

ÉMERGENCE DE SCHÈMES PROFESSIONNELS DE DEUX FUTURES ENSEIGNANTES AU TRAVERS D'UN COURS D'INVESTIGATION MATHÉMATIQUE AVEC PROGRAMMATION

| ST-CYR* MARIE-FRÉDÉRIC, FOJCIK** MARTYNA K., BUTEAU*** CHANTAL, MULLER****
ERIC ET MGOMBELO***** JOYCE

Résumé | Nous nous intéressons aux enjeux de formation des futur·es enseignant·es de mathématiques dans le cadre d'un cours de mathématique qui inclut des réflexions sur l'expérience personnelle pendant leurs travaux d'investigation mathématique s'appuyant sur la programmation informatique. Dans ce texte, nous explorons la manière dont le cadre théorique de la double genèse instrumentale nous permet d'éclairer le développement professionnel initial de futur·es enseignant·es s'appuyant sur leur expérience personnelle. Pour illustrer ce développement, nous discutons deux schèmes, l'un personnel et l'autre professionnel, et leurs liens dans le cas de deux étudiantes.

Mots-clés : programmation, formation des enseignant·es de mathématiques, double genèse instrumentale

Abstract | We are interested in school mathematics teacher education in the context of a university mathematics content course integrating computer programming, that includes self-reflections on their experience during their programming-based math inquiry projects. We explore how the theoretical framework of the double instrumental genesis can shed light on the initial professional development of future teachers based on their personal experience. To illustrate this development, we discuss two schemes, one personal and the other professional, and their links in the case of two future teachers.

Keywords: Coding, future mathematics teachers training, double instrumental genesis, schemes

I. INTRODUCTION

Actuellement de nombreux curricula, primaires et secondaires, ont introduit la programmation¹ sous différentes formes, dont plusieurs dans le curriculum de mathématiques. Cette introduction récente soulève de nombreuses questions par rapport à la formation des enseignant·es ainsi que des futur·es enseignant·es. En effet, dans plusieurs cas, les enseignant·es n'ont pas ou très peu d'expérience en programmation et/ou dans un contexte mathématique (Mozelius, 2018). Pour répondre à ces besoins de formation, différentes stratégies ont été explorées pour mieux comprendre les enjeux et pour former les enseignant·es (Couderette, 2016 ; Haspekian, 2018 ; Lv et al., 2022) et les futur·es enseignant·es (Buteau et al., 2018 ; Mozelius, 2018 ; Muller et Buteau, 2006 ; Venant, 2023).

Dans la lignée des travaux de notre équipe à l'université Brock et des textes proposés à EMF dans les années antérieures, nous visons à mieux comprendre le potentiel d'un cours de mathématiques intégrant la programmation, destiné aux futur·es enseignant·es, sur le développement initial de compétences professionnelles pour enseigner les mathématiques avec la programmation. Dans ce but,

* Université du Québec à Montréal – Canada – marie-frederick.st-cyr@usherbrooke.ca

** Volda University College – Norway – martyna.fojciak@hivolda.no

*** Brock University – Canada – cbuteau@brocku.ca

**** Brock University – Canada – emuller@brocku.ca

***** Brock University – Canada – jmgombelo@brocku.ca

¹ Nous utilisons programmation pour désigner la programmation informatique tout au long du texte.

nous explorons d'abord dans ce texte comment la double genèse instrumentale (Haspekian, 2018) peut éclairer la transition entre une utilisation personnelle de la programmation pour faire des mathématiques universitaires et une utilisation professionnelle pour soutenir le développement des élèves à utiliser la programmation pour faire des mathématiques dans la classe du primaire et du secondaire.

II. CADRE THÉORIQUE

La double genèse instrumentale (Haspekian, 2011) prend appui sur l'approche instrumentale (Rabardel, 1995). Cette dernière a notamment été utilisée pour l'analyse de l'activité mathématique d'élèves du secondaire avec la calculatrice de calcul symbolique (Guin et al., 2005 ; Trouche, 2004). Dans ce qui suit, nous présentons d'abord l'approche instrumentale en y incluant les notions d'artefact, d'instrument, de genèse instrumentale et de schème. Ensuite, nous distinguons les genèses instrumentales personnelles et professionnelles, pour finalement discuter du lien entre ces deux genèses instrumentales.

1. *L'approche instrumentale*

L'approche instrumentale, s'ancrant dans le domaine de l'ergonomie cognitive (Rabardel, 1995) et dans la théorie de l'activité (Vygotsky, 1978), vise l'étude du processus de transformation, appelé genèse instrumentale, d'un artefact en un instrument par une personne au cours d'une activité (Rabardel, 1995). Cette transformation se fait, par la personne, en développant des schèmes. Nous présentons maintenant les détails.

Un artefact est « toute chose ayant subi une transformation, même minime, d'origine humaine » (Rabardel, 1995, p. 49). Il peut donc s'agir d'un objet matériel ou d'un système symbolique ; dans notre cas, il s'agit d'un langage de programmation. L'artefact est construit pour être utilisé dans une activité ayant un certain but, mais peut être utilisé pour d'autres buts qu'anticipés.

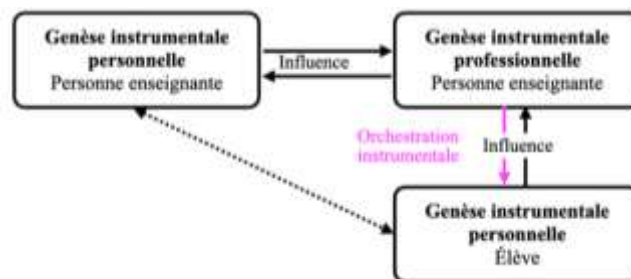
Les schèmes sont une organisation invariante de l'activité de la personne pour une certaine classe de situations. Selon la proximité de la situation avec une classe de situations connue par la personne (c.-à-d. une classe de situations dans laquelle le sujet a développé des schèmes) de nouveaux schèmes, plus ou moins associés à ceux existants, peuvent être créés dans l'activité par celle-ci. Les schèmes, ou plus précisément l'association entre le schème et la situation, nous donnent un modèle théorique de l'apprentissage d'une personne en activité. Afin d'analyser les schèmes, à l'instar de Vergnaud (1998) nous considérons trois de ses composantes : (i) le but de l'activité avec ses sous-buts et les attentes ; (ii) les règles d'action : les gestes posés ; ce que fait la personne (observable) ; et (iii) les invariants opératoires : les connaissances et les croyances de la personne qui guident ses actions (cognitif, doit être exprimé par la personne).

Un instrument est composé d'un artefact et de schèmes ; p. ex. un langage de programmation (p. ex. Python) comme artefact, et *articuler un processus mathématique dans un langage de programmation* (but de l'activité) comme schème. Dans ce cas, une personne pourrait entre autres *commencer par transposer, dans le langage de programmation, ce qu'elle ferait à la main* (règle d'action), sur la base de la croyance selon laquelle *un langage de programmation peut fonctionner de la même manière que l'on travaille à la main* (invariant opératoire) (Buteau et al., 2019). L'instrument est élaboré par la personne pendant son activité ; il n'existe pas d'emblée. Ce processus d'élaboration est appelé genèse instrumentale.

2. La double approche instrumentale

Un même artefact peut être utilisé par une personne dans plusieurs buts, notamment dans un but d'utilisation disciplinaire mathématique ou dans un but professionnel d'enseignement. Ceci mène à deux instruments différents dans des processus appelés respectivement genèse instrumentale personnelle et genèse instrumentale professionnelle (Haspekian, 2017). La double genèse instrumentale prend à la fois en considération ces deux genèses instrumentales en plus de considérer les liens qui les unissent (Haspekian, 2017). Ces deux types de genèses, alignées avec ces deux types de buts, mènent au développement de schèmes que nous qualifions respectivement de schèmes personnels (but disciplinaire — mathématique) et de schèmes professionnels (but lié à l'enseignement — didactique ou pédagogique).

Dans la genèse instrumentale professionnelle, le but d'enseignement peut viser à : (1) soutenir la genèse instrumentale de l'élève ou (2) développer un outil didactique ou pédagogique tel que pour une démonstration au tableau, c'est-à-dire sans que l'élève développe un instrument. Dans notre travail, nous nous intéressons au cas où le but d'enseignement est de soutenir la genèse instrumentale de l'élève afin qu'il développe un instrument personnel semblable à l'instrument personnel, dans un but disciplinaire, de la personne enseignante. À l'instar de Haspekian (2017), nous considérons l'orchestration instrumentale comme faisant partie de la genèse instrumentale professionnelle. Drijvers et al. (2010) décrivent l'orchestration instrumentale comme étant « l'organisation et l'utilisation intentionnelles et systématiques des différents artefacts disponibles [...] afin de guider la genèse instrumentale des élèves » (trad. libre, p. 214-215).



(basée sur Haspekian, 2017, et traduite de Fojcik et al., soumis)

Figure 1 – Double approche instrumentale

Par ailleurs, les genèses instrumentales personnelles et professionnelles sont liées l'une à l'autre. En ce sens, le développement de la genèse instrumentale professionnelle peut prendre appui sur la genèse instrumentale personnelle et vice-versa (Haspekian, 2017). De plus, nous savons qu'au cours du processus de genèse instrumentale de nouveaux schèmes se développent en prenant appui (à différents niveaux) sur des schèmes anciens développés par la personne (Rabardel, 1995). Conséquemment, au cours du processus de genèse instrumentale professionnelle, une personne développe des schèmes professionnels prenant appui sur des schèmes anciens ; ces schèmes peuvent être personnels ou professionnels. Il en est de même pour le développement de schèmes personnels qui peuvent prendre appui sur des schèmes personnels ou professionnels.

Dans le cas de l'utilisation de la programmation pour faire des mathématiques, Haspekian (2017) a étudié le développement de schèmes professionnels chez des enseignant·es en service qui n'avaient pas ou très peu d'expérience en programmation. Dans ce texte, nous nous intéressons à mieux comprendre le développement initial de schèmes professionnels chez des futur·es enseignant·es ayant une expérience en programmation pour faire des mathématiques, mais qui ont peu ou pas d'expérience en enseignement. Prenant appui sur une étude préliminaire (Buteau et al., 2024) et une étude ayant plus

approfondi la genèse professionnelle au regard de l'orchestration instrumentale (Fojcik et al., accepté), nous posons la question : *Comment la double genèse instrumentale éclaire-t-elle le développement initial de schèmes professionnels, de futur·es enseignant·es de mathématiques, à partir de leurs schèmes personnels, dans le cas de la programmation pour faire des mathématiques ?*

III. MÉTHODOLOGIE

Cette recherche exploratoire prend appui sur les cas de deux étudiantes en formation initiale, Nadia et Carolyn (pseudonymes), inscrites au cours « *Mathematics Integrated with Computers and Applications* » (MICA) III*. Dans ces cours MICA I/II/III/III* centrés sur des projets, les étudiant·es utilisent la programmation pour investiguer des situations mathématiques pures ou appliquées dans le cadre de projets individuels (Buteau et al., 2015). Par exemple dans MICA I, les étudiant·es investiguent, graphiquement et numériquement, le comportement du système dynamique discret d'une cubique incorporant deux paramètres. Un autre exemple dans MICA III est l'investigation de modèles d'automate cellulaire de l'évolution d'épidémies, de vaccinations et de leurs coûts — pour des exemples de consignes de projet, voir <https://ctuniversitymath.ca/category/teaching-resources/>). Les cours MICA ont une progression autant dans le niveau mathématique et dans les programmes informatiques à créer que dans l'accompagnement offert en classe. En particulier, le choix de limiter l'accompagnement est explicité au début du cours de MICA III* ; ce qui est généralement déstabilisant pour tous.

Spécifiquement, MICA III* est destiné aux futur·es enseignant·es de mathématiques et vise non seulement à soutenir le développement de compétences pour investiguer des situations mathématiques en s'appuyant sur la programmation, mais aussi pour entamer une réflexion sur leur propre expérience d'apprentissage et le rôle que joue l'environnement du cours pour soutenir cette expérience. Cette réflexion se fait par écrit, guidée par des questions de réflexion en lien avec la littérature didactique et pédagogique proposée dans le cours, à la fin de chacun des cinq projets du cours. Les quatre premiers projets sont des projets d'investigation mathématique semblables à ce qu'elles faisaient dans les deux cours MICA précédents, alors que le projet final consiste à la conception (ou la sélection), l'adaptation et la mise en œuvre d'une tâche mathématique intégrant la programmation destinée à des élèves du primaire ou du secondaire. Lors de ce projet, les personnes étudiantes collaborent avec des enseignant·es du milieu scolaire. Pour la majorité des personnes étudiantes, il s'agit de leur première expérience d'enseignement des mathématiques à l'école.

Les données de l'étude présentée dans ce texte ont été récoltées au fil du cours MICA III* dans une recherche plus large axée sur l'enseignement universitaire et l'apprentissage de l'utilisation de la programmation en tant qu'outil pour les mathématiques, tel que dans le cadre des cours MICA. Les données utilisées pour cette étude proviennent de trois sources : (1) des réponses aux questionnaires pré-cours et post-cours, qui comprenaient des questions relatives à l'expérience d'apprentissage dans le cours, les compétences qu'ils développent, leur futur enseignement des mathématiques intégrant la programmation, etc. ; (2) deux entretiens semi-structurés, par étudiante après le cours, qui visaient à approfondir certaines réponses au questionnaire et à s'enquérir de leur expérience globale dans le cadre des cours MICA ; et (3) de leurs 5 réflexions écrites requises pour le cours. Les entretiens ont été enregistrés et transcrits. Nous avons fait le choix d'analyser les données de Nadia et de Carolyn puisque ces deux étudiantes ont proposé des réflexions particulièrement profondes et différentes l'une de l'autre.

L'analyse des données prend appui sur les travaux préliminaires de l'équipe (Buteau et al., à paraître). Elle consiste principalement à coder les données, associées aux deux étudiantes, par éléments de schèmes (Buteau et al., 2019) pour les genèses instrumentales. Ces éléments de schème ont été identifiés dans les données par un survol et une exploration non systématique de celles-ci. Dans cette analyse exploratoire, nous associons des éléments de schème de la genèse instrumentale professionnelle de Nadia et Carolyn lorsqu'elles établissent explicitement un lien entre leur expérience d'apprentissage ou celle d'autrui en relation avec l'enseignement ou l'environnement d'apprentissage, ou lorsqu'elles commentent explicitement leur futur rôle d'enseignante. Étant donné que Nadia et Carolyn n'ont pas assumé un rôle d'enseignante dans une classe réelle (excepté pour leur projet final de MICA III*), les éléments identifiés proviennent de schèmes « potentiels initiaux » plutôt que de schèmes observés ; ceux-ci devraient être vérifiés dans une étude ultérieure.

IV. RÉSULTATS

Nous notons que plusieurs schèmes sont mobilisés pendant l'activité personnelle d'investigation mathématique appuyée par la programmation (Buteau et al., 2020) et il en va de même pour l'activité professionnelle. Afin d'illustrer l'entrecroisement des genèses personnelles et professionnelles, nous sélectionnons deux schèmes des genèses respectives, de Nadia et Carolyn, dont les éléments sont associés. Nous présentons les résultats d'abord dans le cas de Nadia, puis dans celui de Carolyn, que nous mettons ensuite en relation.

1. Cas de Nadia

Après le quatrième projet, les futur·es enseignant·es ont été invitées à réfléchir et à « *identifier une stratégie "clé" utilisée par la professeure, l'auxiliaire d'enseignement ou un pair pour soutenir la complétion de leur projet et les façons dont cette stratégie a soutenu leur travail ou apprentissage* » ; Nadia a écrit :

Un moment clé... lorsque j'ai éprouvé des difficultés à comprendre la séquence d'ADN des marches normalisées et la manière de programmer le code... [j'ai] demandé à un pair qui... m'a d'abord demandé si je comprenais mathématiquement ce qui était requis et si je pouvais d'abord expliquer... avec des mots ce que je voulais que mon programme fasse. Au début, j'ai eu du mal... et c'est ce qui m'a amené à... réfléchir au fait que le problème était que je ne comprenais pas ce que je voulais que mon programme fasse et que c'est la raison pour laquelle je rencontrais beaucoup d'erreurs/bugs. Au début... on pouvait voir... ma frustration et comment... je disais... on aurait dû nous fournir plus... comment commencer, comment continuer... (Nadia², questionnaire post-entretien)

Nous notons que Nadia mentionne avoir éprouvé des difficultés à progresser avec ses codes mathématiques³ au début du cours MICA III* et vivait de la frustration. À ce moment, elle aurait souhaité que l'enseignante lui donne plus d'information pour l'accompagner à entamer et poursuivre la tâche. Elle dit s'être donc retournée vers ses pairs pour chercher un support ; un support qui lui a permis d'identifier des erreurs dans ses codes mathématiques et de les corriger. « La collaboration est importante et permet d'aider ses pairs et de déboguer plus efficacement, car parfois nous ne voyons pas toujours nos propres erreurs, mais quelqu'un d'autre peut le faire et nous donner des conseils. » (Nadia, questionnaire post-entretien, Q2-62) Elle mentionne qu'au fil des expériences cette aide lui a aussi permis de soutenir son dialogue avec elle-même et de développer des stratégies pour résoudre des problèmes de codes mathématiques auxquelles elle fait face par elle-même. « [A]vec le temps... j'ai

² Tous les extraits ont été traduits depuis l'anglais. Ce ne sera pas précisé dans le texte.

³ Pour éviter les confusions, nous utilisons codes mathématiques pour discuter de programmes informatiques mathématiques.

beaucoup réfléchi en tant qu'apprenant et j'ai dit... j'ai rencontré ce problème, mais voici comment je l'ai résolu. Je n'ai pas eu beaucoup recours à l'aide de mon professeur. » (Nadia, entretien)

Nous interprétons de ces extraits que Nadia a développé un schème personnel (tableau 1 colonne de gauche) pour *articuler des concepts et des procédures mathématiques dans un langage de programmation*. En particulier, ce schème inclut les règles d'action : (1) *je m'explique, dans mes mots, les mathématiques que mon programme doit faire* et (2) *je m'explique, dans mes mots, ce que je veux que mon programme fasse*. Nous interprétons qu'elle justifie ces règles d'action par le fait qu'elle doit être en mesure de s'expliquer les mathématiques et ce que le programme doit faire pour parvenir à bien articuler le programme mathématique (invariant opératoire).

En somme, nous avançons que Nadia semble reconnaître que l'encadrement et l'accompagnement limités, qui lui donnaient initialement la sensation de ne pas avoir suffisamment d'information pour effectuer la tâche, lui ont permis de soutenir son apprentissage (c.-à-d. sa genèse instrumentale personnelle). En effet, Nadia semble projeter son expérience personnelle dans son futur rôle d'enseignante ; elle dit : « Maintenant, je vais être le "[nom de l'instructeur]" de ma classe de 9^e année... ne pas dire aux élèves autant que vous voulez... les guider sur le chemin. » (Nadia, entretien)

De cet extrait, nous interprétons deux règles d'action de Nadia : (1) *je limite l'encadrement proposé dans la tâche* et (2) *je limite l'accompagnement que j'offre aux élèves pendant le cours* dont le but implicite (du schème professionnel potentiel initial ; tableau 1 colonne de droite) serait de *présenter une tâche de mathématiques intégrant la programmation*. Ces règles d'action pourraient s'expliquer par le principe de Nadia (invariant opératoire), que nous inférons, qu'un encadrement et un accompagnement limité et judicieusement ciblé permet de soutenir l'apprentissage des étudiants, y compris articuler des concepts et des procédures mathématiques dans un langage de programmation. Cet invariant opératoire illustre l'entrecroisement d'un schème personnel avec un schème professionnel. Nous avançons que cet entrecroisement prend appui sur une réflexion de Nadia à propos des aspects de l'environnement d'apprentissage de MICA III* qui lui ont permis de développer ce schème personnel. Traduit dans le cadre de l'approche instrumentale, elle porte une réflexion sur les aspects de l'orchestration instrumentale qui ont soutenu sa genèse instrumentale personnelle et qu'elle souhaiterait reproduire dans sa future classe (genèse instrumentale professionnelle).

Tableau 1 – Schèmes personnels et professionnels partiels de Nadia et leur entrecroisement (souligné)

	Schème personnel	Schème professionnel potentiel initial
But de l'activité	<u>Articuler un concept ou une procédure mathématique dans un langage de programmation.</u>	Présenter une tâche de mathématiques intégrant la programmation.
Règles d'action identifiées dans les extraits choisis	Je m'explique, dans mes mots, les mathématiques que mon programme doit faire. Je m'explique, dans mes mots, ce que je veux que mon programme fasse. Je discute avec mes pairs du programme mathématique à développer.	Je limite l'encadrement proposé dans la tâche. Je limite l'accompagnement que j'offre aux élèves pendant le cours.
Invariants opératoires identifiés dans les extraits choisis	Je dois être en mesure de m'expliquer les mathématiques et ce que le programme doit faire pour parvenir à bien articuler le programme mathématique.	Un encadrement et un accompagnement limité et judicieusement ciblé permet de soutenir l'apprentissage des élèves, y compris <u>articuler des concepts et des procédures mathématiques</u>

	Schème personnel	Schème professionnel potentiel initial
	Discuter avec mes pairs me permet de mieux m'expliquer et de mieux comprendre ce que mon programme mathématique doit faire.	<u>dans un langage de programmation (c.-à-d. la genèse instrumentale des élèves ; implicite).</u>

2. Cas de Carolyn

Comme Nadia, Carolyn avait l'impression de ne pas avoir suffisamment d'information pour entamer la tâche en début de cours. Toutefois, contrairement à Nadia, Carolyn est restée avec cette sensation tout au long du cours.

Je trouve qu'on ne m'a pas donné assez d'informations pour que je puisse le faire moi-même et ne pas me sentir complètement dépassée... c'est pourquoi, chaque fois que je commençais à coder, je devais demander au professeur si j'étais sur la bonne voie. (Carolyn, entretien)

Nous interprétons de cet extrait que Carolyn a développé un schème personnel (tableau 2 colonne de gauche) pour *articuler un concept ou une procédure mathématique dans un langage de programmation*, moins élaboré que celui de Nadia. Ce schème inclut la règle d'action : *je demande de l'aide à un pair ou à l'enseignante*. Cette règle d'action pourrait s'expliquer par le principe de Carolyn (invariant opératoire), que nous inférons : *j'ai besoin qu'on me présente les éléments clés (concepts, procédures) de programmation mathématique, essentiels à la tâche, de façon détaillée pour que je puisse débiter la tâche de programmation mathématique*.

En somme, nous avançons que Carolyn semble croire que l'encadrement et l'accompagnement limité qu'elle a reçu dans le cours sont insuffisants. Dans l'extrait suivant, Carolyn semble projeter son expérience personnelle dans son futur rôle d'enseignante :

Et en tant que future enseignante, c'est ce que je ferais... Je le simplifierais un peu plus. Je m'assurerais d'avoir suffisamment de code de base à donner à mes étudiants et je m'assurerais qu'ils connaissent les variables qu'ils sont censés utiliser ou la syntaxe qu'ils sont censés utiliser. (Carolyn, entretien)

Nous interprétons que Carolyn développe un schème professionnel potentiel initial (tableau 2 colonne de droite) de *présenter une tâche de mathématiques intégrant la programmation* incluant la règle d'action *Je détaille les éléments clés de la tâche (p. ex. les variables en jeu, des commandes de programmation utiles)*. Cette règle d'action pourrait s'expliquer par le principe de Carolyn (invariant opératoire), que nous inférons, que *les élèves ont besoin de connaître les variables en jeu et les commandes de programmation utiles pour être en mesure de débiter la tâche incluant l'articulation d'un concept ou d'une procédure mathématique dans un langage de programmation*. À l'instar de Nadia, cet invariant opératoire illustre l'entrecroisement d'un schème personnel avec un schème professionnel.

Tableau 2 – Schèmes personnel et professionnel partiels de Carolyn et leur entrecroisement (souligné)

	Schème personnel	Schème professionnel potentiel initial
But de l'activité	<u>Articuler un concept ou une procédure mathématique dans un langage de programmation.</u>	Présenter une tâche de mathématiques intégrant la programmation.

	Schème personnel	Schème professionnel potentiel initial
Règles d'action identifiées dans les extraits choisis	Je demande de l'aide à un pair ou à l'enseignante.	Je détaille les éléments clés de la tâche (p. ex. les variables en jeu, des commandes de programmation utiles).
Invariants opératoires identifiés dans les extraits choisis	J'ai besoin qu'on me présente les éléments clés des concepts et procédures de programmation mathématique, essentiels à la tâche, de façon bien détaillée pour que je puisse être en mesure de commencer une tâche de programmation mathématique.	Les élèves ont besoin de connaître les variables en jeu et les commandes de programmation utiles pour être en mesure de débiter la tâche incluant l' <u>articulation d'un concept ou d'une procédure mathématique dans un langage de programmation</u> .

V. DISCUSSION

Le cadre théorique de la double genèse instrumentale nous permet de mettre en lumière comment les expériences (voire compétences, c.-à-d. schèmes) personnelles différentes de Nadia et Carolyn semblent avoir mené, dans un entrecroisement similaire, à développer des compétences (c.-à-d. schèmes) professionnelles différentes.

En effet, pour leur schème personnel *articuler un concept ou une procédure mathématique dans un langage de programmation*, Nadia et Carolyn n'ont pas développé les mêmes règles d'action et les mêmes invariants opératoires. D'une part, Carolyn mentionne avoir besoin de consignes plus détaillées pour entamer chacun des projets, alors que Nadia avait soulevé ce besoin en début de cours, mais constate, à la fin du cours, qu'elle n'a pas besoin d'autant d'information qu'elle le croyait. D'ailleurs, nous avançons que le fait d'avoir des consignes moins détaillées des projets a permis à Nadia de développer son schème personnel.

De plus, nous avançons qu'une réflexion de Nadia sur son expérience personnelle (la genèse instrumentale) l'a mené à développer un schème professionnel potentiel initial *présenter aux élèves une tâche de mathématiques intégrant la programmation*, où elle croit qu'il est positif de limiter l'information donnée aux élèves pour soutenir leur apprentissage. De son côté, le schème professionnel potentiel initial de Carolyn prend aussi appui sur sa réflexion faite sur son schème personnel. En effet, elle croit avoir besoin de plus d'information pour entamer la programmation de concepts mathématiques. Elle voudrait répondre à ce besoin dans son futur rôle d'enseignante en *détaillant les éléments clés de la tâche (p. ex. les variables en jeu, des commandes de programmation utiles) pour s'assurer que les élèves puissent débiter la tâche*. Bref, ayant développé des schèmes personnels différents, nous avançons qu'elles ont toutes deux développés des schèmes professionnels distincts s'alignant avec leur schème personnel.

VI. CONCLUSION

Nous avons exploré comment le cadre théorique de la double approche instrumentale peut éclairer la transition entre une utilisation personnelle de la programmation pour faire des mathématiques universitaires et une utilisation professionnelle pour soutenir le développement des élèves à utiliser la programmation pour faire des mathématiques dans la classe du primaire et du secondaire. Les deux cas présentés de futures enseignantes nous ont permis de mettre en lumière comment leurs schèmes personnels et professionnels de mêmes buts étaient interreliés en prenant appui l'un sur l'autre. Notre analyse offre une nuance du concept d'entrecroisement de la théorie par les composantes de schèmes,

ainsi que des exemples concrets provenant d'un contexte différent de celui analysé par Haspekian (2017). Notre analyse a aussi pu mettre en valeur la pertinence d'un cours de contenus mathématiques pour soutenir le développement de schèmes personnels et professionnels de futures enseignantes.

L'exploration effectuée dans cet article suggère qu'encore beaucoup de travail reste à faire dans la compréhension du développement de schèmes personnels et professionnels ainsi que de leur interconnexion, en particulier dans le cas de la programmation pour faire des mathématiques. Entre autres, il serait important d'identifier et de décrire les composantes de schèmes professionnels ciblés (Drijvers et al., 2013), incluant des buts pointus. Dans ce texte, nous avons effectué l'analyse à partir du discours et de réflexions écrites, mais il serait pertinent d'effectuer l'analyse à partir d'une activité pour porter un regard plus précis sur le développement de ces schèmes personnels et professionnels et de leurs liens. Également, nous avons étudié l'émergence de schèmes qui ont été mis à l'épreuve réelle une seule fois dans une classe. La prochaine étape sera de prendre appui sur ce travail pour décrire les schèmes professionnels de manière plus fine (c.-à-d. avec des buts plus pointus) et pour analyser de façon systématique toutes les données de Nadia et Carolyn et éventuellement d'autres personnes participantes.

RÉFÉRENCES

- Buteau, C., Broley, L., Mgombelo, J., Muller, E., Sacristán, A. et Santacruz-Rodriguez, M. (2024, 7-14 juillet). *Future secondary school teachers' learning to use programming as a tool for mathematics: A reflective mathematics content course approach* [Paper presentation]. 15th International Congress on Mathematical Education (ICME15), Sydney, Australia. <https://tinyurl.com/5bw552ub>
- Buteau, C., Muller, E. et Ralph, B. (2015, juin). *Integration of programming in the undergraduate mathematics program at Brock University* [Communication]. Math+Coding Symposium, London Ontario.
- Buteau, C., Muller, E., Sacristan, A. et Mgonbello, J. (2018). Pensée informatique en enseignement des mathématiques post-secondaires : un cadre conceptuel. Dans M. Abboud (dir.), *Actes du colloque EMF2018 « Mathématiques en scène, des ponts entre les disciplines », 22-26 octobre 2018, Gennevilliers, Paris* (p. 1640-1648). IREM de Paris. https://emf2018.sciencesconf.org/data/actes_EMF2018.pdf
- Buteau, C., Gueudet, G., Dreise, K., Muller, E., Mgombelo, J. et Sacristán, A. (2020). A student's complex structure of schemes development for authentic programming-based mathematical investigation projects. Dans *Proceedings of INDRUM 2020 Third Conference of the International Network for Didactic Research in University Mathematics, Bizerte, Tunisia* (p. 513-514).
- Buteau, C., Gueudet, G., Muller, E., Mgombelo, J. et Sacristán, A. (2019). University students turning computer programming into an instrument for 'authentic' mathematical work. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(7), 1020-1041. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1648892>
- Couderette, M. (2016). Enseignement de l'algorithmique en classe de secondaire : Une introduction curriculaire problématique. *Annales de Didactiques et de Sciences Cognitives*, 21, 267-296.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Reed, H. et Gravemeijer, K. (2010). The teacher and the tool: Instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 213-234. <https://doi.org/10.1007/s10649-010-9254-5>

- Drijvers, P., Godino, J. D., Font, V. et Trouche, L. (2013). One episode, two lenses: A reflective analysis of student learning with computer algebra from instrumental and onto-semiotic perspectives. *Educational Studies in Mathematics*, 82, 23-49.
- Fojcik, M. K., St-Cyr, M.-F., Buteau, C., Muller, E. et Mgombelo, J. (soumis). Preservice teachers' professional instrumental genesis for integrating programming in the math classroom: the beginning. Dans *Actes du colloque CERME 2025*.
- Guin, D., Ruthven, K. et Trouche, L. (2005). *The didactical challenge of symbolic calculators: Turning a computational device into a mathematical instrument*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b101602>
- Haspekian, M. (2011). The co-construction of a mathematical and a didactical instrument. Dans M. Pytlak, E. Swoboda et T. Rowland (dir.), *Proceedings of the 7th CERME, University of Rzeszów, Poland* (p. 2298-2307). <https://hal.science/hal-01273866>
- Haspekian, M. (2018). Un cas d'étude avec scratch à l'école primaire : distance et repères. Dans M. Abboud (dir.), *Actes du colloque EMF2018 « Mathématiques en scène, des ponts entre les disciplines », 22-26 octobre 2018, Gennevilliers, Paris* (p. 811-819). IREM de Paris. https://emf2018.sciencesconf.org/data/actes_EMF2018.pdf
- Haspekian, M. (2017). Computer science in mathematics new curricula at primary school: New tools, new teaching practices? Dans G. Aldon et J. Trgalová (dir.), *Proceedings of the 13th International Conference on Technology in Mathematics Teaching, 3-6 juillet 2017, École normale supérieure de Lyon, France* (p. 23-32). <https://hal.science/hal-01632970/file/book-ictmt13-en.pdf>
- Lv, L., Zhong, B. et Liu, X. (2022). A literature review on the empirical studies of the integration of mathematics and computational thinking. *Education and Information Technologies*, 28(7), 8171-8193. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11518-2>
- Mozelius, P. (2018). Teaching the teachers to teach programming: on course design and didactic concepts. Dans *11th annual International Conference of Education, Research and Innovation* (Vol. 11, p. 8031-8037). The International Academy of Technology, Education and Development.
- Muller, E. et Buteau, C. (2006). Un nouveau rôle de l'informatique dans la formation initiale des enseignants. Dans M. Abboud (dir.), *Actes du colloque EMF2018 « Mathématiques en scène, des ponts entre les disciplines », 22-26 octobre 2018, Gennevilliers, Paris* (p. 1111-1120). IREM de Paris. https://emf2018.sciencesconf.org/data/actes_EMF2018.pdf
- Rabardel, P. (1995). Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains. Armand Colin. <https://hal.science/hal-01017462>
- Trouche, L. (2004). Managing complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9, 281-307. <http://doi.org/10.1007/s10758-004-3468-5>
- Venant, F. (2023). Enjeux didactiques dans les genèses instrumentales professionnelles des futurs enseignants de mathématiques au Québec. *Recherches en didactique des mathématiques*, 43(1), 15-46.
- Vergnaud, G. (1998). Toward a cognitive theory of practice. Dan A. Sierpiska et J. Kilpatrick (dir.), *Math education as a research domain: A search for identity* (p. 227-241). Kluwer Academic.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society*. Harvard University Press.