyse de l'habileté en résolution de problèmes est imbriquée dans les analyses des observations et les analyses des entrevues. En effet, dans l'analyse de l'apprentissage de transformations géométriques instrumentées, nous avons non seulement procédé à l'analyse en

termes de schèmes, mais aussi à celles des phases de RP observés. De plus, dans les propos tenus par les élèves ASSI lors des entrevues d'explicitation, nous avons pu déceler des manifestations de phases de RP observées; le propre de l'entretien d'explicitation étant de confronter les données qu'il produit avec les données d'observation: l'enfant parle de ce qu'il a fait dans la situation d'apprentissage en se rappelant cette dernière. De surcroît, nous avons analysé les propos des enfants quant à l'activité d'apprentissage. En plus des catégories attendues, des catégories émergentes sont formulées en cours d'analyse afin de tenir compte des éléments nouveaux qui provenaient des données d'entrevues.

Le *Verbatim* de chaque entrevue est analysé en tenant compte de deux aspects: l'aspect social relatif aux propos de l'enfant sur ses apprentissages (et de ses interactions avec son coéquipier) et l'aspect cognitif relatif au développement de ses habiletés de résolution de problèmes en milieu technologique (de ses interactions avec la RP et avec le LGD).

Rappelons-le, nous nous intéressons au développement de la connaissance en situation de RP avec usage de TIC chez les élèves ASSI et, plus particulièrement, à l'expérience vécue et leurs propos à l'égard de l'utilisation de logiciel dans leurs apprentissages en mathématiques.

10. Le contrôle de la qualité de recherche

Karsenti et Savoie-Zajc (2004) précisent que la duplication ou la triangulation méthodologique sont des approches couramment utilisées pour assurer un contrôle de qualité dans l'étude de cas. Il existe diverses stratégies de triangulation (Fortin et Gagnon, 2016). Pour cette étude, l'observation participante, l'entretien d'explicitation et les questionnaires préliminaires adressés aux participants sont les trois méthodes de collecte de données utilisées afin d'assurer la validité interne de la recherche. Les instruments de collecte de données ainsi que le protocole de recherche ont été validés par des experts en didactique des mathématiques et en didactique des langues secondes, puis une étude pilote a été menée, auprès d'enfants non participants à l'étude, eux-mêmes originaires de l'Afrique subsaharienne et immigrés au Canada au niveau scolaire primaire, avant de l'administrer à notre population. Le nombre (quatre) d'élèves ASSI sélectionnés pour cette recherche a permis d'assurer une certaine représentativité des participants. La validation externe a été obtenue par l'interprétation des résultats d'analyses suivant divers cadres théoriques. Nous avons en effet eu recours, pour cette étude, non seulement à la triangulation des méthodes décrite ci-dessus, mais aussi à la triangulation des théories: l'approche socioconstructiviste de Vygotsky,

la théorie instrumentale de Trouche et le modèle de résolution de problème de mathématiques de Pólya ont tous été mis à contribution dans nos analyses. En complément de la validité des instruments de collecte de données, nous avons établi et suivi un plan d'analyse.

Les entrées du journal de bord de la chercheuse ont été prises en compte lors de l'analyse pour assurer une meilleure fiabilité à notre étude.

La crédibilité de résultats d'observations a été vérifiée en entrevue et en cours d'analyse.

Nous avons veillé à assurer l'uniformité de la collecte et toutes les données recueillies ont été mises en réseau permettant à la recherche de déboucher sur un portrait cohérent.

Le respect de tous ces critères de rigueur scientifique nous a permis d'assurer la qualité de l'étude.

RÉSULTATS

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des analyses de cette étude. Fortin et Gagnon (2016, p. 175) rappellent que « les résultats d’une étude doivent être associés au cadre de recherche ». En liant les résultats concrets aux idées abstraites de la théorie, on contribue d’une certaine façon à l’accroissement des connaissances sur le sujet étudié.

Les résultats analytiques suivants ont été considérés dans la présentation:

- la genèse instrumentale de transformations géométriques: ils concernent les données issues des séances d’initiation et de RP;
- les habiletés de résolution de problèmes: ils concernent les données issues des séances de RP et d’entrevues;
- le croisement des données observées: ils concernent le croisement des données relatives aux concepts des théories de Pólya et Trouche;
- les propos des élèves ASSI: ils concernent les données issues des séances d’entrevues.

Dans un premier temps, nous présentons les résultats d’observations croisées de la construction d’instruments Transformations et du développement des habiletés de résolution de problèmes constatées durant la situation d’apprentissage (Initiation et RP), afin de rendre compte de la genèse instrumentale des deux dyades en processus de résolution du problème.

Dans un deuxième temps, nous présentons les résultats d’entrevues d’explicitation des phases de RP observées chez les dyades et de leurs propos sur l’apprentissage par résolution de problèmes mathématiques intégrant un LGD.

1. Les résultats d’observations

Dans le but de décrire la genèse instrumentale observée en processus de constitution d’instruments Transformations par RP chez les élèves ASSI, nous avons procédé à l’analyse croisée, relativement aux théories de Pólya et Trouche, des données d’observations recueillies. Dans cette section, nous présentons les résultats de cette analyse. Un tableau récapitulatif est proposé à la fin de la section (voir Tableau 6, dans la sous-section « 1.2 Bilan des résultats d’observations » du présent chapitre).

Dans le croisement des données d'observance des phases de RP par les dyades d'élèves ASSI avec les schèmes construits suivant leurs interactions avec le logiciel, notre constatation première est qu'on recense des schèmes dans chacune des phases de RP.

À la phase 1 de Pólya (PP1) *compréhension du problème*, les schèmes construits sont ceux relatifs à l'usage de Teams (« présenter/partager son écran », « donner/reprendre/demander le contrôle ») principalement. Cela s'explique par le fait que durant cette phase, les élèves ont eu besoin d'afficher l'énoncé du problème écrit sur leur écran pour l'explorer et tenter de comprendre ou y revenir pour avoir des précisions ou encore attribuer le contrôle à l'un ou l'autre et même parfois à la chercheuse qui agissait en tant qu'utilisateur plus expérimenté durant des épisodes d'incidents critiques dans lesquelles elle intervenait pour faire le modelage. Outre ces schèmes sociaux de Teams, nous avons noté la mobilisation du schème d'usage « configurer le plan cartésien » (le plan de GeoGebra). Ce schème sera utilisé en outrance par la dyade 1 formée de Marc et Yolande tout le long de la séance, le plus souvent par Marc. En fait, ce schème a été mobilisé à toutes les phases de RP, excepté à la phase 2 de Pólya (PP2) *élaboration d'un plan*, durant laquelle, comme nous allons le voir ci-dessous, son utilité n'est pas montrée avérée. Mais encore, puisque la dyade 2 formée de Brielle et Joachim avait directement commencé à manipuler les objets de GeoGebra avant même d'avoir pris le temps de compléter leur compréhension du problème posé, des schèmes de nature opérationnelle tels que les schèmes d'usage « effacer une construction en cours » et « dédoublement de la dalle » et le schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle » ont été mobilisés durant cette phase 1 (PP1). Le schème d'usage « dédoublement de la dalle » avait été initié grâce aux tâtonnements effectués par Brielle. Dans ces conditions, force est de constater l'aube de la genèse instrumentale de Transformations de Brielle et Joachim à cette phase, contrairement à la genèse instrumentale de Transformations de Marc et Yolande qui, elle, n'a débuté structurellement qu'en phase 2 (PP2).

La phase 2 de Pólya (PP2) *élaboration d'un plan* marque le début de la genèse instrumentale de Transformations de la dyade 1. En effet, un début de construction du schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle » a été identifié et aussi des schèmes d'usage de sélection des outils *Transformations* du logiciel (« sélection outil rotation », « sélection outil symétrie axiale », « sélection outil translation ») ont été construits. La présence des schèmes de sélection à cette phase s'explique par le fait que, que les élèves en fussent conscients ou non, qu'ils l'eussent annoncé à voix haute ou non, la simple sélection de l'option de menu

Transformations trahissait la stratégie de transformation qu'ils s'apprêtaient à mettre à exécution. Le début de construction du schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle » s'est, quant à lui, manifesté lorsque Yolande a choisi de « séparer un peu plus » la figure initiale de son image, obtenue à la suite d'une première rotation dont la valeur d'angle entrée n'était pas adéquate, dans le but de « mettre un autre au milieu », selon elle. Plusieurs tentatives de Brielle de retrouver le geste de dédoublement se sont finalement soldées par un succès, confirmant ainsi la mobilisation du schème d'usage « dédoublement de la dalle » chez la dyade 2. Le schème d'usage « affichage de l'aide » s'est manifesté quand Joachim s'est rappelé la gestuelle pour obtenir la boîte de dialogue de l'aide de la translation vue en initiation. Ce schème n'a pas pu être construit chez Marc et Yolande, la déficience technique d'affichage de l'aide contextuelle n'ayant probablement pas aidé. Il est intéressant de noter que ce schème s'obtient par jumelage, en un seul clic appuyé sur l'icône de l'outil, avec le schème de sélection dudit outil. Ainsi, dans cette phase, nous avons pu relever le jumelage du schème « affichage de l'aide » avec le schème d'usage « sélection outil translation » puis avec le schème d'usage « sélection outil rotation ». Mis à part ces schèmes cités ci-haut, nul autre n'a été construit durant la phase.

La phase 3 de Pólya (PP3) *exécution du plan* a été le théâtre de la construction d'instruments par la dyade 1, à travers « l'émergence et à l'évolution des schèmes » (Trouche, 2005a, p. 101) pour la réalisation de la tâche assignée. Dans une première tentative de construction de l'instrument « Rotation pour daller », Yolande a, dans un premier essai, démontré une technique sans faille dans la succession de gestes posés pour atteindre son but, mais n'ayant pas entré une valeur d'angle de rotation adéquate, le dallage ne s'est pas réalisé, pas de construction d'instrument « Dallage » donc. En revanche, dans les essais subséquents, la difficulté de se rappeler l'ordre de sélection de l'objet à transformer menait la dyade à l'invalidation de ses constructions. Néanmoins, une évolution a été notée dans la technique puisque les coéquipiers ont commencé à mieux porter attention au choix du sens de la rotation. S'en est suivi un début de tentative de construction de l'instrument « Réflexion pour daller », par recopiage manuel de la dalle, avortée. Toutefois, elle met en œuvre un détournement d'usage, une catachrèse, et pose le schème d'usage « recopiage de la dalle ». Cependant, la stratégie est très vite abandonnée au profit d'une tentative de construction de l'instrument « Translation pour daller ». La difficulté du choix de la direction et grandeur de flèche de translation eût raison de cette dernière et permit plutôt de voir évoluer le schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle », cette fois-ci non pas pour « mettre un

autre au milieu » par transformation géométrique, mais par un glissement (*dragging*) de la figure, une potentialité du logiciel dont la dyade venait de faire la découverte et dont la construction du schème d'usage « dédoublement de la dalle » est l'initiatrice. Ensuite, retour à la stratégie de rotation pour réaliser le dallage, de nouveau abandonnée du fait de la non-activation du schème d'action instrumentée « mesurer/calculer l'angle de rotation », un prérequis à une stratégie de rotation gagnante, et aussi du fait du manque de développement du schème d'usage « sélection objet à transformer ». Néanmoins, malgré la difficulté de sélectionner dans l'ordre ou de se rappeler de sélectionner l'objet à transformer en rotation, la dyade confirme, dans la foulée, le schème « sélection objet à transformer » en translation, sans toutefois réussir à construire l'instrument « Translation pour daller ». S'en suit une autre manifestation du schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle » par *dragging* puis une nette évolution dans la construction de l'instrument « Rotation pour daller », soit du schème d'action instrumentée « transformer par rotation pour daller ». Poursuivant leur objectif de réaliser un dallage, leur stratégie change en réflexion, mais le choix de l'axe de symétrie leur pose un problème. Après modelage fait par la chercheuse, les coéquipiers parviennent rapidement à poser puis confirmer le schème d'usage « choix axe de symétrie » et ensuite affiner leur technique de construction par réflexion. Par la suite, ils tentent de nouveau une stratégie de translation, encore abandonnée au profit d'une nouvelle occurrence d'ajustement de la dalle, du fait toujours de la difficulté du choix de la direction et grandeur de flèche de translation. Cependant, dans une ultime tentative de daller par translation, le schème d'usage « choix direction et grandeur de translation » se confirme et marque l'évolution dans la construction de l'instrument « Translation pour daller ». En ce qui concerne la dyade 2, la pose confirmée du schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle » ayant pour origine le schème d'usage « dédoublement de la dalle » a eu pour résultat la construction de l'instrument « Déplacement pour ajuster ». Par la suite, la tentative avortée d'effectuer une translation n'a pas donné lieu à un instrument attendu. Ensuite, la démarche de construction de l'instrument « Rotation pour daller » s'est effectuée non sans heurts en raison de l'oubli fréquent ou le manque de spontanéité chez la dyade de sélectionner l'objet à transformer ou de choix inadéquat du centre de la rotation ou même encore de manque d'attention portée au choix du sens de la rotation, quoiqu'ayant eu le bénéfice de l'affichage de l'aide détaillée du logiciel, contrairement à la dyade 1. Aussi, nous notons l'absence de construction de l'instrument « Mesure d'angle de rotation » par les deux dyades, quoique modelée pour eux par la

chercheure, instrument qui aurait grandement aidé dans la construction de l'instrument « Rotation pour daller ».

À la phase 4 de Pólya (PP4) *évaluation des résultats*, plusieurs constructions du schème d'usage « effacer une construction en cours » ont été relevées, essentiellement. À ce stade de RP, il s'agissait pour les dyades d'examiner la construction géométrique obtenue et de la valider ou l'invalidier. Dans les cas d'invalidation desdites constructions, nous avons noté que les coéquipiers avaient tendance à retourner à la position initiale de la dalle *Princesse* en effaçant les traces de la construction jugée erronée, notamment par des touches répétées sur l'icône *Back*, d'où la manifestation prononcée de ce schème d'usage à cette phase.

Dans la sous-section ci-après, nous donnons plus de détail, soutenu par des exemples, de l'évolution au sein des processus d'instrumentation et d'instrumentalisation (les genèses instrumentales) observée en séance d'initiation et en séance de RP chez les dyades.

1.1 Genèses instrumentales des dyades

La séance de RP est précédée par la séance d'initiation, avec activité brise-glace, durant laquelle les dyades d'élèves ASSI se voient offrir de visionner une vidéo d'initiation, ensuite de s'exercer à utiliser les outils du logiciel.

1.1.1 Séance d'initiation

L'éloignement que constitue cette session d'apprentissage en ligne pouvant immanquablement influencer sur le déroulement de celle-ci, l'objectif de l'activité brise-glace était, non seulement, comme son nom l'indique, d'établir le contact entre les élèves participants afin que la glace soit rompue vu que c'est la première fois qu'ils étaient mis en contact, d'apprendre à se connaître, mais aussi de s'assurer de la fonctionnalité opérationnelle du dispositif d'apprentissage mis en place.

Brielle: Et la matière préférée que j'aime c'est des maths

Nous remarquons d'entrée de jeu que les dyades d'élèves ASSI sont familières avec le vocabulaire bureautique, technologique au sens large, et la façon de l'appliquer, tels que: « scroller », cliquer, demander le contrôle, *chat*, éditeur de texte, connecter, ouvrir/fermer micro, souris, barre d'outils, logiciel, etc.

Dès les premières minutes, leurs gestes amorcent la construction attendue des schèmes sociaux présents dans l'outil Teams et dans l'outil La roue.

Chercheure: Cette activité [cf. Brise-glace: La roue et le jeu des « deux mensonges, une vérité »] me permet en même temps de voir si vous êtes capable de jouer sur mon écran, de vous donner le contrôle, ainsi de suite.

La dyade parvient à faire fonctionner la roue spontanément. L'entrée des mots démontre sa connaissance de l'utilisation du clavier de l'ordinateur et de sa capacité de manipulation de sa souris. La chercheure en avait pris note lors des tests de connectivité préexpérimentaux; Marc, par exemple, avait démontré des connaissances technologiques assez remarquées.

Avant de mettre la vidéo de présentation du logiciel GeoGebra, la chercheure interroge la dyade sur ses connaissances antérieures des transformations.

Brielle: Oui. Moi, je suis allée jusqu'à Rotation.

Joachim: J'ai juste- J'ai juste vu la réflexion, mais un tout petit peu.

Chercheure: OK, pas de- Tu n'as pas vu la translation?

Joachim: Euh. Non, juste la réflexion. Et un tout petit peu.

Cette information que Joachim nous partage, selon laquelle il n'a étudié que le concept de réflexion à ce jour en classe est intéressante, en ce sens qu'elle nous permettra de voir, à l'issue de la session, s'il démontre la consolidation de ce concept à l'usage d'un LGD et surtout de voir, s'il y a lieu, sa construction d'autres instruments Transformations.

Dans la vidéo d'initiation, un animateur montre comment configurer le plan cartésien sur GeoGebra, avec les axes des x et y et la grille du plan. Il montre ensuite comment créer un polygone, un triangle en l'occurrence. Puis il montre comment faire subir des transformations géométriques à son triangle. Pour la translation, il montre comment construire la flèche de la translation, en s'appuyant sur la grille du plan comme repère, puis effectue la translation. Il précise que la figure image et la figure initiale sont intrinsèquement liées, si on bouge l'une, l'autre la suit dans la même direction. Puis il montre comment effacer, point par point, les points de la flèche créée et de la figure image. Pour la rotation, il montre la démarche à faire: création du point centre de la rotation, puis entrée de la valeur de l'angle de rotation et choix du polygone à tourner, son triangle précédemment créé. Puis il montre une autre façon d'effacer les objets créés, en les sélectionnant avec sa souris puis un appui sur la touche *Supprimer* du clavier. Pour la réflexion, ou symétrie: terme employé sur GeoGebra, il montre comment construire la droite de l'axe de symétrie, puis effectue la symétrie.

Quoique la vidéo d'initiation ait démarré par la construction d'un polygone par l'animateur, la chercheuse souligne que l'objectif principal de la vidéo était principalement de leur montrer comment faire les symétries, les translations et les rotations.

Schème d'usage « usage ludique des outils du logiciel »

Dans leur exploration des outils, pendant que Brielle cherche à retrouver la manière dont l'animateur sur la vidéo de présentation du logiciel avait configuré le plan cartésien sur GeoGebra, Joachim s'amuse à tracer artistiquement des lignes courbes.

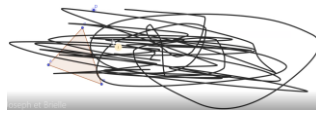


Figure 4. *Tracé ludique de lignes courbes*

On voit dans cet usage détourné que Joachim fait de l'artefact, la manifestation d'un bel exemple de catachrèse et la construction du schème d'usage « usage ludique des outils du logiciel ».

Schème d'action instrumentée « construire un polygone »

À travers les exercices des dyades sur le plan de GeoGebra, on relève une mobilisation précoce du schème d'action instrumentée « construire un polygone ». La chercheuse note dans son journal: « Ça a été rapide pour Marc de s'approprier ce premier instrument », « Tout comme Marc, Joachim a développé en un laps de temps très court ce schème ». Quoique la dyade ne prenne pas la peine de cliquer sur l'icône *Polygone* de la barre d'outils, mais qu'elle s'assure seulement, en y passant sa souris, que l'icône est mise en surbrillance précédemment, le schème d'usage « sélection outil polygone » est activé. Ensuite, elle clique successivement sur trois points du plan et revient sur le premier point, instaurant successivement le schème d'usage « tracé des points » et le schème d'usage « tracé des droites ».

La dyade s'est également exercée à effectuer des transformations instrumentées, notamment la réflexion.

Marc: J'essaie de faire un peu comme le miroir, quoi. /Un miroir.

On note que Marc utilise l'expression « miroir » dans un langage plus descriptif que mathématique, mais on comprend qu'il tente de nommer l'axe de la réflexion et démontre ainsi sa compréhension du principe de la symétrie.

Yolande: Il faut le mettre de l'autre côté de l'axe. Mais est-ce que- uhm- euh- le- la réflexion c'est pas supposé d'être l'autre côté de l'axe?

Par cette remarque, Yolande, démontre aussi une compréhension des propriétés de la réflexion, mais on voit qu'elle confond les termes mathématiques « axe de réflexion » et « axe des x » ou « axe des y ».

1.1.2 Séance de RP

La séance de RP démarre lorsque l'observatrice fournit à la dyade la fiche de travail contenant l'énoncé du problème et invite les élèves à l'explorer.

1.1.2.1 Construction d'instruments Transformations et développement d'habiletés de RP

La constitution d'instruments Transformations, comprise à partir de l'étude des schèmes, schèmes d'usage et schèmes d'action instrumentée, s'est observée à chaque phase de RP.

1.1.2.1.1 En phase 1 de Pólya (PP1) *compréhension du problème*

La phase 1 de Pólya (PP1) *compréhension du problème* est marquée par la lecture et plusieurs relectures par les dyades de l'énoncé du problème.

00:01:16 **Yolande:** OK. [elle lit] Créer en utilisant le logiciel de géométrie dynamique Géo-GeoGebra un déllage-un déllage qui couvre le plan. Décrire le déllage en termes de réflexion, translation et rotation.

00:01:53 **Yolande:** (.)/[voix d'un enfant au loin] [elle lit] Créer, en utilisant le logiciel de géométrie dynamique Géobra, un dallage qui couvre le- le plan. Décrit le dallage en termes de réflexion, translation et rotation.

00:11:43 **Marc:** [Il lit] Utiliser la dalle *Princesse* et la réflexion, la translation et la rotation de la barre d'outils de GeoGebra.

00:10:28 **Joachim:** Se réfère au besoin- au tableau Modèle en quatre étapes de Polya.

Ces lectures et relectures indiquent à l'observateur l'existence de termes inconnus chez les dyades, comme lorsque Yolande dit « déllage » dans la première lecture, mais rectifie d'elle-même la prononciation du mot dallage à la seconde lecture. À ce stade, la chercheuse leur rappelle d'avoir en tête, pendant qu'ils essaient de résoudre le problème, les étapes de RP qui leur a été présentées après la séance d'initiation et leur rappelle également le résumé récapitulatif des diverses transformations qui avait été partagé avec eux. Elle leur rappelle le but de la rencontre, à savoir de les voir collaborer à la résolution du problème soumis. Elle les encourage à l'explorer et à y réfléchir ensemble. Ensuite, les dyades tentent de comprendre le problème, exprimant la volonté de débiter la tâche en collaboration.

00:21:29 **Yolande:** /Oui. (en chœur avec Marc) Donc, on commence le projet ensemble.

Dans leur tentative de compréhension du problème écrit, les dyades identifient des inconnues dans l'énoncé du problème et posent des questions...

00:37:42 **Yolande:** [Elle lit] Créer- Créer en utilisant le logiciel de géométrie dynamique Géobra un dallage... C'est quoi un dallage?

00:12:54 **Brielle:** (.) C'est quoi une dalle?

00:13:15 **Chercheuse:** (.) C'est ça! Tu vois la figure bleue (.) qui est au milieu? =

00:13:21 **Joachim:** -Ça c'est une dalle? [il bouge la figure frénétiquement avec sa souris]

00:16:31 **Brielle:** Attend. Attend. [bruits parasites] Modèle en haut en quatre étapes de Pólya, c'est quoi- c'est quoi- c'est quoi la définition de Pólya?

et apportent quelques éléments de réponse à leurs propres questions.

00:38:50 **Marc:** C'est- C'est quand... Attend. Euh. Un- Un dallage c'est- (.) Un Dallage c'est- Je pense un dallage c'est- euh- (.) c'est- c'est- c'est une forme- euh- euh. Je pense que c'est une- une forme qui se répète. [bruits sourds]

Marc confirme ses connaissances antérieures du concept de dallage. Sans le dire dans un langage mathématique précis, par l'expression «une forme qui se répète», il utilise un langage plus commun pour répondre à la question. S'en suit une petite discussion sur l'étymologie du nom *Princesse* donnée à la dalle d'origine. Jusque-là, encore en phase de compréhension du problème, la chercheuse fournit des réponses aux questions des dyades, en profite pour donner le contrôle de son écran à Joachim pour solutionner la rapidité avec laquelle sa souris bouge sur le plan de travail. En complément, elle leur montre à l'écran des exemples concrets de dallage et leur présente la définition mathématique de «dallage».

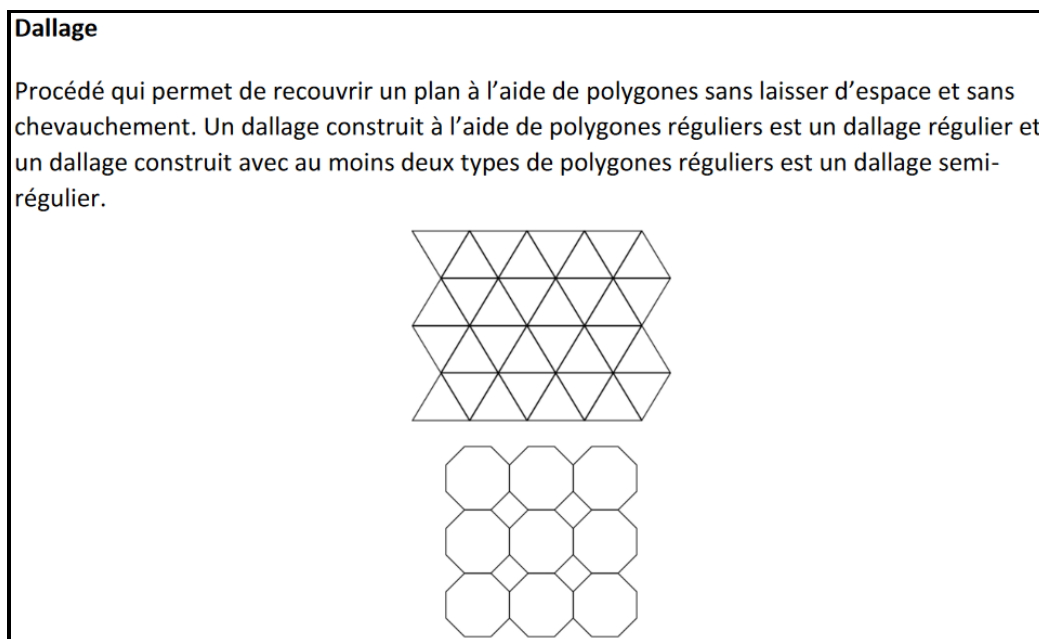


Figure 5. Exemples et définition de dallage (MEO, 2020, p. 538)

00:44:37 **Chercheure:** Un procédé qui permet de recouvrir un plan à l'aide de polygones, sans laisser d'espace et sans chevauchement. Tu vois ici? Donc, Yolande, pour répondre à ta question, c'est ça le dallage. (.) OK?

00:45:20 **Yolande:** C'est quoi un chevauchement encore?

À la question de Yolande de savoir ce qu'est un chevauchement, la chercheure lui montre un exemple de juxtaposition de figures et elle reprend son explication en utilisant un mot qui pourrait sembler plus familier à Yolande: « colle ».

00:37:11 **Joachim:** Un dallage c'est comme... euh... beaucoup de carrés?

Un dallage n'est pas forcément constitué que par des carrés, mais en disant cela, faisant probablement référence à du carrelage, Joachim démontre une visualisation sommaire de ce que devrait être un dallage. Ensuite, pour imaginer les propriétés d'espacement et de chevauchement, la chercheure leur donne justement l'exemple de carrelage de salle de bain.

00:38:29 **Chercheure:** [bruits parasites, autre enfant qui parle] Tu sais, quand on fait le carrelage, par exemple, dans votre salle de bain, tu vois qu'on prend un carreau, qu'on le reprend- qu'on le reprend. C'est ça qu'on appelle un dallage, parce que entre deux carreaux, y aurait pas d'espace, parce que sinon l'eau va rentrer entre les deux carreaux et rentrer dans le mur et faire une inondation chez toi et faire payer à tes parents une grosse facture pour réparer ça.

00:39:59 **Joachim:** Et t'es un mort!

00:39:59 **Chercheure:** Oui, c'est ça... et c'est la mort. [ajoute la chercheure, sur le ton de la blague de Joachim] Donc, si vous devez faire ce carrelage dans votre salle de bain, vous ne laissez aucun espace entre les carreaux et aussi les carreaux, tu ne vas pas mettre un dessus de l'autre, parce que dans tous les cas, là aussi, il y aura un espace et l'eau va s'infiltrer. Donc, c'est ça un dallage. (.) Donc, nous, on a une *Princesse*, une dalle *Princesse* tout à l'heure qui est ça. (.) Moi, j'ai essayé de faire l'exercice, ça m'a donné à peu près quelque chose comme ça. [autre enfant chantonne] C'est à peu près quelque chose comme ça que vous devez arriver. [bruits parasites] Je vous le montre très rapidement...

Par cet échange, Joachim démontre une certaine aisance avec la chercheure, ce qui est profitable à la cueillette de données. En réponse à la question, à titre d'illustration, l'observatrice affiche le dallage qu'elle avait elle-même obtenu sur GeoGebra à titre d'exercice avant le début des séances d'apprentissage et donne des précisions sur la dalle *Princesse*.



Figure 6. Illustration de dallage obtenu à partir de la dalle *Princesse*

00:26:49 **Brielle:** Est-ce que il y a comme... euh... une résolution de problème qu'on doit faire ou on doit juste faire des (mot inaudible) [bruits parasites], des translations?

Il est intéressant de voir que Brielle fait la dichotomie entre RP et les transformations géométriques à faire subir à la dalle *Princesse*. En réponse à la question de Brielle, la chercheuse précise:

00:27:25 **Chercheuse:** Peut-être que l'énoncé est très court, il se tient en deux phrases, mais c'est quand même un problème à résoudre.

00:29:05 **Brielle:** [bruits parasites] Si je comprends bien, est-ce que ça veut dire que on doit- on doit faire réflexions, des translations et des rotations? Et dé... Peut-être comme décrire ce qu'on a fait comme si c'est, par exemple... euh... si c'est, par exemple, la... euh... [bruits de fond] Si c'est, par exemple, la rotation, on doit décrire, par exemple, le... comme le point de rotation, quelque chose comme ça?

Puis Brielle demande s'il faut utiliser la dalle *Princesse* ou en faire un autre (polygone). La chercheuse lui précise qu'il faut s'en tenir à la dalle *Princesse*.

00:41:59 **Chercheuse:** Donc, c'est ce polygone-là, c'est ça qui fait justement la résolution de problème. Pour, répondre à la question de Brielle tout à l'heure. Est-ce que c'est un problème? **Oui!** C'en est, mais dans la mesure où on t'impose un... une figure initiale avec laquelle vous devez utiliser pour faire votre dallage.

L'observatrice les encourage à relire l'énoncé du problème autant de fois que nécessaire et s'assure qu'ils comprennent ce qu'il y a lieu de produire.

00:33:32 **Chercheuse:** C'est ça qu'il vient de dire... il l'a dit, je dois créer un dallage. (.) C'est ça que j'appellerais votre produit final! Mais, les moyens pour produire ce dallage-là, c'est... ça nous ramène à ce que Brielle disait tout à l'heure... les moyens de produire ce dallage, c'est de faire des réflexions, des translations et des rotations, mais l'objet final, c'est le dallage.

Malgré l'expression de leurs vœux de collaboration, la chercheuse note qu'à ce stade, il n'y a pas encore de réelle interaction entre les coéquipiers. Elle leur suggère, pour faciliter la collaboration qui peine à s'installer entre eux, d'activer leurs caméras, tout en leur précisant qu'ils sont libres d'accepter ou non. Sur ce, la dyade 1 active ses caméras. La chercheuse leur rappelle que c'est un travail d'équipe et leur suggère un mode de travail:

00:22:12 **Chercheuse:** Si un travaille, l'autre tasse- tasse- tasse sa souris de côté.

Les dyades ouvrent l'applet de GeoGebra en utilisant le lien partagé sur le *Chat* de la rencontre Teams. La chercheuse leur rappelle que le problème écrit comporte deux lignes.

Schème d'usage « présenter/partager son écran »

Le schème d'usage « présenter/partager son écran » est repéré à plusieurs reprises, par exemple lorsque la dyade veut afficher la fenêtre de l'écran initial de GeoGebra à partir du lien partagé par

l'observatrice dans le *Chat* de la rencontre Teams ou veut afficher le texte de l'énoncé du problème écrit ou tout simplement veut arrêter la présentation de son écran.

Schème d'usage « donner/reprendre/demander le contrôle »

Le schème d'usage « donner/reprendre/demander le contrôle » est mobilisé par la dyade lorsqu'un coéquipier veut accéder à l'écran partagé ou veut permettre à l'autre d'y avoir accès. Ce schème est également repéré dans l'organisation du travail au sein de la dyade, lorsque les coéquipiers veulent alternativement procéder à l'exécution de solution au problème posé.

00:57:28 **Brielle:** Donner le contrôle... Ici. (inaudible) [clics de souris]

01:14:44 **Brielle:** (8) [bruits de meubles] J'ai demandé le contrôle.

01:30:59 **Yolande:** Est-ce que j'ai donné le contrôle?

01:31:02 **Chercheuse:** Donne-le à Marc.

01:31:03 **Yolande:** Je lui ai donné. (.) Umh.

De petit-longs épisodes d'essai pour donner et demander le contrôle de l'écran ont été observés du fait de problème technique ou de manque d'appropriation gestuelle du schème.

00:24:00 **Marc:** -Oui, il y a une flèche. /que quand j'attaque-

L'expression de langage « j'attaque » utilisé par Marc est typiquement tirée du registre familial africain, dans le sens qu'il s'utilise, généralement en un seul mot, pour décrire toute une action ou suite d'actions. Marc ne semble donc pas avoir rompu avec certaines habitudes linguistiques de son pays d'origine.

Schème d'usage « configurer le plan cartésien »

Le schème d'usage « configurer le plan cartésien » est mobilisé lorsque, pour configurer le plan, la dyade appuie sur l'icône de la grille et sur l'icône de l'axe des x et l'axe des y. Il est à noter que le lien originel vers la dalle *Princesse* de GeoGebra s'affichait sans les axes et sans la grille.

Une mobilisation de ce schème se manifeste également dans l'agrandissement du plan ou dans la suppression des axes des x et y et la grille.

01:12:57 **Yolande:** Est-ce que- Est-ce que ça fera une différence si on enlève (.) [clic] l'axe? (.) Ou si on le laisse=

01:13:06 **Chercheuse:** =Non- Non, ça ne change rien.

01:30:53 **Yolande:** Donc, je vais agr- agrandir...

Marc préférerait très souvent remettre les axes des x et y et la grille, contrairement à sa coéquipière Yolande. Pour lui, la configuration du plan constitue un repère spatial qui favorise la construction.

02:02:40 **Yolande:** Peux-tu enlever ça parce que comme c'est un peu difficile avec ça et ça me mélange un peu.

Pour ôter les axes et la grille, plusieurs options de configuration du plan qu'offre le logiciel sont utilisées par la dyade 1, telles que: appuyer sur l'icône *Back*, re cliquer sur l'icône des axes puis sur l'icône de la grille et choisir l'option *Blanc*. Cependant, les axes et la grille pouvaient éventuellement être très utiles pour le calcul de l'angle de rotation et pour la description de la direction de la flèche de translation, entre autres. Cela, Yolande et Brielle l'avaient bien compris. Quand, tentant de configurer le quadrillage de la grille, Yolande fait par mégarde la sélection d'une option différente, elle juge que ça pourrait servir pour la réalisation de la rotation.

00:58:00 **Yolande:** Peut-être que ça- ça va nous aider avec la réfl- euh- comment ça s'appelle- la rotation- [bruit de fond] (9) ou on peut (inaudible) le mettre comme ça.

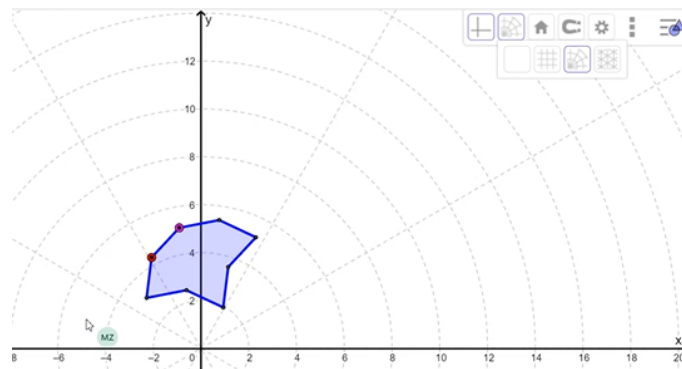


Figure 7. Découverte fortuite d'un nouveau quadrillage du plan

01:10:36 **Brielle:** Oui. Euh... Oui... hum... Avant que tu fais la rotation, est-ce que tu veux... euh mettre le... euh... comme le plan cartésien, quelque chose comme ça, pour que ça nous aide, à peut-être savoir... euh... de combien de l'angle on va faire la rotation? Comme ça si tu veux faire la rotation de quatre-vingt-dix ou quelque chose comme ça... Oui... Ouais.

En demandant de faire afficher le plan cartésien, on note que Brielle a, quant à elle, le souci d'identifier formellement les points de repère de la transformation à effectuer.

01:11:15 **Brielle:** Oui. Maintenant tu peux commencer avec ta rotation.

Pour agrandir et obtenir le plein écran, les dyades cliquent sur l'icône d'agrandissement de la fenêtre GeoGebra. Cela demande des connaissances instrumentales d'usage. Marc en avait fait mention dans son questionnaire préliminaire. Quoique la mobilisation du schème d'usage « configurer le plan cartésien » ne soit pas primordiale à la résolution du problème, sa construction chez la dyade 2 s'est faite non sans l'aide de l'observatrice. Pendant que l'observatrice explique, Brielle s'empresse d'aller sur le menu de paramétrage de GeoGebra et appuie sur l'icône de la

grille. Grâce à cette aide de la chercheuse et à la persévérance de la dyade, le schème d'usage « configurer le plan cartésien » est mobilisé.

1.1.2.1.2 En phase 2 de Pólya (PP2) élaboration d'un plan

L'annonce de la décision de procéder à une transformation instrumentée ou d'obtenir une « copie » de la dalle *Princesse* marque le début de cette phase.

00:47:53 **Yolande:** Donc on doit faire comme la rotation-

00:53:00 **Marc:** OK. Euh. Je vais sur rotation, oui- uhm.

00:52:40 **Brielle:** On essayait juste de trouver une façon pour copier la- la- /la-

Schème d'usage « sélection outil rotation »

En positionnant sa souris et en cliquant sur l'option de menu *Rotation*, la dyade active le schème d'usage « sélection outil rotation ».

01:10:24 **Joachim:** Rotation...

01:14:56 **Brielle:** Oui. Je vais voir si y a... Rotation-

Schème d'usage « sélection outil symétrie axiale »

En séance d'initiation, l'exploration de la barre d'outils par la dyade 1 avait instauré le schème d'usage « sélection outil symétrie axiale ». Elle avait noté les deux types de symétrie que le logiciel offre à son choix (symétrie suivant une droite et symétrie suivant un point).

Marc: Il y a deux types-

Marc: (.) Je vais faire Symétrie **Axiale**.

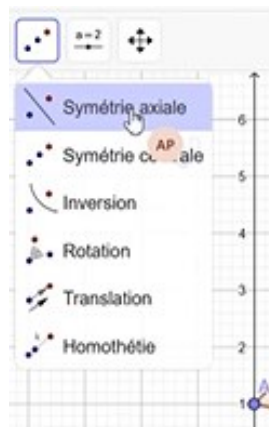


Figure 8. Sélection de l'outil *Symétrie axiale*

En séance de RP, un rappel de l'observatrice permet à la dyade de faire le lien entre les termes similaires, Réflexion et Symétrie pour ensuite parvenir à retrouver l'icône correspondant sur la barre d'outils du logiciel.

01:20:55 **Yolande:** Mais y a pas de réflexion.

01:21:02 **Chercheure:** (5) Symétrie?... que ça s'appelle?

01:21:05 **Yolande:** Est-ce que c'est ça?

Schème d'usage « sélection outil translation »

Suivant les indications de l'observatrice, la dyade 1 trouve l'icône qui lui permet de commencer une première translation.

Marc: Ensuite je vais faire la translation.

Chercheure: Hum, hum. (7) Quand tu- Regarde, quand tu laisses ta souris un peu sur le- le bouton, ça t'indique quelle fonction? Le bouton. Quand tu cliques un peu ta souris, après ça te sort un menu là.

Quant à la dyade 2, le schème d'usage « sélection outil translation » se construit par l'exploration des icônes de la barre d'outils de GeoGebra. En positionnant sa souris sur l'icône *Translation* sans cliquer, l'info-bulle de l'icône les invite à la sélectionner.

00:52:23 **Joachim:** C'est là! Translation.

Schème d'usage « affichage de l'aide »

Le schème d'usage « affichage de l'aide », schème social préconstruit dans l'artefact, résulte de la gestuelle de la dyade, par maintien de la souris appuyée. Lorsque la dyade clique sur un des différents outils *Transformations* puis y reste suffisamment longtemps, elle fait apparaître la boîte de dialogue de l'aide contextuelle de bas d'écran proposée par le logiciel. La chercheure modèle comment faire.

01:10:24 **Chercheure:** (.) Tu vois l'aide en bas maintenant?

01:10:30 **Joachim:** Oui, je vois... euh... Rotation... objet à tourner-



Figure 9. Boîte de dialogue de l'aide contextuelle

Se rendant compte que la dyade peine à poursuivre la transformation choisie à plusieurs reprises, la chercheure intervient pour lui rappeler de lire la boîte de dialogue de l'aide contextuelle proposée par le logiciel à chaque sélection d'un de ses outils du menu.

01:43:12 **Chercheure:** Mais est-ce que vous prenez le temps de lire la- le menu- l'aide contextuelle en bas?

01:43:18 **Yolande:** Mais il mont- Ça montre pas le menu. Quand on clique ça ne le montre pas.

Depuis combien de temps l'aide du logiciel a cessé de s'afficher pour la dyade 1? En début de séance, les deux élèves participants confirmaient le voir s'afficher. S'en suivent quelques essais de configuration conjoints, soutenus par la chercheure, pour tenter d'obtenir le réaffichage de la boîte de dialogue de l'aide contextuelle qu'offrait le logiciel sur la démarche à suivre pour utiliser chacun de ses différents outils de menu.

Malgré la lecture du texte de l'aide, au début, la dyade 2 n'arrivait pas à décoder le message et ne parvenait donc pas à compléter la transformation choisie. Voyant l'hésitation et le tâtonnement de la dyade après lecture, l'observatrice comprend qu'elle doit l'amener à se demander ce que le logiciel, dans son propre langage, appelle « objet » par exemple, car cela ne semble pas compris par les élèves. La méconnaissance de l'élève du langage exprimé par le logiciel semble être la cause du peu d'attention portée aux messages d'aide que ce dernier apporte dans leur dialogue et qui, comme souvent durant la session d'apprentissage, restent lettre morte. Si l'apprenant ne décode pas ce que le logiciel entend par « objet », il va de soi qu'il ne saura pas ce dont celui-ci s'attend à ce qu'il exécute. Inversement, ne s'étant pas fait comprendre dans son dialogue avec l'élève et le voyant agir contrairement à son attente, le logiciel interprétera l'action comme erronée et ne délivrera pas le résultat escompté.

À un moment donné au cours de la séance de RP, la chercheure juge utile de rappeler à la dyade les directives données par l'aide du logiciel et d'offrir du modelage à la dyade. Elle modèle la manière de procéder pour obtenir l'image de la dalle *Princesse* par la rotation, avec une valeur d'angle et un sens de rotation qu'elle prend au hasard, leur montre comment changer la couleur de la figure pour mieux lire le résultat de la transformation.

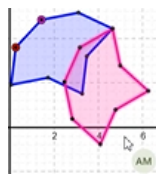


Figure 10. Image obtenue par modelage de la rotation

Elle modèle la manière de procéder pour obtenir l'image de la dalle *Princesse* par la symétrie.

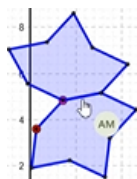


Figure 11. Image obtenue par modelage de la symétrie

Elle modèle la manière de procéder pour obtenir l'image de la dalle *Princesse* par la translation:

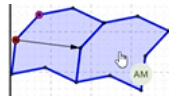


Figure 12. Image obtenue par modelage de la translation

01:24:58 **Joachim:** Oh!!! /C'est comme ça pour copier.

Joachim utilise l'expression « copier », dans un langage plus commun que mathématique. Ce modelage des trois transformations instrumentées semble faire écho chez la dyade.

01:25:03 **Joachim:** Facile!

01:25:10 **Brielle:** Ça fait plus de sens.

Et enfin, la chercheuse leur montre comment, avant de réaliser une rotation d'un juste angle qui va leur permettre de respecter les propriétés d'espacement et de chevauchement d'un dallage, il faut mesurer l'angle de la rotation ou l'obtenir par calcul déductif suivant la mesure d'autres angles.

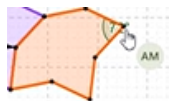


Figure 13. Modelage de la mesure de l'angle de rotation

À cette fin, elle teste les connaissances de la dyade en matière d'angle plat:

01:26:48 **Chercheuse:** L'angle. Un angle plat, c'est combien?

01:26:50 **Brielle:** C'est... cent quatre-vingts.

Brielle répond à la question vivement, démontrant ainsi une connaissance fondamentale en géométrie: un angle plat mesure cent quatre-vingts degrés.

1.1.2.1.3 En phase 3 de Pólya (PP3) exécution du plan

Cette phase a vu la construction de nombreux schèmes d'utilisation à travers l'exécution des stratégies des dyades pour effectuer un dallage.

Schème d'usage « dédoublement de la dalle »

Le schème d'usage « dédoublement de la dalle » prend naissance, de manière tout à fait fortuite, quand la dyade clique sur l'icône *Translation* puis clique deux fois sur la dalle, avec pour effet que la dalle se « dédouble » et les deux figures copies se superposent. La dyade y trouve très rapidement une opportunité de faire subir un *dragging* à la figure en double et de tenter de joindre deux de ses arêtes à deux arêtes de la figure initiale dans le but de former le dallage manuellement. Pour ce faire, elle s'applique, sans lever le doigt, à *dragger* (faire glisser) par un de ses sommets la figure

superposée en « double » de la dalle originelle. La chercheuse lui suggère de porter attention à la ligne de jointure des deux figures qui semble trahir un espacement.



Figure 14. *Le dragging de la figure en « double » trahit un espacement.*

00:43:08 **Brielle:** =OK. (.) OK. Euh... Hop. (.) Euh... (5)

01:14:10 **Yolande:** (8) Oh!!! (.) Yeah, ça va marcher avec la translation.

01:14:26 **Marc:** /Comment tu as fait?

01:14:36 **Yolande:** (.) Uhm, j'ai cliqué sur la translation, (.) cliqué sur- uhm- l'image, et fais ça.

Ce geste-raccourci permettant d'obtenir par simple *dragging* une « copie » de la dalle *Princesse*, non issue d'une des transformations géométriques instrumentées, initie la construction du schème d'usage « dédoublement de la dalle » chez la dyade. Vérification faite, sur l'aide détaillée du logiciel, il est mentionné qu'en mode *Translation*, le simple fait de déplacer un objet, par simple *dragging*, en crée une copie, exception faite du vecteur (la flèche de translation).

Schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle »

Le schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle » est mobilisé dans la phase1 de Pólya (PP1) *compréhension du problème*, mais a aussi été repéré dans toutes les autres phases de RP, excepté la phase 4 de Pólya (PP4) *évaluation des résultats*. En phase 1 (PP1), on l'a dit, elle s'est exprimé par la découverte, par tâtonnements de la dyade, de la possibilité de créer une figure copie de la dalle *Princesse*. Sa construction s'est opérée de différentes façons.

Une façon prend sa source dans la pose du schème d'usage « dédoublement de la dalle », ensuite la dyade *drag* (fait glisser) la figure en « double » puis tente de la juxtaposer manuellement à la dalle initiale pour former un dallage.

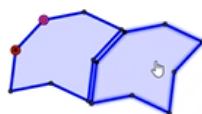


Figure 15. *Ajuster par juxtaposition manuelle de la dalle en « double »*

00:44:05 **Brielle:** Est-ce que tu veux d'ab... Est-ce... On- On commence d'abord à faire un dallage comme... le mettre à côté de la forme principale...

Ce geste témoigne de la compréhension de la dyade du principe du dallage ou du moins ce qu'il y a lieu de produire, mais ne démontre pas à ce stade de la manière de le réaliser avec le logiciel en utilisant une des transformations géométriques. Une situation similaire se reproduit et amène la chercheuse à leur faire remarquer que le trait gras entre les deux figures doubles que Brielle a tenté d'ajuster dénote de la présence d'un espace.

00:44:15 **Chercheure:** Aussi minime soit-il, c'est un espace.

En évoluant, la dyade découvre que deux arêtes distinctes de la figure double peuvent s'imbriquer manuellement à la figure initiale.

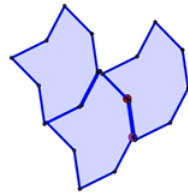


Figure 16. Imbrication manuelle de deux « doubles » et de la figure initiale

01:16:53 **Yolande:** Oh!!!

Elle découvre aussi que les deux figures en double sont attachées l'un à l'autre et qu'ils peuvent se déplacer ensemble indépendamment de la figure initiale.



Figure 17. Dragging des deux « doubles » indépendamment de la figure initiale

Une autre façon se présente par suite de la tentative de la dyade d'ajuster, par une rotation, une construction erronée.

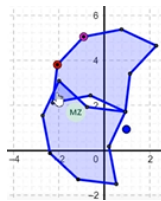


Figure 18. Ajuster en effectuant une nouvelle rotation

00:53:40 **Yolande:** C'est collé ensemble, mais comme c'est pas...

00:53:54 **Marc:** Oh!

00:53:55 **Yolande:** C'est. (.) Peut-être si on les séparait un peu plus. (.) Peut-être on les sépare un peu plus et on met un autre au milieu.

En voulant « séparer un peu plus » les deux figures, la figure initiale de son image, et « mettre un autre au milieu », on voit que Yolande tente d'ajuster sa construction en effectuant une nouvelle transformation. Cette stratégie ne saurait être invalidée, pour autant qu'elle puisse être la prémisse d'un ajustement dont la valeur de l'angle de rotation a été calculée de sorte qu'« un autre au milieu » puisse y trouver un espace suffisant et ne souffre pas de chevauchement.

Une tout autre façon se manifeste dans la tentative de la dyade d'ajuster une construction obtenue par rotation de valeur d'angle inadéquate, n'obtenant ainsi pas la juxtaposition des deux segments de droites des figures initiale et image. Tenant par le pointeur de sa souris un des points de la figure, elle découvre que celle-ci change de direction. Elle pense avoir trouvé comment procéder à la rotation. Sa nouvelle stratégie est de refaire la rotation avec un angle de 90° puis, manuellement, chercher à rapprocher les figures initiale et image de la dalle *Princesse* en utilisant la technique de changement de direction de la figure dont elle vient de faire la découverte. Elle saisit la dalle et la fait bouger dans le sens anti-horaire suivant un axe de rotation imaginaire. On voit qu'elle tente de simuler ce qui serait vraisemblablement la trace du déplacement, mais qu'elle ne fait pas la distinction entre la trace de la transformation et la transformation elle-même qu'elle cherche à obtenir.

01:13:54 **Brielle:** Euh. Oui, maintenant, essaie de tourner. Est-ce que tu peux comme essayer de... affaire de tourner.

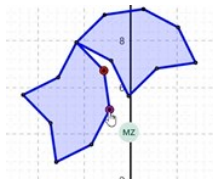


Figure 19. *Ajuster par tentative de changement de direction de la figure image*

Cependant, c'est sans compter avec la contrainte de *conservation des propriétés géométriques au cours du mouvement* de la géométrie dynamique: le mouvement de la figure image obtenue par transformation géométrique est intrinsèquement lié à celui de la figure initiale qui fait l'objet de ladite transformation. Ainsi, elle constate que l'ensemble des deux figures *bougent* simultanément.

00:59:20 **Yolande:** (6) Oh! Ou on peut les déplacer aussi! (.)

Sauf que le déplacement de figures au sens mathématique du terme suppose de reproduire la figure initiale pour en obtenir une autre, la figure image, par l'une ou l'autre des trois transformations géométriques attendues.

Schème d'usage « recopiage de la dalle »

Le schème d'usage « recopiage de la dalle » est décelé lors d'une tentative de construction manuelle d'une image reflétée par la dyade. La construction consiste à déplacer par *dragging* des points solitaires créés antérieurement dans le plan sur des sommets de la dalle *Princesse* en vue de reproduire celle-ci, pensant réaliser une réflexion.

00:56:50 **Yolande:** Est-ce que c'est comme ça?

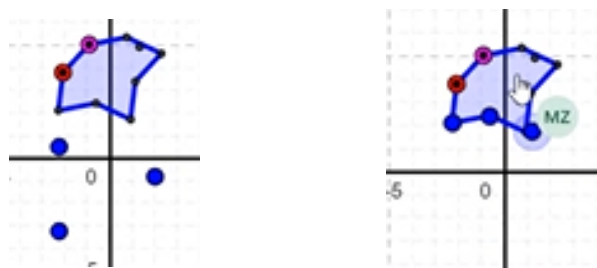


Figure 20. Réflexion par recopiage de la dalle

Ici, aucune manifestation de la construction du schème d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller ». En revanche, par son geste, la dyade met en œuvre un détournement d'usage, une catachrèse, et a le mérite de poser le schème d'usage « recopiage de la dalle ». Néanmoins, le recopiage pose un problème de congruence des figures initiale et image; la stratégie de construction est vite abandonnée.

Schème d'usage « sélection objet à transformer »

Chez la dyade, la pose du schème d'usage « sélection objet à transformer » en rotation ne va pas de soi. En effet, plusieurs tentatives de réaliser la rotation sont avortées, malgré plusieurs lectures de l'aide du logiciel ou son aide détaillée et les précisions ou maints rappels apportés par l'observatrice. Certaines fois, la dyade inversait les gestes à poser pour suivre les deux premières étapes de réalisation de la transformation prévues par le logiciel, à savoir: « Sélectionner d'abord l'objet à transformer par la rotation » et « Puis cliquer sur le point (créé ou non) qui sera le centre de cette rotation ». Par exemple, en cliquant sur le point au sommet de la dalle, on note que la dyade pense indiquer le centre de la rotation et à l'intérieur de la dalle, elle cherche à indiquer l'objet à transformer. Le logiciel comprend alors que l'objet est l'ensemble dont le point sommet fait partie, la dalle effectivement, mais que le centre de rotation est le point à l'intérieur de la dalle qu'elle a aléatoirement indiqué. D'autres fois, la dyade ne se rendait pas compte qu'elle n'avait pas cliqué sur la figure, objet de la rotation, mais bien sur deux sommets de la figure.

00:54:34 **Yolande:** (.) Oh, rien n'est arrivé. (.)

Rien n'arrive effectivement, car le logiciel considère que l'objet sur lequel appliquer la rotation est le premier point sur lequel elle a cliqué. La rotation d'un point reste un point. D'autres fois encore, la dyade oubliait simplement de sélectionner l'objet de la rotation. Le schème d'usage « sélection objet à transformer » ne se manifestant pas vraiment spontanément. Dans cette dialectique, on note que c'est la compréhension que le logiciel a des messages gestuels qu'il reçoit de la dyade qui prime, rappelant ainsi les contraintes imposées par l'artefact à l'élève utilisateur. Lorsque la séquence indiquée dans son encadré d'aide contextuelle est bien suivie, le logiciel lui affiche la boîte de dialogue de l'angle de la rotation. Cet oubli de sélectionner l'objet de la transformation géométrique a été observé dans des essais infructueux de réflexion de la dalle. La dyade oubliait de cliquer d'abord sur l'objet de la symétrie avant de chercher à sélectionner l'axe de symétrie. D'autres fois où la dyade cliquait sur le plan après son choix de la transformation à appliquer, *Rotation* ou *Réflexion*, le logiciel considérait qu'elle cherchait à sélectionner l'objet à transformer et créait donc des points solitaires sur le plan.

L'évolution du schème d'usage « sélection objet à transformer » en rotation est constatée chez la dyade quand elle prend conscience que si elle veut procéder à la rotation de l'objet, elle doit d'abord indiquer au logiciel l'objet de la rotation, en l'occurrence la dalle. En double-cliquant comme elle a eu à le faire précédemment, le logiciel interprète autrement sa commande.

En translation, la dyade 1 a par la suite facilement mobilisé le schème d'usage « sélection objet à transformer ».

Schème d'usage « affichage de l'aide détaillée »

Le schème d'usage « affichage de l'aide détaillée » s'édifie lorsque la dyade prend le parti de cliquer sur le bouton *Aide* contenu dans la boîte de dialogue de l'aide contextuelle de bas d'écran du logiciel. Cette commande l'amène vers une nouvelle page Web qui offre une aide plus détaillée sur la transformation choisie.

Yolande: Peut-être si je clique... Rotation. Aide.



Figure 21. Affichage de l'aide détaillée de l'outil Rotation

Elle entreprend de lire le texte minutieusement.

Yolande: Outil Rotation. Sélectionner d'abord l'objet... puis cliquer sur le point... ou non qui sera au centre. Oh! Donc il faut cliquer sur le point. Donc, Rotation... Point.

Brielle: Je vais voir si je peux lire ici, lire l'aide. (5)

Ensuite, elle revient à l'onglet sur lequel se trouve la dalle *Princesse*, fait des essais. La chercheuse précise:

01:16:37 **Chercheuse:** T'as oublié une étape. Sélectionner l'objet. C'est la première. (.)

Elle retourne à quelques reprises sur l'onglet de la page d'aide détaillée pour la relire, puis revient sur l'onglet du plan de travail sur GeoGebra. On note ainsi la difficulté, malgré ces allers-retours vers la page d'aide détaillée, de se rappeler l'ordre de pose des gestes à suivre pour réaliser la transformation choisie.

Schème d'action instrumentée « transformer par rotation pour daller »

À sa première tentative d'effectuer la rotation, la dyade avait bien trouvé l'enchaînement de gestes techniques gagnant dans la construction du schème d'action instrumentée « transformer par rotation pour daller », puis le manque de développement du schème d'usage « sélection objet à transformer » en rotation pour leurs tentatives suivantes les a détourné de la voie d'obtention d'une image de la dalle *Princesse*.

En mode *Rotation*, le schème d'usage « choix centre de rotation » s'édifie quand la dyade clique sur un des sommets de la figure initiale. La boîte de dialogue suivante s'affiche alors, la réponse du logiciel à sa commande.

01:16:44 **Brielle:** Tu- Tu veux faire une rotation de combien?

01:16:54 **Joachim:** Euh... quatre-vingt-dix, comme ça.

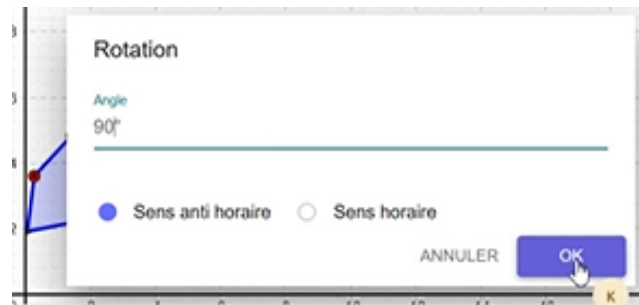


Figure 22. Affichage de la boîte de dialogue de la rotation

Le schème d'usage « entrée valeur angle de rotation » se construit lorsqu'elle efface la valeur 45° présentée par défaut pour, par exemple, inscrire un angle de 90° à la place. Elle comprend qu'elle doit maintenir le symbole « ° » que les concepteurs du logiciel ont placé par défaut avant le nombre pour un angle en degrés. Dans l'exemple de la figure 22 ci-dessus, elle conserve le sens anti-horaire proposé par défaut par le logiciel ou n'en fait pas mention gestuelle, puis clique sur OK. Le schème d'usage « choix sens de rotation » s'identifie lorsqu'à une nouvelle tentative de rotation avec une valeur d'angle aléatoire de 75° , à l'affichage de la boîte de dialogue, la dyade prête un œil plus attentif à la zone d'options du sens de la rotation.

00:53:31 **Yolande:** (.) Uhm. OK. Donc, Rotation (.) [clics de souris] Cliquer sur un point- euh- Cliquer sur le truc et sur un point.

00:54:20 **Yolande:** (18) Sens horaire- Est-ce qu'on a déjà essayé Sens horaire?

Cette fois-ci, elle clique sur l'option *Sens horaire* de la case à option et obtient ceci:



Figure 23. Image obtenue en changeant le sens horaire

Schème d'action instrumentée « mesurer/calculer l'angle de rotation »

Quoique Brielle et aussi Yolande aient anticipé que, pour effectuer la rotation, leurs équipes auront besoin de décider préalablement de la valeur de l'angle de rotation, le schème d'action instrumentée « mesurer/calculer l'angle de rotation » n'a pas été développé par l'action d'aucune dyade.

01:11:15 **Brielle:** Et avant, est-ce que tu veux- est-ce que tu veux me dire... euh... [petite interruption] (.) c'est quoi l'angle tu vas... euh... tourner?

La mesure d'angles du polygone aurait permis à la dyade d'obtenir ou de calculer par déduction la valeur de l'angle de rotation qu'elle veut faire subir à la dalle. Pour recueillir cette valeur précise, pour des figures initiale et image qui ne souffriraient ni de chevauchement ni d'espacement, il fallait d'abord être capable, par exemple, de sélectionner méticuleusement les deux segments de droites au point de rotation.

01:31:48 **Chercheuse:** Regarde cet angle-là. Combien il vaut?

À ce stade, tant qu'à faire, l'observatrice modèle les gestes à faire pour obtenir la valeur d'un angle.

01:32:05 **Chercheuse:** Tu cliques le bouton de angle. Tu cliques les deux segments et ça te... t'affiche la... l'angle.

01:32:25 **Brielle:** OK. (inaudible) (.) (inaudible)

Brielle essaie, mobilise le schème d'usage « sélection outil angle », mais ne parvient pas à compléter les gestes modelés. Joachim lui suggère:

01:32:28 **Joachim:** Clique sur le point.

Cette suggestion de Joachim de cliquer sur le point du segment de la première droite aurait probablement pu marcher si on cliquait ensuite sur le point sommet de la représentation triangulaire de l'angle puis sur l'autre point, comme indiqué sur l'aide contextuelle.



Figure 24. Aide contextuelle de l'outil Angle

La chercheuse leur indique une autre façon de faire pour afficher l'angle qu'elle croit plus facile, en cliquant sur les deux segments de droites. Toutefois, cette opération semble difficile à réaliser pour la dyade, car après plusieurs essais, ils n'arrivent pas à faire la sélection des deux segments de droites du fait d'un manque de précision dans la manipulation de la souris. Le schème d'usage « sélection angle à mesurer » ne s'active pas. À ce stade, un entraînement plus fréquent à la manipulation du pointeur de la souris leur aurait permis d'acquérir la dextérité nécessaire pour obtenir la précision à laquelle le logiciel s'attend dans leur choix des deux segments de droites pour

être en mesure de leur communiquer en retour la valeur de l'angle recherchée. Joachim, lui, continue de travailler sur le plan et s'exclame, à l'obtention de la situation suivante.

01:34:48 **Joachim:** C'est bon là! /Là c'est dans le milieu.



Figure 25. *Interprétation erronée du concept de rotation*

Tenter de retrouver la valeur de l'angle ne se résume pas à positionner un quelconque point « dans le milieu ». Ce dernier acte est révélateur d'un manque de connaissances du concept mathématique de rotation. Joachim reconnaîtra néanmoins en entrevue avoir réalisé des apprentissages en ce sens durant la session d'activités que nous leur avons proposée.

Schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller »

Dans la construction du schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller » chez l'observatrice, le mode *Translation* s'est révélé très fécond pour les deux dyades dans leur découverte de nouvelles potentialités du logiciel par, notamment, la mobilisation du schème d'usage « dédoublement de la dalle », mais aussi la construction de la flèche de translation.

Schème d'usage « choix direction et grandeur de translation »

Le schème d'usage « choix direction et grandeur de translation » est construit suivant les gestes de la dyade lorsqu'elle tente de matérialiser la flèche d'une translation, représentation symbolique de la grandeur et la direction à faire subir à la figure initiale, en définissant ses coordonnées par comptage horizontal puis vertical des cases du plan cartésien.

00:58:38 **Yolande:** OK. So, on peut essayer de faire une translation? (.) Pour- (6) Attend. Est-ce qu'on doit dessiner nous-mêmes le-?

00:58:52 **Marc:** Euh. Oui, je pense qu'on doit dessiner nous-mêmes.

00:58:55 **Yolande:** Hum. Un- Un. Deux. Trois. Et à côté. Donc. Un. Deux. Trois. Et à côté.

Ensuite, Yolande saisit un point de la figure et le déplace sur le plan à l'endroit même que devrait se retrouver la pointe de la flèche. On voit ici qu'elle comprend le concept mathématique de translation, mais ne sait pas encore l'exprimer d'un point de vue instrumental. Marc, dans sa tentative, réussit à créer la flèche de la translation; cependant, l'objet qu'il sélectionne afin

d'obtenir la réponse du logiciel à sa commande *Translation* n'est pas une dalle, mais bien une partie de celle-ci. La rétroaction du logiciel est la suivante:

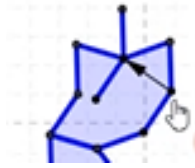


Figure 26. Réponse du logiciel à l'objet de translation sélectionné

Yolande tente de nouveau de procéder à une translation de la dalle *Princesse*.

01:42:51 **Yolande:** Translation... (.)

Elle clique sur l'icône *Translation*, clique sur l'objet à traduire, puis clique sur un point de la figure et obtient une flèche. Par sa technique, elle montre un début de construction du schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller ». Ensuite, ne semblant pas satisfaite de la flèche obtenue, elle la réduit à son point d'origine. Ce faisant, la transformation ne se fait pas, car les points de départ et d'arrivée de la flèche sont confondus, ne donnant ainsi ni direction ni grandeur à la translation.

01:43:00 **Yolande:** [grands bruits de voix d'un enfant] (9) Translation. Uhm.

Yolande refait la même démarche que précédemment, mais cette fois-ci trace uniquement le point d'origine de la flèche. Elle peine à poser le geste de construction du schème d'usage « choix direction et grandeur de translation ». Plus tard, dans son cheminement dans la translation par dédoublement de la dalle puis *dragging*, on peut voir que le concept de dallage est maintenant bien acquis par la dyade, sans que, malgré tout, la construction du schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller » soit totalement finalisée.

01:59:16 **Chercheur:** Le mouvement que t'es en train de faire là. Pose-toi la question. Qu'est-ce que c'était? (.) Le fait de vouloir les coller comme ça? Ouais. (.) Quelle transformation ce devrait être?

01:59:30 **Yolande:** [bruits de voix de l'enfant] Oh. On dirait je- je=

01:59:35 **Chercheur:** =Qu'est-ce que t'es en train de faire?

01:59:40 **Yolande:** Euh. La translation...

La réponse de Yolande à la question de savoir de quelle transformation il s'agit montre bien qu'elle maîtrise le concept de translation.

01:59:45 **Chercheur:** Maintenant, essaie de le faire automatiquement, pas manuellement comme ça, parce que manuellement, je doute que tu puisses avoir le dallage que tu veux.

02:00:07 **Yolande:** OK. [clics de souris] (9) OK. Donc je recommence depuis le début. Peut-être que je peux faire comme ça. Translation. [clics de souris] (10) Oh!!!

Elle découvre la façon de construire la flèche de translation.

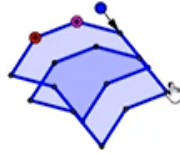


Figure 27. *Construction de la flèche de translation*

02:00:32 **Yolande:** [clics de souris] (10) OK, je vais essayer de faire un autre- Translation.
(.) OK. Translation. [clics de souris] (14) Oh. (.) Ah!!! (7)

Elle réessaie une autre fois et obtient ceci:

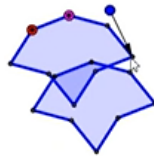


Figure 28. *Nouvelle construction de flèche pour « accrocher un sommet »*

02:01:32 **Yolande:** Là je vais accrocher un sommet [clics de souris frénétiques] (19) OK.
Translation. (10) Oh, OK!

Elle fait une tentative d'« accrocher un sommet », mais le seul résultat qu'elle obtient est un dédoublement de la flèche.

Le schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller » ne demande qu'à se construire. Il semble néanmoins en bonne voie, car la gestuelle nécessaire à sa mise en place commence à être perceptible. En effet, à l'évocation par la chercheuse de la clôture imminente de la séance de RP du fait d'un large dépassement de temps, Yolande continue quand même de démontrer une ferme résolution à tenter d'appliquer une nouvelle fois sa stratégie de translation.

01:58:23 **Yolande:** Moi je vais essayer la- [clics de souris] (10)

Elle explique à son coéquipier sa démarche.

02:02:13 **Yolande:** OK. Donc, au fait quand tu cliques Translation, tu cliques et tu dois comme cliquer où tu veux que le point soit ou- uhm le- uhm- comme la figure soit. Donc tu dois- tu vas cliquer sur- uhm- [...] Donc quand tu cliques, /tu vas cliquer- sur un point ou- et tu vas essayer comme- tu peux- tu peux l'allonger et ça va faire une translation comme ça ou tu peux le faire comme ça. (.) C'est selon toi. [hum, hum d'approbation de la chercheure]

Quoique la flèche construite, dont l'origine est placée sur l'un des sommets de la dalle et la longueur incertaine, pourrait ne pas garantir le respect de la propriété de juxtaposition (sans laisser d'espace) des deux figures initiale et image, mais elle a le mérite de montrer l'évolution du schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller ».

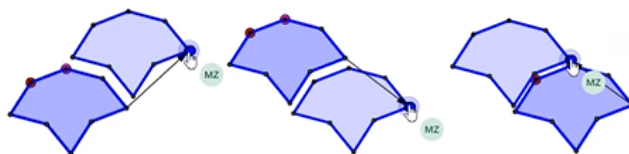


Figure 29. *Évolution dans la manipulation de la flèche de translation*

À travers ces positions successives qu'elle fait occuper par *dragging* la deuxième figure, on voit que la conceptualisation de dallage est bien présente chez la dyade.

02:03:13 **Yolande:** Donc, c'est en déplaçant le point que tu- que tu- uhm- fais la translation.
(.) Donc, quand tu déplaces le point, la figure se déplace avec.

En lieu et place de déplacer le point qui matérialise la pointe de la flèche pour réaliser la translation effective de la figure initiale, il aurait fallu, en premier lieu, tenter de visualiser la position que devrait occuper l'image du point sommet qui se confond avec l'origine de la flèche et ensuite placer la pointe de la flèche au bon endroit. La difficulté de cette stratégie serait de s'assurer de la longueur et direction qu'on veut donner à la flèche. Pour pallier cette difficulté, l'élève pourrait choisir deux sommets de la figure initiale pour matérialiser la flèche, comme dans l'exemple suivant:

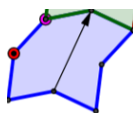


Figure 30. *Exemple de flèche de translation qui garantirait un dallage*

02:03:29 **Yolande:** (.) Donc en faisant ça (.) elle sera- elle sera une- et maintenant c'est- c'est- c'est ça.

En bougeant le point bleu de la terminaison de sa pointe afin d'ajuster manuellement la longueur de la flèche, elle obtient la construction géométrique suivante.

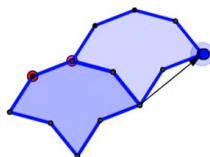


Figure 31. *Construction perceptive de dallage*

Celle-ci semble respecter, perceptivement (à l'œil nu), les propriétés d'un dallage.

02:04:00 **Yolande:** Et tu répètes ce procé- euh- ça plusieurs fois et quand tu finis ça va être comme une- un dallage. Tu peux le faire maintenant.

02:04:15 **Marc:** (11) Alors en gros, tu dois juste- euh- par exemple, tu vas sur- euh- Translation, tu choisis un point, ensuite tu maintiens pour que ça...

À son tour, Marc clique sur l'icône *Translation*, mais ne clique pas sur l'objet d'abord. Il saisit un point du sommet et tente de faire apparaître la flèche.

02:04:37 **Marc:** /Oui, je veux juste=

Marc recommence la démarche en cliquant de nouveau sur l'icône *Translation*.

02:04:49 **Yolande:** /Clique à côté du - hors du point actually- clique comme en dehors- comme clique (.) hors de la figure. Voilà. (.) Et maintenant, tu peux dép- tu déplaces le point bleu. (.) Non, reviens au point bleu. Attends, est-ce que je peux t'aider à le faire. Regarde, tu reviens au point bleu, tu prends la flèche ici. (.) Tu vois le point bleu est avec la flèche, comme il y a un point noir dedans, c'est ça, tu cliques et tu commences à déplacer. (.) Comme ça. Est-ce que tu vois?

La figure donne ceci:

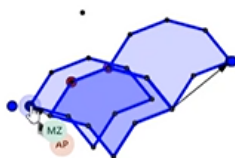


Figure 32. Les deux coéquipiers construisent simultanément des flèches de translation.

02:05:50 **Yolande:** Désolée. [clics de souris] (10)

Marc tente de refaire l'opération, mais la souris de Yolande le gêne et il décide de recommencer.

02:06:20 **Yolande:** Oh. On dirait que tu as fait plusieurs copies. T'en as fait deux.

Les deux copies donnent ceci:



Figure 33. La modification de grandeur de flèche entraîne des « copies ».

Dans son langage, Yolande utilise le terme « copie » qui fait effectivement référence à la copie de la dalle que Marc a obtenue et qu'ils peuvent déplacer à leur gré en bougeant le point terminal de la pointe de la flèche. On ne saurait appeler cette copie une image translatée de la figure initiale dans la mesure qu'elle bouge indépendamment de la figure initiale dont elle est censée être issue, signe du non-respect de la contrainte de *conservation des propriétés géométriques au cours du mouvement* de la géométrie dynamique.

Schème d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller »

La technique révélatrice de la construction du schème d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller » n'a été observée que chez la dyade 1. Il n'y a pas eu de tentative de

construction de dallage par une réflexion instrumentée par la dyade 2, quoique, paradoxalement, Joachim avait indiqué avoir acquis des connaissances antérieures du concept de réflexion, il ne les a pas mis à contribution ou n'a pas tenté de les consolider.

Schème d'usage « choix axe de symétrie »

Le schème d'usage « choix axe de symétrie », composante de la technique instrumentée *transformer par réflexion pour daller* est très vite activé en séance d'initiation chez la dyade 1, par suite de la précision apportée par l'observatrice, dans sa tentative de faire subir une réflexion au triangle qu'elle venait de construire.

Chercheur: Pose-toi toujours la question c'est quoi les paramètres de la symétrie. C'est l'objet et c'est l'axe de- l'axe de symétrie. (.) Allez. Tu es sur la bonne voie. Fais ta droite. (12)

Marc: /Je ne sais même pas- Je ne sais même pas- Oui?

Après cette précision, Marc, tentant de construire la droite de l'axe de symétrie, clique sur le polygone, à deux reprises, puis crée un point, D, sur le plan et clique sur l'axe des x. L'axe de symétrie se constitue en cliquant soit sur une arête de la figure soit, tout au moins, sur deux points sommets bien choisis de la figure. L'action de Marc est interprétée par le logiciel comme une indication à considérer l'axe des x comme l'axe de la symétrie et il retourne ceci:

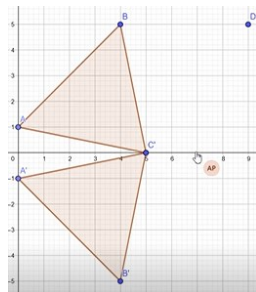


Figure 34. *Symétrie: l'axe des x comme axe de la symétrie*

En séance de RP, lorsque la dyade explore les outils du logiciel à la recherche de l'icône *Réflexion*, l'observatrice intervient pour leur préciser que, sur GeoGebra, *Symétrie* est synonyme de *Réflexion*.

01:16:49 **Chercheur:** Eux ils l'appellent Symétrie. La réflexion, ils l'appellent symétrie. Devant l'hésitation de la dyade à compléter la réflexion après sélection de l'outil *Symétrie axiale*, l'observatrice utilise son expertise pour faire le modelage d'une réflexion dont l'axe de réflexion se confond avec l'une des arêtes de la figure.

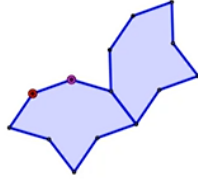


Figure 35. *Modelage pour le choix d'axe de réflexion*

À la suite de ce modelage, la chercheure questionne pour voir si la dyade a fait sienne de ses gestes.

01:23:18 **Chercheure:** =Qu'est-ce que je viens de faire justement? Yolande. Voilà.

01:23:25 **Yolande:** Tu as- Tu as cliqué Symétrie et tu as cliqué- uhm- à côté.

01:23:32 **Chercheure:** À côté, quoi?

01:23:33 **Yolande:** Comme tu as cliqué l'endroit où tu voulais le mettre. Est-ce que tu as fait...? Oh. Où est- Où est ma flèche? Est-ce que tu as fait comme ça...? [clics de souris] puis cliqué... cliqué... Oh!!!

Dans sa tentative de refaire les mêmes gestes, Yolande comprend que, dans un premier temps, il faut cliquer sur l'objet de la symétrie puis sur un point « à côté », mais elle se rend très vite compte, ayant pris le choix d'une symétrie axiale, que c'est sur la droite constituée par l'arête qu'il faut cliquer et non pas sur un point.

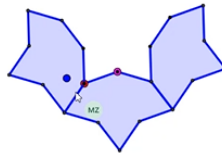


Figure 36. *Symétrie axiale suivant une droite et non pas un point*

Le logiciel l'a courtoisement laissé tenter de mettre le point « à côté » sans réagir, pour lui indiquer, silencieusement, qu'elle venait de faire le choix d'une symétrie suivant un axe de symétrie et non pas suivant un point. Les schèmes sociaux préconstruits dans l'artefact, tels que la courtoisie, la convivialité, se présentent manifestement. Ayant reçu le message cinq sur cinq, Yolande a pu rectifier le tir. Quoique silencieuse, cette dialectique entre le logiciel et l'élève n'en est pas moins riche, car elle permet à Yolande d'élaborer le schème d'usage « choix axe de symétrie » qui est loin d'être spontané chez elle. On voit ici que l'aide apportée par l'observatrice a permis à la dyade 1 de cheminer vers l'élaboration du schème d'usage et ensuite de faire la démonstration de la naissance de la construction du schème d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller ».

01:23:54 **Yolande:** Donc c'est comme ça! [clics de souris]

01:23:58 **Chercheure:** Parce que qu'est-ce qui définit la symétrie, selon vous?

Elle ne répond pas à la question de la chercheure, mais tente de refaire la symétrie, mais l'axe qu'elle choisit cette fois-ci fait en sorte qu'on observe une superposition des figures.

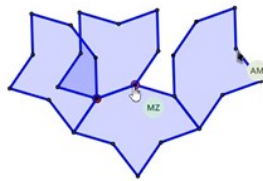


Figure 37. Tentative de sélection de l'axe de symétrie adéquat

01:25:25 **Yolande:** Ah. Voilà. (7) [clics de souris]

Elle refait la symétrie axiale avec l'une des deux droites de la base de la dalle, puis réessaie, puis encore. Ses essais successifs lui donnent ceci:

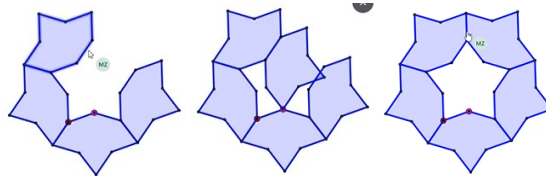


Figure 38. Les essais successifs mènent à un dallage par réflexion.

Elle est capable de rectifier d'elle-même et, en fin de compte, démontre la construction achevée du schème d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller ».

01:26:51 **Yolande:** Donc on a réussi à faire le dallage grâce à la rotation- non pas à la rotation- grâce à la réflexion.

Elle vérifie l'exactitude de sa réponse au problème posé et elle en conclut avoir atteint la solution attendue; « grâce à la réflexion », pour elle, décrit le dallage obtenu en termes de réflexion. Nous notons qu'elle aurait pu utiliser un langage mathématique précis dans sa description de la transformation géométrique obtenue. Toutefois, en précisant pour chacun des déplacements obtenus l'axe de réflexion par sa gestuelle, nous estimons qu'elle a fini de s'approprier le schème d'usage « choix axe de symétrie ».

1.1.2.1.4 En phase 4 de Pólya (PP4) *évaluation des résultats*

À plusieurs occasions, durant cette phase, l'invalidation de la stratégie de construction choisie se découvre dans la mobilisation du schème d'usage « effacer une construction en cours ». À d'autres occasions, la dyade exprime la validation de sa solution de transformation géométrique instrumentée en poussant des exclamations de satisfaction du résultat de construction obtenu.

00:48:48 **Joachim:** Ah, c'est bon! (.)

00:52:11 **Joachim:** (10) OK. Parfait! (.)

01:17:10 **Brielle:** Voilà. (5) Voilà!

Ou bien la dyade exprime l'invalidation de sa stratégie en faisant des constatations, comme lorsqu'ils obtiennent collectivement ceci:

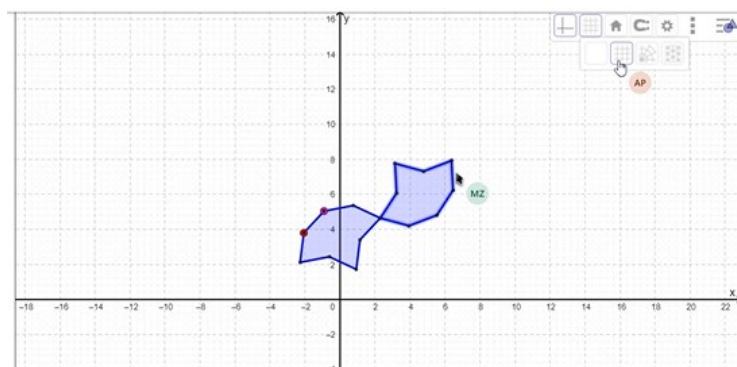


Figure 39. Invalidation de stratégie qui aboutit à des figures qui ne « collent » pas

00:48:50 **Yolande:** Donc, ça, ça ne va pas fonctionner. Parce que ça ne se colle pas vraiment. Évoquant leur exploration du logiciel à la séance d'initiation, Yolande rappelle:

00:51:40 **Yolande:** parce que la dernière fois quand on a fait, on avait fait- uhm- une- une réflexion et c'était collés ensemble. Donc, on peut essayer de faire la même chose encore.

Yolande suggère de répéter la procédure puis précise:

00:52:21 **Yolande:** /(inaudible). Donc- On peut trouver un angle et je peux réessayer pour la rotation. Est-ce que tu as un angle à me donner?

Elle semble consciente de son erreur précédente et voit bien que c'est la valeur de la variable *angle* qui empêche que « ça colle ». Cela témoigne, même si ça ne donne pas encore le résultat escompté, que la dyade est sur la bonne voie de construction de l'instrument « Rotation pour daller ».

Schème d'usage « effacer une construction en cours »

Le schème d'usage « effacer une construction en cours » a été repéré dans toutes les phases de RP, excepté la phase 2 de Pólya (PP2) *élaboration d'un plan*. Il est activé par l'appui par la dyade sur la touche *Back* dans le but d'effacer un début de construction ou de revenir à un état initial d'une construction préalablement élaborée ou pour carrément effacer toute la construction en cours et recommencer à partir de l'applet initial: le plan de GeoGebra agrandi comportant uniquement la dalle *Princesse*, en vue d'invalider la construction. Plusieurs situations ont été observées pour ce faire, par exemple, lorsque Yolande appuie répétitivement sur l'icône *Back* pour faire disparaître la figure image qu'ils viennent d'obtenir par rotation de 90° afin qu'il ne reste plus que la dalle initiale, ou lorsque la technique de sélection groupée ou non puis touche de suppression du clavier

Delete des points parasites créés lors de précédentes tentatives de construction est utilisée par Brielle ou suggérée à son coéquipier.

00:53:41 **Brielle:** Tu peux juste x-er, comme tu peux enlever ça. (.) Ça ici, tu peux juste faire ça. Voilà.

00:55:15 **Brielle:** Je vais- Je vais l'enlever. [autre enfant chantonne]

En définitive, après de nombreuses tentatives, infructueuses ou fructueuses, instrumentées ou manuelles, de faire subir à la dalle Princesse des transformations géométriques pour réaliser un dallage, ils obtiennent des constructions parfois invalidées parfois validées, comme dans l'exemple de la construction suivante.



Figure 40. Construction validée par la dyade

Pour celle-ci, à l'exception des deux dalles supérieures obtenues par réflexion, l'une de l'autre, toutes les autres démontrent une tentative de vouloir effectuer le dallage par translation manuellement, démontrant la construction du schéma d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle ».

1.1.2.2 Collaboration d'équipe au sein des dyades

La collaboration d'équipe prend du temps pour s'installer au sein de la dyade 2. Brielle commence directement à manipuler les objets. Joachim, lui, avait déjà commencé à les explorer avant même d'avoir pris le temps de comprendre le problème posé. La chercheure les recentre puis les exhorte à se parler, à communiquer. Rappelons que des deux dyades, celle formée par Brielle et Joachim n'a pas préféré activer ses caméras. Ceci pourrait expliquer la lenteur dans le commencement du travail d'équipe. Marc et Yolande, eux, avaient leurs caméras allumées durant toute la session d'activités. La chercheure leur suggère une méthode de travail:

00:45:21 **Chercheure:** Moi, je vous suggère de vous parler, de savoir comment faire. Qui fait quoi? Et après? Une fois que- Je vous suggère que un fait un... une transformation, après l'autre fait le deuxième, ainsi de suite. Et chaque fois que un fait sa transformation, il choisit sa couleur préférée pour la dalle qu'il a transformée.

La méthode de travail tout juste suggérée est ignorée. La chercheuse intervient:

00:46:57 **Chercheuse:** Parlez-vous avant de commencer. Peut-être que je vais devoir arrêter votre souris. Ou bien, vous êtes capable de vous parler avant de commencer?

00:47:08 **Brielle:** OK! [s'adressant à Joachim] Est-ce... Moi ou toi... Moi je peux commencer à faire comme un dallage, puis après là on peut... on pourra partager qui va faire les... la réflexion, la translation, la rotation?

Les propos de Brielle portent à croire que, à ce moment-là, le terme « dallage » constituait encore une ambiguïté chez Brielle. Ou bien, il est probable que la deuxième phrase du texte du problème, celle par lequel on précise de décrire le dallage en termes de réflexion, translation, rotation, l'enduit en erreur et qu'elle perçoit les deux phrases comme deux tâches distinctes.

00:49:25 **Joachim:** [fait des essais et marmonne]... et là... /Tu dois- Euh- Tu dois créer le (.) dallage.

00:49:35 **Brielle:** Mais on doit trouver une façon pour- pour... euh... pour copier la- la dalle *Princesse*, n'est-ce pas?

00:49:45 **Joachim:** Euh... Oui. Oui. OK. Peut-être... euh... prendre un polygone et essayer de le refaire.

Leurs attitudes révèlent un travail d'équipe asynchrone. Chacun tente d'exécuter son plan, si tant est qu'on puisse parler de plan puisqu'ils n'en ont pas établi, ni individuellement ni collectivement. Brielle tente de reproduire vainement la situation dans laquelle elle avait été en mesure de « copier » la dalle initiale puis de faire bouger manuellement la copie pour la juxtaposer à la dalle initiale. Joachim, quant à lui, semble proposer de réaliser la copie en tentant de reproduire à l'identique la dalle *Princesse*, manuellement, en utilisant l'outil *Polygone* du logiciel. Tout comme Brielle, il est lui aussi entré en phase d'exécution, mais s'est doté d'un plan différent.

00:49:55 **Chercheuse:** Moi, je dirais plutôt d'oublier le menu Polygone, parce qu'on a déjà notre polygone.

00:50:05 **Joachim:** Oui, je sais, mais il faut refaire un autre pol- pol- pol- pol- polygone.

00:50:15 **Chercheuse:** OK. Un autre, une copie?

00:50:25 **Joachim:** Oui. [ils le disent en chœur] Une copie.

Ils semblent tous les deux avoir adhéré à l'idée de construire manuellement un « polygone-copie » qui serait une copie de la dalle. Toutefois, leurs façons de l'obtenir diffèrent: Brielle veut recréer la copie par clics de la souris et Joachim veut obtenir la reproduction point par point en utilisant l'outil *Polygone*. Ils explorent la barre d'outils tous les deux simultanément, leurs souris se croisent, se superposent, se déplacent aléatoirement. Malgré les maints rappels de l'observatrice à ce propos, le travail d'équipe ne semble pas s'établir. L'exploration du logiciel leur fait-elle oublier qu'ils travaillent en équipe?

00:52:01 **Joachim:** Euh... Je ne peux pas cliquer. Rotation... translation... milieu du centre... (.)

00:52:25 **Chercheuse:** Je vois deux personnes, deux souris qui bougent, mais j'ai pas l'impression de voir un travail d'équipe, par exemple.

00:52:58 **Brielle:** /(inaudible). Moi je peux faire le dallage. Après là, on pourra partager la réflexion, la translation et qui va faire la rotation aussi. (.) Euh... (.)

Brielle commence à proposer un début de partage des tâches à faire en équipe, mais ne semble toujours pas assimiler l'idée selon laquelle le dallage s'obtient par les transformations géométriques qu'elle vient de nommer.

00:53:56 **Brielle:** Est-ce que tu fais un dallage ou tu veux que moi je fais un dallage?

00:54:07 **Joachim:** (.) Non, pas comme ça.

Joachim n'écoute pas sa coéquipière, il ressaisit la dalle par son sommet et le fait bouger, mais il ne semble pas satisfait du résultat. Brielle lui propose de l'aider dans sa démarche.

00:54:17 **Brielle:** /Qu'est-ce que t'es- Qu'est-ce que t'es en train d'essayer de faire? Peut-être que je pourrais t'aider.

00:54:27 **Joachim:** J'essaie de faire un autre dallage. Mais...

00:54:37 **Brielle:** Alors tu dois- tu dois aller... à... Translation. Moi, je suis partie à Translation.

00:54:47 **Joachim:** OK, d'accord... Translation. Et maintenant, je fais Translation... euh... Ça... (22) [il fait des essais]

Ils travaillent simultanément à essayer de réaliser la translation. Les pointeurs de leurs souris se croisent, ils font des flèches différentes simultanément. Le logiciel ne comprenant pas la requête à satisfaire, reste de marbre en ce qui concerne la translation de la figure.

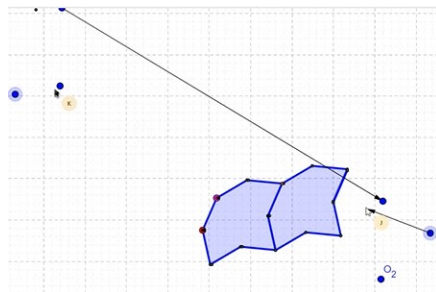


Figure 41. Situation confuse non compris par le logiciel

Quand ils décident de changer de stratégie pour la rotation, la chercheuse cherche à porter leur attention sur le centre de rotation à choisir, mais ils ne semblent pas l'écouter. C'est à prendre positivement dans un certain sens, puisqu'il semble qu'un début de réelle collaboration d'équipe commence à s'installer.

01:08:32 **Brielle:** Est-ce que tu... on- on peut se partager... euh... les- les... ces... les travaux? Comme, si tu veux faire la réflexion, la translation, la rotation. Moi je peux faire... Euh... Toi tu veux faire quoi d'abord?

01:09:08 **Joachim:** Euh... Je vais faire... euh... la rotation.

01:09:14 **Brielle:** La rotation? [Bruits de fond] OK- OK. Euh... Euh... OK. Moi, je vais faire la- la réflexion et... euh... après là... euh... la personne qui finit avant pourra faire... euh... la translation. Est-ce que c'est bon?

01:09:27 **Joachim:** (.) Ouais.

01:09:30 **Brielle:** OK. Euh... Alors, qui... Est-ce que tu veux commencer à- à faire...? Ou peut-être est-ce que tu veux commencer à faire ta rotation? Moi, je pourrais faire la réflexion après que- si tu veux commencer (inaudible) [bruits parasites].

01:09:44 **Joachim:** OK. Je vais commencer avec la rotation.

À la fin de la séance de RP, lorsque la chercheuse leur mentionne n'avoir pas eu l'occasion de les entendre communiquer plus souvent au sein de l'équipe, Joachim répond vivement:

01:34:24 **Joachim:** Mais c'est parce qu'avant on ne se connaissait pas assez.

1.2 Bilan des résultats d'observations

Dans le tableau 6 ci-après, nous récapitulons les schèmes d'utilisation, schèmes d'usage et schèmes d'action instrumentée, qui ont été activés par suite de l'action des élèves ASSI durant la situation d'apprentissage, tant en séance de RP qu'en séance d'initiation. Pour la séance de RP, les schèmes sont situés dans le contexte des phases de résolution du problème (PP1, PP2, PP3, PP4) dans lesquelles ils ont été mobilisés au cours des genèses instrumentales des dyades, tel que détaillé précédemment, exemples à l'appui, dans l'ensemble de la sous-section « 1.1 Genèses instrumentales des dyades » du présent chapitre. Ainsi, processus d'instrumentation et d'instrumentalisation se sont articulés tout au long du processus de RP.

Rappelons qu'un début de construction d'instruments Transformations s'est observé chez la dyade 2 dès la phase 1 (PP1) de compréhension du problème, tandis que pour la dyade 1, cette construction n'a débuté qu'en phase 2 (PP2) d'élaboration d'un plan. Cela explique que, pour la PP1, des schèmes qui témoignent de tentatives de construction de dallage soient mobilisés au cours de cette phase. Subsidièrement, d'autres schèmes qu'on ne se serait nécessairement pas attendu à retrouver durant certaines phases se sont pourtant manifestés en celles-ci. C'est le cas du schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle » qui a très tôt été initié, en PP1, par tâtonnements ou par manque de coordination au sein de la dyade dans le démarrage de la tâche à exécuter. Il a aussi été mobilisé en PP2 où il manifestait de la stratégie de la dyade, d'user d'ajustement d'une figure erronée obtenue précédemment pour effectuer le dallage, en guise de

Tableau 6. Synthèse des schèmes d'utilisation mobilisés en situation d'apprentissage

Légende: • schème d'usage (singulier ou relatif à une technique instrumentée (en retrait dans le texte));

▪ schème d'action instrumentée; (mode de transformation ou déplacement)

Séance d'initiation			
• usage ludique des outils du logiciel ▪ construire un polygone • sélection outil polygone • tracé des points • tracé des droites			
Séance de RP			
PP1	PP2	PP3	PP4
• présenter/partager son écran • donner/reprendre/demander le contrôle • configurer le plan cartésien • effacer une construction en cours • dédoublement de la dalle ▪ transformer/déplacer pour ajuster la dalle	▪ transformer/déplacer pour ajuster la dalle (par rotation) • sélection outil rotation • sélection outil symétrie axiale • sélection outil translation • dédoublement de la dalle • affichage de l'aide	• recopiage de la dalle ▪ transformer/déplacer pour ajuster la dalle (par dragging) • dédoublement de la dalle • sélection objet à transformer (en rotation, en translation ou en réflexion) ▪ transformer par rotation pour daller • choix centre de rotation • entrée valeur angle de rotation • choix sens de rotation ▪ transformer par réflexion pour daller • choix axe de symétrie ▪ transformer par translation pour daller • choix direction et grandeur de translation • affichage de l'aide détaillée • sélection outil angle (en modelage)	• effacer une construction en cours

plan. C'est aussi le cas du schème d'usage « configurer le plan cartésien » qui, le plus souvent, se manifestait dans la démarche de la dyade sans aucune raison valable relativement à la réalisation de la tâche. À ce titre, nous avons choisi de ne pas inclure toutes ses occurrences dans le tableau 6.

2. Les résultats d'entrevues

Dans cette section, nous présentons les résultats des entrevues d'explicitation des habiletés de résolution de problèmes démontrées par l'élève ASSI lors des observations, d'une part, des propos sur ses apprentissages par RP en milieu technologique, d'autre part.

2.1 Explicitation de l'observance des phases de RP

Dans cette sous-section, les deux dyades d'élèves ASSI explicitent leur observance des étapes de résolution du problème qu'ils ont suivies.

Observance de la phase (PP1) compréhension du problème

Yolande montre sa compréhension du problème en ces termes:

Yolande: J'ai relu le problème plusieurs fois... pour essayer de le comprendre [...] Je devais chercher le dallage, donc je devais comme coller les figures ensemble, mais je pouvais pas les redessiner pour les coller ensemble. Je devais utiliser la translation ou la rotation ou la réflexion. À partir d'une figure qui s'appelle la *Princesse*.

Elle précise qu'ensuite, elle a mis à contribution ses connaissances antérieures, « ce que je connaissais d'abord à propos du problème », pour pouvoir « le résoudre plus rapidement ». Elle reconnaît néanmoins qu'après avoir lu le problème: « je savais pas c'était quoi un dallage... j'ai pu voir des exemples et après ça, j'ai essayé d'en recréer un ». Marc, lui, donne sa vision de sa compréhension du problème: « Quand on a un problème, la première chose qu'on doit faire, c'est qu'on doit lire l'énoncé. Il faut comprendre la question ». Il déclarera qu'il savait déjà, en lisant le problème, ce qu'est un dallage, à la différence de Yolande qui, elle, dira: « au début, parce que je comprenais pas trop au début, mais après ça, j'ai compris le concept et je l'ai fait. » Elle a dû poser des questions pour être éclairée sur le sens du mot « dallage ». L'énoncé de l'exercice n'était pas trop évident pour elle. Brielle dit avoir lu le problème et « après je devais voir les définitions des mots. S'il y avait comme, par exemple, dalle ou dallage *Princesse*, je devrais savoir » et qu'ensuite « j'ai besoin encore des clarifications, je demandais, je posais des questions. » pour « comprendre ce qu'on a à faire ». Joachim, lui, reconnaît qu'après avoir lu le problème écrit, il ne connaissait pas tous les termes « Il y a des mots que je connaissais pas », mais il a posé des questions « qu'est-ce que c'est la dalle *Princesse* et le dallage » et déclare « après je connaissais tout parce que...

euh... on me l'a appris! » La raison évoquée est la suivante: « parce que... j'ai pas fait beaucoup de géométrie dans ma vie. » Il exprime ainsi sa compréhension du problème: « L'activité c'était de faire... euh... utiliser la dalle *Princesse* et la réflexion, la translation et la rotation... avec GeoGebra. »

Observance de la phase (PP2) élaboration d'un plan

Yolande annonce sa stratégie, « par façon d'élimination », qui consistait à essayer toutes les trois transformations pour, selon elle, s'« entraîner » et dans le but d'être « la prochaine fois, meilleure à ça ». Elle prévoit utiliser le logiciel de nouveau dans le futur pour réaliser d'autres tâches similaires. En parallèle, son coéquipier Marc qualifie leur stratégie de « plusieurs possibilités ». Brielle mentionne, en guise de stratégie, la méthode de travail qu'ils ont retenue dans l'équipe pour résoudre le problème: « ... j'ai essayé de- de diviser un plan pour- pour essayer de voir quelles personnes peuvent faire quoi ». Elle planifiait établir la communication avec son coéquipier: « et aussi communiquer avec mon partenaire ». Joachim, comme c'est le cas pour Yolande, pense ne pas avoir élaboré un plan: « j'ai directement commencé, j'ai suivi ma coéquipière ». Cependant, selon nous, le logiciel l'y a amené par le fait même qu'il a choisi d'essayer de produire un dallage à l'aide de l'outil *Rotation*. Il confirme ainsi nos dires:

Joachim: Au début j'avais pas vraiment de plan... mais en lisant le... en commençant les rotations, là j'ai eu- j'ai eu l'idée de savoir ce que je fais.

Néanmoins, conscient d'avoir eu à faire un travail d'équipe, il décrit leur plan comme suit: « on a choisi de faire la rotation et quand on a choisi, on a continué avec la rotation jusqu'à la fin ».

Observance de la phase (PP3) exécution du plan

Pour mettre en œuvre sa stratégie de RP, Yolande dit avoir « essayé différentes démarches pour le faire » dans GeoGebra, « plusieurs possibilités pour savoir- pour savoir qui était la plus bonne », selon Marc. Yolande les décrit ainsi:

Yolande: En premier, j'ai utilisé... la rotation pour voir si ça allait fonctionner, mais je savais pas comment bien l'utiliser et ça fonctionnait pas bien. Donc j'ai laissé la rotation. Après ça, j'ai essayé la tran... la translation. J'ai essayé... euh... la réflexion et ça a pu marcher.

La question du comment utiliser les outils du logiciel s'est posée chez Yolande. Elle est consciente que la juxtaposition de la dalle dédoublée qu'elle avait obtenue par simple *dragging* en mode *Translation* ne lui a pas permis d'obtenir un dallage, car « les lignes étaient un peu trop épaisses ». Quant à Marc, sa description de la phase 3 est la suivante:

Marc: Ben j'ai commencé avec la réflexion... on a commencé avec la réflexion, mais ça ne marchait /pas trop. Ensuite, on a eu l'idée de faire, ben d'essayer de faire un dallage avec la translation.

Malgré le fait qu'il reconnaît qu'il s'agissait d'un travail d'équipe: « Vu qu'on était en équipe ensemble », Marc dira: « Je devais créer un dallage à partir d'une figure » et que, même lorsqu'il n'interagissait pas avec GeoGebra, « j'essayais un peu de voir dans ma tête comment j'allais faire ça. » On voit que Marc, dans une démarche métacognitive, s'est lui aussi posé la question de comment utiliser les outils du logiciel. À partir de là, d'après Joachim, la mise en œuvre de leur stratégie a été d'essayer successivement de changer les valeurs d'angle de rotation. Il se désole du manque de résultat escompté en disant: « C'est mieux si je connaissais mieux les degrés, ça allait aller plus vite. Si on connaissait mieux la rotation ». On note que la volonté d'exécution rapide de la tâche apparaît chez Joachim, tout comme cela a été noté pour les trois autres élèves ASSI participants. Pour décrire la figure réalisée, Joachim dira que, dans « le système technologique GeoGebra », « je suis allé par la case à gauche Rotation », ensuite, il explicite comment il s'y est pris pour faire la rotation, démontrant son appropriation évolutive de la rotation instrumentée. La question du comment faire les transformations géométriques instrumentées s'est également posée chez Brielle, « j'ai utilisé le programme... j'ai essayé de voir comment ça marche pour... pour juste bien savoir comment faire une translation, rotation, réflexion ». On retrouve chez elle également la notion de rapidité d'exécution de la tâche, « pour que on finisse le travail plus vite », mais plus encore, elle accorde aussi de l'importance à la qualité de la production: « que ce travail soit aussi correct et bon ».

Observance de la phase (PP4) évaluation des résultats

Tandis que Marc, du fait de ses connaissances antérieures de la définition d'un dallage, s'appuie sur celles-ci pour l'invalidation de leurs constructions erronées, « parce que ça ne formait pas un dallage », Yolande, elle, dans sa vision de ce qu'est un dallage, « les figures qui se répètent beaucoup, mais qui sont collés ensemble », estime que le problème a été résolu tout compte fait.

Yolande: J'ai résolu seulement avec un nom, mais c'était pas grave parce que je l'ai quand même résolu [...] J'ai finalement trouvé un résultat. C'était pas très efficace, parce qu'elle n'était pas rapide.

Elle relate efficacité à rapidité d'exécution. Son succès, elle l'attribue à l'usage de l'outil *Symétrie axiale* et à l'aide contextuelle du logiciel, en séance d'initiation puisque, rappelons-le, une déficience d'affichage de l'aide s'est produite durant leur séance de RP.

Yolande: J'ai eu plus de l'aide du logiciel, parce que mon coéquipier parlait pas vraiment. Donc c'était difficile d'avoir de l'aide.

Elle déplore ainsi le manque de collaboration dans le travail d'équipe. Marc semble confirmer les dires de Yolande à ce propos: « je pense que Yolande a fait plus de travail que moi. La prochaine fois, si on fait encore en équipe, je peux... je pourrais plus l'aider. »; il améliorerait sa participation, qu'il juge insuffisante, au travail de son équipe. Yolande d'ajouter:

Yolande: Maintenant qu'on doit faire beaucoup de choses en ligne, si on commence à faire Géométrie, ça pourrait être un site qui peut m'aider comme dans le futur.

Elle regrette également d'avoir subi le problème dans l'affichage de l'aide durant la séance RP pour leur dyade, ce qui l'a privé de savoir, en ce qui concerne les outils de GeoGebra, « comment on l'utilise. Donc c'était un peu difficile de le faire, sans qu'ils ont montré comment on l'utilise. » Elle est « sûre que ça fonctionnerait » si elle avait « pu apprendre davantage sur comme les trois trucs » parce qu'elle « les connais par cœur », parlant des trois transformations géométriques.

Bilan de l'explicitation de l'observance des phases de Pólya

Selon nous, la dyade a suivi toutes les phases de RP décrites dans le « Modèle en quatre étapes de Polya ». Néanmoins, à notre demande d'indiquer lesquels, Yolande pense les avoir suivis, mais elle élimine la phase 2 (PP2) *élaboration d'un plan*: « Non, je ne crois pas que j'ai suivi cette étape ». En fait, sans en être consciente, le fait de choisir de sélectionner l'une ou l'autre option de menu de GeoGebra constituait un plan en lui-même. De plus, en entrevue d'explicitation, elle a su verbaliser sa stratégie, « par façon d'élimination ». À la même question posée à Yolande, celle d'indiquer les étapes de Pólya qu'il a suivies, Marc s'exclame: « Oh! Non, je n'ai pas fait de plan » (à la phase 2). Toutefois, réflexion faite, il se dédit favorablement.

Marc: Mais oui, j'avais un plan. C'était de faire une réflexion assez proche des deux... euh... des deux... euh... [quelques petites tapes sur la table] des deux formes. Par exemple, on va dire quoi... ça c'est un triangle, je voulais faire un peu une réflexion comme ça.

En parlant, il joint ses deux pouces et ses deux index, pour matérialiser la réflexion d'un triangle imaginé obtenu par l'écart de son pouce et son index et délimité par une ligne verticale imaginaire qui serait l'axe de réflexion.

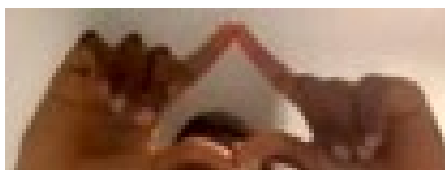


Figure 42. Matérialisation corporelle de la réflexion d'un triangle

Il reconnaît qu'il leur « fallait choisir le plan ensemble », « vu qu'on était en équipe ». De prime abord, cela pourrait sembler paradoxal qu'il n'ait pas mis son plan à exécution parce qu'ils étaient en équipe. Cependant, la raison qu'il donne, « vu qu'on était en équipe et que je ne pouvais pas faire ce que je veux... vu qu'elle avait déjà un plan et qu'on ne pouvait pas faire les deux- deux- deux choses en même temps », nous éclaire sur ses propos. Selon nous, Marc a compris que, même s'il ne l'annonce pas formellement, le fait de planifier utiliser un outil du logiciel permettant de réaliser la tâche constitue un plan en soi. Pour cette phase, Brielle trouve qu'il n'y a pas eu le temps nécessaire pour faire leur vérification de résultats, « Il n'y avait pas vraiment le temps. On pouvait pas vraiment vérifier si c'était bon... parce que... euh... d'abord, on devait savoir comment utiliser et après là, il n'y avait pas de beaucoup de temps ». En réponse à la question de précision de l'intervieweuse, de savoir comment elle a pu vérifier l'exactitude ou la vraisemblance de ses résultats, Brielle utilisera un langage imagé:

Brielle: par exemple la- la réflexion, je devais voir que si... euh... si je devais imaginer que c'était un papier et si j'étais en train de le plier, ça allait être symétrique.

À la même question de précision adressée à Joachim, la réponse sera la suivante, démontrant ainsi son acquisition du concept de dallage.

Joachim: quand toutes mes dalles *Princesses* se- se- se touchent et qu'il n'y a pas d'espace. Qu'ils tous sont bien collées ensemble parce que s'il y a un espace, c'est- c'est- c'est plus un dallage.

Il dit avoir examiné leur solution à l'appui de « par exemple avec les degrés... » pour savoir « si la rotation était bonne... Pour que ça fait un dallage parfait. ». En fin de compte, Brielle regrette de ne pas avoir « plus communiquer avec mon coéquipier pour que on avance plus ». Par la mise en avant de cette idée d'avancement dans la tâche à accomplir, on voit encore une fois toute l'importance qu'elle accorde à la collaboration au sein de l'équipe. Joachim, quant à lui, aurait aimé « réessayer avec la translation aussi... si y avait temps... un tout petit peu plus facile ». Réflexion faite, il trouve que la translation aurait été plus réalisable.

À notre sens, Brielle et Joachim ont suivi, tout comme Marc et Yolande, toutes les étapes de RP. Cependant, quand nous leur demandons de nous indiquer celles qu'ils pensent avoir suivies, Brielle doute de la phase 4, faute de temps selon elle.

2.2 Propos sur l'apprentissage avec LGD

Dans cette sous-section, les dyades d'élèves ASSI partagent avec la chercheuse leurs propos à l'égard de l'expérience d'apprentissage vécue. De leurs discours, nous avons dégagé plusieurs catégories dont: les potentialités engageantes du logiciel, ses contraintes à reconsidérer, le sens qu'ils donnent aux apprentissages acquis, leur maîtrise des outils du logiciel, leur dévolution du problème.

potentialités engageantes du logiciel

Les élèves ASSI ont reconnu avoir fait la découverte de potentialités du logiciel de géométrie. Cette découverte en soi favorise leur engagement.

Pour Yolande, l'aspect visuel que présente le logiciel lui facilite l'apprentissage. Elle évoque l'automatisme, la précision et la rapidité que confère le logiciel dans l'exécution de la tâche.

Yolande: Si, par exemple, je veux être plus visuel ou que ça soit plus facile, parce que le logiciel était un peu... était plus visuel. Y avait des couleurs et tout ça... [...] Pour la réflexion, normalement, je devrais comme compter les points où je devrais mettre à peu près... euh la... uhm... les points de sommets pour tracer la figure... mais ça l'a fait toute seule... et ça a été plus... plus rapide et plus précis, parce que comme c'est un ordinateur, il le fait plus rapidement et efficacement.

Pour Marc, le côté aidant et pratique du logiciel lui permet de faire un gain de temps. Il évoque la commodité de la touche *Back* utilisée pour effacer des constructions.

Marc: Ça m'aide... ça m'aide beaucoup et aussi que c'est pratique. On- On perd moins de temps. [...] Le logiciel m'arrangerait mieux, parce que si on prend une feuille vierge blanche on va devoir faire... en tout cas moi, je dois refaire les cases, les trucs de X, Y... et ça va prendre plus de temps. Le logiciel prend moins de temps. [...] Et si je fais une faute, je vais devoir effacer pour refaire. Alors que dans le logiciel.. on peut retourner en arrière... si- si je fais une faute, je peux enlever la faute sans- sans effacer la grille.

À ce propos, nous avons relevé qu'il s'assurait de remettre la grille du plan à chaque séquence.

Joachim apprécie le fait que le logiciel réagissait, par « en bas, un truc avec Aide », pour leur montrer la voie à suivre pour réaliser la rotation.

Joachim: Par exemple, le sens horaire et anti-horaire qui est- utile dans ce genre de travail. Le fait de pouvoir changer les degrés aussi.

contraintes du logiciel à reconsidérer

Les élèves dressent les contraintes auxquelles ils ont été confrontés dans l'activité avec le LGD.

Yolande n'a pas découvert l'outil de mesure d'angle sur le site; elle regrette qu'il n'y en ait pas, selon elle. Ainsi, pour la rotation, elle préférerait l'environnement papier-crayon que le logiciel puisque:

Yolande: Sur le papier, je pourrais utiliser le rapporteur d'angles pour la rotation pour être comme plus précise... Ça serait comme un peu plus facile, parce que je l'utilise comme moi-même avec mes mains et c'est moi même qui les... qui les trace. Je veux dire que comme pour la rotation, j'aurais préféré ça en papier-crayon parce que- parce que tu peux utiliser le rapporteur d'angles pour être plus précise. Parce que sur l'ordinateur, il te donne pas de rapporteur d'angles, donc c'est un peu difficile de le faire.

Brielle montre, quant à elle, clairement sa préférence du papier-crayon à l'utilisation de logiciel. S'il y a à choisir, elle préférerait exécuter la tâche sur papier:

Brielle: parce que, un, GeoGebra ce n'est pas un site avec qui je suis familier avec et sur papier c'est... je pense que c'est plus vite et il y aura moins de... de choses qu'on ne peut pas savoir parce que le papier, c'est direct et on n'a pas vraiment besoin d'explications et... pour comment utiliser un crayon, un papier... On sait... On le sait déjà. [...] Les autres logiciels que j'utilise... ça m'aide juste par exemple pour l'école, parce que comme y a la Covid, mais à part ça... c'est pas vraiment important pour... pour les maths pour moi, parce que moi, je suis pas vraiment familier avec l'Internet et j'aime plus les papiers et un crayon à la place d'un logiciel.

Elle trouve que le logiciel l'a aidé à acquérir des connaissances, mais qu'il n'a pas contribué dans l'élaboration de son plan, car même si c'était à faire sur papier, son plan resterait inchangé. La partie où elle devait savoir comment utiliser le logiciel serait différente si elle utilisait le papier.

Brielle: Je pense pas beaucoup qu'il m'a aidé à faire mon plan. Même si ils utilisaient peut-être des papiers ou quelque chose d'autre, mon plan allait rester le même je pense, oui la partie où je devais aussi savoir comment utiliser ce logiciel. Ça, ce serait différent si j'utilise le papier, mais à part ça, ça a pas vraiment contribué à... à mon plan pour faire le travail.

Marc trouve un inconvénient à l'utilisation de logiciels dans ses apprentissages en mathématiques, à savoir, la néfaste exposition prolongée aux écrans.

Marc: Sauf que on passe trop de temps dans les écrans aussi.

Néanmoins, il leur concède: « on passe trop de temps pour une bonne cause ».

sens donné aux apprentissages

Les élèves ASSI participants ont indiqué avoir réalisé divers apprentissages durant la session d'activités, parmi lesquels:

- du vocabulaire mathématique nouveau. Ils ont égrené une longue liste de mots mathématiques appris ou utilisés, notamment: dallage, dalle, réflexion, translation, rotation, angles, le plan cartésien, l'axe des x et l'axe des y, polygone, degrés, points, sens horaire, sens anti-horaire;

- à effectuer diverses transformations géométriques instrumentées ou ont découvert les transformations avec le logiciel (p. ex., Joachim pour qui l'occasion a été donnée d'apprendre la rotation) ou encore les ont consolidé (cas de Marc, dont le parent l'avait déjà initié à la production de figures et à la translation sous GeoGebra);
- les étapes de résolution de problème de Pólya.

Pour Yolande, GeoGebra a été une découverte, elle envisage l'utiliser dans le futur, dans le cadre scolaire, pour la résolution de problèmes pour lesquels elle jugera plus facile de le faire en ligne, en situation-problème.

Yolande: J'ai appris... le mot dallage. Je savais pas c'était quoi avant, mais maintenant je sais c'est quoi.

Elle souligne l'autonomie que lui procure le logiciel dans ses apprentissages:

Yolande: Je pourrais l'utiliser pour le manipuler et, ensuite, essayer de comprendre si mes enseignants sont pas disponibles pour que je leur demande de l'aide et des choses comme ça.

Pour Marc, son parent, un enseignant de carrière d'après les données recueillies à partir des questionnaires préliminaires, l'a initié à GeoGebra dès son arrivée au Canada.

Marc: J'ai approfondi mes connaissances sur GeoGebra. C'est- C'est mon père qui m'a un peu... qui m'a fait connaître GeoGebra, mais il m'a juste un peu appris. C'est vous qui m'avez appris beaucoup de choses... j'ai appris comment utiliser les réflexions, la translation et la rotation parce que mon père lui m'avait juste appris à faire les formes et il m'avait aussi un peu appris sur la translation sur GeoGebra.

On comprend de son propos qu'il a appris « beaucoup de choses » du fait de la session d'activités avec usage de GeoGebra de la présente étude. Il va même jusqu'à émettre des considérations environnementales, en ce qui concerne l'utilisation de logiciel.

Marc: Et aussi, ça sauve du papier, ça sauve des arbres! [...] Les écrans, ce n'est pas juste fait pour jouer, c'est aussi fait pour travailler.

Brielle décrit l'apprentissage réalisé en ces termes:

Brielle: dalle et dallage... Je ne savais même pas avant que c'était un mot. [...] aussi... que symétrie et la réflexion, c'est comme la même chose, mais le vrai, le bon terme c'est réflexion [...] j'ai appris comment utiliser GeoGebra [...] aussi le plan de Pólya, ça je vais le connaître.

Joachim nous confie qu'il a ressenti « un peu de joie » dans l'usage du logiciel, dans le sens où:

Joachim: J'aime tout ce qui est nouveau [...] J'ai quand même aimé ce qu'on a fait parce que je découvrais quelque chose de nouveau. [...] J'ai aimé utiliser le logiciel. C'est un bon logiciel. Il était bon dans le sens que j'ai découvert de nouvelles choses, grâce au logiciel et pas juste parce qu'on m'a donné les réponses à mes questions.

Il précise qu'il retiendra que le logiciel lui a appris « à mieux procéder » quand il fera des résolutions de problèmes ultérieurement, fort de la connaissance acquise des « étapes du modèle de Pólya ». Le LGD lui a fait découvrir de nouvelles transformations géométriques.

Joachim: J'ai appris de nouveaux trucs que je ne connaissais pas grâce à l'outil GeoGebra... sens horaire, sens anti-horaire. [...] J'ai appris beaucoup de mots. [...] On m'a déjà parlé de la translation, mais ce n'est pas quelque chose que j'ai fait beaucoup [...] J'ai appris sur la... la rotation et maintenant je préfère la rotation.

Tout comme Yolande, pour lui, l'apprentissage avec utilisation de logiciel signifie autonomie.

Joachim: On n'a plus besoin, forcément, de quelqu'un qui nous explique ce qu'on doit faire [...] Il n'y aura pas tout le temps des gens pour nous... qui peuvent nous aider tout le temps.

Le logiciel de géométrie, il le découvre avec cette session d'étude, car habituellement il « utilise beaucoup de logiciels de numération même à l'école ».

Joachim: J'étais plus dans les jeux technologiques de mathématiques comme... les jeux de numération les jeux de géométrie.

Cela signifie également pour lui de faire le distinguo entre les termes et techniques que les logiciels de mathématiques offrent, « plus faciles et moins longues à faire » et ceux des parents. Selon lui, les nouvelles techniques apprises de logiciels enrichissent son apprentissage.

Joachim: que nos parents nous apprennent, mais que, eux, ils ont connu ça quand ils étaient à l'école, mais que maintenant, avec la technologie, il y a de nouveaux termes mathématiques. [...] que nos parents nous ont déjà montré, eux comment ils le faisaient.

Brielle reconnaît s'être sentie « parfois perdue », mais avoir aussi « aimé apprendre ».

Brielle: Parce que moi, je ne suis pas toujours familier avec les ordinateurs et choses comme ça. [...] et aussi apprendre des nouvelles choses et savoir des nouveaux termes et des choses que je ne savais pas encore.

maîtrise des outils du logiciel

Tous les quatre élèves ASSI ont eu à se poser la question de comment utiliser les outils du logiciel de géométrie dynamique pour réaliser les transformations géométriques dans le but d'obtenir un dallage. Ils avaient bénéficié avant la séance de RP d'une brève séance d'initiation au logiciel.

Marc et Brielle ont reconnu avoir trouvé difficile de savoir comment faire, plus précisément de ne pas savoir comment décoder l'aide contextuelle du logiciel.

Yolande: Avant, j'ai trouvé facile, mais quand on a fait, on a enchaîné, j'ai trouvé ça difficile. [...] rotation, et après tu as dit... y a Aide en bas et comme je ne savais pas comment utiliser.

Ils mentionnent néanmoins qu'avoir regardé la vidéo d'initiation sur GeoGebra leur a été utile pour savoir comment l'utiliser, « parce qu'on en avait besoin », selon Marc. Pour Brielle:

Brielle: La vidéo m'a servi... pour m'aider à savoir comment utiliser ces logiciels de GeoGebra parce que c'était ma première fois aujourd'hui. [...] Et aussi, quand j'ai compris comment les faire... quand on devait faire les rotations... ça allait vraiment changer tous mes émotions, parce que c'est une espèce de pas savoir et de savoir, alors... ma partie favorite!

Yolande, elle, a aimé manipuler les figures. Elle a néanmoins ressenti une certaine frustration de ne pas savoir comment utiliser les mesures d'angle.

Yolande: parce que dans la plupart des... uhm... sites, je devais écrire sur un papier et juste écrire la réponse comme ça. [...] J'aurais aimé que ça comme... dise comment on peut utiliser... ses... uhm... ses mesures.

dévolution du problème

La dévolution de la situation-problème renseigne sur l'engagement de l'élève ASSI dans l'activité de RP.

Yolande a qualifié l'activité de RP d'« assez intéressant » du fait de la découverte de GeoGebra dédié à la géométrie. Elle indique avoir ressenti de l'excitation à vouloir résoudre le problème rapidement. La chercheuse note: « La rapidité à laquelle elle veut résoudre les problèmes est très importante pour elle, elle l'a mainte fois mentionné ». Néanmoins, les propos qu'elle tient démontrent de son intérêt, de son engagement et de sa persévérance à l'égard du problème. Enfin, elle se promet de retenir que « y a des étapes pour une résolution de problème ».

Yolande: C'est difficile de trouver des sites pour comme manipuler les- les figures. Comme ça si je pouvais le résoudre rapidement, ça serait comme une... un peu comme une course pour moi, donc ce serait vraiment bien. [...] Quand j'ai finalement pu trouver la réponse, j'étais contente, parce que j'ai essayé plusieurs fois et j'ai finalement eu un résultat, mais j'aurais voulu continuer pour pouvoir trouver comme la réponse des autres avec la réflexion et la trans... et la translation. [...] Et que tu dois vraiment construire un plan avant, parce que si tu construis pas un plan, ça va être plus lent à faire ton travail et tu pourras pas le faire plus rapidement et si tes démarches sont partout, ce sera plus difficile à la personne qui corrige de corriger ton travail et de pouvoir comme voir les erreurs que tu as fait, si... si c'est tout mélangé partout.

Brielle, comme d'autres de ses pairs, dit s'être posé des questions sur « les définitions des mots » du problème écrit. Joachim dit avoir trouvé difficile le tout début de la tâche:

Joachim: quand on a commencé le dallage. Au tout début quand on a commencé, moi, je comprenais presque rien... [...] parce qu'on n'avait... On ne m'avait pas encore expliqué.

Marc, lui, fait l'aveu suivant:

Marc: Au début, quand- quand tu nous as montré le problème, j'ai trouvé ça facile, mais quand on a commencé et qu'on ne savait pas quoi faire, j'ai commencé à trouver ça difficile jusqu'à quand on a fini. [...]

le problème [...] ça nous a permis d'approfondir nos connaissances.

Aussi, tout comme pour Yolande, le facteur temps semble avoir de l'importance pour lui.

Marc: Je me disais un peu que ça allait prendre du temps... vu qu'on enchaînait les possibilités.

Les élèves ont déclaré avoir aimé le côté ludique du début de la session d'activités, l'activité brise-glace.

Yolande: J'ai vraiment aimé ce qu'on a fait au début, deux mensonges, une vérité. Le brise-glace... c'était mon activité préférée.

Les élèves se sont également prononcés sur leur collaboration en équipe.

Yolande: Comme il parlait pas, c'était un peu difficile de savoir. [...] C'était un peu difficile de trouver les idées toute seule, parce que c'était un travail en groupe de deux. Mais on a quand même réussi à la fin.

Brielle: La communication dans le travail d'équipe c'est vraiment important, de communiquer avec ton partenaire.

Joachim: la partie où on a commencé le dallage... parce que j'ai commencé plus à parler avec ma coéquipière. Parce qu'au début, on était un peu timide parce qu'on se connaissait pas. [...] la communication n'y était pas vraiment.

En particulier, Marc reconnaît et regrette de ne pas s'être « impliqué à cent pour cent », parce que « ça aurait pu être facile » s'il l'avait fait. Un sentiment de désolation donc l'a habité, celui de ne pas avoir mis ses connaissances à contribution.

Finalement, Brielle, voulant sans doute témoigner de la sympathie envers la chercheuse et de sa volonté d'aider à la recherche, déclare tenir à se souvenir que:

Brielle: Il y avait cette recherche et... cette madame-là... je l'ai aidé à faire une recherche. [...]

Et j'ai aussi aimé faire partie de tes recherches, sur ton sujet. [...]

C'est aussi pour l'éducation, que moi aussi je suis parmi de l'éducation aussi... euh... à la fin ça va aussi m'affecter.

En effet, nous estimons que les élèves ASSI seraient les premiers bénéficiaires des retombées scientifiques de la présente étude.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Ayant recensé peu d'études menées dans le milieu francophone en ce qui concerne l'apprentissage des mathématiques par les élèves ASSI, nous avons décidé de mener cette étude sur leur développement conceptuel et leurs habiletés de résolution de problèmes mathématiques qui répond à la question de recherche suivante:

Quel est le rôle du LGD dans l'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques au primaire chez des élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario?

L'objectif général de cette recherche était d'explorer l'expérience vécue par les élèves ASSI au primaire en situation de résolution de problème mathématique intégrant les TIC. Rappelons nos deux questions de recherche spécifiques:

- Quel rôle exerce le LGD dans la construction d'instruments Transformations et dans le développement des habiletés de résolution de problèmes mathématiques de l'élève ASSI?
- Quels sont les propos de l'élève ASSI sur l'expérience vécue en apprentissage par résolution de problèmes mathématiques avec utilisation de LGD?

Afin de pouvoir répondre à notre question de recherche, nous avons observé et conduit des entretiens auprès de quatre élèves ASSI de niveaux 5^e à 8^e année. La situation d'apprentissage visait à décrire la genèse instrumentale de Transformations géométriques en résolution de problème et à recueillir les propos de ces élèves en ce qui a trait à leurs apprentissages en milieu technologique.

Dans le cadre de ce chapitre, nous présentons certains éléments de réponse à nos deux sous-questions de recherche, tout en discutant, à la lumière de travaux empiriques abordés dans le cadre théorique, des résultats de l'étude présentés précédemment, afin de permettre une discussion sur les retombées potentielles de cette recherche. Ensuite, nous revenons sur notre méthodologie de recherche.

Notre d'analyse *a priori* en termes de stratégies gagnantes possibles de résolution du problème posé nous a permis de recenser des schèmes d'utilisation attendus qui témoigneraient de la genèse instrumentale des transformations géométriques. À partir de notre analyse *a posteriori*, nous avons pu observer la constitution d'instruments Transformations géométriques chez les élèves ASSI. En effet, nous avons, au départ, anticipé les instruments Transformations que les élèves pourraient construire en environnement de géométrie dynamique. Une phase exploratoire,

préobservations, nous a permis de distinguer des schèmes relatifs à l'usage et des schèmes relatifs à l'action de l'utilisateur du logiciel, pour chacun des outils technologiques inclus dans le dispositif d'apprentissage mis en place lors de la collecte de données, et ce, grâce une analyse en termes de stratégies de transformations gagnantes. Pour l'outil Teams, nous avons recensé des schèmes sociaux qui témoignent de la communication virtuelle (« chatter »), du partage (« présenter/partager son écran ») et du contrôle de l'écran (« donner/reprenre/demander le contrôle »). Pour l'outil La roue, une seule technique instrumentée pour « tourner la roue » s'est manifestée. Tous les élèves participants ont démontré la construction des schèmes d'utilisation relatifs aux outils Teams et La roue. Pour la séance d'initiation avec GeoGebra, tout comme pour les épisodes d'utilisation de La roue et Teams, il est important de mentionner qu'il n'y avait aucune attente mathématique. Ce qui n'est pas le cas de la séance de RP dont la visée était bel et bien mathématique. Néanmoins, nous avons relevé les schèmes construits sous GeoGebra amenés par l'expérience, tant ceux construits durant la séance de RP, à visée mathématique, que ceux construits durant la séance d'initiation, sans visée mathématique, mais servant aux objectifs mathématiques de la session d'activités dans sa globalité. Notre technique d'analyse structurée par catégories prédéterminées inspirées du modèle en quatre phases de Pólya (PP1, PP2, PP3, PP4) a permis d'analyser les propos quant au dispositif d'apprentissage mis en place pour l'étude.

1. Des contraintes et potentialités du LGD aux instruments Transformations en RP

La coordination des fonctionnalités du LGD avec les habiletés de résolution de problèmes des élèves ASSI semble avoir un fort potentiel dans la conceptualisation des transformations géométriques ou leur consolidation.

Quel rôle exerce le LGD dans la construction d'instruments Transformations et dans le développement des habiletés de résolution de problèmes mathématiques de l'élève ASSI?

Le rôle du LGD dans la construction d'instruments Transformations et dans le développement des habiletés de résolution de problèmes mathématiques de l'élève ASSI se décline en plusieurs aspects:

- un rôle de guide de l'élève ASSI dans l'acquisition autonome de connaissances instrumentales de concepts de transformations géométriques

Alors que leur construction peut paraître aller de soi, il est apparu que certains schèmes d'usage ne se manifestent pas de manière évidente chez ces élèves. Comme pour le schème d'usage « sélection

objet à transformer», il faut un rappel constant à l'intégrer en bonne place dans la technique instrumentée. Tous les élèves ASSI participants se sont vu rappeler, à un moment ou un autre, de l'exprimer activement. Ce rappel est venu principalement de la réponse du logiciel à leurs actions, en leur offrant l'occasion de faire le constat de leurs erreurs de constructions, et également de la médiation de l'observatrice à traduire certaines fois en paroles la signification des résultats de leurs constructions erronées. Ce résultat abonde dans le même sens que Rigaut (2013) pour qui la rétroaction du logiciel amène les élèves à vérifier par eux-mêmes la validité de leur construction.

- ***un rôle d'interlocuteur de l'élève ASSI, en vue de l'émergence et l'évolution des schèmes, dans la réalisation de ses constructions géométriques instrumentées***
- ***un rôle de médiateur dans la recherche de sens de l'élève ASSI de ses constructions géométriques instrumentées erronées***

Il va sans dire que la médiation qu'offre un utilisateur plus expérimenté, en l'occurrence, dans un cadre scolaire institutionnel, un enseignant, joue un rôle certain dans la construction d'instruments Transformations. En situation de modelage, l'enseignant s'efforcerait de *rendre explicite l'implicite* (Gauthier et al., 2013). Cependant, il a été constaté que les élèves ASSI ont pu eux-mêmes très souvent invalider leurs constructions grâce à la rétroaction donnée par le logiciel. Le processus d'apprentissage s'observait dans une dialectique du langage gestuel de l'élève et du langage binaire du logiciel, à travers les mouvements du pointeur de la souris à l'écran et l'affichage de figures et de textes en réponse. Cet *appareillage de connaissances* (Trouche, 2005a) est façonné par les interactions avec les autres et avec l'environnement (Vygotsky, 1986). Dans ces cas de figure, le logiciel occupait un double rôle dans l'appropriation de transformations géométriques instrumentées, soit, non seulement un rôle d'interlocuteur dans les constructions à réaliser, mais aussi un rôle de médiateur dans la traduction de sens de celles qui sont erronées. Paré de cet attribut de médiateur, ici, l'« expérimenté » c'est lui, le logiciel.

- ***un rôle de mise à disposition à l'élève ASSI d'un environnement de travail personnalisable et aidant qui favorise, à travers la manipulation de ses outils, la réalisation de transformations géométriques instrumentées***

La barre d'outils du logiciel a vu la fondation de solides constructions chez les élèves ASSI de schèmes d'usage dits de sélection d'outils, le schème d'usage « sélection outil rotation » par exemple. En effet, après quelques passages ou clics de souris à travers la barre d'outils, les élèves ont démontré de la facilité à s'y retrouver en faisant paraître les gestes primordiaux aux *schèmes d'action Transformations*. Cette facilité pourrait également être attribuée à la linéarité horizontale

de la barre d'outils du logiciel, d'où l'importance de la personnalisation de la configuration de l'espace de travail. À ce propos justement, nous avons noté que la construction du schème d'usage « configurer le plan cartésien » a servi d'appui à deux élèves principalement, Brielle et Marc, dans leurs constructions géométriques.

- un rôle d'indicateur de l'habileté de l'élève ASSI à observer les phases de RP de Pólya (PP2, PP3, PP4), compte non tenu de la première phase (PP1) compréhension du problème

Au-delà de l'aisance de leurs constructions, les schèmes d'usage « sélection outil symétrie axiale », « sélection outil translation » et « sélection outil rotation » ont servi d'indices à l'observance de la phase 2 de Pólya (PP2) *élaboration d'un plan*. Les élèves ASSI étaient presque tous convaincus, en début d'entrevues d'explicitation, à l'exception de Marc, avoir manqué de suivre cette étape dans le processus de RP. Marc, lui, a vite compris que le fait de planifier utiliser un outil du logiciel permettant de réaliser la tâche est un plan en soi. Il apparaît donc que la « granularité » (Trouche, 2005a, p. 100) du geste de sélection de l'un ou l'autre outil *Transformation* avait pour effet d'assurer l'observance de ladite phase. Ainsi, sans en être totalement conscients dans l'action, les élèves ASSI avaient tous suivi la phase 2 (PP2).

La construction du schème d'usage « effacer une construction en cours » dont nous avons préconisé l'apparition en phase préexpérimentale et qui a été repérée en bon nombre en phase expérimentale chez les élèves ASSI s'est révélée être l'iceberg dans une étendue de soucis d'invalidation de leurs constructions erronées. Sans le repérage de ce schème, on aurait été porté à croire que la phase 4 de Pólya (PP4) *évaluation des résultats* n'a pas été suivie, de l'aveu des élèves eux-mêmes en entrevue d'explicitation encore une fois, à l'exception de Yolande qui estime avoir suivi cette étape de RP. Or, le repérage de ce schème a bel et bien signifié une volonté d'invalidation de construction erronée, par conséquent de solution inadéquate à la tâche en cours dans une démarche itérative de reconsidération du plan pour résoudre le problème posé.

La modélisation en géométrie étant un outil important de résolution de problèmes (MEO, 2006d), le logiciel faciliterait dans ce contexte la prise de conscience des élèves de la procédure à suivre pour résoudre un problème.

- un rôle de facilitateur de l'élève ASSI dans la mise à niveau gestuelle de sa technique instrumentée

Les schèmes d'usage « choix axe de symétrie » et « sélection angle à mesurer » ne se manifestent pas de manière évidente également chez ces élèves. Nous avons constaté que les élèves doivent

user de dextérité dans la manipulation du pointeur de la souris pour être capables de sélectionner très précisément, respectivement, le segment de droite sur laquelle appliquer la réflexion et les segments de droites dont l'écart permet d'obtenir l'angle à mesurer (exemples, voir [Figure 10](#) et [Figure 13](#) des pages 68 et 69). Il est de notoriété publique que dextérité rime avec entraînement. En effet, qui dit adresse et précision des mouvements manuels dans l'accomplissement d'une tâche dit entraînement périodique dans l'exercice desdits mouvements. Ainsi, une exposition régulière des élèves ASSI à des activités en environnement de géométrie dynamique offrirait l'espace d'entraînement privilégié pour assurer le succès dans la manipulation du pointeur de la souris. Ainsi, du fait de la seule mise à disposition de ses outils à l'élève ASSI, le logiciel, ce *hardware didactique* (Trouche, 2005a, p.123), joue un rôle d'entraîneur, facilitant l'acquisition de la dextérité nécessaire à la mise à niveau de sa technique instrumentée.

Cependant, le LGD n'a pas assumé un rôle de générateur des interactions verbales ou sociales au sein des dyades « dans le développement de la compréhension mathématique comme on pourrait s'y attendre dans des environnements collaboratifs » (Beatty et Geiger, 2009, p. 266, traduction libre). En effet, selon ces auteurs, les LGD sont conçus spécifiquement pour travailler avec des idées mathématiques et non pas pour la promotion de l'interaction sociale.

Toutes ces positions tenues par le logiciel au sein du dispositif d'apprentissage traduisent une influence de l'outil dans la construction de connaissances chez les élèves ASSI. À travers l'utilisation de l'outil dans la résolution de problèmes, on atteint un but didactique dans la construction de savoir chez les apprenants (Trouche, 2003).

Instrumentation et instrumentalisation, articulation entre processus duals

Les schèmes sociaux singuliers et ceux solidaires de technique instrumentée dont on a noté la construction dans des épisodes Teams et BG offrent une vue d'esprit de l'état de construction des compétences technologiques liées à la bureautique et à la communication virtuelle. Les élèves ASSI ont tous démontré ou, tout au moins, développé aisément ces compétences au cours de la session d'activités.

La vidéo d'initiation présentée par un animateur qui, dans une salle de classe, s'apparenterait à l'enseignant, a servi de modelage géométrique de la tâche de RP de dallage subséquente et a permis d'observer chez les élèves ASSI la genèse d'un instrument: « Construction de polygone », sous GeoGebra. Les deux dyades ont, chacun, réussi à s'approprier la construction

d'un polygone. « Construire des polygones, en fonction de leurs propriétés, en utilisant la technologie appropriée (p. ex., construire un losange dont le périmètre mesure 20 cm) » (MEO, 2005, p. 73) est une des attentes de 6^e année du programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e de 2005 en *Géométrie et sens de l'espace*.

D'autres schèmes sociaux préconstruits dans l'environnement contraint du LGD, notamment le schème d'usage *a priori* « affichage de l'aide » et le schème d'usage *a posteriori* « affichage de l'aide détaillée » ne demandaient qu'à être construits avec les élèves ASSI. Malgré tout, nous avons observé que, souvent, même après plusieurs lectures de la correspondance écrite que constitue la boîte de dialogue d'aide contextuelle du logiciel à l'intention des élèves ASSI, ces derniers ne percevaient pas toute la signification des termes technologiques employés. Le terme « objet » en est une belle illustration; il a fallu qu'il soit clarifié par l'observatrice pour que les élèves en saisissent le sens mathématique.

Le schème d'usage « sélection objet à transformer », présent dans tous les *schèmes d'action Transformations*, est emblématique de la difficulté des élèves ASSI de se rappeler, on l'a dit, l'ordre de sa pose dans sa technique instrumentée, avec le soutien du logiciel ou non. Toutefois, en dépit de quelques petits accrochages au niveau de la sélection des icônes de commandes de la barre d'outils et de la sélection des objets précisément, nous avons été, à quelques reprises, témoins de la cordialité et la convivialité dont a fait preuve le logiciel à l'égard des élèves en leur permettant de continuer leur construction, nous dévoilant ainsi ses potentialités. Nous regrettons toutefois que l'affichage de la boîte de dialogue de l'aide contextuelle du logiciel ait fait défaut au début de la session tenue avec Marc et Yolande d'une part et, d'autre part, qu'elle ait été située au bas de l'écran, parce que, dans cette position, il n'était pas rare que les élèves n'y prêtent pas attention, ce qui réduisait leur chance de savoir dans quel ordre poser ce schème dans l'édification de leur construction.

Ce manque d'attention portée à l'aide contextuelle apportée par le logiciel amène les élèves ASSI participants à rencontrer des difficultés dans la réalisation de la transformation géométrique en cours de réalisation. Dans cette dialectique entre l'artefact et l'élève, nous pourrions être portée à croire qu'une boîte de dialogue d'aide « pop-up » placée au-devant de l'écran, donc plus visible de l'élève suivant toute sélection d'option de la barre d'outils, plutôt qu'un texte d'aide placé au bas de l'écran (exemple, voir Figure 9 de la page 67) ou sur la barre d'état (comme c'était le cas

dans la version du logiciel de la vidéo d'initiation) participerait à rehausser l'ergonomie du logiciel et à sa convivialité vis-à-vis de l'apprenant et amènerait ce dernier à mieux porter attention à la chronologie des étapes à suivre pour réaliser la transformation géométrique instrumentée. La réponse de l'élève ASSI à cette invitation se trouverait maximisée, de notre point de vue. Il serait même avantageux que cette fonctionnalité puisse être ajustable par l'élève dans la configuration du logiciel lorsqu'il acquiert plus d'expertise, comme pour signifier à l'artefact, mais aussi à son environnement socioculturel (pairs, enseignant, etc.), l'évolution des schèmes sociaux et d'utilisation qu'il constitue. En mode rotation, par exemple, une telle boîte de dialogue d'aide « pop-up » viendrait indiquer ou tout au moins rappeler à l'élève le devoir de faire ses calculs d'angles avant d'entrer une valeur d'angle. Les élèves ASSI participants se sont évertués à vouloir réaliser des rotations de la dalle *Princesse*, sans succès, puisqu'ils n'ont pas pu découvrir par eux-mêmes l'outil du logiciel qui permet de faire les mesures d'angle qui leur aurait permis de savoir avec exactitude la valeur d'angle suivant laquelle appliquer la rotation. Cette petite interaction du logiciel avec l'élève servirait à lui ouvrir les yeux sur l'importance de cette étape dans le succès de sa démarche. Néanmoins, le but ici n'étant pas de faire la critique du logiciel de géométrie dynamique, ceci semble être une piste de réflexion assez intéressante à suivre quant au rôle de l'enseignant ou de l'utilisateur plus expérimenté qui guide ces élèves dans leurs genèses instrumentales et la conceptualisation des transformations géométriques.

En phase 3 de Pólya (PP3) *exécution du plan*, forteresse d'accueil de *l'émergence et l'évolution* des schèmes d'utilisation construits par l'action des élèves, le logiciel a eu le rôle prépondérant de placer l'élève ASSI, « ses connaissances, ses modes de travail » (Trouche, 2005a, p. 101), au cœur du *hardware didactique* dont il fait partie intégrante, faisant ainsi prendre à la définition du processus d'instrumentation tout son sens, celui de *composante relative à l'émergence et à l'évolution des schèmes*.

Nous n'avons pu identifier par l'action d'aucune dyade d'élèves ASSI la construction du schème d'action instrumentée « mesurer/calculer l'angle de rotation », schème ressorti dans notre analyse *a priori*. Néanmoins, ce n'est pas faute d'avoir pensé à découvrir la valeur de l'angle de rotation ou d'avoir tenté d'entrer plusieurs valeurs approximativement, ce que préciseront les propos de Brielle, Joachim, Yolande et Marc, en entrevue d'explicitation. En effet, il fait regretter à Brielle de ne pas avoir fait la tâche en environnement papier-crayon et, ainsi, pouvoir disposer de son « rapporteur d'angles », à Joachim le manque de résultat escompté après plusieurs essais

successifs de changer les valeurs d'angle de rotation, à Yolande de ne pas savoir comment utiliser les mesures d'angle avec GeoGebra, et à Marc de ne comprendre « pourquoi ça ne marche pas », ce après avoir « essayé plusieurs possibilités » infructueuses. L'absence d'identification de ce schème permet de comprendre toute la complexité de la construction de l'instrument « Rotation pour daller » par les élèves ASSI.

Le schème d'action instrumentée « transformer/déplacer pour ajuster la dalle » est apparu *a posteriori* dans trois types de situations. Le premier type se manifeste lorsque Yolande a l'ambition de « mettre un autre au milieu », par transformation géométrique instrumentée, soit une autre dalle entre la dalle *Princesse* et une deuxième dalle qui venait de faire l'objet d'une construction erronée, pour l'ajuster, d'après elle. Le deuxième type survient lorsque la dyade tente de rapprocher les figures initiale et image de la dalle *Princesse* en utilisant la technique de changement de direction de la figure dont elle venait de faire la découverte, sans compter, pour la réussite de l'opération, avec la contrainte de *conservation des propriétés géométriques au cours du mouvement* de la géométrie dynamique: le mouvement de la figure image obtenue par transformation géométrique est intrinsèquement lié à celui de la figure initiale qui fait l'objet de ladite transformation. Le troisième type intervient lorsque Brielle, et aussi Yolande, *drag* (fait glisser) une dalle dédoublée pour la « coller » à une autre dalle, toujours dans le but d'ajuster une construction, un dallage, erronée, activant ainsi le schème d'usage « dédoublement de la dalle ». Nous avons pensé que l'origine de ce *dragging* était le fruit de la mise en œuvre par l'élève ASSI d'une catachrèse, mais en approfondissant notre exploration du logiciel, nous nous sommes rendue compte qu'il s'agissait d'une singularité offrant, en mode *Translation*, la possibilité de reproduire une figure par simple *dragging*. Vom Hofe (2000, p. 43) suggère de considérer les catachrèses « comme des indices de la contribution des utilisateurs à la conception des instruments et de leurs usages ». Cette situation ne renvoie donc pas à la caractérisation d'une catachrèse puisque l'usage de la fonctionnalité « dédoublement » en mode *Translation* est bel et bien prévu par les concepteurs du logiciel et le schème qu'il révèle n'en constitue pas une « contribution ». Néanmoins, sa découverte par les élèves ASSI est « un indice » d'instrumentalisation. Plus globalement, dans l'édification de schèmes de sélection d'outils, de dédoublement, de configuration du plan, « relative à l'artefact, à la découverte et à la sélection des commandes, à la personnalisation de l'objet » Trouche (2005a, p. 100), mais aussi de catachrèses, la définition du processus d'instrumentalisation prend tout son

sens, celui de *composante relative à l'émergence et l'évolution des composantes artéfactuelles de l'instrument*.

Le recopiage manuel de la dalle *Princesse*, avortée, observé chez la dyade 1, met néanmoins en œuvre un détournement d'usage. Une autre catachrèse, celle-ci mettant en œuvre la construction du schème d'usage « usage ludique des outils du logiciel », combinée aux propos enthousiastes des élèves ASSI recueillis en entrevue, relativement à l'épisode brise-glace, vient notamment rappeler l'importance d'une introduction ludique préalable à toute activité d'apprentissage signifiante.

En fin de compte, relativement à la RP, pour la dyade 1, nous avons recensé plusieurs occurrences d'une combinaison des trois phases de Pólya (PP2, PP3, PP4), pour la dyade 2, nous en avons recensé moins. Aucune combinaison à quatre phases n'a été relevée chez les deux équipes. Toutefois, au bout du compte, les deux dyades ont chacune suivi toutes les phases de RP, incluant la phase 1 (PP1). Cela confirme l'idée avancée par le (MEO, 2006b, p. 42) selon laquelle « ces quatre phases n'ont pas à être suivies de façon linéaire; elles sont interreliées ».

Nous avons vu, au début de l'activité de RP, la dyade poser la question de savoir ce qu'est un dallage, puis s'approprier le concept progressivement par la démonstration de l'évolution de schèmes d'usage et de schèmes d'action instrumentée qu'elle a constitués. Sans toutefois parvenir à réaliser la transformation choisie à chaque reprise, par cette démonstration, force est de constater qu'elle savait exactement le résultat qu'elle tentait d'obtenir en matière de dallage.

Dans la RP, il y avait 2 volets: effectuer les transformations géométriques pour daller et ensuite les décrire. Plus précisément, la deuxième partie de l'énoncé du problème écrit consistait à « décrire le dallage en termes de réflexion, translation et rotation ». Les dyades n'ont pas systématiquement pris le temps de faire des descriptions de la solution ou des solutions obtenues en utilisant un *langage mathématique précis* (Restrepo, 2008), mais ont juste utilisé un *langage mathématique commun* et seulement à quelques reprises, occupées qu'elles étaient à mettre en application différentes stratégies de résolution.

Faire travailler, en équipe, deux enfants qui ne se connaissaient pas jusqu'à ce jour représente un défi. La dyade 2 formée par Brielle et Joachim a choisi de laisser leurs caméras fermées, ce qui veut dire qu'ils n'ont pas eu l'occasion de se voir en vidéo, ce qui, selon nous, rajoute à la complexité du travail d'équipe. Nous ne pouvons toutefois pas affirmer que ce choix de l'invisibilité fût la cause de la paucité des échanges dans l'équipe, encore moins de la lenteur

dans le commencement du travail d'équipe, car dans la dyade 1 formée par Marc et Yolande, les coéquipiers se voyaient tout le long de la session d'activités et pourtant, les échanges n'en étaient pas plus étoffés. En entrevue, Marc l'explique par le fait qu'il était « gêné ». Nous avons noté certains épisodes où deux coéquipiers n'étaient pas au même stade de résolution du problème. Exemple de Joachim et Brielle, pendant que cette dernière tente de comprendre le texte de l'énoncé du problème, le premier saute directement à l'exploration de la barre d'outils du logiciel et fait subir des déplacements manuels à la dalle *Princesse*. Yolande et Marc n'ont pas eu la chance de se faire guider par l'aide contextuelle fournie par le logiciel. En appuyant suffisamment longtemps sur l'icône de la transformation désirée, une boîte d'aide de bas d'écran du logiciel devait s'afficher et leur indiquer les étapes à suivre pour effectuer la transformation. Néanmoins, Yolande, par ses tentatives successives, est parvenue à s'approprier le schème d'action instrumentée « transformer par réflexion pour daller ». Ensuite, nous avons vu l'évolution du schème d'action instrumentée « transformer par translation pour daller », sans que, toutefois, cette dernière soit totalement construite. La construction du schème d'action instrumentée « transformer par rotation pour daller », quoique manifestement démontrée à son premier essai et qui, n'eût été son manque de mobilisation du schème d'usage « sélection objet à transformer » en rotation, aurait pu prendre forme, est restée stationnaire. En ce qui concerne Marc, en séance d'initiation, il n'avait rencontré aucune difficulté à construire un polygone régulier, un triangle, puis, surtout, lui faire subir une réflexion instrumentée. Néanmoins, en séance de RP, malgré le fait qu'il montre des aptitudes instrumentales générales et, à certains égards, des connaissances mathématiques antérieures de transformations géométriques, il n'a pas mis à profit ses acquis instrumentaux pour l'investir dans la recherche de solution au problème. Nous avons noté chez lui beaucoup plus des gestes d'usage de l'artefact plutôt qu'une réelle construction d'instruments Transformations. Il le déplore lui-même en entrevue. Était-ce la forme particulière du polygone à solutionner, la dalle *Princesse*, qui a été à l'origine de ce manque de réinvestissement des acquis ou était-il juste sous son mauvais jour?

2. Du geste instrumenté aux propos sur l'expérience vécue

Les entrevues ont offert l'opportunité aux élèves d'explicitier les gestes posés en situation de résolution de problème, d'une part, le sens mathématique qu'ils donnent à leurs apprentissages en environnement dynamique, d'autre part.

Dans l'explicitation de leur démarche pour résoudre le problème posé, les élèves ASSI ont reconnu avoir eu besoin, après lecture, de clarifications sur les définitions de certains mots et qu'ils ont dû poser des questions, ne connaissant pas tous les termes. En cherchant ainsi à comprendre le problème posé, l'élève ASSI porte attention sur *l'information importante en s'efforçant de comprendre le vocabulaire mathématique* (Boro, 2011). L'énoncé du problème n'était pas trop évident pour eux au début, signe que le problème a atteint son but, car selon Meirieu (1987), une situation-problème en mathématiques doit être perçue par les élèves comme un défi, une énigme, ce qui permet la dévolution (c'est-à-dire l'engagement de l'élève).

Conscients d'avoir eu à effectuer un travail d'équipe, quoique des manquements aient été notés, les élèves ASSI ont démontré de l'enthousiasme et de l'engagement pour résoudre le problème posé. Un seul élève participant semble un peu moins engagé dans l'activité de résolution de problème, contrairement à l'enthousiasme qu'il avait manifesté à vouloir participer à l'étude et que nous avons relevé dans notre journal de bord après l'épisode de test de connectivité tenue avec lui et son parent. Il a néanmoins mieux participé à la séance d'initiation. Il le reconnaît lui-même spontanément dans l'entrevue qu'il accorde à la chercheuse, en le mettant sur le compte de sa « gêne » à l'égard de son partenaire. Le fait de ne pas connaître son partenaire a aussi été évoqué par les dyades. À ce titre, il est intéressant de souligner que, des deux équipes, seuls les deux membres de son équipe avaient fait le choix de montrer leurs visages à la caméra; les deux membres de l'autre équipe ont fait le choix inverse en désactivant les leurs; ceux-là ne se voient donc pas en image durant le travail d'équipe. Notre équipe de recherche avait, dans le formulaire de consentement aux parents, indiqué n'avoir nul besoin de la captation vidéo des images des enfants et c'est ce qui a été effectivement respecté, toutefois, au vu de la rencontre virtuelle, leur libre choix d'activer leurs caméras leur offrait la possibilité de voir et de se faire voir de son vis-à-vis. Nous avons néanmoins noté que la collaboration d'équipe dans la résolution du problème a été plus visible dans le duo qui a préféré travailler sans caméras.

Les connaissances antérieures en matière de transformations géométriques ont été mises à contribution pour résoudre le problème. Pour le MEO (2003, 2006a), pour résoudre le problème, les élèves doivent faire appel à leurs connaissances antérieures, essayer différentes stratégies, établir des liens et parvenir à une conclusion.

La plupart des élèves ASSI participants pensent ne pas avoir élaboré un plan de résolution de problème, confirmant le fait que, d'après le MEO (2006b, p. 43), « pour plusieurs élèves, cette étape se déroule de manière informelle ». Nous estimons que, sans avoir été formulée explicitement, la simple sélection de l'option de menu *Transformations* est un plan en soi.

Les élèves participants se sont tous posé la question de savoir comment utiliser les outils du logiciel pour réaliser un dallage. Néanmoins, dans le but d'être meilleurs dans l'exécution d'une tâche similaire à l'avenir, ils prévoient utiliser le logiciel de nouveau, corroborant ainsi Polotskaia et Freiman (2016) pour qui la manière habituelle « comment résoudre? » est complétée dorénavant par un effort métacognitif « où sont les obstacles? » ou « qu'est-ce que je dois retenir pour après? ».

Dans la réalisation du dallage demandé, les élèves ASSI reconnaissent avoir obtenu certains résultats qui ne respectaient pas les propriétés d'un dallage, par exemple, parce que « les lignes étaient un peu trop épaisses ». Rappelons que, selon Rigaut (2013), les logiciels de géométrie dynamique au primaire sont considérés comme des outils qui favorisent la distinction entre dessin et figure. En se servant de la définition de dallage pour invalider certaines de leurs solutions, les enfants font consciemment le passage du dessin à la figure.

Il est notable que la rapidité dans la recherche de solution au problème soit commune à tous les élèves ASSI participant à l'étude. Tous ont précisé avoir voulu procéder à la résolution rapide du problème. Cependant, la qualité de la production a aussi été évoquée, allant jusqu'à relier efficacité à rapidité d'exécution. Effectivement, selon le (MEO, 2006b, p. 42), « les élèves doivent apprendre à évaluer l'efficacité de leur démarche et des étapes utilisées pour résoudre un problème ».

Quoique Fleuret, Bangou et Ibrahim (2013) mettent en garde d'ignorer que les élèves immigrants qui fréquentent les écoles francophones arrivent dans la province avec un bagage linguistique qu'ils ont développé, pour la plupart, dans leur langue d'origine, nous n'avons relevé aucune particularité dans les échanges entre pairs ou les discours des élèves ASSI participants en ce qui concerne le *français standard*, excepté la seule fois où l'un d'eux a lâché une expression typique: « j'attaque », au lieu de dire « je sélectionne ». Nous avons noté que les élèves ASSI participants, venant tous de pays où le français est la langue officielle ou l'une des langues officielles, avaient un niveau d'expression française très appréciable et ne semblaient pas avoir besoin d'apprendre le français standard tel que préconisé par Moke Ngala (2005).

Toutes les dyades d'élèves ASSI participants reconnaissent avoir réalisé des apprentissages au cours de la séance de RP avec usage de LGD. Quoique les schèmes d'utilisation soient essentiellement individuels même si la genèse instrumentale peut passer par un processus social, dans un tel environnement, les aspects sociaux de l'apprentissage prennent la forme d'une activité de l'élève où les schèmes explicites que les individus ont développés sont partagés avec un petit groupe ou toute la classe (Drijvers et Gravemeijer, 2005, traduction libre). Ces apprentissages allaient, selon les dyades, de l'acquisition de vocabulaire mathématique nouveau à l'exécution de diverses transformations géométriques instrumentées ou la découverte elle-même et la consolidation des transformations avec le logiciel, en passant par les étapes de résolution de problème de Pólya. La seule découverte du LGD est un apprentissage en soi, selon eux. D'ailleurs, pour Van de Walle et Folk (2005), l'activité de résolution de problèmes et l'apprentissage sont intimement liés.

Quels sont les propos de l'élève ASSI sur l'expérience vécue en apprentissage par résolution de problèmes mathématiques avec utilisation de LGD?

Les propos des élèves à l'égard de la résolution de problèmes mathématiques avec usage de LGD, diverses et riches en informations, telles que nous les avons discutées ci-dessus et exposées en détail dans le chapitre des résultats de l'étude, sont *des facteurs importants qui influent sur l'apprentissage* (MEO, 2006b). Le sens que donnent les élèves ASSI à l'utilisation de logiciels dans leurs apprentissages en mathématiques, en particulier, l'est tout autant. En effet, ils ont évoqué, entre autres, l'ergonomie du logiciel, l'autonomie qu'il procure, son côté aidant et pratique. Ils ont quand même soulevé un inconvénient: la néfaste exposition prolongée aux écrans. Ils ont toutefois émis des considérations environnementales: « ça sauve du papier, ça sauve des arbres! ». Un élève a, quant à lui, clairement exprimé sa préférence de l'environnement papier-crayon, par manque de familiarité avec l'Internet. Un autre se voit, au-delà des techniques que leurs parents leur apprennent, adopter de nouvelles techniques dont les logiciels enrichissent leurs apprentissages. L'activité brise-glace a permis d'en apprendre un peu plus sur l'importance qu'accordent les élèves ASSI participants aux mathématiques. Par exemple, un élève déclarera: « la matière préférée que j'aime c'est des maths »; un autre reconnaîtra ne pas être « le meilleur de la classe en mathématiques ». Dans l'ensemble, les propos des élèves ASSI sur l'expérience vécue en situation d'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques avec utilisation de LGD

sont, somme toute, positifs et renseignent sur le sens qu'ils donnent à leurs apprentissages mathématiques, sur leur *construction du sens mathématique* (Barwell, 2008) au sens large.

Rappelons notre question de recherche:

Quel est le rôle du LGD dans l'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques au primaire chez des élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario?

En somme, comme discuté ci-haut, le rôle tenu par le LGD est révélateur au sens heuristique des apprentissages réalisés par les élèves ASSI en situation de résolution de problèmes mathématiques avec usage de technologie. De plus, le LGD permet de faire dévolution à l'élève ASSI de la situation-problème.

En mode *Translation*, les élèves ASSI ont spontanément mobilisé le schème d'usage « dédoublement de la dalle ». La découverte, par eux-mêmes, de cette potentialité non mise en évidence dans l'aide contextuelle du logiciel laisse croire qu'une exposition plus fréquente de ces élèves à l'utilisation du LGD pourrait efficacement leur garantir des apprentissages autonomes de concepts de géométrie en environnement technologique.

L'initialisation tardive du schème d'usage « sélection objet à transformer », quoique finalement ancrée, vient rappeler combien les élèves ASSI doivent être mieux conscientisés des contraintes qu'impose le logiciel en environnement de géométrie dynamique pour prétendre compléter avec succès une tâche de résolution de problème instrumentée.

L'évolution fastidieuse du schème d'action instrumentée « transformer par rotation pour daller » du fait de la méconnaissance dans la manipulation de l'outil de mesure d'angle du LGD laisse penser qu'un modelage explicite d'un enseignant, utilisateur plus expérimenté, constitue une recommandation à ne pas négliger.

En définitive, l'apprentissage par RP avec utilisation de LGD des élèves ASSI peut être facilité par une introduction formelle à la manipulation de l'outil, préalablement à toute première tâche intégrant ledit outil. Le rôle de l'enseignant est primordial dans ce processus d'acquisition de solides compétences instrumentales. En effet, une supervision différenciée en salle de classe lors d'activités de résolution de problèmes mathématiques nécessitant l'usage de nouvelles technologies pourrait grandement contribuer à faire *émerger et évoluer* les talents des élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario.

À notre sens, le LGD est un outil puissant qui devrait être favorisé dans les classes de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e année pour l'apprentissage des transformations géométriques. Comme nous l'avons vu dans cette session d'activités proposées à des élèves ASSI, il favorise leur engagement, leur autonomie dans la réalisation de la tâche et la métacognition comme le démontrent leurs propos au cours de l'explicitation, entre autres. Cette recommandation serait valable non seulement pour notre population étudiée, mais aussi pour tous les élèves des classes de primaire de l'Ontario. En apprentissage de la géométrie, le nouveau curriculum maintient la recommandation faite aux élèves d'utiliser « des logiciels [...] pour développer leur sens de l'espace » MEO (2020, p. 91). Toutefois, pour s'assurer d'avoir un niveau d'expertise adéquat des professionnels de l'enseignement aptes à guider les élèves dans leur première utilisation du logiciel, il serait intéressant de mener la présente étude auprès d'une population d'enseignants afin de dégager les mesures institutionnelles à mettre en place pour leur permettre d'acquérir ou de consolider cette compétence, le cas échéant.

Le nouveau curriculum, tout en réitérant le fait que « la résolution de problèmes est au cœur même de la pratique des mathématiques » (MEO, 2020, p. 88), égrène une liste de méthodes (stratégies) qui peuvent être utilisées pour résoudre des problèmes de divers types, tout en se gardant, comme nous l'avons mentionné plus haut en introduction, de recommander dans sa plus récente version de 2020 un quelconque modèle de RP. Toutefois, les résultats de la présente étude montrent que le modèle de Pólya a encore de beaux jours devant lui et mérite de continuer à être exploité dans un contexte d'apprentissage des mathématiques au primaire en Ontario.

« Au cours des dernières décennies, notre société a connu des transformations aussi rapides que profondes. À l'heure de la mondialisation et du progrès scientifique et technologique, l'apprentissage des mathématiques revêt une importance primordiale en donnant accès aux compétences essentielles dont les élèves d'aujourd'hui auront besoin en matière de numératie pour se réaliser pleinement sur les plans personnel et professionnel » (MEO, 2005. p. 3). Dans le contexte de mobilité croissante et de classes de mathématiques super-diversifiées (Barwell, 2016), les élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario (élèves ASSI) au primaire ne sauraient être en reste.

Nous sommes partie du constat selon lequel l'absence de divers facteurs constitue un frein à l'intégration des TIC à l'école primaire dans de nombreux pays africains. De ce constat, nous

nous sommes questionnée sur l'impact d'outils technologiques dans l'apprentissage des mathématiques chez des élèves immigrés récemment en Ontario, au Canada, en provenance de ces pays. Pour répondre à notre problématique, nous avons pris appui, dans une mise en perspective du socioconstructivisme vygotskien (Vygotsky, 1934/1997), sur le modèle de résolution de problème de Pólya (1965) et sur la théorie instrumentale de Trouche (2003).

La collecte de données en ligne représentait un défi de réalisation au début de notre étude, mais nous nous sommes très vite rendue compte qu'elle offrait certains avantages. Nous pouvons citer, entre autres, la commodité de savoir que toutes les actions posées par les élèves à l'usage du logiciel avaient la possibilité d'être retracées, revisualisées et capturées ou transcrites fidèlement parce que les rencontres étaient enregistrées en vidéo et audio sur Teams. Il aurait été autrement plus fastidieux dans le cas de rencontres en présentiel de retenir les moindres détails des gestes posés par les élèves et de prendre des notes simultanément. La qualité des captures d'écran de l'enregistrement vidéo et audio sur Teams est meilleure que celle qu'aurait produite une caméra extérieure à l'ordinateur. De plus, cet enregistrement permettait à la chercheuse d'avoir la certitude de pouvoir revenir sur ce qui se passait sur le terrain de la collecte et de pouvoir se concentrer sur ses notes. Ainsi, la tenue de la session d'activités en ligne a, à notre sens, participé à un meilleur recueil des données d'observation, en particulier. Pour les données d'entrevues, récupérées de l'ordinateur à travers le fichier de la rencontre Teams également, la qualité de l'enregistrement serait sensiblement la même que celle d'un enregistreur audio externe.

L'approche instrumentale, *dialectique et féconde* (Artigue, 2002), offrait un cadre analytique adapté au recensement des schèmes d'utilisation que nous avons décelé chez les élèves ASSI. Par sa communication gestuelle avec l'outil technologique, l'élève permettait à l'observatrice de construire des schèmes d'utilisation qui rendent compte de ses usages de l'outil et, par conséquent, de son corpus instrumental.

La méthode de RP, loin d'être *trompeur* (Reys et al., 2001), sujet d'étude et objet d'apprentissage dans le cadre de cette recherche, est apparue également comme méthode d'analyse.

Le croisement de nos deux outils d'analyse s'est avéré fécond en nous permettant de repérer des évolutions dans les genèses instrumentales des élèves dans le contexte de RP en environnement contraint. Compte tenu des perspectives de cette recherche, les mêmes évolutions auraient-elles pu s'opérer tout aussi bien à travers un dispositif d'apprentissage traditionnel (papier-crayon)?

Dans notre tentative de décrire les genèses instrumentales des transformations des élèves ASSI, nous avons relevé le rôle de premier plan joué par le logiciel lors de cette constitution d'instruments. Toutefois, il va sans dire qu'on ne saurait passer sous silence le rôle de guide et de facilitateur de ces genèses qu'aurait joué un enseignant en salle de classe dans pareille situation d'apprentissage se déroulant dans *un contexte social* (Vygotsky).

Notre discussion ponctuée de termes empruntés au vocabulaire de la construction civile, à juste titre, n'en demeure pas moins une discussion sur *la constitution d'un corps de connaissances* (Trouche, 2005a) mathématiques par les élèves ASSI dans un environnement technologique. Cette constitution a été décrite en termes de schèmes d'utilisation, schème d'usage et schème d'action instrumentée.

Notre effort constitue, selon nous, une avenue florissante qui devrait mener la communauté scientifique à s'interroger sur l'apprentissage des mathématiques en milieu technologique pour des élèves immigrés récemment au Canada et sur le sens que ceux-ci donnent à cet apprentissage.

Cette recherche, visant à favoriser l'inclusion dans les classes de mathématiques du primaire de la minorité africaine subsaharienne en contexte minoritaire francophone de l'Ontario, contribue à l'amélioration des connaissances en didactique des mathématiques, notamment l'apprentissage par résolution de problèmes avec usage d'outil technologique chez des élèves immigrants récents en Ontario et participe à briser « le processus de triple minorisation qui marque de son empreinte les jeunes élèves africains (à la fois immigrants, immigrants francophones, et immigrants francophones africains) » (Jacquet et al., 2008a, p. 17).

3. Les limites de l'étude

Nous avons identifié quatre limites en lien avec l'échantillon de recherche. Par conséquent, nous ne pouvons qu'offrir des pistes qui devront être réinvesties par d'autres chercheurs.

Premièrement, tous les participants à cette étude provenaient de l'Afrique occidentale ou de l'Afrique centrale. Il aurait été intéressant d'élargir l'échantillon à toutes les autres régions de l'Afrique subsaharienne (Afrique orientale et Afrique méridionale) pour avoir un portrait plus général.

Deuxièmement, tous les élèves ASSI participants, en lien avec leurs parents, ont un statut d'immigrant choisi, la plupart habituellement choisis sur la base de leurs niveaux de scolarité,

postsecondaire minimalement, ou de leurs compétences professionnelles et linguistiques. Il aurait été intéressant d'avoir une diversité dans les statuts d'entrée au Canada, par exemple, entrée à titre de réfugiés ou autres. Le statut de réfugié rappelle une immigration forcée et, très souvent, une scolarité des enfants impactée de retards ou ruptures de scolarité, entre autres. L'étude de Moke Ngala (2005) révèle une grande complexité des situations quant aux statuts de migrants (réfugiés politiques, immigrants économiques, parrainés).

Troisièmement, l'étude telle qu'elle est présentée ici ne tient pas compte de l'enseignement reçu par les élèves ASSI participants depuis qu'ils sont installés en Ontario ou ailleurs au Canada, ce qui renvoie à un biais fort. Dans un monde idéal, tous nos participants seraient recrutés dès leur arrivée au pays, puis observés et interviewés avant le début de leur première année de scolarité au Canada.

Finalement, une autre limite concernerait les processus cognitifs sollicités durant la tâche. Les étapes étaient sensiblement plus difficiles pour une dyade que pour l'autre, ce qui peut refléter l'utilisation de processus davantage simultanés. On peut donc émettre à ce sujet une hypothèse qu'il faudrait infirmer ou confirmer avec un échantillon de taille n plus grand.

Une autre limite de l'étude concerne l'environnement dans lequel s'est tenue l'expérience; en contexte de pandémie, à distance, la chercheuse n'avait pas la possibilité d'observer tous les événements qui se passaient dans l'environnement immédiat de chacun des élèves et qui pouvaient notamment représenter un défi à leur participation active.

4. Les perspectives

Cette étude permet une meilleure compréhension de l'influence de l'outil technologique dans l'apprentissage de la géométrie et dans le processus de résolution de problèmes mathématiques chez les élèves ASSI. Elle s'avère pertinente en ce sens qu'elle ouvre quelques pistes de réflexion, non seulement pour d'éventuels projets de recherche, mais aussi sur les éléments à prendre en compte dans l'enseignement efficace à destination de ces élèves afin d'améliorer leurs apprentissages usant de technologies au primaire.

D'un point de vue scientifique, une analyse plus poussée, des schèmes d'utilisation émanant des données, en termes de fonctions heuristiques, pragmatiques, épistémiques dans la constitution d'un instrument, pourrait être menée afin de porter des précisions sur *la dimension invariante de l'organisation de l'activité* (Trouche, 2005a), à savoir la description des schèmes d'usage et

schèmes d'action instrumentée à travers les règles d'action, de prise d'information et de contrôle, les invariants opératoires, les anticipations et les inférences dont ils sont composés. Les genèses instrumentales sont des processus longs et complexes, qui prennent du temps (Restrepo, 2008).

D'un point de vue pratique, il serait intéressant d'effectuer une étude comparative des élèves ASSI avec des enfants qui sont nés ou qui ont débuté leur scolarité au Canada afin d'établir le lien, dans un tel contexte d'apprentissage, entre ces deux groupes. Par conséquent, nous croyons qu'il est nécessaire d'explorer davantage cette perspective.

Par ailleurs, Gomes (1999) s'est intéressé aux processus d'instrumentation et d'instrumentalisation et aux schèmes construits par l'action des élèves avec deux systèmes d'instruments différents: dans l'environnement papier-crayon et dans l'environnement Cabri. Soumettre la population de notre étude à un environnement traditionnel (environnement papier-crayon) puis comparer les résultats obtenus avec ceux de la présente étude (environnement GeoGebra) en matière de genèses instrumentales serait une piste pour une autre recherche.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Albarello, L. (2011). *Choisir l'étude de cas comme méthode de recherche*. De Boeck.
- Artigue, M. (1998). Instrumentation et écologie didactique de calculatrices complexes : éléments d'analyse à partir d'une expérimentation en classe de première S. Dans D. Guin (dir.), *Calculatrices symboliques et géométriques dans l'enseignement des mathématiques* (p. 15-38). Actes du premier colloque francophone européen de La Grande-Motte, IREM de Montpellier.
- 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(3), 245-274.
<https://doi.org/10.1023/A:1022103903080>
- Artigue, M., Lenfant A. et Roditi, E. (2003). La confrontation de cadres théoriques dans l'analyse didactique de vidéos réalisées dans des classes. Dans J. Colomb, J. Douaire et R. Noirfalise (dir.), *Faire des maths en classe? Didactique et analyse de pratiques enseignantes* (p.103-138). Groupe didactique de l'IREM Paris 7, INRP.
- Balacheff, N., Luengo, V. et Vadcard, L. (2006). Les EIAH à la lumière de la didactique. Dans M. Grandbastien et J. M. Labat (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain, Traité IC2 Information Commande Communication* (p. 47-68). Hermès.
- Barwell, R. (2008). *De la recherche à la pratique. L'ALS en classe de mathématiques, Faire la différence...* (monographie n° 14). Secrétariat de la littérature et de la numératie et Ontario Association of Deans of Education.
https://edusourceontario.com/res/faire-difference-monographie-n14?_cG49MyYucnQ9Nw
- Barwell, R. (2016). Une perspective bakhtinienne des interactions en salle de classe de mathématiques. Dans A. Adihou, J. Giroux, D. Guillemette, C. Lajoie et K. Mai Huy (dir.), *La diversité des mathématiques : dimensions sociopolitiques, culturelles et historiques de la discipline en classe* (p. 37-45). Actes du colloque du Groupe de didactique des mathématiques du Québec, 31 mai au 2 juin, Université d'Ottawa.
- Beatty, R. et Geiger, V. (2009). Technology, communication, and collaboration: Re-thinking communities of inquiry, learning and practice. Dans C. Hoyles, J. -B. Lagrange (dir.), *Mathematics education and technology-rethinking the terrain: The 17th ICMI study* (p. 251-284). Springer.
- Bergé, A. et Duarte, B. (2015). Choix didactiques des enseignants de mathématique pour la résolution de problèmes en classe. Dans A. Adihou, L. Bacon, D. Benoit et C. Lajoie (dir.), *Regards sur le travail de l'enseignant de mathématiques* (p. 64-72). Actes du colloque du Groupe de didactique des mathématiques du Québec, 20 au 22 mai, Université de Sherbrooke.

- Bouchamma, Y. (2009). *Francisation, scolarisation et socialisation des élèves immigrants en milieu minoritaire francophone du Nouveau-Brunswick : quels défis et quelles perspectives?* Centre Métropolis Atlantique.
- 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]. Papyrus.
<https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/5349>
- Bransford, J. D. et Stein, B. S. (1993). *The IDEAL problem solver: A guide for improving thinking, learning and creativity* (2^e éd.). W. H. Freeman and Company.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques* (Textes rassemblés et préparés par N. Balacheff, M. Cooper, R. Sutherland et V. Warfield). La Pensée Sauvage.
- Bruning, R. H., Schraw, G. J. et Norby, M. M. (2011). *Cognitive Psychology and Instruction* (5^e éd.). Pearson.
- Buizard, J.- M. (2015). Perception consciente ou perception inconsciente : quel rapport entre perception et conscience? *L'évolution psychiatrique*, 80(4), 740-749.
<https://doi.org/10.1016/j.evopsy.2015.02.001>
- Chazan, D. et Ball, D. (1999). Beyond being told not to tell. *For the Learning of Mathematics*, 19(2), 2-10.
- Corriveau, A. (2006). *Étude de l'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique comme soutien au processus de conceptualisation et de compréhension du concept de translation chez des élèves du troisième cycle du primaire* [mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS. <http://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/586>
- Coulet, J. C. (2007). Le concept de schème dans la description et l'analyse des compétences professionnelles : formalisation des pratiques, variabilité des conduites et régulation de l'activité. Dans M. Merri (dir.), *Activité humaine et conceptualisation : questions à Gérard Vergnaud* (p. 297-306). Presses universitaires du Mirail.
- Coutat, S. (2012). Vers une évolution de la vision en géométrie au primaire avec un logiciel de géométrie dynamique. *Math-École*, 218(1), 50-55.
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (2^e éd.). Sage Publications.
- Drijvers, P. et Gravemeijer, K. (2005). Computer algebra as an instrument: Examples of algebraic schemas. Dans D. Guin, K. Ruthven et L. Trouche (dir.), *The didactical challenge of symbolic calculators: Turning a computational device into a mathematical instrument* (p. 163-196). Springer.

- Dubé, Alexandre. (2011). *Introduction au logiciel Geogebra*. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=WaJ3svvJaIw>
- Fleuret, C., Bangou, F. et Ibrahim, A. (2013). Langues et enjeux interculturels : une exploration au cœur d'un programme d'appui à l'apprentissage du français de scolarisation pour les nouveaux arrivants. *Revue canadienne de l'éducation*, 36(4), 280-298.
- Fortin, M. -F. et Gagnon, J. (2016). *Fondements et étapes du processus de recherche : méthodes quantitatives et qualitatives* (3^e éd.). Chenelière éducation.
- Freiman, V. et Manuel, D. (2013). Une ressource virtuelle de résolution de problèmes mathématiques : les perceptions d'utilisateurs et les traces d'usage. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 20(1), 295-325.
- Gagnon, Y.-C. (2012). *L'étude de cas comme méthode de recherche* (2^e éd.). Les Presses de l'Université du Québec.
- Gauthier, C., Bissonnette, S., Richard, M. et Castonguay, M. (2013). *Enseignement explicite et réussite des élèves : la gestion des apprentissages*. Pearson.
- Gauthier, M. (2014). Perceptions des élèves du secondaire par rapport à la résolution de problèmes en algèbre à l'aide d'un logiciel dynamique et la stratégie Prédire - investiguer - expliquer. *Éducation et francophonie*, 42(2), 190-214.
<https://doi.org/10.7202/1027913ar>
- Gomes, A. S. (1999). *Développement conceptuel consécutif à l'activité instrumentée : l'utilisation d'un système informatique de géométrie dynamique au collège* [thèse de doctorat, Université Paris V]. Portail des thèses.
https://www.researchgate.net/profile/Alex_Gomes2/publication/269764728_Developpement_Conceptuel_Consecutif_a_L'activite_Instrumentee_-_L'utilisation_d'un_systeme_de_geometrie_dynamique_au_college/links/5496317a0cf29b944824156f.pdf
- Hähkiöniemi, M., Fenyvesi, K., Pöysä-Tarhonen, J., Tarnanen, M., Häkkinen, P., Kauppinen, M. et Nieminen, P. (2016). Mathematics learning through arts and collaborative problem-solving: The Princess and the Diamond-Problem. Dans E. Torrence, B. Torrence, C. H. Séquin, D. McKenna, K. Fenyvesi et Reza Sarhangi (dir.), *Mathematics, music, art, architecture, education, culture* (p. 97-104). Bridges Finland Conference Proceedings, 9 au 13 août 2016, Tessellations Publishing.
<http://archive.bridgesmathart.org/2016/bridges2016-97.pdf>
- Hermann, G. (2002). *Modèles d'apprentissage : Trousse 7*. Québec : carrefour de la réussite au collégial.
http://www.lareussite.info/wp-content/uploads/2016/09/Trousse-7_modeles-apprentissage_2002-05.pdf

- Hiebert, J. C., Carpenter, T. P., Fennema, E., Fuson, K. C., Human, P. G., Murray, H. G., Ollivier, A. I. et Wearne D. (1997). *Making sense: Teaching and learning mathematics with understanding*. Heinemann.
- Houle, R. et Maheux, H. (2016, 29 juin). *150 ans d'immigration au Canada* (publication n° 11-630-X). Statistique Canada.
<https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-630-x/11-630-x2016006-fra.htm>
- Hoyles, C. et Lagrange, J. B. (2010). *Mathematics education and technology-Rethinking the terrain*. Springer.
- Jacquet, M., Moore, D., Sabatier, C. et Masinda, M. (2008a). *L'intégration des jeunes immigrants francophones africains dans les écoles francophones en Colombie-Britannique*. Metropolis British Columbia.
http://community.smu.ca/atlantic/documents/Riim-Jacquet_Moore_Sabatier_Masinda2008_000.pdf
- Jacquet, M., Moore, D., Sabatier, C. et Masinda, M. (2008b). *Integration of young francophone African immigrants in francophone schools in British Columbia* (MBC Working Paper 08-13). Metropolis British Columbia.
- Jacquet, M., Moore, D., Masinda, M. T. et Barankenguje J. (2013). Claiming the voice of Hope: The School Integration of Young Francophone African Immigrants in British Columbia - Canada. Dans I. Harushimana, C. Ikpeze et S. Mthethwa-Sommers (dir.), *Reprocessing race, language and ability: African-born educators and students in transnational America* (2^e éd., vol. 42, p. 135-149). Peter Lang Inc., International Academic Publishers.
- Jacquet, M. et Masinda, M. T. (2014). Réflexions sur la notion d'intégration scolaire des jeunes immigrants. *International Journal of Canadian Studies*, 50(1), 277-295.
<https://www.muse.jhu.edu/article/566307>
- Johsua, S. et Dupin, J. J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Presses universitaires de France.
- Kamano, L. (2014). *Recension d'écrits : Intégration des élèves nouveaux arrivants dans les écoles francophones du sud-est du Nouveau-Brunswick*. Centre de recherche et de développement en éducation, Université de Moncton.
https://www.umoncton.ca/crde/files/crde/wf/recension_projet_dsf-s_19dec2014.pdf
- Kanu, Y. (2008). Educational Needs and Barriers for African Refugee Students in Manitoba. *Canadian Journal of Education*, 31(4), 915-940.
- Karadag, Z. et McDougall, D. (2009). Dynamic worksheets: visual learning with the guidance of Pólya. *MSOR Connections*, 9(2), 13-16.
- Karsenti, T. et Savoie-Zajc, L. (2004). *La recherche en éducation : étapes et approches* (3^e éd. revue et corrigée). Université de Sherbrooke : Éditions du CRP.

- Karsenti, T. et Savoie-Zajc, L. (2018). *La recherche en éducation : étapes et approches* (4^e éd. revue et mise à jour). Les Presses de l'Université de Montréal.
- Kilpatrick, J., Swafford, J. et Findell, B. (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. National Academy Press.
- Laborde, C. (1992). Solving problems in computer based geometry environments: The influence of the features of the software. *Zentralblatt für didaktik der mathematik*, 24(4), 128-135.
- Laborde, C., Kynigos, C., Hollebrands, K. et Strässer R. (2006) Teaching and learning geometry with technology. Dans A. Gutierrez et P. Boero (dir.), *Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education: Past, Present and Future* (p. 275-304). Sense Publishers.
- Le Compte, M. D. et Preissle, J. (1993). *Ethnography and qualitative design in educational research* (2^e éd.). Academic Press.
- Lincoln, Y. S. et Guba, E. G. (1985). *Naturalistic observation*. Sage Publications.
- Louis, N. (2021). *Vivre une démarche de résolution de problèmes par la pensée design : une étude de cas* [thèse de doctorat, Université d'Ottawa]. Recherche uO.
<https://ruor.uottawa.ca/handle/10393/42386>
- MacKay, T. et Tavares, T. (2005). *Building hope, appropriate programming for adolescent and young adult newcomers of war-affected backgrounds and Manitoba schools: Preliminary report for consultation and discussion*. Manitoba Education, Citizenship et Youth.
- Madibbo, A. (2008). The Integration of Black Francophone Immigrant Youth in Ontario: Challenges and Possibilities. *Canadian Issues*, 45-49.
- Martin, A. J., Liem, G. A. D., Mok, M. M. C. et Xu, J. (2012). Problem solving and immigrant student mathematics and science achievement: Multination findings from the Programme for International Student Assessment (PISA). *Journal of Educational Psychology*, 104(4), 1054-1073. <https://doi.org/10.1037/a0029152>
- Martinez, C. (1997). L'entretien d'explicitation comme instrument de recueil de données. *Expliciter*, 21(5), 2-7.
https://www.expliciter.org/wp-content/uploads/2022/04/21-expliciter-octobre_1997.pdf
- Mattiussi, C. (2013). *Étude du recours informatique dans l'enseignement des mathématiques au collège* [thèse de doctorat, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II]. Portail HAL theses.
<https://theses.hal.science/tel-01010959v1>
- Meirieu, P. (1987). *Apprendre... oui, mais comment?* ESF Éditeur.

- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2003). *Stratégie de mathématiques au primaire : rapport de la Table ronde des experts en mathématiques*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
<http://www.edu.gov.on.ca/fre/document/reports/math/math.pdf>
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2004a). *La numératie en tête de la 7^e à la 12^e année : rapport du groupe d'experts pour la réussite des élèves*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2004 b). *Politique d'aménagement linguistique de l'Ontario pour l'éducation en langue française*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2005). *Le curriculum de l'Ontario de la 1^{re} à la 8^e année - mathématiques, révisé*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2006a). *Guide d'enseignement efficace des mathématiques, de la maternelle à la 6^e année, fascicule 1*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2006b). *Guide d'enseignement efficace des mathématiques, de la maternelle à la 6^e année, fascicule 2*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2006c). *Guide d'enseignement efficace des mathématiques, de la 4^e à la 6^e année, fascicule 1*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2006d). *Guide d'enseignement efficace des mathématiques, de la 4^e à la 6^e année, fascicule 2*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2014). *Mettre l'accent sur le raisonnement spatial*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
<http://www.edu.gov.on.ca/fre/literacynumeracy/SpatialReasoningFr.pdf>
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario (MEO). (2020). *Le curriculum de l'Ontario de la 1^{re} à la 8^e année - mathématiques*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- Moke Ngala, V. (2005). *L'intégration des jeunes des familles immigrantes francophones d'origine africaine à la vie scolaire dans les écoles secondaires francophones dans un milieu urbain en Alberta : conditions et incidences* [document inédit]. Université de l'Alberta.
- National Research Council. (1989). *Everybody counts: A report to the nation on the future of mathematics education*. National Academy Press.
- NCTM. (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. National Council of Teachers of Mathematics.
https://www.nctm.org/uploadedFiles/Standards_and_Positions/PSSM_ExecutiveSummary.pdf

- NCTM. (2002). Early childhood mathematics: Promoting good beginnings. A joint position statement of the National Association for the Education of Young Children (NAEYC) and the National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). *Teaching children mathematics*, 9(1), 24-24. <http://www.jstor.org/stable/41199674>
- Norton, B. et Toohey, K. (2011). Identity, language learning, and social change. *Language Teaching*, 44(4), 412-446.
- Okito, P. P. (2007). *The Challenges of Integration of Refugee Immigrant Children in Saskatoon High Schools* [document inédit]. University of Saskatchewan.
- Owens, D. T. (1993). *Research ideas for the classroom: Middle grades mathematics*. Macmillan.
- Polotskaia, E. et Freiman, V. (2016). Technopédagogie et apprentissage actif. *Bulletin AMQ*, 56(3), 55-69.
- Pólya, G. (1945). *How to Solve It*. Princeton University Press.
- Pólya, G. (1957). *How to Solve It* (2^e éd.). Princeton University Press.
- Pólya, G. (1965). *Comment poser et résoudre un problème : mathématiques, physique, jeux, philosophie* (2^e éd.). Dunod.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Racine, E. (2009). *L'influence d'activités en arts plastiques sur l'expérience d'appréciation musicale d'élèves de sixième année du primaire* [mémoire de maîtrise, Université de Montréal]. Papyrus. https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/4401/Racine_Elyse_2009_memoire.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Restrepo, A. M. (2008). *Genèse instrumentale du déplacement en géométrie dynamique chez des élèves de 6ème* [thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier-Grenoble I]. Portail HAL theses. <https://theses.hal.science/tel-00334253v1/file/These-Restrepo.pdf>
- Reys, R. E., Lindquist, M. M., Lambdin, D. V., Suydam, M. N. et Smith, N. L. (2001). *Helping children learn mathematics* (6^e éd.). [application mobile]. Wiley. <https://bcs.wiley.com/he-bcs/Books?action=index&bcsId=1441&itemId=0471367850>
- Rigaut, J. (2013). *Le passage du dessin à la figure grâce à l'utilisation des logiciels de géométrie dynamique*. [mémoire de maîtrise, Université d'Artois]. Portail HAL dumas. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00861877>

- Rincon Bahamon, B. (2011). *Démonstration des propriétés métriques sur les coniques avec un outil de géométrie dynamique*. [mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal]. Archipel. <http://archipel.uqam.ca/id/eprint/4629>
- Roegiers, X. (1998). *Les mathématiques à l'école élémentaire, tome 2 : géométrie, mesures de grandeurs, typologie des problèmes*. De Boeck.
- Schoenfeld, A. (1985). *Mathematical problem solving*. Academic Press.
- Sinclair, N. et Bruce, C. D. (2014). Spatial reasoning for young learners. Dans P. Liljedahl, C. Nicol, S. Oesterle et D. Allan (dir.), *Proceedings of the joint meeting of PME 38 and PME-NA 36* (vol. 1, p. 173-203). PME.
- Slavin, R. E. (2014). *Educational psychology: Theory and practice* (11^e éd.). Pearson.
- Snowman, J., McCown, R. P. et Biehler, R. (2008). *Psychology applied to teaching* (12^e éd.). Houghton Mifflin Harcourt.
- Statistique Canada. (2014). *Croissance démographique : l'accroissement migratoire l'emporte sur l'accroissement naturel* (publication n° 11-630-X). <https://publications.gc.ca/pub?id=9.854081&sl=1>
- Statistique Canada. (2017). *Immigration et diversité ethnoculturelle : faits saillants du Recensement de 2016, Le Quotidien*, 25 octobre (publication n° 98-402-X2016007). <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/98-402-X2016007>
- Suurtamm, C., Quigley, B. et Lazarus, J. (2015). *De la recherche à la pratique. Créer un climat propice à la réflexion en mathématique, Faire la différence...* (monographie n° 59). Secrétariat de la littératie et de la numératie et Ontario Association of Deans of Education. https://edusourceontario.com/res/Climat-propice-r%C3%A9flexion-math%C3%A9matique?_LnJ0PTc
- Tardif-Couture, R. (2016). *Résolution de problèmes en mathématiques chez les élèves allophones du primaire* [mémoire de maîtrise, Université de Laval]. CorpusUL. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/27352>
- Thouin, M. (2014). *Réaliser une recherche en didactique*. Éditions MultiMondes.
- Trouche, L. (2003). *Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations* [habilitation à diriger des recherches, Université Paris VII]. Portail HAL telearn. <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00190091/document>
- Trouche, L. (2005a). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Recherches en didactique des mathématiques*, 25(1), 91-138.

<https://revue-rdm.com/2005/construction-et-conduite-des-instruments-dans-les-apprentissages-mathematiques-necessite-des-orchestrations/>

- Trouche, L. (2005b). *Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques* [communication orale]. Le calcul sous toutes ses formes, Inspection générale de mathématiques, Saint-Flour. <https://hal.science/hal-01559831>
- Van de Walle, J. A. et Folk, S. (2005). *Elementary and middle school mathematics: Teaching developmentally*. Pearson Education Canada.
- Van der Maren, J. -M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2^e éd.). De Boeck.
- Van der Maren, J. -M. (dir.) (2007). Les recherches évaluatives. *La recherche appliquée en pédagogie : des modèles pour l'enseignement* (p. 63-82). De Boeck.
- Van Hiele, P. M. (1959). The child's thought and geometry. Dans D. Geddes et R. Tischler (dir.), *English translation of selected writings of Dina van Hiele-Geldof and Pierre M. van Hiele* (p. 243-252). School of Education.
- Vermersch, P. (2003). *L'entretien d'explicitation* (4^e éd.). ESF Éditeur.
- Vienneau, R. (2011). *Apprentissage et enseignement : théories et pratiques* (2^e éd.). Gaëtan Morin éditeur.
- Vom Hofe, A. (dir.) (2000). Interactions homme-système, perspectives et recherches psycho-ergonomiques. *Revue d'intelligence artificielle* (vol. 14, p. 1-243). Hermès science publications.
- Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (M. Cole, V. Jolm-Steiner, S. Scribner, et E. Souberman, dir.). Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>
- Vygotsky, L. (1986). *Thought and language* (A. Kozulin, dir., 2^e éd. rév.). The MIT Press.
- Wallet, P. (2016). *Technologies de l'information et de la communication (TIC) en éducation en Afrique subsaharienne : analyse comparative du développement numérique dans les écoles* (Bulletin d'information n° 25). Institut de statistique de l'UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244012?posInSet=1&queryId=45dca3d5-17d5-437d-9c40-3c9b1fa0428e>
- Yin, R. K. (2003). *Case study research: Design and methods* (3^e éd.). Sage Publications.

ANNEXES

Annexe A: Liste exhaustive des attentes du programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e année de 2005 mentionnant les TIC

1 - Attentes du programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e (MEO, 2005) faisant mention d'utilisation de logiciel (en particulier)

p. 20

Sélection d'outils technologiques et de matériel approprié. De nos jours, l'élève dispose d'une gamme variée d'outils pour résoudre des problèmes simples ou complexes. L'utilisation de matériel de manipulation (p. ex., feutres, jetons, rubans à mesurer, solides, mètres) et d'outils technologiques (p. ex., rétroprojecteur, ordinateur, calculatrice, logiciel de géométrie dynamique) favorise l'apprentissage de l'élève qui peut s'en servir autant pour illustrer et explorer des concepts mathématiques que pour vérifier une hypothèse.

Tableaux récapitulatifs des attentes du programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e année de 2005 qui mentionnent l'utilisation de logiciel-

• Domaine: ***Géométrie et sens de l'espace***

Année d'études	Attente	Page
4 ^e année	– créer des frises et des dallages, à l'aide de matériel concret ou de logiciels de géométrie, en utilisant des transformations comme régularité.	p. 55
5 ^e année	– démontrer la congruence de figures planes en fonction des mesures de leurs côtés et de leurs angles, en utilisant un rapporteur et une règle ou des logiciels.	p. 65
7 ^e année	– construire divers cercles de mesures données, à l'aide d'instruments et d'outils technologiques (p. ex., compas, logiciel). – construire différentes figures planes en utilisant des médiatrices et des bissectrices, à l'aide de divers outils (p. ex., Mira, compas, pliage, papier quadrillé, logiciel de géométrie). – réaliser, avec ou sans logiciel, des vues de face, de côté et de dessus de divers solides. – définir et créer des dallages réguliers et semi-réguliers, à l'aide de matériel de manipulation, de papier à points ou de logiciels de géométrie. – construire des dallages ayant plus d'une forme à l'aide de matériel de manipulation, de papier à points ou de logiciels de géométrie (p. ex., les transformations dans les œuvres de M.C. Escher).	p. 81
8 ^e année	– déterminer s'il y a une relation entre les angles formés par les côtés d'un triangle rectangle (théorème de Pythagore), en utilisant des modèles, des diagrammes et des logiciels.	p. 89

- Autres domaines du programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e année de 2005 qui mentionnent l'utilisation de logiciel-

Domaine	Année d'études	Attente	Page
Modélisation et algèbre	1 ^{re} année	– identifier, prolonger et créer une suite non numérique à motif répété en utilisant un attribut, à l'aide de matériel concret, illustré ou d'un logiciel (p. ex., blocs logiques, tampons encreurs).	p. 31
Modélisation et algèbre	2 ^e année	– reproduire, prolonger et créer des suites non numériques à motif croissant et à motif répété en utilisant deux attributs, à l'aide de matériel concret, illustré et d'un logiciel.	p. 39
Traitement des données et probabilité	6 ^e année	– comparer et choisir, à l'aide d'un logiciel de graphiques, le genre de diagramme qui représente le mieux un ensemble de données.	p. 75
Modélisation et algèbre	7 ^e année	– représenter, dans le premier quadrant d'un plan cartésien, une relation à l'aide d'outils technologiques (p. ex., calculatrice à affichage graphique, logiciel).	p. 82
Modélisation et algèbre	8 ^e année	– représenter graphiquement une relation à l'aide d'outils technologiques (p. ex., calculatrice à affichage graphique, logiciel).	p. 90

2 - Attentes du programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e (MEO, 2005) faisant mention d'utilisation de technologie (en général)

p. 23

La place des outils technologiques dans le programme-cadre de mathématiques

La technologie de l'information et des communications (TIC) propose divers outils qui peuvent enrichir l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques. Utilisés de pair avec le matériel de manipulation, ces outils aident l'élève à comprendre les nouveaux concepts.

Tableaux récapitulatifs des attentes du programme-cadre de mathématiques de la 1^{re} à la 8^e année de 2005 qui mentionnent l'utilisation de technologie-

Domaine	Année d'études	Attente	Page
Numération et sens du nombre	1 ^{re} année	– estimer, représenter et effectuer des additions et des soustractions de nombres naturels inférieurs à 61, à l'aide de matériel de manipulation, d'illustrations et de la technologie.	p. 28
Mesure	3 ^e année	– estimer et mesurer une période de temps en heures, en jours, en semaines, en mois et en années, dans des situations réelles d'apprentissage, à l'aide de matériel	p. 45

		concret ou technologique (p. ex., horloge, calendrier, calculatrice).	
Numération et sens du nombre	4 ^e année	– estimer et calculer, à l’aide ou non de matériel concret ou d’outils de technologie, la monnaie à rendre jusqu’à 500 \$ à la suite d’un achat quelconque (p. ex., en comptant à partir du prix de l’article jusqu’à 300 \$).	p. 52
Numération et sens du nombre	5 ^e année	– estimer et calculer, à l’aide d’outils de technologie, la monnaie à rendre jusqu’à 1 000 \$ à la suite d’un achat quelconque (p. ex., en comptant à partir du prix d’un article jusqu’à 725 \$).	p. 62
Numération et sens du nombre	6 ^e année	– estimer et vérifier des sommes d’argent jusqu’à 10 000 \$ à l’aide d’outils de technologie.	p. 71
Géométrie et sens de l’espace	6 ^e année	– construire des polygones, en fonction de leurs propriétés, en utilisant la technologie appropriée (p. ex., construire un losange dont le périmètre mesure 20 cm).	p. 73
Modélisation et algèbre	7 ^e année	– représenter, dans le premier quadrant d’un plan cartésien, une relation à l’aide d’outils technologiques (p. ex., calculatrice à affichage graphique, logiciel).	p. 82
Mesure	8 ^e année	– tracer un cercle ayant une circonférence donnée, à l’aide d’outils géométriques ou technologiques.	p. 88
Géométrie et sens de l’espace	8 ^e année	– déterminer, à l’aide de constructions et d’outils technologiques, le centre d’un cercle donné (p. ex., tracer la médiatrice de deux cordes). – construire des polygones de mesures données, à l’aide d’un compas et d’une règle ou en utilisant un outil technologique. – tracer et déterminer les coordonnées de l’image d’une figure obtenue suite à une rotation (multiples de 90°) de centre à l’origine dans un plan cartésien, avec ou sans outil technologique. – tracer et déterminer les coordonnées de l’image d’une figure obtenue suite à une homothétie dans le plan cartésien, avec ou sans outil technologique.	p. 89
Modélisation et algèbre	8 ^e année	– représenter graphiquement une relation à l’aide d’outils technologiques (p. ex., calculatrice à affichage graphique, logiciel).	p. 90

[Retour ▲](#)

Annexe B: Extraits du rapport provincial de l'OQRE 2018-2019 – résultats de l'enquête sur l'utilisation de logiciels en enseignement à l'élémentaire

[Retour ▲](#)

Rendement des élèves de l'Ontario 2018-2019

Rapport provincial de l'OQRE

Résultats des écoles élémentaires aux Tests en lecture, écriture et mathématiques, cycle primaire (de la 1^{re} à la 3^e année) et cycle moyen (de la 4^e à la 6^e année)

Élèves de langue française

Informations contextuelles – Résultats aux questionnaires d'une année à l'autre d'une année

Résultats au Questionnaire à l'intention du personnel enseignant, 6^e année (suite)

	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Enseignantes et enseignants ayant rempli le questionnaire ¹	<i>n</i> = 356	<i>n</i> = 375	<i>n</i> = 396	<i>n</i> = 409	<i>n</i> = 418
UTILISATION DE RESSOURCES PÉDAGOGIQUES EN SALLE DE CLASSE (suite)					
Pourcentage d'enseignantes et d'enseignants ayant indiqué utiliser « parfois » ou « souvent » les ressources ci-dessous pour l'enseignement des mathématiques² :					
Logiciels (p. ex., jeux de mathématiques interactifs, logiciels de graphisme)	58 %	63 %	66 %	69 %	75 %
Pourcentage d'enseignantes et d'enseignants ayant indiqué avoir « parfois » ou « souvent » demandé à leurs élèves d'utiliser les ressources ci-dessous lors d'activités de mathématiques² :					
Logiciels (p. ex., jeux de mathématiques interactifs, logiciels de graphisme)	57 %	66 %	67 %	71 %	75 %

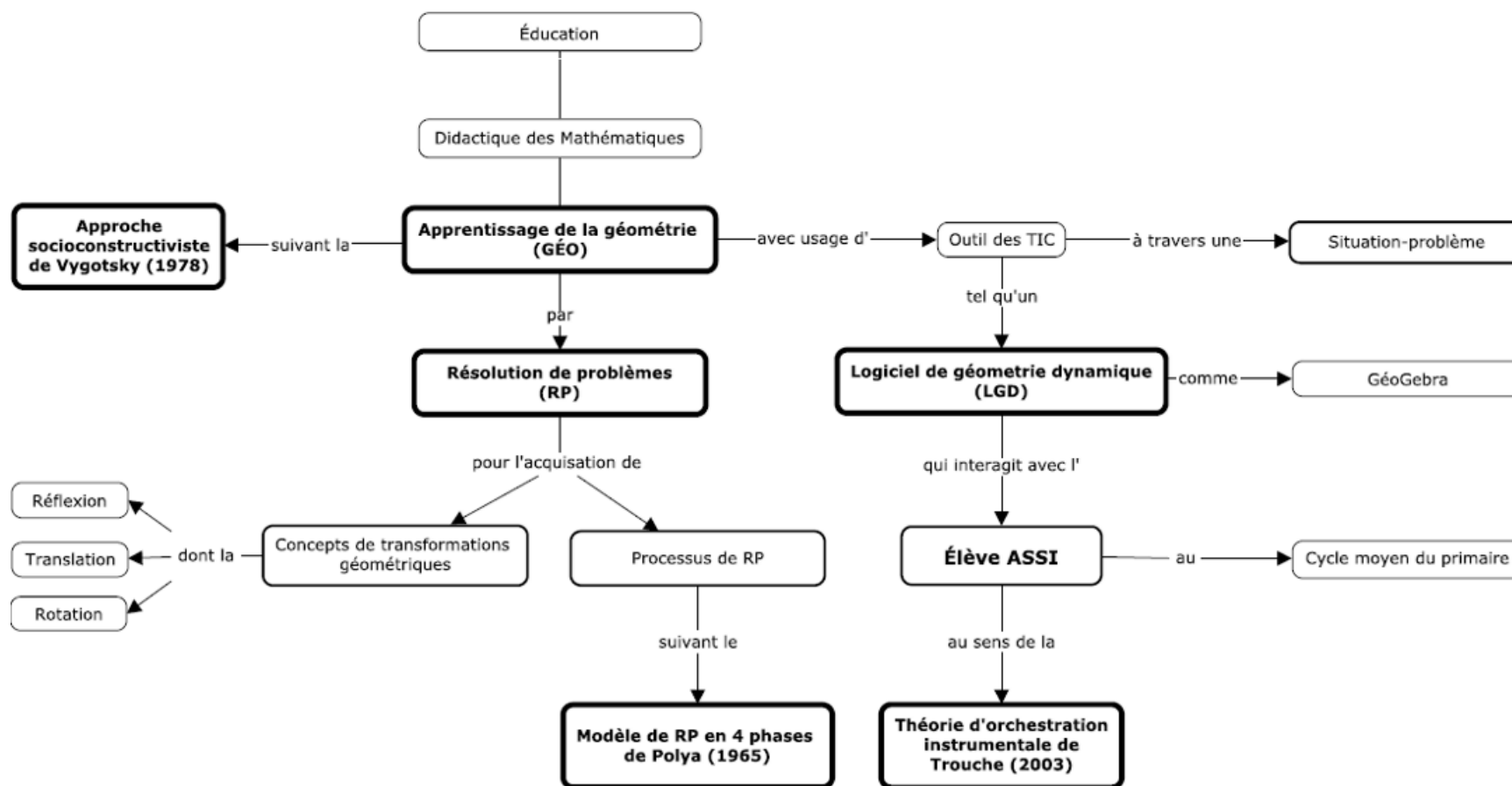
Résultats au Questionnaire à l'intention du personnel enseignant, 3^e année (suite)

	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Enseignantes et enseignants ayant rempli le questionnaire	<i>n</i> = 531	<i>n</i> = 541	<i>n</i> = 578	<i>n</i> = 556	<i>n</i> = 573
UTILISATION DE RESSOURCES PÉDAGOGIQUES EN SALLE DE CLASSE (suite)					
Pourcentage d'enseignantes et d'enseignants ayant indiqué utiliser « parfois » ou « souvent » les ressources ci-dessous pour l'enseignement des mathématiques¹ :					
Logiciels (p. ex., jeux de mathématiques interactifs, logiciels de graphisme)	55 %	60 %	66 %	67 %	68 %
Pourcentage d'enseignantes et d'enseignants ayant indiqué avoir « parfois » ou « souvent » demandé à leurs élèves d'utiliser les ressources ci-dessous lors d'activités de mathématiques² :					
Logiciels (p. ex., jeux de mathématiques interactifs, logiciels de graphisme)	57 %	65 %	69 %	70 %	73 %

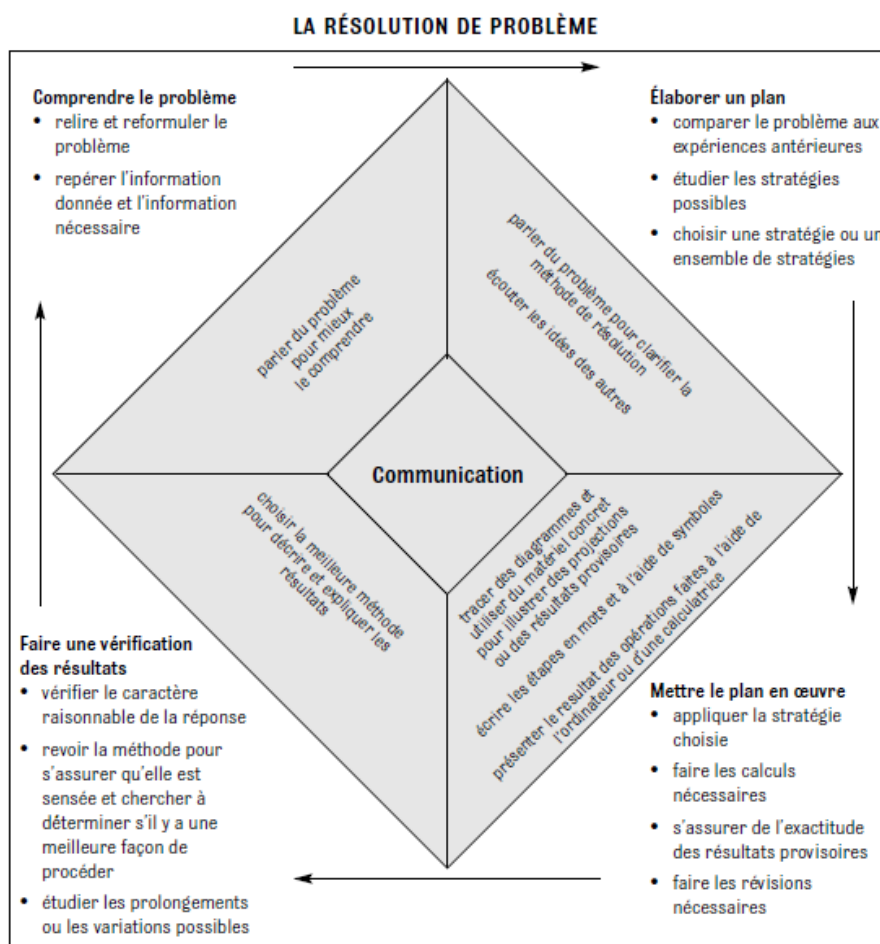
¹ Les autres choix de réponses étaient « non disponible(s) », « jamais » et « à l'occasion ».

Annexe C: Carte conceptuelle de l'apprentissage par RP avec utilisation de LGD de l'élève ASSI au primaire

[Retour ▲](#)



Annexe D: Modèle de recherche en résolution de problème (MEO, 2005, p. 18)



Retour ▲

Annexe E: Modèle en quatre étapes de Polya

(MEO, 2006b, p. 43)

Modèle en quatre étapes de Polya	
Étapes du modèle de Polya	Implications pédagogiques
• Comprendre le problème <i>Qu'est-ce que j'ai à faire ou à chercher?</i>	Encourager les élèves à réfléchir, à parler du problème et à le reformuler dans leurs propres mots avant de travailler avec du matériel de manipulation ou de tenter une solution.
• Concevoir un plan <i>Comment vais-je procéder?</i> <i>Qu'est-ce que je peux utiliser?</i>	Il faut aider les élèves à élaborer un plan. Ils doivent comprendre que tous les plans sont provisoires et peuvent être modifiés au cours du processus. Ils peuvent examiner les stratégies possibles. Leur suggérer, par exemple, de consulter les différentes stratégies affichées dans la classe peut être utile. Il n'est pas nécessaire que les élèves mettent le plan par écrit. Toutefois, il est important qu'ils soient capables de le verbaliser. Pour plusieurs élèves, cette étape se déroule de manière informelle.
• Exécuter le plan <i>Quelles stratégies vais-je utiliser?</i>	À cette étape, les élèves utilisent des stratégies afin de trouver une ou des solutions au problème, comme faire un dessin ou travailler avec du matériel de manipulation. Les interventions de l'enseignant ou de l'enseignante doivent à cette étape susciter une meilleure compréhension tout en évitant de « résoudre » le problème pour les élèves. Il faut encourager les élèves à persévérer en leur offrant des suggestions pour les aider à sortir d'une impasse (p. ex., « As-tu demandé à Catherine si elle a une idée? Regarde les différentes stratégies affichées dans la classe pour voir si tu pourrais t'y prendre autrement. Est-ce que tu connais un problème semblable à celui-ci? ») ou à utiliser leurs propres stratégies. Elles peuvent leur permettre de résoudre le problème et de mieux démontrer leur compréhension.
• Examiner la solution retenue <i>La stratégie utilisée est-elle appropriée?</i> <i>Comment puis-je vérifier l'exactitude ou la vraisemblance de ma réponse?</i>	C'est l'étape de la mise en commun des idées. Grâce aux échanges, les élèves réalisent que diverses stratégies peuvent être utilisées et commencent à les évaluer de manière critique afin de déterminer celle qui serait la plus appropriée pour résoudre le problème (p. ex., la plus efficace, la plus facile à comprendre). L'enseignant ou l'enseignante doit inciter les élèves à vérifier la vraisemblance de leur réponse, l'efficacité de leur démarche et les aider à développer des stratégies pour ce faire.

[Retour](#) ▲

Annexe F: Trois façons d'utiliser GeoGebra

(Gauthier, 2014, p. 197)

	Expliquer	Explorer	Modéliser
Comprendre le problème	- Décrire les données fournies - Identifier les inconnues	- Fournir des fiches de travail aux élèves - Demander aux élèves d'explorer le problème - Guider les élèves dans l'identification des inconnues	- Fournir le théorème à modéliser - Identifier les données fournies - Décrire l'inconnue
Concevoir le plan	- Voir comment les variables sont-elles liées les unes aux autres - Énoncer la stratégie	- Demander aux élèves quelle est la relation entre les variables - Guider les élèves dans la création d'une stratégie	- Développer des objets mathématiques - Analyser la relation entre les objets
Mettre le plan à exécution	- Recueillir de nouvelles données pour développer une solution en manipulant des objets mathématiques - Poser des questions directives	- Aider les élèves à interagir avec les objets mathématiques afin de recueillir plus de données - Guider les élèves dans l'identification des propriétés des données recueillies	- Manipuler les objets pour vérifier si tout fonctionne correctement - Créer des conjectures - Vérifier les conjectures
Revenir sur la solution	- Répéter la procédure appliquée - Poser des questions du type Que se passe-t-il si...?	- Encourager les élèves à modifier le problème - Demander aux élèves de poser des questions du type Que se passe-t-il si...?	- Modifier les variables - Créer des problèmes verbaux décrivant le cas étudié - Poser de nouveaux problèmes

[Retour▲](#)

Annexe G:
(Hermann, 2002, p. 54)

[Retour▲](#)

Distinctions entre trois approches : cognitivisme, constructivisme et socioconstructivisme

	<i>Cognitivisme</i>	<i>Constructivisme</i>	<i>Socioconstructivisme</i>
<i>Nature du processus</i>	Processus récepteur Processus individuel d'assimilation de connaissances* * Ici, connaissance et savoir ne sont pas distingués	Processus créateur Processus individuel de construction ou d'adaptation des connaissances**. ** Ici, connaissance et savoir sont distincts	Processus créateur Processus individuel de construction ou d'adaptation des connaissances** qui se vit à travers les autres et en situation.
<i>Tandem enseignement-apprentissage</i>	Ce qui prime, c'est le savoir à reproduire.	Ce qui prime, ce sont les connaissances à construire.	
<i>Rôle de l'apprenant</i>	Récepteur actif d'informations externes qu'il intègre en transformant ses connaissances antérieures.	Créateur de connaissances à travers sa propre activité, par manipulation de sa propre connaissance.	Créateur de connaissances en interaction avec les autres, en manipulant à la fois sa propre connaissance <i>confrontée à celle des autres</i> .
<i>Activité de l'apprenant</i>	Le savoir est assimilé à une suite d'activités réalisées par l'apprenant pour acquérir des connaissances	L'activité porte autant sur les connaissances antérieures que sur les nouvelles informations.	L'activité porte autant sur les connaissances antérieures que sur les nouvelles informations <i>et les échanges avec autrui dans des environnements spécifiques</i> .
	L'activité consiste à recevoir, à sélectionner et à traiter les infos externes.	Non pas le fait d'une réception d'informations externes mais plutôt le fruit du travail que l'apprenant réalise d'emblée sur ses propres connaissances mises en interaction avec de nouvelles informations.	Non pas le fait d'une réception d'informations externes mais plutôt le fruit du travail que l'apprenant réalise d'emblée sur ses propres connaissances mises en interaction avec de nouvelles informations, <i>y compris lors des échanges avec autrui</i> .
<i>Action des connaissances</i>	La connaissance est un système de traitement de l'information.	La connaissance est une création de la personne qui apprend.	
	Les connaissances de l'apprenant priment sur le savoir à apprendre.	Les connaissances antérieures de l'apprenant sont tout aussi importantes que les nouvelles connaissances.	Les connaissances antérieures et les nouvelles connaissances sont en interaction entre elles et avec celles d'autrui à travers les échanges.
	L'apprenant travaille au départ d'informations venant de l'extérieur.	L'apprenant travaille d'emblée au départ de ses propres connaissances.	L'apprenant travaille d'emblée au départ de ses propres connaissances qui sont mises en interaction avec celles des autres apprenants et avec l'enseignante ou l'enseignant, dans des situations à la fois source et critère de connaissances.
<i>Résultats du processus d'apprentissage</i>	Il y a apprentissage lorsqu'il y a modification de la structure cognitive.	Il y a apprentissage lorsqu'il y a eu création de nouvelles connaissances adaptées	
<i>Dimensions sociales</i>	Pas d'emblée retenues, plus ou moins traitées selon les auteurs.	Pas d'emblée impliquées	Impliquées nécessairement dans le traitement des nouvelles informations.

Raymond, D., Cégep Rivière-du-Loup (2000)

Annexe H: Lettre de recrutement parents/tuteurs élève

[Retour ▲](#)

Ottawa, le 25 janvier 2021

Cher parent/tuteur

Projet de recherche: L'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique chez l'élève d'origine africaine subsaharienne immigrant récent en Ontario au primaire

Nom des chercheurs¹: Awa Mbodje (chercheuse principale) et Richard Barwell (directeur de thèse)
Université d'Ottawa, Faculté d'éducation

Objet: Lettre d'invitation à l'intention des parents d'élèves d'origine africaine subsaharienne immigrants récents en Ontario (élèves ASSI) au primaire et leurs enfants.

Nous vous écrivons afin de solliciter votre participation et celle de votre enfant au projet de recherche susmentionné. L'étude vise à explorer l'expérience vécue par les élèves ASSI au primaire en situation de résolution de problème mathématique (RP) intégrant les nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC).

Nous aimerions faire ce projet de recherche avec votre enfant et vous-même et d'autres élèves ASSI au primaire et leurs parents. Votre participation à cette recherche aura pour effet de documenter les représentations ayant trait à l'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques des élèves immigrants récents d'Afrique subsaharienne et de contribuer à l'inclusion dans les classes de mathématiques du primaire de la minorité africaine subsaharienne en contexte minoritaire francophone de l'Ontario.

Votre participation à vous-même consistera essentiellement à:

- remplir un questionnaire intitulé **Questionnaire parents/tuteurs** qui nous permettra d'obtenir des informations générales sur votre enfant, afin d'avoir une compréhension plus approfondie de ses apprentissages en contexte ontarien.

Que se passera-t-il dans la recherche?

Nous inviterons des élèves ASSI et leurs parents à participer à la recherche. Nous sélectionnerons les 4 premières familles qui souhaitent participer et qui auront renvoyé les deux formulaires: le formulaire de consentement du parent/tuteur et la lettre d'assentiment de l'élève. Les élèves sélectionnés travailleront par équipe de deux, sur un ordinateur, pour résoudre un problème mathématique.

La participation de votre enfant consistera essentiellement à:

- remplir un questionnaire intitulé **Questionnaire élève** qui nous permettra d'obtenir des informations générales sur elle/lui-même, afin d'avoir une compréhension plus approfondie de ses apprentissages en contexte ontarien.
- passer une demi-journée, en dehors des heures de l'école, à la bibliothèque municipale ou en ligne/à distance, avec la chercheuse principale et un pair, élève ASSI comme elle/lui, pour:

¹ Le masculin est utilisé dans le seul but d'alléger le texte.

- assister à une première séance d'initiation sommaire à un logiciel de géométrie; cette séance durera environ 30 minutes;
- participer à une deuxième séance de résolution d'un problème mathématique, en collaboration avec le pair élève ASSI; cette séance durera au maximum 60 minutes;
- prendre, entre la deuxième et la troisième séance, une pause d'environ 30 minutes (en cas de présence physique, cette pause sera supervisée par la chercheuse principale ou un étudiant universitaire bénévole qui assistera les chercheurs durant cette pause; les enfants pourraient se voir offrir une petite collation santé, vouloir aller aux toilettes);
- accorder une entrevue à la chercheuse principale à une troisième séance, afin de partager avec elle comment elle/il (l'enfant) a vécu et perçu l'activité d'apprentissage par résolution de problème mathématique; cette séance durera au maximum 60 minutes.

Excepté la pause, les trois (3) séances d'activités seront enregistrées, audio et vidéo, sur l'ordinateur de la chercheuse principale. Les prises de vues de la caméra, s'il y a lieu, seront focalisées sur les écrans d'ordinateurs. Nous tenons à préciser que nous n'aurons nul besoin d'inclure dans la captation vidéo les visages des enfants. Les données recueillies seront ensuite transcrites aux fins d'analyse pour la recherche.

Qu'advient-il des enregistrements et des notes?

L'information contenue dans les questionnaires préliminaires et que vous partagerez avec les chercheurs restera strictement confidentielle. Le contenu ne sera utilisé que pour documenter les représentations et selon le respect de la confidentialité, les noms des écoles et des participants seront remplacés par des pseudonymes lors de la diffusion des résultats.

Les données recueillies seront enregistrées dans un ordinateur verrouillé à l'aide d'un mot de passe et, au fur et à mesure que les données seront enregistrées dans l'ordinateur, elles seront classées dans un dossier protégé et enregistrées sous le code correspondant au participant. Aucun nom n'apparaîtra dans le titre des documents. Le document comprenant la légende des codes sera lui-même protégé à l'aide d'un mot de passe. Les données seront conservées pendant cinq (5) ans et les chercheurs seront les seuls à y avoir accès. Après ce délai, elles seront toutes effacées ou déchiquetées.

Que se passe-t-il ensuite?

Merci d'avoir lu cette information. Veuillez noter que la participation à cette étude est volontaire. Vous êtes libre de refuser de répondre à certaines questions, sans que vous et votre enfant subissiez une conséquence négative. Si vous êtes intéressé(e) à participer à cette étude et si vous acceptez que votre enfant participe à cette recherche, veuillez communiquer par courriel avec la chercheuse principale à l'adresse suivante: awambodje@uqam.ca. Vous serez alors invité(e) à remplir le formulaire intitulé **Formulaire de consentement parents/tuteurs** et votre enfant à remplir le formulaire intitulé **Lettre d'assentiment élève** et à nous les retourner par courriel. Ces formulaires vous permettent de nous donner la permission de réaliser le projet avec votre enfant et vous. Même si votre enfant et vous acceptez maintenant, vous pouvez tous les deux changer d'avis à tout moment. Plus tard, lorsque vous désirerez prendre connaissance des résultats de l'étude, un lien Web pourrait vous être envoyé à votre demande.

N'hésitez pas à communiquer avec nous pour toute question au sujet de l'étude. Nous serons heureux d'y répondre. Merci d'avoir lu cette lettre.

Cordialement,

Awa Mbodje
Au nom de l'équipe de recherche

Annexe I: Formulaire de consentement parents/tuteurs

[Retour ▲](#)

Université d'Ottawa | University of Ottawa

Ottawa, le 25 janvier 2021

Objet: Formulaire de consentement parents/tuteurs

Projet de recherche: L'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques (RP) avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique (LGD) chez l'élève d'origine africaine subsaharienne immigrant récent en Ontario (élève ASSI) au primaire

Nom des chercheurs¹: Awa Mbodje (chercheuse principale) et Richard Barwell (directeur de thèse)
Université d'Ottawa, Faculté d'éducation

Invitation à participer: Je suis invité(e) à participer à la recherche nommée ci-haut qui est menée par Awa Mbodje sous la direction du professeur Richard Barwell.

But de l'étude: Le but de l'étude est d'explorer l'expérience vécue par les élèves ASSI au primaire en situation de résolution de problème mathématique intégrant les TIC (nouvelles technologies de l'information et de la communication). Les objectifs de l'étude sont:

- décrire les interactions entre le LGD et l'élève ASSI dans ses apprentissages par RP;
- analyser les actions posées par l'élève ASSI en situation de RP avec utilisation de LGD afin de connaître l'impact de l'outil technologique sur ses habiletés de résolution de problème.

Participation:

Ma participation consistera essentiellement à:

- remplir un questionnaire intitulé *Questionnaire parents/tuteurs* qui permettra aux chercheurs d'obtenir des informations générales sur mon enfant, afin d'avoir une compréhension plus approfondie de ses apprentissages en contexte ontarien.

La participation de mon enfant consistera essentiellement à:

- remplir un questionnaire intitulé *Questionnaire élève* qui permettra aux chercheurs d'obtenir des informations générales sur elle/lui-même, afin d'avoir une compréhension plus approfondie de ses apprentissages en contexte ontarien.
- passer une demi-journée, en dehors des heures de l'école, à la bibliothèque municipale ou en ligne/à distance, avec la chercheuse principale et un pair, élève ASSI comme elle/lui, pour:

¹ Le masculin est utilisé dans le seul but d'alléger le texte.

Faculté d'éducation
Faculty of Education

613-562-5804

1-800-860-8577

613-562-5963

education.uOttawa.ca

145 Jean-Jacques Lussier
Ottawa ON K1N 6N5
Canada



uOttawa

- assister à une première séance d'initiation sommaire à un logiciel de géométrie dynamique choisi, GéoGebra, pour que les deux élèves ASSI en soient familiers; cette séance durera environ 30 minutes;
- participer à une deuxième séance de résolution d'un problème mathématique, en collaboration avec le pair élève ASSI; cette séance durera au maximum 60 minutes;
- prendre, entre la deuxième et la troisième séance, une pause d'environ 30 minutes (en cas de présence physique, cette pause sera supervisée par la chercheuse principale ou un étudiant universitaire bénévole qui assistera les chercheurs durant cette pause; les enfants pourraient se voir offrir une petite collation santé, vouloir aller aux toilettes);
- accorder une entrevue à la chercheuse principale à une troisième séance, afin de partager avec elle comment elle/il a vécu et perçu l'activité d'apprentissage par résolution de problème mathématique; cette séance durera au maximum 60 minutes.

Risques: Je comprends que ma participation et celle de mon enfant à cette étude implique que nous donnions de l'information personnelle et que mon enfant partage son point de vue sur son apprentissage des mathématiques et cela peut nous rendre vulnérables. J'ai reçu l'assurance de la part du chercheur que tous les efforts seront déployés pour minimiser ces risques. La recherche n'est pas destinée à porter un jugement et les commentaires et opinions seront gardés confidentiels par l'équipe de recherche.

Bienfaits: Ma participation et celle de mon enfant à cette recherche auront pour effet de permettre à mon enfant:

- de s'initier à un logiciel de géométrie dynamique, le cas échéant;
- de vivre l'expérience d'une activité mathématique inédite;
- de verbaliser ce vécu;
- d'améliorer ses apprentissages des mathématiques;
- de contribuer à l'inclusion dans les classes de mathématiques du primaire de la minorité africaine subsaharienne en contexte minoritaire francophone de l'Ontario.

Confidentialité et anonymat: J'ai l'assurance des chercheurs que l'information que mon enfant et moi-même partagerons avec eux restera strictement confidentielle. Je m'attends à ce que le contenu ne soit utilisé que pour documenter les représentations et selon le respect de la confidentialité, que les noms des écoles et des participants soient remplacés par des pseudonymes lors de la diffusion des résultats, qu'ils n'aient nul besoin d'inclure dans la captation vidéo les visages des enfants, que les images des enfants dans les vidéos ne seront jamais diffusées ou partagées.

L'anonymat est garanti de la façon suivante: au fur et à mesure que les données seront enregistrées dans l'ordinateur (lui-même verrouillé à l'aide d'un mot de passe), elles seront classées dans un dossier protégé, et enregistrées sous le code correspondant au participant. Aucun nom n'apparaîtra dans le titre des documents. Des pseudonymes seront utilisés pour protéger la confidentialité des participants.

Conservation des données: Les données recueillies (notes papiers, enregistrements audios et vidéos) seront conservées de façon sécuritaire dans une mallette verrouillée (données sur papiers) et sur un ordinateur protégé par un mot de passe (données électroniques). Les données seront conservées pendant cinq (5) ans et les chercheurs seront les seuls à y avoir accès. Après ce délai, elles seront toutes effacées et déchiquetées.

Participation volontaire: Ma participation à la recherche, ainsi que celle de mon enfant, est volontaire et nous sommes libres de nous retirer en tout temps, et/ou refuser de répondre à certaines

questions, sans subir de conséquences négatives. Si nous choisissons de nous retirer de l'étude, les données nous concernant, recueillies jusqu'à ce moment, seront détruites.

Acceptation: J'accepte les conditions suivantes:

Pour mon enfant et pour moi-même: J'accepte que mon enfant et moi-même:

- participions à cette recherche menée par l'étudiante Awa Mbodje de la faculté d'éducation de l'Université d'Ottawa, laquelle recherche est supervisée par le professeur Richard Barwell.
- remplissions chacun un questionnaire préliminaire (celui de l'enfant et celui du parent, respectivement) qui permettra aux chercheurs d'obtenir des informations générales sur mon enfant.

Pour mon enfant: J'accepte que mon enfant passe une demi-journée, en dehors des heures de l'école, à la bibliothèque municipale ou en ligne/à distance, avec la chercheuse principale et un pair, élève ASSI comme lui, pour:

- assister à une première séance, d'environ 30 minutes, d'initiation sommaire à un logiciel de géométrie;
- participer à une deuxième séance, de maximum 60 minutes, de résolution d'un problème mathématique, en collaboration avec le pair élève ASSI;
- prendre, entre la deuxième et la troisième séance, une pause d'environ 30 minutes (en cas de présence physique, cette pause sera supervisée par la chercheuse principale ou un étudiant universitaire bénévole; les enfants pourraient se voir offrir une petite collation saine, vouloir aller aux toilettes);
- accorder une entrevue à la chercheuse principale à une troisième séance, de maximum 60 minutes, afin de partager avec elle comment mon enfant a vécu et perçu l'activité d'apprentissage par résolution de problème mathématique.

Enregistrements vidéo et audio: J'accepte que les chercheurs enregistrent, sur vidéo et sur audio, les trois (3) séances d'activité (les 2 séances d'apprentissage et la séance d'entrevue avec la chercheuse principale).

Si j'ai des préoccupations concernant la conduite éthique de l'étude, je devrais contacter le responsable d'éthique en recherche (informations de contact disponibles à la fin de ce formulaire).

Il y a deux copies du formulaire de consentement, dont une copie que je peux garder.

Votre prénom(s): _____

Prénom(s) de votre enfant: _____

Votre signature: _____ Date: _____

Signature du chercheur: _____ Date: _____

Signature du chercheur: _____ Date: _____

Pour tout renseignement additionnel concernant cette étude, je peux communiquer avec la chercheuse principale ou son superviseur de l'une des manières suivantes:

L'équipe de recherche Adresse: Université d'Ottawa Faculté d'éducation 145 J-J Lussier Ottawa, Ontario, K1N 6N5	
Nom	Informations de contact
Awa Mbodje, Étudiante à la maîtrise	
Richard Barwell, Professeur titulaire	

Pour tout renseignement sur les aspects éthiques de cette recherche, je peux m'adresser au responsable d'éthique en recherche de l'une des manières suivantes:

Le responsable du comité d'éthique de la recherche en sciences sociales Université d'Ottawa Pavillon Tabaret 550, rue Cumberland, pièce 154 Ottawa, Ontario, K1N 6N5 Téléphone: 613-562-5387 Courriel: ethique@uottawa.ca
--

Annexe J: Lettre d'assentiment – élève

[Retour ▲](#)

Université d'Ottawa | University of Ottawa

Ottawa, le 2021

Objet: Lettre d'assentiment élève

L'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques (RP)
avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique (LGD) chez
l'élève d'origine africaine subsaharienne immigrant récent en Ontario
(élève ASSI) au primaire

Salut,

Je m'appelle Awa Mbodje et j'étudie à l'Université d'Ottawa sous la direction du professeur Richard Barwell. Ma recherche s'intitule *L'apprentissage par résolution de problèmes mathématiques (RP) avec utilisation de logiciel de géométrie dynamique (LGD) chez l'élève d'origine africaine subsaharienne immigrant récent en Ontario (élève ASSI) au primaire*. Elle vise à explorer l'expérience vécue par les élèves ASSI au primaire en situation de résolution de problème mathématique intégrant la technologie. Ce projet m'aidera à comprendre quel rôle joue la technologie dans tes apprentissages des mathématiques.

Ta participation consistera essentiellement à:

- remplir un questionnaire intitulé *Questionnaire élève* ;
- passer une demi-journée, en dehors des heures de l'école, à la bibliothèque municipale ou en ligne/à distance, avec moi la chercheuse principale et un pair, élève ASSI comme toi, pour:
 - assister à une première séance d'initiation sommaire au LGD GéoGebra; cette séance durera environ 30 minutes;
 - participer à une deuxième séance de résolution d'un problème mathématique, en collaboration avec le pair élève ASSI; cette séance durera au maximum 60 minutes;
 - prendre, entre la deuxième et la troisième séance, une pause d'environ 30 minutes;
 - accorder une entrevue à une troisième séance, à la chercheuse principale, moi, afin de partager avec moi comment tu as vécu et perçu l'activité d'apprentissage par résolution de problème mathématique; cette séance durera au maximum 60 minutes.

Cela n'a rien à voir avec ton travail scolaire. Si à tout moment tu veux arrêter, tu peux, tu n'as pas à continuer de le faire.

Si tu as des questions, n'hésite pas à me les poser.

Faculté d'éducation
Faculty of Education

613-562-5804

1-800-860-8577

613-562-5963

education.uOttawa.ca

145 Jean-Jacques Lussier
Ottawa ON K1N 6N5
Canada



Et puis, veux-tu participer à ma recherche?

Ta signature: _____ Date: _____

Nos signatures: _____ Date: _____

_____ Date: _____

Annexe K: Grille d'observation des habiletés de résolution de problèmes
(inspirée de Thouin, 2014, p. 137)

Comportements à observer	Notes libres sur la...
Compréhension du problème	manifestation de la compréhension du problème par l'élève.
Élaboration d'un plan	manifestation de l'élaboration d'un plan par l'élève.
Mise en œuvre du plan	manifestation de la mise en œuvre du plan par l'élève.
Vérification des résultats	manifestation de la vérification des résultats par l'élève.

[Retour▲](#)

Annexe L: Guide d'entretien d'explicitation élèves

(inspiré de: Vermersch, 2003; MEO, 2006b; Boro, 2011)

La résolution du problème

Quelles étapes as-tu suivies pour résoudre le problème? Peux-tu me les décrire?

Comprendre le problème

Qu'est-ce que tu avais à faire ou à chercher?

Concevoir un plan

Comment as-tu procédé?

Qu'est-ce que tu as utilisé?

Exécuter le plan

Quelle stratégie as-tu utilisée?

Comment as-tu réalisé ta figure (à cette étape-là/à tel stade de construction de ta figure/à tel moment/à tel point du problème)?

Examiner la solution retenue

Si tu devais refaire la tâche, que changerais-tu?

Comment as-tu pu vérifier l'exactitude ou la vraisemblance de tes réponses?

Quelles questions t'es-tu posées pendant le travail?

Si tu compares ta démarche pour résoudre le problème avec les phases du « Modèle en quatre étapes de Polya » qu'on t'a montré, lesquelles penserais-tu avoir suivies et comment?

Qu'as-tu appris aujourd'hui? Quels mots mathématiques as-tu utilisés ou appris?

Les propos de l'élève sur l'expérience d'apprentissage vécue

Comment as-tu trouvé l'activité de résolution de problème? Qu'as-tu ressenti pendant le travail?

Quelle partie de l'activité as-tu le plus appréciée? Pourquoi?

Quelle était la partie la plus difficile de la tâche? Comment le sais-tu?

Comment, d'après toi, le logiciel a-t-il participé dans ta démarche pour résoudre le problème?

Que signifie pour toi l'utilisation de logiciels dans tes apprentissages en mathématiques?

Que vas-tu surtout retenir de l'activité?

Retour ▲

Annexe M: Questionnaire parents/tuteurs
(inspiré de: Jacquet et al., 2008a; Tardif-Couture, 2016)

N.B. Les informations qui seront recueillies dans ce questionnaire ne pourront être utilisées que dans le cadre des objectifs de cette étude.

1. Quel est l'âge de votre enfant?

2. Depuis quand votre enfant vit elle/il au Canada?

3. De quel pays votre enfant vient-elle/il?

4. Depuis quand votre famille vit-elle au Canada?

5. Quel est le statut d'entrée au Canada du répondant de votre famille?

6. Quel est votre niveau de scolarité actuel (parent)?

7. Dans quel secteur professionnel êtes-vous en emploi?

8. Parlez-vous français à la maison? ☐ Oui ☐ Non

a. Si vous parlez français à la maison, à quelle fréquence le faites-vous?

☐ Tout le temps ☐ Très souvent ☐ Souvent ☐ Parfois ☐ Jamais

9. Quelles autres langues parlez-vous à la maison?

10. Depuis quand votre enfant va-t-il à l'école française en Ontario?

11. Avant de venir au Canada, votre enfant fréquentait-il une école publique ou une école privée?

12. Votre enfant a-t-il subi des retards ou des ruptures de scolarisation?

13. Avez-vous accès à des outils technologiques (parent)? ☐ Oui ☐ Non

14. Votre enfant a-t-il accès à des outils technologiques à la maison? ☐ Oui ☐ Non

a. Si oui, veuillez préciser sous quelle(s) forme(s)?

☐ Ordinateur ☐ Tablette ☐ Téléphone intelligent

☐ Autres: _____

Prénom(s) de l'enfant

Signature du parent/tuteur

Date

[Retour▲](#)

Annexe N: Questionnaire élève

(inspiré de Boro, 2011)

N.B. Les informations qui seront recueillies dans ce questionnaire ne pourront être utilisées que dans le cadre des objectifs de cette étude.

Prénoms _____

École fréquentée _____ Niveau d'étude _____

Âge _____ Sexe: ☐ M ☐ F ☐ Autre _____

1. Depuis quand suis-tu les cours de mathématiques en Ontario?

☐ Rentrée 2018-2019 ☐ Rentrée 2019-2020 ☐ Rentrée 2020-2021

2. Lesquels des outils technologiques suivants as-tu déjà utilisés?

☐ Ordinateur ☐ Tablette ☐ Téléphone intelligent

☐ Autres? (préciser): _____

3. Si tu as déjà utilisé un ordinateur, dans quel(s) endroit(s) as-tu accès à cet ordinateur?

☐ Dans ton école

☐ À la maison

☐ Chez des amis

☐ À la bibliothèque municipale

4. Si oui, que sais-tu faire sur un ordinateur?

☐ Utiliser un programme de jeu électronique

☐ Échanger des messages sur Internet

☐ Chercher de l'information sur Internet

- ☐ Saisir et mettre en forme un document texte
- ☐ Utiliser une feuille de calcul (Excel, par exemple)
- ☐ Utiliser un logiciel de mathématiques

5. Si oui pour le dernier choix, préciser le logiciel: _____

6. Quel est, selon toi, ton niveau de maîtrise de ce logiciel?

- ☐ Excellent ☐ Très bon ☐ Bon ☐ Moyen ☐ Faible

7. Pourquoi?

8. T'est-il arrivé d'utiliser ton logiciel pour résoudre un problème qui vous a été posé en classe?

- ☐ Oui ☐ Non

[Retour▲](#)

Annexe O: Activité d'initiation au logiciel GeoGebra

Intention:

Présenter aux élèves le logiciel GeoGebra et ses fonctions de base, telles que: la création d'un polygone et quelques transformations géométriques simples.

Déroulement de l'activité:

- Montrer aux élèves un tutoriel vidéo qui offre une courte introduction au logiciel GeoGebra (disponible sur YouTube à l'adresse suivante:
<https://www.youtube.com/watch?v=WaJ3svvJaIw> © Alexandre Dubé), d'environ 15 minutes.
- Laisser aux élèves une période d'exploration des fonctionnalités du logiciel, d'environ 15 minutes, durant laquelle:
 - poser des questions et s'assurer que les élèves ont, grosso modo, bien suivi les explications présentées dans la vidéo;
 - répondre à leurs éventuelles questions de clarification (comment faire ceci? que veut dire cela?...);
 - encourager l'exploration de la barre d'outils du logiciel.

Retour ▲

Annexe P: Activité Brise-glace

Qui suis-je?

- Demander aux élèves d'inscrire sur le *Chat* de la plateforme Teams:
 - prénoms, alias, couleur préférée

Vérité et Mensonges

- À tour de rôle, demander à l'élève de fomenter:
 - 1 vérité et 2 mensonges, retenir un mot pour chacun

La roue « Wheel decide »

- <https://wheeldecide.com>
<https://wheeldecide.com/index.php?c1=Awa&t=Activit%C3%A9+Brise-glace+-+Projet+RP%2FLGD&time=5&width=625&remove=1>
 - inscrire sur la roue les 3 mots retenus
 - tourner la roue et donner des précisions sur le mot tiré de la roue
 - laisser les autres deviner la vérité

Retour ▲

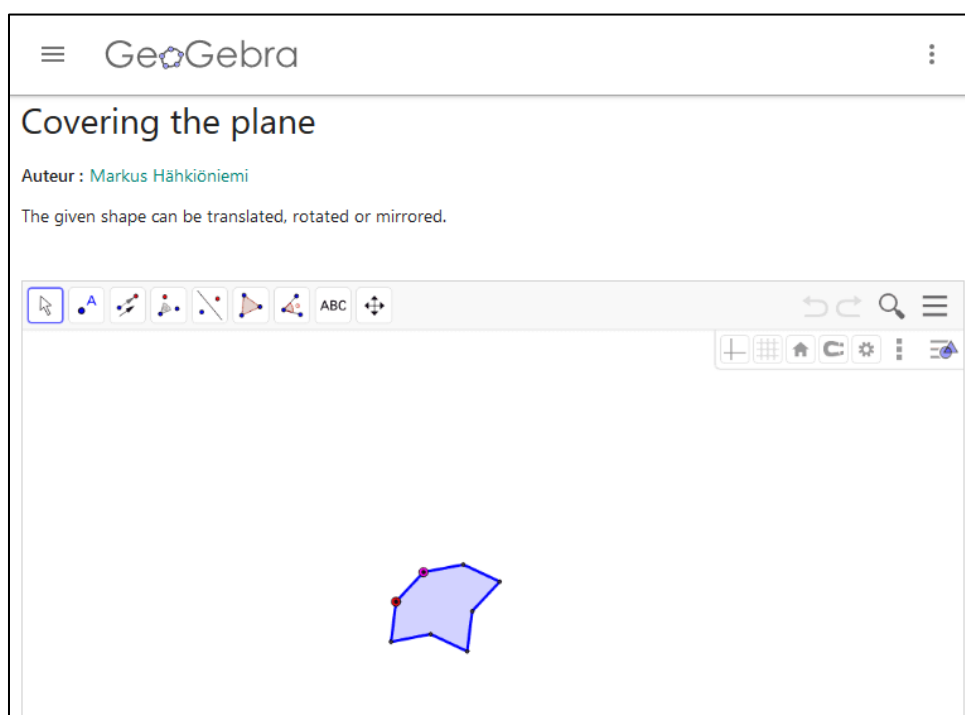
Annexe Q: Activité de résolution de problème - *Transformons des diamants* (inspirée de Hähkiöniemi et al., 2016)

Le problème écrit:

Créer, en utilisant le logiciel de géométrie dynamique GeoGebra, un dallage qui couvre le plan.
Décrire le dallage en termes de réflexions, translations et rotations.

L'activité:

- Utiliser la dalle *Princesse* et la réflexion, la translation et la rotation de la barre d'outils de GeoGebra.
- Utiliser l'applet suivant: <http://ggbtu.be/m2601303> (dalle *Princesse*), pour débiter le dallage.



© Paul Gailiunas

- Se référer, au besoin, au tableau « Modèle en quatre étapes de Polya » (tableau de l'annexe E).

[Retour ▲](#)

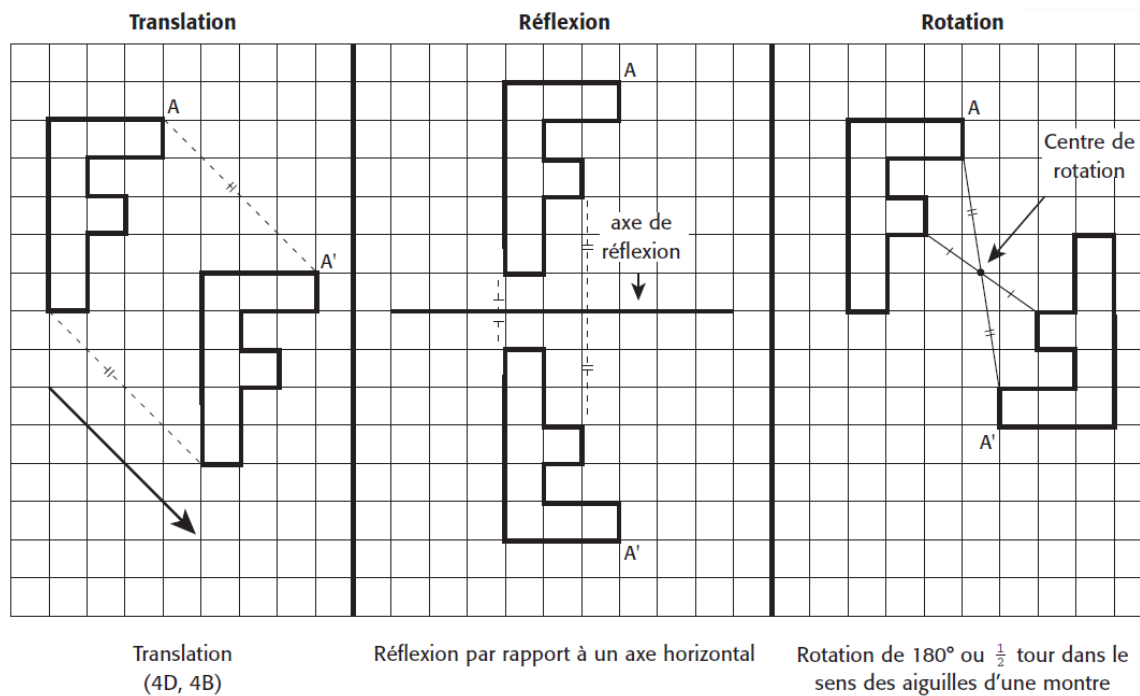
Annexe R: Caractéristiques des transformations géométriques
(cf. MEO, 2006d, p.36)

	Translation	Réflexion	Rotation
Façon de définir la transformation	La translation est définie par sa grandeur et sa direction (représentées symboliquement par des coordonnées ou par une flèche).	La réflexion est définie par un axe de réflexion.	La rotation est définie par son centre, sa mesure et son sens.
Déplacement	Déplacement linéaire horizontal, vertical ou oblique.	Déplacement réflexif perpendiculaire à un axe de réflexion.	Déplacement rotatif dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
Équidistance	La distance entre chaque point sur la figure initiale et le point correspondant sur l'image est constante.	Chaque point sur la figure initiale et le point correspondant sur l'image sont à la même distance de l'axe de réflexion.	Chaque point sur la figure initiale et le point correspondant sur l'image sont à la même distance du centre de rotation.
Orientation de l'image	L'orientation de l'image est la même que l'orientation de la figure initiale.	L'orientation de l'image est différente de l'orientation de la figure initiale.	L'orientation de l'image est différente de l'orientation de la figure initiale.
Congruence	La figure initiale et l'image sont congruentes.	La figure initiale et l'image sont congruentes.	La figure initiale et l'image sont congruentes.

[Retour](#) ▲

Annexe S: Récapitulatif des diverses transformations géométriques

(MEO, 2006d, p.37)



Retour ▲

Annexe T: Légende de la transcription

mot en gras	: indique l'accentuation mise sur la prononciation du mot en gras
[/] ou []	: renferme des sons ambiants, p. ex. [<i>rires</i>], [Chercheure rit]
/	: indique une conversation qui se chevauche, p. ex. lorsque deux interlocuteurs parlent en même temps
=	: utilisé quand deux lignes de conversation se succèdent sans interruption
-	: indique un bégaiement d'un mot ou d'une partie de phrase, p. ex. Je- Je- Je dis ou pour une interruption, p. ex. lorsqu'un interlocuteur interrompt l'autre
(.)	: ajouté pour de courtes pauses
(n)	: ajouté pour les pauses de plus de 4 secondes, n entre parenthèses étant le temps en secondes, p. ex. (6)
...	: ajouté à une phrase incomplète
euh...uhm...	: sont des remplisseurs dans le discours des orateurs
^ ^	: renferme un discours chuchoté ou de basse intonation
(inaudible)	: indique un propos inaudible
()	: renferme un propos dont la transcription est incertaine
?	: indique l'intonation de la question
!	: indique l'intonation de l'exclamation

[Retour▲](#)