

L'impact de l'introduction de Python sur la performance académique et la motivation des élèves de première année secondaire dans l'enseignement du produit scalaire

Étude quasi-expérimentale au Liban (région d'Akkar)

أثر توظيف برمجة بايثون في تعليم الحاصل القياسي على التحصيل الدراسي ودافعية طلاب الصف الأول الثانوي
دراسة شبه تجريبية في لبنان (منطقة عكار)

Manal Haddad منال حدّاد (*)

تاريخ القبول: 2026-6-3

تاريخ الإرسال: 2026-5-19



Résumé

Turnitin: 14%

Malgré les nombreuses initiatives menées pour insérer les technologies numériques dans l'enseignement des mathématiques, un bon nombre d'élèves au secondaire éprouvent des difficultés face aux notions de géométrie vectorielle, en particulier la compréhension du produit scalaire. Alors que plusieurs études ont examiné les difficultés apportées par les représentations sémiotiques liées à cette notion, très peu d'études ont mesuré empiriquement l'impact d'un langage de programmation tel que le Python dans la performance des élèves et dans leur motivation sur ce contenu. La présente recherche quasi-expérimentale s'intéresse à l'impact de l'introduction de Python dans l'enseignement du produit scalaire sur les performances scolaires et la motivation pour les mathématiques des élèves de première année secondaire. L'échantillon est constitué de 58 élèves d'un lycée public de la région d'Akkar, répartis-en (GT)groupe témoin (n=30) et (GE)groupe expérimental (n=28). Les données pour en arriver à ces résultats ont été recueillies grâce à un pré-test et un post-test de performance pour les deux groupes, ainsi qu'un questionnaire motivationnel pour le groupe expérimental post-expérimentation, et ont été traitées par le logiciel SPSS.

* Master 2 Recherche en Didactique des Mathématiques Université Libanaise, Faculté de Pédagogie.

Email: manal.c.haddad.85@gmail.com

طالبة ماستر بحثي سنة ثانية في تعليمية الرياضيات الجامعة اللبنانية، كلية التربية.

Pour H1, les résultats révèlent une amélioration significative de la performance du GE par rapport au GT confirmée par le gain normalisé de Hake. Pour H2, l'analyse du questionnaire motivationnel révèle un profil motivationnel majoritairement positif sur les trois dimensions de Viau. Les résultats devraient enrichir

(م.ت) بلغت (ن=28). جُمعت البيانات عبر اختبار قبلي وآخر بعدي لقياس التحصيل لدى المجموعتين، إلى جانب استبيان دافعي طُبّق على المجموعة التجريبية في مرحلة ما بعد التجريب، وجرت معالجة البيانات باستخدام برنامج SPSS. بالنسبة للفرضية الأولى، كشفت النتائج عن تحسّن دال إحصائياً في تحصيل المجموعة التجريبية مقارنةً بالمجموعة الضابطة، وهو ما أكّده معامل الكسب المعياري لهايك. أما الفرضية الثانية، فقد أظهر تحليل الاستبيان الدافعي ملمحاً دافعياً إيجابياً في مجمله على الأبعاد الثلاثة لنموذج فيو. وتسعى هذه النتائج إلى إثراء فهمنا للإسهامات التربوية للبرمجة في تعليم الرياضيات، وفتح آفاق عملية نحو الدمج الأول لبايثون في المنهج اللبناني.

الكلمات المفتاحية: بايثون - الحاصل القياسي - التحصيل الدراسي - الدافعية - السجلات السيمائية

I. Introduction

En l'espace de deux décennies, les

notre compréhension des apports pédagogiques de la programmation à l'enseignement des mathématiques et d'ouvrir des perspectives concrètes en vue d'une première intégration du Python dans le programme libanais.

Mots-clés: Python | Produit scalaire | Performance académique | Motivation | Registres sémiotiques

الملخص

على الرغم من المبادرات العديدة التي اتُخذت لدمج التقنيات الرقمية في تعليم الرياضيات، يواجه كثير من طلاب المرحلة الثانوية صعوبات جمة في استيعاب مفاهيم الهندسة الشعاعية، ولا سيما فهم الحاصل القياسي. وبينما تناولت دراسات عدة الصعوبات المرتبطة بالسجلات السيمائية لهذا المفهوم، تبقى الدراسات التي قاست تجريبياً أثر لغة برمجة كبايثون في تحصيل الطلاب ودافعتهم نحو هذا المحتوى نادرة جداً. تتناول هذه الدراسة شبه التجريبية أثر توظيف بايثون في تعليم الحاصل القياسي على التحصيل الدراسي والدافعية نحو الرياضيات لدى طلاب الصف الأول الثانوي. تكوّنت العينة من 58 طالباً في ثانوية رسمية بمنطقة عكار، ورُعوا على مجموعتين: مجموعة ضابطة (م.ض) بلغت (ن=30)، ومجموعة تجريبية

technologies ont opéré une recomposition des métiers surtout des façons de

penser et d'apprendre. Dans son ouvrage publié par le Forum économique mondial, Schwab (2016) a nommé cette transformation la quatrième révolution industrielle qui a touché directement l'architecture de l'éducation et qui a nécessité des compétences numériques pour les futurs métiers. Dans ce sens, Wing (2006) a proposé la pensée computationnelle comme compétence fondamentale pour tous, au même niveau que la lecture, l'écriture et le calcul (p. 33). Reprenant en partie l'ambition de d'éducation à la littératie numérique, d'une part l'Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE, 2018) dans son rapport sur *le futur de l'éducation et des compétences: Projets éducation 2030*, a identifié la pensée computationnelle comme une des compétences transformatives nécessaire aux élèves pour construire le futur monde; d'autre part, l'Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la Culture (UNESCO, 2021) dans son ouvrage *Repenser nos futurs ensembles: un nouveau contrat social pour l'éducation*, a recommandé d'intégrer dans le curricula les compétences numériques et le codage comme réponse aux défis du XXI^e siècle.

Pourtant, il ne suffit pas d'équiper une salle de classe avec des ordinateurs pour pouvoir suivre cette qua-

trième révolution. Les résultats du rapport *Les élèves, les ordinateurs et l'apprentissage: faire la connexion*, (OCDE, 2015), issu de l'analyse des données des PISA 2012 montrent que les systèmes ayant le plus investi dans les TIC, ne sont pas nécessairement ceux qui obtiennent les résultats les plus favorables comme le souligne ce rapport: «ajouter des technologies du XXI^e siècle à des pratiques pédagogiques du XX^e siècle ne fait que diluer l'efficacité de l'enseignement» (OCDE, 2015, p. 3). Odell, Cutumisu et Gierl (2020), dans le cadre d'une revue systématique des six cycles PISA de l'année 2000 à l'année 2015, s'accordent à dire que les résultats du numérique sont parfois différents d'une matière à une autre, d'un pays à l'autre. Ce qui importe c'est plutôt le rapport pédagogique sur lequel on se base.

Et c'est ainsi que le produit scalaire ouvre un domaine de réflexion prometteur. Dans le cas de l'enseignement secondaire libanais, la notion du produit scalaire parcourt en effet les trois années: introduite en première dans le plan sous trois registres: géométrique, algébrique et trigonométrique, elle est portée en deuxième année à l'espace avant d'être mobilisée en troisième pour déterminer les équations de plans, des calculs des

angles entre 2 plans 2 droites ou un plan et une droite. Ce que les élèves n'arrivent pas à faire, ce n'est pas le calcul, mais le passage d'un registre à l'autre et l'articulation des différentes formes d'une même notion (Duval, 1993; Chaik et al., 2025).

Python comme étant un langage de programmation open source, reconnu pour la clarté et la simplicité de sa syntaxe (Python Software Foundation, 2023), pourrait faire bouger les choses à cet endroit, parce qu'il oblige l'élève à traduire le produit scalaire en une séquence d'instructions précises, logiques, sans ambiguïté. Et c'est précisément cette contrainte qui oblige à comprendre.

1.1 Problématique

Les difficultés concernant la compréhension du produit scalaire, ainsi que le potentiel des outils numériques pour l'apprentissage des mathématiques sont documentés dans la recherche internationale. Pourtant, à notre connaissance, aucune étude n'a osé interroger empiriquement la somme de ces deux objets: évaluer cet effet d'un outil de programmation comme Python sur l'apprentissage du produit scalaire, avec rigueur, dans un cadre de recherche reconnu du point de vue disciplinaire, avec un groupe témoin.

D'où la question de recherche centrale:

Jusqu'à quel point l'utilisation de Python dans l'enseignement du produit scalaire améliore-t-elle la performance scolaire et l'attrait pour les mathématiques, des élèves de première année secondaire, dans le cadre d'une école publique de la région d'Akkar (Liban) ?

Deux questions secondaires en découlent:

- (1) l'utilisation de Python contribue-t-elle à la maîtrise des trois registres sémiotiques de représentation mobilisés par le produit scalaire ?
- (2) l'utilisation de Python affecte-t-elle la dynamique motivationnelle des élèves, selon Viau (2009) ?

1.2 Importance de la recherche

L'importance de cette recherche se décline sur plusieurs axes. Théoriquement d'abord, elle croise deux modèles peu mobilisés ensemble jusqu'ici, d'une part la théorie des registres sémiotiques de Duval, 1993, qui éclaire la spécificité didactique du produit scalaire, et d'autre part le modèle de la dynamique motivationnelle de Viau, 2009, qui n'a que très peu été appliqué à la programmation en mathématiques. Cette double assise permet de ne pas se contenter uniquement de l'évaluation

d'un résultat mais d'interroger aussi les mécanismes d'un développement.

Méthodologiquement ensuite, elle s'appuie sur un design quasi-expérimental avec un groupe témoin non équivalent, des pré-test et post-test parallèles, le calcul du gain normalisé de Hake, de la taille d'effet par le d de Cohen, et la validation des instruments par les indices I-CVI et S-CVI/Ave (Polit, Beck & Owen, 2007) ainsi que le coefficient α de Cronbach. Les études disponibles sur l'intégration de Python dans l'enseignement des mathématiques notamment Shim et Shim (2018) et Seebut et al. (2022), ne comportaient pas de groupe témoin, ce qui limite la portée de leurs conclusions causales.

Contextuellement ensuite, elle intègre pour la première fois le Liban, plus précisément la région rurale et défavorisée d'Akkar, dans une littérature internationale jusqu'alors muette à son propos. Les résultats peuvent alimenter le débat sur l'intégration de la programmation au sein du programme du Centre de recherche et de développement pédagogiques CRDP libanais, qui est en cours de refonte des programmes éducatifs, stables depuis 1997.

Pratiquement enfin, elle fournit aux chercheurs une séquence testée d'enseignement: initiation à Python en

deux séances, qu'ils peuvent reprendre, adapter ou discuter.

1.3 Hypothèses de recherche

Deux hypothèses opérationnelles guident cette démarche:

- H1:** L'introduction de Python permet d'améliorer significativement la performance des élèves du groupe expérimental par rapport à celle du groupe témoin.
- H2:** Les élèves du groupe expérimental ont, après un enseignement intégrant Python, un profil motivationnel dans le sens positif vis-à-vis des mathématiques selon les trois dimensions du modèle de Viau (2009).

1.4 Objectifs de recherche

La recherche poursuit deux objectifs articulés:

- O1:** Mesurer empiriquement l'effet d'un enseignement intégrant Python sur la performance des élèves dans les trois registres sémiotiques du produit scalaire.
- O2:** Évaluer son impact sur la dynamique motivationnelle des élèves au sens de Viau (2009), en distinguant clairement les trois perceptions du modèle.

II. Revue de littérature

2.1 Python dans l'enseignement des mathématiques

L'implication de Python au cœur de l'enseignement des mathématiques est d'abord apparue sous la forme de propositions didactiques avant de devenir objet d'études empiriques. Shim et Shim (2018) sont parmi les premiers à avoir exposé une telle démarche: la méthode mise en œuvre dans leur article pour enseigner la décomposition en facteurs premiers en collège coréen, intègre des Jupyter Notebook Python. L'auteur fonde en effet l'émergence de la nécessité d'enseigner à coder, non pas simplement parce qu'on sait calculer, mais parce qu'énoncer sous forme de code chaque étape du raisonnement est un moyen de présenter le raisonnement que la notation formelle peut masquer. C'est sans doute une piste évocatrice encore que cet apport garde, celle d'un article de développement didactique et non d'une recherche empirique: aucun essai n'a été réalisé avec des élèves, ni même avec un groupe têt, sans obtenir aucun résultat statistique. Les conséquences d'un changement de cadre sur les performances scolaires ne sont donc pas validées et les contributions restent à vocation pédagogique, ce qui est déjà un premier pas intéressant. L'absence de données empiriques à cette période témoigne d'un retard général dans la recherche sur le codage en éducation.

Dans leur état des lieux des initiatives de codage dans une vingtaine de pays européens, Balanskat et Engelhardt (2015) adressent un constat alarmant: les projets les plus ambitieux, en particulier dans le cadre de l'initiative Code.org, échouent généralement en raison de l'absence d'instruments permettant d'en rapporter les effets. Leur rapport conclut que bon nombre de ces initiatives sont dans l'incapacité de produire des données empiriques solides sur les effets motivationnels de ces dispositifs, en raison de l'absence d'instrument de mesure validé. La conclusion soudaine de ce diagnostic est éclairante: elle éclaire le clivage entre l'enthousiasme des institutions pour le codage et la rigueur scientifique requise pour évaluer ses effets. Les études empiriques commencent lentement à combler cette lacune. Seebut et al. Au cours de l'année 2022, des chercheurs en Thaïlande ont recruté 28 élèves de terminale générale, ils ont mis en place un enseignement des probabilités en intégrant Python pour simuler certains événements aléatoires. Les compétences des élèves ont été évaluées par des rubriques, un questionnaire de type Likert mesurant le plaisir, l'intérêt perçu: l'auto-efficacité. Les résultats montrent des effets positifs sur les compétences des élèves et sur leur

engagement émotionnel, cependant, cette étude porte la même limite fondamentale qu'auparavant, dans la mesure où les élèves sont testés sans un groupe témoin n'indiquant pas si les effets sont attribuables à Python plutôt qu'à des facteurs autres que la nouveauté de la démarche mise en œuvre ou le changement de la routine pédagogique. La recherche la plus récente et la plus proche de notre objet d'étude est celle de Rais et Xuezhi (2024), publiée dans le *Journal On Mathematics Education*. Réalisée en Indonésie auprès de 92 lycéens novices en programmation, échantillon comparable à celui des élèves de notre recherche, elle étudie l'effet de Python dans l'enseignement de systèmes d'équations linéaires. Les résultats sont significatifs: la motivation augmente après intervention ($Z = -4,619$; $p = 0,000$) et les résultats d'apprentissage s'améliorent aussi ($p = 0,044$). Les auteurs concluent donc que le feedback immédiat des messages d'erreur favorise un apprentissage des mathématiques systématisé même chez des novices en programmation. Ce que cette recherche reconnaît d'emblée comme deux limites principales ce sont: l'absence de groupe de contrôle tout d'abord qui empêche une analyse causale, et une enquête sur un échantillon restreint à

trois lycées lequel limite la portée de généralisable des résultats.

Ainsi, la recherche en question semble proposer une trajectoire cohérente et un parcours de recherche: des propositions didactiques sans validation empirique (Shim & Shim, 2018), un constat institutionnel sur l'absence d'outils d'évaluation rigoureuse (Balanskat & Engelhardt, 2015) et des premières études empiriques initiales encourageantes mais menées sans groupes de contrôle (Seebut et al. 2022; Rais & Xuezhi 2024). C'est à cette étape que notre recherche se veut innovante en proposant pour la première fois un design quasi-expérimental ayant recours à un groupe de contrôle pour fournir les premières données relatives à l'effet de Python dans l'enseignement du produit scalaire au secondaire libanais.

2.2 Difficultés du produit scalaire et registres sémiotiques

Boyé et Berthelot-Lepage (2023) indiquent que le produit scalaire est issu de l'histoire commune des mathématiques et de la physique, histoire qui contribue à expliquer les difficultés que rencontrent les élèves à le concevoir et les enseignants à l'exploiter didactiquement. Chaik et coll. (2025) l'ont expérimenté sur le terrain en

s'intéressant, auprès de 79 élèves de Première au Maroc, aux tâches à trois registres: le graphique et le numérique, et surtout la modélisation d'objets physiques (notions de travail et de puissance d'une force notamment à l'aide du produit scalaire). Ces travaux sont robustes sur l'identification de l'obstacle mais ne présentent aucun dispositif numérique sur mesure à mobiliser pour en discuter avec les élèves.

2.3 Motivation et technologies numériques

Des études récentes montrent que la programmation semble être bénéfique pour l'apprentissage des mathématiques, même si la question sur la motivation n'est pas trop étudiée. En effet, Zhang, Li et Zhang (2026) présentent l'exemple d'une étude quasi-expérimentale réalisée en Chine sur l'intégration de Scratch dans l'enseignement des probabilités qui met en lumière une amélioration significative de la pensée computationnelle et des apprentissages mathématiques, notamment en probabilité classique et en événements. Pourtant, Balanskat et Engelhardt (2015) précisent que, avec l'énorme variété des initiatives existantes, peu d'études ont pu produire des données fiables concernant leurs effets motivationnels, notamment à cause d'un manque d'évaluations sys-

tématiques. En outre, le modèle de Viau (2009), qui fait partie intégrante du champ des recherches en éducation en milieu francophone, n'a pas encore été mis en relation avec des situations intégrant la programmation à un contenu mathématique.

2.4 Lacunes et positionnement de la recherche

L'originalité de notre étude est justifiée par trois lacunes structurantes identifiées dans la revue de littérature: (L1) aucune étude quasi-expérimentale n'a testé l'effet de Python sur une notion de géométrie vectorielle; (L2) les difficultés du produit scalaire sont documentées sans remédiation numérique; (L3) le modèle de Viau n'a pas été appliqué à la programmation en mathématiques.

III. Cadre théorique

3.1 La dynamique motivationnelle de Viau (2009)

Viau (2009) définit la motivation scolaire ainsi:

«La motivation en contexte scolaire est un état dynamique qui a ses origines dans les perceptions qu'un élève a de lui-même et de son environnement et qui l'incite à choisir une activité, à s'y engager et à persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but.»

Viau (2009) propose de tester la motivation à travers un modèle qui l'article à trois perceptions associées l'une à l'autre: (1) la perception que l'élève a de la valeur de l'activité (de l'utilité, de l'intérêt, de l'importance...); (2) la perception de sa compétence (capacité à réussir); (3) la perception de la contrôlabilité (du degré d'autonomie que l'on estime avoir sur le déroulement et les résultats de l'activité). Dans notre étude, la motivation dans la discipline mathématique est suivie au moyen d'un questionnaire aligné à ce modèle dans le groupe expérimental (seul le groupe expérimental effectue le questionnaire), en fin d'expérimentation.

3.2 La théorie des registres sémiotiques de Duval (1993)

Duval(1993) situe la compréhension d'un objet mathématique dans la capacité à coordonner entre deux registres distincts au moins. Un objet mathématique mobilise donc généralement plusieurs représentations. Dans notre étude du produit scalaire, nous mobilisons en première année secondaire trois registres: le géométrique (la projection orthogonale), le trigonométrique (la formule en cosinus) et l'algébrique (la formule en coordonnées). Par le moyen de la programmation avec

Python, un quatrième registre, noté algorithmique, vient s'ajouter aux trois registres déjà mobilisés pour le produit scalaire. En codant le calcul, l'élève doit représenter les objets mathématiques par des instructions exécutables, et force la création d'une articulation explicite entre les registres. La performance sera mesurée par la capacité à opérer dans chacun des registres en jeu et à convertir les registres entre eux tout en préservant le sens mathématique de la notion.

IV. Méthodologie

4.1 Design et échantillon

Concernant le design plan, il s'agit d'un design quasi expérimental utilisant une collecte qualitative, dans le cas d'un groupe de petite taille dans la région d'Akkar, afin d'identifier et/ou confirmer/infirmes des hypothèses, citées dans le premier chapitre.

L'échantillon est constitué de 58 élèves de première année secondaire d'un lycée public de la région d'Akkar, répartis en deux groupes naturellement constitués: un groupe témoin (GT, $n=30$) pour le cas d'un enseignement traditionnel, et un groupe expérimental (GE, $n = 28$) pour le cas d'un enseignement intégrant Python.

La variable indépendante est la méthode d'enseignement. Les variables dépendantes concernent la

performance sur le produit scalaire (H1) et la motivation vérifiée par questionnaire du groupe expérimental (H2). Un même enseignant s'adresse aux deux groupes pour éliminer l'effet enseignant comme variable confondante.

4.2 Protocole expérimental

L'expérimentation se déroule en cinq phases successives:

- Phase 0: Administration simultanée du pré-test de performance (produit scalaire) aux deux groupes.
- Phase 1: Deux séances d'initiation à Python (90 min chacune) pour le GE uniquement, fondées sur le tutoriel UNESCO/Ministère de l'Éducation libanais (Teach-in Coding and AI for Teachers), couvrant variables, conditions, boucles et listes.
- Phase 1b: Test de compétence Python (GE uniquement) vérifiant l'acquisition des prérequis algorithmiques condition de validité interne du dispositif.
- Phase 2: Enseignement du produit scalaire selon le programme CRDP: méthode traditionnelle pour le GT; enseignement intégrant Python pour le GE (calcul algébrique, norme de vecteur, détection d'orthogonalité par code).
- Phase 3: Post-test de performance pour les deux groupes +

questionnaire de motivation administré au GE uniquement.

4.3 Instruments de mesure

Pré-test/post-test de performance

(GT et GE): tests parallèles en trois registres selon Duval. La performance est analysée au moyen du gain normalisé de Hake (1998): $g = (\text{post} - \text{pré}) / (\text{max} - \text{pré})$.

Questionnaire de motivation (GE

uniquement, post-test): 30 items répartis en trois axes: 15 items correspondant au modèle de Viau (Valeur, Compétence, Contrôlabilité), sur échelle de Likert de 1 à 5 (score Viau total /75) + 15 items exploratoires sur la motivation envers Python. La fidélité est évaluée par l'alpha de Cronbach (seuil > 0,70). La validité de contenu est vérifiée par panel d'experts (I-CVI > 0,78; S-CVI/Ave > 0,90; Polit, Beck & Owen, 2007).

4.4 Analyse statistique

Pour H1: test de Shapiro-Wilk (normalité), t-test de student pour échantillons indépendants (pré-test et post-test), gain normalisé de Hake, d de Cohen. **Pour H2:** alpha de Cronbach (fidélité du questionnaire), statistiques descriptives (moyennes, écarts-types, distributions par niveaux) du profil motivationnel du GE sur les trois axes de Viau. Le seuil de significativité retenu est $\alpha=0,05$.

V. Résultats

5.1 Résultats de performance

Avant toute comparaison inter groupes, la normalité des deux distributions des notes du pré-test a été vérifiée par le test Shapiro-Wilk.

Le tableau 5.1 indique pour le groupe témoin: $W = 0,966$; $p = 0,427$ et pour le groupe expérimentale: $W = 0,932$; $p = 0,071$.

Tableau 5.1 Tests of Normality				
	Groupe	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Note	GT	.966	30	.427
	GE	.932	28	.071

Les résultats confirment la normalité des deux groupes et justifient le recours au t-test.

Pour s'assurer que les deux groupes sont équivalents au départ, un t-test est appliqué à la note du pré-test.

Le tableau 5.2 indique pour le groupe témoin une moyenne égale à 12,37/20, un écart -type égale à 3,61 et une erreur standard égale à 0,658 et pour le groupe expérimental une moyenne égale à 13,21/20, un écart -type égale à 3,21 et une erreur standard égale à 0,607.

Tableau 5.2 Group Statistics					
	Groupe	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Note	GT	30	12.3667	3.60539	.65825
	GE	28	13.2143	3.21290	.60718

Le tableau 5.3 indique le teste de Levene $F=1,765$ et $Sig.= 0,189$ alors les deux variances sont considérées égales et sig.(2-tailed) 0,3500,05.

Tableau 5.3 Independent Samples Test										
F		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
Note	Equal variances assumed	1.765	.189	-94	56	.350	-.84762	.89914	-2.64881	.95357

Les résultats montrent qu'aucune différence significative n'existe entre les deux groupes au pré-test, par suite les deux groupes sont équivalents a priori.

De même pour la normalité du post-test, le test de Shapiro-Wilk montre dans le tableau 5.4 pour le groupe témoin: $W = 0,959$ et $p = 0,288$ et pour le groupe expérimental $W = 0,965$; $p = 0,465$.

Tableau 5.4 Tests of Normality				
	Groupe	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Notpost	GT	.959	30	.288
	GE	.965	28	.465

Les résultats confirment la normalité des deux groupes et justifie le recours au t-test.

Le tableau 5.5 indique une moyenne de 11,13 et un écart-type égale à 4,09 pour le groupe témoin par contre une moyenne de 13,75 et un écart -type de 3,41 pour le groupe expérimental.

Tableau 5.5 Group Statistics					
	Groupe	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Note-post	GT	30	11.1333	4.09148	.74700
	GE	28	13.7500	3.40615	.64370

Le tableau 5.6 montre $F = 2.15$ et $\text{sig.} = 0,151$ alors on parle de deux groupes de variances homogènes, et $p = 0,011 < 0,05$ ce qui justifie une supériorité du groupe expérimental sur le groupe témoin.

Tableau 5.6 Independent Samples Test										
F		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
Note-post	Equal variances assumed	2.115	.151	-2.63	56	.011	-2.61667	.99238	-4.604	-.6287

Pour évaluer cette supériorité, la taille de l'effet calculée dans le tableau indique $d = 0,69$ pour le post-test et montre que le groupe expérimental possède un résultat supérieur au groupe témoin, avec un effet moyen à fort. Le gain normalisé de Hake, avec un coefficient de 0,570, conforte cette assertion avec plus d'évidence:

le gain $g = -0,210$ du groupe témoin (GT) atteste de la difficulté du contenu traité sans l'aide d'un algorithme. Le groupe expérimental (GE), quant à lui, progresse véritablement par rapport à son niveau initial. La taille d'effet forte ($d = 1,05$) impose le rejet de l'hypothèse H_0 pour l'hypothèse H_1 avec un haut degré de certitude.

Tableau 5.6 Comparaison inter-groupes au post-test et gain normalisé de Hake					
Groupe	M post	ET post	Gain g	t (56)	d
GT	11,13	4,09	-0,210	-2,637; $p = 0,011$	0,69
GE	13,75	3,41	+0,128	-3,998; $p < 0,001$	1,05

5.2 Résultats de motivation

Le questionnaire de motivation n'a été administré qu'au groupe expérimental à la fin de l'expérimentation ($n=28$). La fidélité du questionnaire, mesurée par l'alpha de Cronbach, se révèle convenable aux trois axes du modèle de Viau. Le tableau 5.6 indique 0,874 pour l'axe de valeur, 0,968 pour l'axe de compétence et 0,938 pour l'axe de contrôlabilité. Les trois valeurs dépassent largement le seuil des 0,70 (George & Mallery, 2003), ce qui confirme la pertinence de cet instrument pour mesurer les trois dimensions de la dynamique motivationnelle.

Tableau 5.6 Cohérence interne		
Axe Viau	Nombre d'items	Alpha de Cronbach
Valeur	5	0,874
Compétence	5	0,968
Contrôlabilité	5	0,938

La tableau 5.7 indique la distribution des réponses et le pourcentage pour les questions de l'axe Valeur (perception de l'utilité et de l'intérêt de l'activité). Les résultats montrent que 62,3 % des élèves du GE se situent aux niveaux «Bon» ou «Très Bon», pour ce qui est de la perception de la valeur, signifiant que la majorité des élèves perçoivent l'activité Python comme utile et intéressante.

Tableau 5.7

Distribution des réponses: Item exploratoire (Perception de l'utilité de Python)

Niveau	Effectif	Pourcentage valide
Faible	6	10,3 %
Moyen	17	29,3 %
Bon	14	24,1 %
Très Bon	21	36,2 %

La tableau 5.8 indique la distribution des réponses et le pourcentage pour les questions des deux axes Compétence / Contrôlabilité (résultat global des deux dimensions associées). Les résultats montrent que 58,6% des élèves du GE se situent aux niveaux «Élevé» ou «Très Élevé», ce qui atteste que l'introduction de Python accroît le sentiment de

compétence et d'autonomie pour la majorité des élèves. Ces résultats, cumulés aux coefficients alpha élevés, permettent d'affirmer l'hypothèse H2, selon laquelle les élèves du groupe expérimental se caractérisent par un profil motivationnel positif envers les mathématiques et Python à l'issue de l'enseignement intégrant Python.

Tableau 5.8

Distribution des réponses: Item exploratoire (engagement envers Python)

Niveau	Effectif	Pourcentage valide
Très Faible	8	13,8 %
Faible	5	8,6 %
Moyen	11	19,0 %
Élevé	20	34,5 %
Très élevé	14	24,1 %

VI. Discussion

6.1 La performance au regard de Duval (1993)

La confirmation d'H1, avec une taille d'effet forte ($d=1,05$ sur le gain normalisé) témoigne du caractère médiateur de l'algorithme introduit par Python, susceptible d'aider les acteurs à mieux opérer les conversions entre registres du produit scalaire. En codant le calcul algébrique, la norme d'un

vecteur et la détection d'orthogonalité, les élèves du GE se trouvent, pour leur part, contraints de formaliser chaque représentation articulée aux autres. Ce type de traduction explicite correspond précisément à ce type d'effort entre registres que Duval (2006) installe en compréhension mathématique.

Le gain négatif dans le GT ($g = -0,210$) mérite plus d'attention dans la mesure où l'enseignement traditionnel

du produit scalaire en première au lycée ne se montre guère efficace pour cette population d'Akkar, indépendamment de toute innovation numérique, fournissant ainsi un argument supplémentaire à la pédagogie innovante mise à l'épreuve dans la présente recherche.

6.2 La motivation au regard de Viau (2009)

Bien qu'administré alors que le GT n'est pas encore en place, le profil motivationnel du GE est utile pour connaître la nature des effets motivationnels de Python. La dimension « Valeur » est la plus fortement représentée en niveaux élevés (60,3 % de « Bon » ou « Très Bon »), ce qui indique que Python a rendu les mathématiques plus concrètes et plus signifiantes aux yeux des élèves, elles peuvent donner un sens à ce qu'ils font. La dimension « Compétence / Contrôlabilité » (58,6 % en niveaux élevés) s'explique par la qualité de feedback immédiat que procure le code: l'environnement Python sait instantanément si l'on a trouvé la bonne solution, ce qui renforce le sentiment de maîtrise et d'autonomie dans l'exploration. Il convient toutefois de préciser que la prudence doit prévaloir dans l'attribution causale; faute de groupe témoin et de mesure préalable (pré-test) pour la

motivation, on ne peut pas exclure que d'autres paramètres, comme l'effet de nouveauté, la dynamique de groupe, l'enthousiasme lié à un changement de routine, aient contribué au profil positif trouvé. Des études futures incorporant un pré-test motivationnel et un groupe témoin viendraient préciser les effets de Python.

6.3 Portée et limites

À notre connaissance, il s'agit de la première étude empirique, avec un groupe témoin, portant sur l'effet de Python sur une notion de géométrie vectorielle au secondaire libanais. Cette recherche constitue une réponse immédiate à chacune des trois lacunes identifiées (L1-L3). Ses limites reposent sur la taille de l'échantillon (n=58), le terrain unique (un lycée d'Akkar), la faible durée de l'initiation à Python (2×90 min), et l'absence de mesure motivationnelle pré-test et de groupe témoin pour H2. Mais ce sont autant de pistes ouvertes à d'éventuelles recherches plus larges à venir.

VII. Conclusion

Cette étude est la première recherche quasi-expérimentale qui examine l'effet de Python dans l'apprentissage du produit scalaire en enseignement secondaire libanais. Elle contribue théoriquement et méthodologiquement, en

validant conjointement la pertinence du cadre de Duval 1993 pour analyser la performance grâce à la conversion entre registres et celle du modèle de Viau 2009, à des fins d'analyse de profil motivationnel en contexte de programmation mathématique. L'hypothèse H1 est validée avec une taille d'effet forte ($d = 1,05$): l'intégration de Python améliore significativement le progrès des élèves dans la maîtrise du produit scalaire.

L'hypothèse H2 est confirmée grâce à la mesure du profil motiva-

tionnel du groupe expérimental, qui se révèle positif (60,3 % de niveaux élevés sur la valeur; 58,6 % sur la compétence et la contrôlabilité), à partir d'un questionnaire dont la fiabilité se révèle excellente (α de 0,874 à 0,968).

Ces résultats ouvrent des pistes concrètes pour une éventuelle révision de l'intégration de la programmation dans le programme CRDP libanais et pour l'appui apporté aux enseignants de la région d'Akkar dans un enseignement du produit scalaire plus abordable et plus porteur de sens.

Références: par ordre alphabétique des noms d'auteurs

- 1-Balanskat, A., & Engelhardt, K. (2015). *Computing our future: Computer programming and coding — Priorities, school curricula and initiatives across Europe*. European Schoolnet.
- 2-Boye, A., & Berthelot-Lepage, M. (2023). *Histoires de vecteurs et de produit scalaire*. Presses universitaires de Franche-Comté. <https://doi.org/10.4000/books.pufc.52416>
- 3-Chaik, A., Laatar, M., Bouanfif, D., & Abid, M. (2025). Identification des difficultés de modélisation mathématique: cas du produit scalaire. *European Journal of Education Studies*, 12(12). <https://doi.org/10.46827/ejes.v12i12.6340>
- 4-Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37–65.
- 5-Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1–2), 103–131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- 6-George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference* (4th ed.). Allyn & Bacon.
- 7-Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- 8-OCDE. (2015). *Les élèves, les ordinateurs et l'apprentissage: faire la connexion* [Students, computers and learning: Making the connection]. Éditions OCDE. <https://doi.org/10.1787/9789264239555-en>
- 9-OCDE. (2018). *Le futur de l'éducation et des compétences: Projet Éducation 2030*. Éditions OCDE. <https://doi.org/10.1787/82baabcc-fr>
- 10-Odell, B., Cutumisu, M., & Gierl, M. (2020). A scoping review of the relationship between students' ICT and performance in mathematics and science in the PISA data. *Social Psychology of Education*, 23(6), 1449–1481. <https://doi.org/10.1007/s11218-020-09591-x>
- 11-Polit, D. F., Beck, C. T., & Owen, S. V. (2007). Is the CVI an acceptable indicator of content validity? Appraisal and recommendations. *Research in Nursing & Health*, 30(4), 459–467. <https://doi.org/10.1002/nur.20199>
- 12-Python Software Foundation. (2023). *Python language reference* (version 3.11). <https://docs.python.org/3/>
- 13-Rais, D., & Xuezhi, Z. (2024). Elevating student engagement and academic performance: A quantitative analysis of Python programming integration in the Merdeka Belajar curriculum. *Journal on Mathematics Education*, 15(2), 495–516. <https://doi.org/10.22342/jme.v15i2.pp495-516>
- 14-Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum.
- 15-Seebut, S., Wongason, P., Kim, D., Putjuso, T., & Boonpok, C. (2022). Python-based simulations of the probabilistic behavior of random events for secondary school students. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(9), em2149. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12309>



- 16-Shim, K., & Shim, S. (2018). Development of teaching method of mathematics subject with Python coding: Focusing on the content of 'prime decomposition' in the middle school mathematics subject of 2015 revised curriculum. *Gyoyungnyeongu*, 73, 43–64. <https://doi.org/10.17253/swueri.2018.73..003>
- 17-UNESCO. (2021). *Repenser nos futurs ensemble: un nouveau contrat social pour l'éducation* [Reimagining our futures together: A new social contract for education]. UNESCO.
- 18-Viau, R. (2009). *La motivation à apprendre en milieu scolaire*. ERPI.
- 19-Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- 20-Zhang, R., Li, S., & Zhang, Q. (2026). Fostering students' computational thinking and mathematical learning through a Scratch-based probability module. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/s11423-026-10599-x>

