
DÉPLACEMENT DU CORPS ET CONCEPTUALISATION GÉOMÉTRIQUE AU CYCLE 3 : IMPACT DU DISPOSITIF *LEARN-O*

Arnaud SIMARD¹

INSPÉ de l'Université de Franche-Comté
Laboratoire de Mathématiques de Besançon, UFR-EDUC
IREM de Besançon, COPIRELEM

Résumé. Un groupe de 61 élèves de cycle 3 (10 ans) a suivi une séquence de quatre séances de mathématiques en mouvement basée sur le concept *Learn-O* durant une année scolaire. Les progrès de ces élèves ont été mesurés par un plan expérimental pré-test/post-test et comparés aux progrès de 93 élèves d'un groupe contrôle. L'originalité de cette comparaison se situe dans le questionnaire proposé aux élèves. En effet, les mesures sont effectuées non seulement sur les notions travaillées expérimentalement (TE), mais également sur d'autres aspects géométriques non travaillés expérimentalement (NTE). L'analyse des données montre que les groupes expérimental et témoin ne sont pas significativement différents en termes de progrès concernant les notions géométriques NTE, mais que le groupe expérimental a nettement plus progressé que le groupe contrôle concernant les notions géométriques TE.

Mots-clés. Mouvement, kinesthésie, *Learn-O*, géométrie, aire, périmètre.

Introduction et références théoriques

La note n° 6 de février 2022 du Conseil Scientifique de l'Éducation Nationale (CSEN) porte sur « Activité physique, fonctionnement cognitif et performances scolaires ». L'intérêt de cette méta-analyse est de regrouper l'ensemble des résultats scientifiques connus concernant l'influence de l'activité physique sur le fonctionnement cognitif et les performances scolaires. La conclusion de cette note est la suivante :

Les preuves basées sur les études de haute qualité méthodologique ne montrent pas d'effet global des interventions d'activité physique sur l'ensemble des fonctions cognitives et des résultats scolaires. Cependant, le niveau de preuve soutenant un effet bénéfique de l'activité physique sur la performance en mathématiques est solide. Par ailleurs, les activités physiques les plus exigeantes sur le plan cognitif semblent avoir un effet bénéfique renforcé (CSEN, 2022, p. 1).

Les recherches en psychologie cognitive sur la cognition incarnée (*embodiment*) suggèrent que les expériences sensori-motrices influencent la manière de penser et l'abstraction :

Cette théorie (cognition incarnée) trouve une validation empirique dans des recherches comportementales et en neuro-imagerie qui montrent que les systèmes cognitif et sensorimoteur sont intimement liés et que l'interaction entre le corps et l'environnement favorise les apprentissages dans des domaines variés tels que la lecture, l'arithmétique, le langage, la résolution de problèmes (Bara & Tricot, 2017, p. 6).

Mais ces recherches mettent également en garde contre la surcharge cognitive potentielle que peuvent engendrer des situations trop incarnées : « *agir plus ne correspond pas forcément à apprendre plus* » (Bara & Tricot, 2017, p. 28).

Ces recherches conduisent à une vision plus modérée des effets d'un apprentissage incarné et tendent à minimiser l'intérêt de manipulations réelles et virtuelles de l'environnement d'apprentissage. Si les activités perceptives et motrices apportent de la richesse aux

¹ arnaud.simard@univ_fcomte.fr

apprentissages, elles peuvent également provoquer une surcharge cognitive qui va venir détériorer les performances (Bara & Tricot, 2017, p. 7).

Des recherches ont été menées sur la relation entre cognition incarnée et représentations spatiales (Dutriaux & Gyselink, 2017 pour une revue de questions). Dans cet article, les auteurs notent que :

[...] un nombre conséquent de recherches a montré que l'exploration d'un environnement en marchant est plus efficace pour son apprentissage qu'une exploration passive, et que cet effet est dû aux informations motrices, vestibulaires et proprioceptives plutôt qu'à un effet attentionnel (Dutriaux & Gyselink, 2017, p. 447).

Cette étude n'est pas centrée sur l'apprentissage de notions mathématiques, mais ses conclusions corroborent le sentiment d'impact positif de l'engagement du corps dans la conceptualisation de notions géométriques spatiales.

Si l'activité physique a une influence positive sur la performance en mathématiques et que les expériences sensori-motrices ont un impact positif sur l'abstraction, il paraît naturel de supposer qu'une activité motrice orientée sur les mathématiques aura un impact fort sur les performances mathématiques. C'est cette hypothèse que nous allons tenter de mesurer en nous focalisant sur une notion mathématique particulière (aire-périmètre) avec des élèves de CM2 (10 ans) et grâce à un dispositif qui lie mouvement du corps et mathématiques (décrit dans les parties suivantes).

Les mathématiques sont fondamentalement théoriques, mais la manipulation semble être une porte d'entrée, encore faut-il que cette manipulation soit réfléchie et contrainte (Briand, 2007, 2021). Dans l'approche proposée, la manipulation et l'utilisation du corps en mouvement se veulent un vecteur de développement d'images mentales, c'est-à-dire un point d'accroche pour l'abstraction. L'apprentissage scolaire des mathématiques passe par des phases de répétition afin d'acquérir des automatismes et de rendre mobilisables, sans coût cognitif, certaines pratiques. Le jeu est sans doute un moyen de rendre ces phases attrayantes pour les élèves car il amoindrit le coût de l'erreur, il motive et agit sur la persévérance (Pelay, 2011 ; Esseyric *et al.*, 2012 ; Aberkane, 2017 ; Villani & Torossian, 2018).

La géométrie se prête particulièrement bien à une approche kinesthésique de l'apprentissage de par sa fonction de mesure de la terre (« géo - métrie »). En outre, pour Duval (1995, 2005),

convertir les représentations produites dans un système en représentations d'un autre système, de telle façon que ces dernières permettent d'expliciter d'autres significations relatives à ce qui est représenté (Duval, 1995, 2005).

joue un rôle essentiel dans la conceptualisation. Il est donc primordial de mettre les élèves en situation de pouvoir jouer sur différentes représentations des concepts dans des contextes variés et de faire dialoguer ces différentes représentations. En géométrie à l'école, différents environnements géométriques (Petitfour, 2015) co-existent et génèrent des représentations différentes qui s'enrichissent mutuellement. Les plus classiques sont l'environnement papier-crayon, la manipulation d'objets 2D ou 3D, la géométrie dynamique et la géométrie algorithmique (dont *Scratch*² est un exemple). L'étude présentée dans cet article donne à voir la plus-value de l'environnement « immersif et collaboratif » (Simard *et al.*, 2021) en complément des environnements classiques. Dès 1983, Brousseau (1983) définit les notions de micro-espace (« l'espace des interactions liées à la manipulation des petits objets »), de méso-espace (« l'espace des déplacements du sujet dans un domaine contrôlé par la vue, les objets sont fixes et mesurent entre 0,5 et 50 fois la taille du sujet ») et de macro-espace (« l'espace de la ville »).

² Logiciel de programmation par blocs utilisé en France dès l'école primaire. <https://scratch.mit.edu/>

L'environnement de géométrie immersive et collaborative met l'élève en activité motrice (déplacement) dans le méso-espace. Ce changement d'échelle induit des prises d'initiatives individuelles pour changer de registre et des écrits intermédiaires pour garder la mémoire des travaux. Le dispositif que nous allons présenter place les élèves dans un réseau pointé du méso-espace où ils doivent se déplacer physiquement pour résoudre des problèmes géométriques. Dans cette activité, l'incarnation de la géométrie a pour but de développer des images mentales et de les rendre mobilisables chez les élèves (on s'affranchit ici de la précision des tracés géométriques pour se centrer sur la pensée géométrique). C'est le principe « bottom-up/top-down » développé en psychologie cognitive concernant le processus de traitement cognitif de l'information. Le travail sensori-moteur de l'élève développe des représentations mentales (principe « bottom-up »). Ce travail de synthèse de l'information génère des stratégies abstraites que l'élève utilise alors pour améliorer sa pratique (principe « top-down »). La liberté d'interaction entre pairs génère des discours entre élèves et des gestes explicatifs, qui sont autant de signes porteurs de sens qui sont théorisés par Bartolini-Bussi et Mariotti (2008) dans la théorie de la médiation sémiotique.

1. Méthode de l'étude

1.1. Plan expérimental

Pendant l'année scolaire 2021-2022, une classe de CM2 a servi de laboratoire d'essai pour vérifier la faisabilité de l'expérimentation. Un questionnaire (pré-test) composé de 6 exercices regroupant 11 items a été donné aux élèves en octobre 2021. Les élèves ont été exposés à une séquence didactique regroupant quatre séances, d'environ une heure, réparties sur l'année scolaire (novembre 2021, janvier 2022, mars 2022, mai 2022). En juin 2022, les élèves ont de nouveau été testés sur le même questionnaire (post-test) que celui proposé en octobre 2021. Les items des deux questionnaires ont été corrigés de manière binaire (« 0 » pour échec ou non réponse et « 1 » pour réussite, quelle que soit la procédure utilisée). La réalisation effective et réussie de cette expérimentation a motivé une étude renouvelée en 2022-2023 sur un panel élargi, avec constitution d'un groupe contrôle. Ainsi, sur l'année scolaire 2022-2023, deux autres classes de CM2 ont bénéficié de l'expérimentation pré-test en octobre 2022/séquence didactique/post-test en juin 2023 pour créer un groupe expérimental regroupant 61 élèves. Un groupe contrôle a été formé par six autres classes de CM2 totalisant un effectif de 93 élèves. Les classes du groupe contrôle ont été sollicitées uniquement pour passer le pré-test (octobre 2022) et le post-test (juin 2023) dans les mêmes conditions que le groupe expérimental. Ces classes ont par ailleurs été exposées à toutes les notions qui font l'objet du questionnaire selon les progressions des enseignants basées sur les programmes officiels. Seules les réponses des élèves ayant participé aux deux tests ont été prises en compte, tout comme seuls les élèves ayant été exposés aux quatre séances expérimentales ont été pris en compte. Les écoles retenues pour constituer le groupe contrôle ressemblent (au sens du *Zonage en Aires Urbaines*³ de l'INSEE), autant que faire se peut, aux écoles du groupe expérimental : écoles rurales ou de périphérie d'un pôle urbain, une seule classe par niveau scolaire.

³ Depuis octobre 2011, le zonage en aires urbaines de 2010 permet d'obtenir une vision des aires d'influences des villes [...] sur le territoire. Il partage le territoire en quatre grands types d'espaces : espace des grandes aires urbaines, espace des autres aires, autres communes multipolarisées et communes isolées, hors influence des pôles. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1435>

1.2. Questionnaire

Le questionnaire du pré-test est le même que celui du post-test avec les mêmes consignes de passation (annexes 1 et 2).

Les six exercices proposés n'ont pas vocation à poser de difficulté autre que la notion mathématique en jeu, ils peuvent être considérés comme des exercices d'application.

Lors de la séquence didactique qui est le cœur de l'expérimentation, certaines notions sont spécifiquement travaillées (symétrie sur réseau pointé, aire-périmètre, déplacement sur réseau pointé), d'autres ne le sont pas (vocabulaire, tracé aux instruments, programme de construction, algorithmes). L'originalité du plan expérimental en découle. Le pré-test/post-test porte sur des notions travaillées expérimentalement (notées TE) et sur des notions non-travaillées expérimentalement (notées NTE).

Exercice 1 : (item 1 TE) Tracé du symétrique d'une figure sur réseau quadrillé, axe vertical, figure dont les sommets sont des nœuds du quadrillage, figure non intersectée avec l'axe, l'axe est axe de symétrie du quadrillage.

Exercice 2 : (item 2 TE) Tracé du symétrique d'une figure sur réseau pointé, axe horizontal, figure dont les sommets sont des points du réseau, figure non intersectée avec l'axe, l'axe est axe de symétrie du réseau.

Pour ces deux exercices, les procédures attendues sont les mêmes : l'élève peut relier point à point les symétriques des différents sommets de la figure. Cette procédure sera travaillée expérimentalement pendant la phase didactique alors que le terme « symétrique » ne sera pas forcément employé. La précision et le soin des tracés ne sont pas pris en compte pour l'évaluation.

Exercice 3 : (items 3, 4, 5) Aire et périmètre sur un papier quadrillé qui donne les unités de mesures de longueur et d'aire. Deux figures A (périmètre 6 côtés et 2 diagonales, aire 5 carrés) et B (périmètre 10 côtés, aire 4 carrés) sont données.

- (item 3 TE) : Construction d'une figure de même périmètre que la figure A, mais de forme différente.
- (item 4 TE) : Construction d'une figure de même aire que la figure B, mais de forme différente.
- (item 5 TE) : Construction d'une figure de même périmètre que la figure A et même aire que la figure B.

Cet exercice est certainement le plus délicat pour les élèves de CM2 car la solution n'est pas unique (plusieurs figures répondent aux consignes) et qu'il nécessite de prendre des initiatives (essais-erreurs). Les élèves doivent savoir calculer le périmètre et l'aire d'une figure (quand l'unité est donnée), mais ils doivent également être capables de construire une figure à périmètre (ou aire) donnée. Il met en défaut les élèves dont la seule approche de la notion de périmètre ou d'aire est une formule (le périmètre du rectangle est « 2 fois la somme de la largeur et de la longueur », l'aire du rectangle est « longueur fois largeur »). L'item 5 est complexe car il demande la construction d'une figure dont l'aire et le périmètre sont donnés. Lors de la phase didactique de l'étude, on prendra le temps de construire l'unité de longueur (entre deux plots alignés « horizontalement » ou « verticalement ») ainsi que l'unité d'aire (celle du carré de base du quadrillage) ; les notions de périmètre et d'aire seront travaillées expérimentalement.

Exercice 4 : (items 6 et 7) Deux droites D_1 et D_2 sont données sur une feuille quadrillée. Les deux droites sont sécantes et passent chacune par des nœuds du quadrillage.

- (item 6 NTE) Tracé d'une droite parallèle à D_1 .
- (item 7 NTE) Tracé d'une droite perpendiculaire à D_2 .

La confusion « parallèle/perpendiculaire », qui est une question de vocabulaire, est abordée dans cet exercice. Ce vocabulaire ne sera pas abordé lors de la phase didactique. L'élève peut utiliser les nœuds du quadrillage pour réaliser des tracés exacts ou utiliser sa règle de façon perceptive pour placer des droites qui répondent « visuellement » aux attentes (le test porte sur le vocabulaire et l'image mentale afférente). Ces items n'ont pas une réponse unique.

Exercice 5 : (items 8 et 9) Programme de construction sur réseau pointé. Un segment (« oblique ») $[AB]$ qui relie deux points du réseau est donné.

- (item 8 NTE) Placement des points C et D pour que $ABCD$ soit un carré.
- (item 9 NTE) Tracé de l'arc de cercle de centre A et d'extrémités B et D .

Il n'y a qu'un seul carré qui répond à l'item 8. L'élève peut utiliser le réseau pointé pour placer les points C et D . Les points A et B sont sur une diagonale d'un rectangle de 3 unités sur 1 unité, si l'élève s'empare de ce fait, alors il lui suffit de reproduire deux fois de suite la même configuration pour obtenir le carré. La position non prototypique du carré ne devrait pas être une difficulté en CM2. L'item 9 est mal formulé car il y a deux arcs de cercle possibles (intérieur ou extérieur au carré). Cet item permet néanmoins d'évaluer les connaissances liées aux notions de cercle, de centre, d'arc de cercle et d'extrémité. La réalisation d'un programme de construction ne sera pas travaillée expérimentalement lors de la phase didactique. Encore une fois, la précision et le soin des tracés ne sont pas évalués.

Exercice 6 : (items 10 et 11) Déplacement algorithmique sur papier quadrillé. Une image (un petit éléphant) est placée dans une case du quadrillage.

- (item 10 TE) Déplacement du petit éléphant selon le programme : $\downarrow \rightarrow \downarrow \downarrow \rightarrow \uparrow$.
- (item 11 NTE) Réalisation du déplacement trois fois de suite.

On suppose, ici, que l'élève comprend implicitement que l'éléphant est considéré comme un jeton à déplacer. L'item 10 évalue la capacité de l'élève à suivre un déplacement codé dans un quadrillage. L'item 11 tente d'aborder la notion de boucle algorithmique de manière implicite. La procédure qui consiste à faire trois fois de suite le déplacement en suivant chaque indication est fastidieuse donc piègeuse. La procédure qui consiste à translater trois fois de suite l'éléphant du même motif (ou « vecteur » pour employer le terme mathématique adéquat) est plus efficace. On peut noter que dans cet exercice, le quadrillage est utilisé pour ses cases alors que dans un tracé géométrique, on utilise les nœuds et les lignes de la grille du quadrillage. Lors de la phase didactique, les élèves seront amenés à réfléchir sur leurs propres déplacements sur les nœuds d'un quadrillage, mais ne réaliseront pas de boucle.

Les tâches mobilisant les notions NTE permettent de vérifier que les groupes expérimental et contrôle progressent de la même manière et par effet de contraste, les tâches mobilisant les notions TE serviront à tester nos hypothèses.

Pour chaque élève testé, nous nous intéressons uniquement à la différence de réussite entre octobre et juin pour focaliser sur le progrès au cours de l'année scolaire. Ce choix fort est assumé pour ne pas prendre en compte les différences de niveaux potentiels des élèves lors du pré-test et faire l'hypothèse que tous les élèves ont la même capacité de progrès. Chacun des 11 items est ainsi noté selon deux modalités :

- « 0 » note l'absence de progrès et regroupe trois cas :
 - le cas octobre 0-juin 0 : l'élève a échoué ou n'a répondu ni lors du pré-test ni lors du post-test ;
 - le cas octobre 1-juin 1 : l'élève a réussi au pré-test et au post-test, on ne peut donc pas conclure à un progrès.
 - le cas « litigieux » octobre 1-juin 0. Pour ce dernier cas, nous avons choisi de privilégier « l'erreur par inadvertance » plutôt que la « réussite par inadvertance » en partant du principe que l'élève ne peut que progresser ou stagner, mais qu'il ne « régresse » pas.
- « 1 » note le progrès et correspond au cas unique octobre 0-juin 1.

Si l'on considère les 11 items, chaque élève reçoit une « note » de progrès entre 0 et 11, somme de ses 11 notes progrès (0 ou 1) pour chacun des items.

2. Descriptif du dispositif *Learn-O*

L'expérimentation est basée sur l'utilisation du dispositif *Learn-O* créé par Thierry Blondeau en 2013. Le nom de ce dispositif est un acronyme qui affiche le terme « *to learn* » (apprendre en anglais) en s'appuyant sur les initiales « L » pour ludique, « E » pour éducatif, « A » pour autonome, « R » pour réflexif, « N » pour neuro ergonomique et « O » pour ouvert.

Le lecteur pourra trouver dans Simard et Blondeau (2016, 2023), Simard, Blondeau *et al.* (2021, 2022), Simard *et al.* (2020, 2023) et Simard (2019, 2021), un descriptif précis de ces termes en lien avec les cadres théoriques sous-jacents ainsi que des expérimentations qui explorent le potentiel de l'outil avec différents publics.

Le dispositif nécessite un espace suffisamment grand pour que l'ensemble des élèves participant puissent se déplacer (marche/course) en même temps (cour d'école, terrain de sport). Le matériel utilisé est conséquent : de 10 à 26 balises électroniques fixées sur des cônes de chantier parfaitement identifiables et plusieurs ordinateurs. La disposition des balises (*cf.* figure 1) dépend de l'activité proposée.



Figure 1 : Exemple d'implantation *Learn-O*.

Chaque balise électronique possède son propre identifiant informatique. L'élève possède un « doigt électronique » (*cf.* figure 2) qui lui permet de biper les balises qu'il choisit en conservant l'identifiant ainsi que l'ordre des balises bipées. L'architecture des cônes sur le terrain est un environnement collectif et collaboratif, le doigt électronique permet un usage individuel de cet espace dans le but de réaliser des tâches personnelles.



Figure 2 : Balises, doigts électroniques.

La plupart des problèmes proposés se présentent sous la forme de petites cartes à jouer (format CB). L'élève choisit une carte de jeu dans la « boîte à pioche » (cf. figure 3 : la liberté de choix est une variable importante pour l'élève). Cette carte contient des informations qu'il faut croiser avec la répartition des balises dans l'espace de jeu pour réaliser un parcours en bipant de manière consécutive sur les balises pour enfin venir vérifier sur un ordinateur si le parcours réalisé (qui correspond à la résolution du problème proposé sur la carte de jeu) est correct ou non (la validation se fait de deux manières :



Figure 3 : La « pioche » engage l'élève.

écran vert « c'est bon », écran rouge « il y a une erreur » ou alors par comparaison entre le parcours attendu et le parcours réalisé).

L'élève peut prendre le temps de comprendre son erreur (indications à l'écran et discussion entre pairs). Il peut alors choisir entre recommencer son parcours ou changer de problème.

Toutes les activités *Learn-O* proposées sont fondées sur le déplacement du corps dans l'espace et peuvent être reliées à la lecture/compréhension ou à la création d'un plan (mental ou concret). Lors du bilan d'une séance, les élèves sont amenés à s'exprimer sur les stratégies qu'ils ont adoptées. Ceci permet de rendre explicites les apports de la mémorisation, de la localisation et du repérage qui sont au cœur de chacune des activités proposées.

3. La séquence didactique

La séquence imaginée consiste en quatre séances réparties précisément sur l'année scolaire (novembre/janvier/mars/mai) et d'une durée d'environ une heure chacune.

Séance 1 : Première rencontre avec le dispositif Learn-O dans un schéma 10 balises

Le principal enjeu d'apprentissage de cette séance est le déplacement selon un chemin dans un maillage de balises en lisant un plan figuratif (cf. figure 4). Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

- découverte et familiarisation avec l'outil (doigt électronique, balises, ordinateurs) ;
- régulation des incompréhensions liées à la rupture de contrat didactique (autonomie, déplacement, communication, auto-validation) ;
- divers jeux de mémorisation et de localisation (enchaîner 3, 5 ou 10 balises dans le bon ordre avec ou sans visuel sur les balises pour mémoriser les emplacements) ;

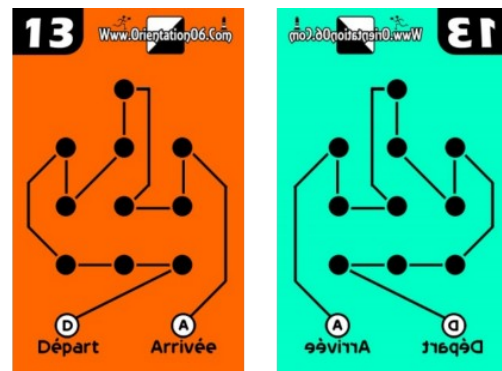


Figure 4 : Exemples de cartes de déplacement « normal » et « en miroir ».

- jeux de déplacement sur un chemin, lecture de plan (la figure 4 montre deux types de plans : un chemin sur plan « normal » et le même chemin sur plan « en miroir », ces deux cartes sont symétriques l'une de l'autre).

Les élèves sont amenés à travailler sur réseaux pointés (mise en relation entre carte et terrain). Les points des réseaux sont les nœuds de quadrillages sous-jacents. Ce travail participe de la familiarisation des élèves avec ces supports. Le test (cf. annexe 1) ne propose que des exercices formulés sur quadrillages ou réseaux pointés.

Séance 2 : Géométrie immersive et collaborative dans un schéma 25 balises

Dans ce dispositif, les cônes sont placés en quadrillage 5 par 5. Les cartes de jeux sont remplacées par des géoplans (« planche à clous 5 par 5 »). Le géoplan devient le fond de carte qui représente la répartition des cônes.

Un élastique est placé sur le géoplan, le joueur doit suivre le parcours défini par l'élastique en bipant sur les balises qui en structurent le contour et se rendre à l'ordinateur pour valider par lui-même en comparant le géoplan physique avec la représentation à l'écran du tracé réalisé sur le terrain (cf. figure 5).



Figure 5 : *Un parcours sur géoplan et la représentation de sa réalisation.*

Hormis le nombre de balises qui augmente passant de 10 à 25, l'évolution entre les exemples donnés en figure 4 et en figure 5 réside dans l'absence d'orientation absolue du plan : l'élève doit choisir une orientation et s'y tenir (dans la version 10 balises, le départ et l'arrivée sont pointés ainsi que la dixième balise qui permet d'avoir une orientation absolue ; ces référents sont absents dans la version 25 balises). La vérification à l'écran implique la compréhension (implicite) de l'invariance d'une figure géométrique à rotation près.

Les objectifs se succèdent :

- utiliser le géoplan comme carte du maillage de balises et réaliser le parcours demandé point par point. L'élastique forme un polygone sur le géoplan, l'élève reproduit cette forme en marchant pour biper sur les balises qui sont les sommets du polygone : il doit décider d'une orientation de son géoplan puis enchaîner les sommets dans un ordre qu'il choisit également (la principale erreur ici est de biper sur chaque sommet sans ordre : un côté de polygone est tracé lorsque l'on bipe sur les extrémités du segment qui le représente) ;
- reconnaissance de figures et auto-évaluation : l'élève a sous les yeux un géoplan physique avec une forme géométrique concrète (élastique), il transforme mentalement cette forme en un parcours qu'il réalise à pied en bipant sur les sommets représentés et enfin il compare la représentation obtenue de son parcours à l'écran avec la forme concrète sur son géoplan ;
- invariance des figures par rotation : lors de la validation, l'élève reconnaît la figure tracée indépendamment de sa position relativement au quadrillage (la position du tracé dépend du choix d'orientation initial de l'élève) ;
- symétrie axiale. Dans un premier temps, les élèves utilisent un géoplan translucide (le retournement du géoplan permet une procédure incarnée de la symétrie axiale). Ensuite, ils sont confrontés au géoplan opaque pour faire évoluer les procédures vers une

construction point par point. Attention, les consignes orales n'utilisent des termes mathématiques que lorsque c'est nécessaire : ici, la consigne peut être : « voici la moitié d'un papillon, fais apparaître à l'écran le papillon en entier » (cf. figure 6).



Figure 6 : « Voici la moitié d'un papillon, fais apparaître à l'écran le papillon en entier ».

La notion de symétrie axiale ainsi que la compétence « construire le symétrique d'une figure par rapport à un axe sur réseau pointé ou quadrillage », travaillés dans cette séance, sont évalués dans les items 1 et 2 du test (cf. annexe 1).

Séance 3 : Aire et périmètre dans un schéma 25 balises

Les cônes sont disposés en un quadrillage 5 par 5. La longueur entre deux balises (sur les bords du quadrillage) est définie comme étant l'unité de longueur. Le logiciel donne pour chaque figure réalisée la mesure de son périmètre (en unité U) et de son aire (en unité au carré U^2). Il devient alors possible de travailler sur les notions d'aire et de périmètre par le biais de défis géométriques (cf. figure 7). Les géoplans physiques sont à disposition ainsi que des feutres effaçables pour chercher en traçant directement sur la carte de jeu.

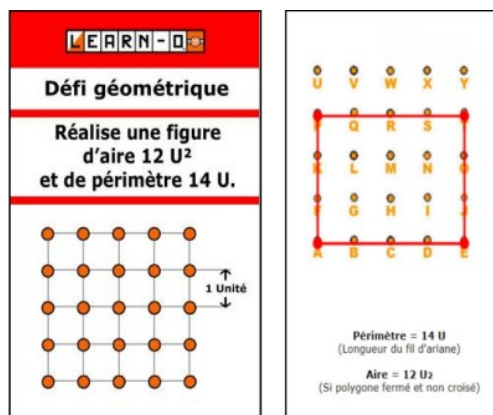


Figure 7 : À gauche, une carte de jeu « défi » et à droite, la copie d'écran d'une solution.

Les notions (aire et périmètre) et les compétences (« réaliser des figures à périmètres et/ou aire donnés ») sont évaluées dans les items 3, 4 et 5 du test (annexe 1).

Séance 4 : Consolidation

Cette séance est dédiée à un retour sur les séances 2 et 3 en maximisant l'investissement de chaque élève par le biais de jeux, de défis individuels ou collectifs, de défis de vitesse ou de mémorisation. Exemples de tâches proposées :

- tracé du symétrique d'une figure sur géoplan par rapport à un axe (diagonale du géoplan) ;
- tracé d'une figure géométrique collective (par groupes de 4, chacun ayant une partie de la figure à réaliser) ;

- défis de rapidité sur la construction d'une figure de périmètre donné, d'aire donnée ou de périmètre et d'aire donnés ;
- défi du « napperon » (Peltier-Barbier, 2003) : un géoplan 5×5 est imprimé sur une feuille A4. Devant l'élève, l'enseignant plie deux fois de suite la feuille A4 selon les axes médians. Il découpe une forme géométrique sur la page pliée en 4. L'élève doit biper sur les balises qui formeront la figure qui apparaîtra une fois la feuille dépliée (deux symétries axiales successives). La validation se fait devant l'écran en dépliant la feuille.

4. Les résultats statistiques

Les items testés permettent d'obtenir des réponses statistiques à plusieurs questions. Pour réaliser ces tests statistiques, nous employons le logiciel *JASP*⁴ (logiciel libre et open-source). Nous noterons GE pour Groupe Expérimental et GC pour Groupe Contrôle.

Nous ferons le choix du test de Student pour les différentes comparaisons statistiques qui suivent. Les hypothèses de normalité des variables sont assumées dans la population dont sont extraits les échantillons proposés à l'étude et sont compensées par la taille des échantillons (supérieure à 30). Les deux échantillons (expérimental et contrôle) sont indépendants et sont de tailles différentes (groupe expérimental : 61, groupe contrôle : 93). Nous utiliserons donc principalement un test T de Student à $93+61-2=152$ ddl. Les conditions d'application de ce test sont vérifiées. D'une part, les deux échantillons ont un effectif supérieur à 30. D'autre part, un test de Levene sera toujours pratiqué pour vérifier que les échantillons proviennent de populations homogènes (variances non significativement différentes). Nous dirons que le test est significatif lorsque l'erreur potentielle est à moins de 5 % ($p<0.05$).

Les groupes contrôle et expérimental seront comparés sur leur progrès au cours de l'année écoulée. Nous faisons l'hypothèse que ce choix nous permet de ne pas prendre en compte les différences de résultats lors du pré-test. Pour information, les résultats de chaque groupe au pré-test et post-test sont donnés dans les diagrammes en figure 8 pour avoir une vue d'ensemble.

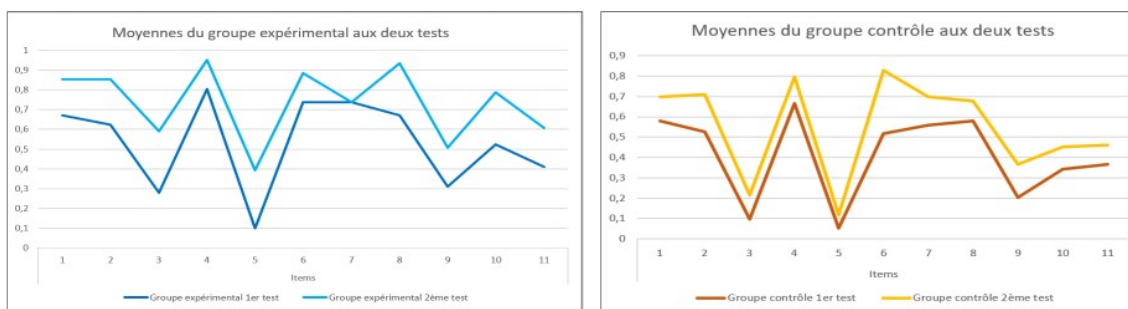


Figure 8 : Résultats aux pré-test et post-test pour chaque groupe.

4.1. Statistiques de référence de progrès scolaires sur l'année

Dans un premier temps, nous vérifions que les deux groupes ont significativement progressé durant l'année scolaire sur l'ensemble des items. Pour chaque groupe, nous réalisons une comparaison de moyennes (la moyenne après l'année scolaire par rapport à la moyenne avant l'année scolaire, notée « Après versus Avant ») en corrigeant les données du post-test selon les

⁴ <https://jasp-stats.org/>

mêmes règles que celles énoncées dans la méthode de l'étude (le résultat d'un item du post-test est mis à 1 lorsque le résultat au même item était 1 au pré-test).

Les deux tests suivants (cf. figures 9 et 10) sont des tests de Student de comparaison de moyennes sur échantillons appariés (mêmes élèves avant et après l'année scolaire).

Le test unilatéral (cf. figure 9) réalisé sur les résultats aux 11 items avec l'année scolaire écoulée (avant/après) comme facteur intra-sujets montre que la moyenne des scores est significativement meilleure après l'année scolaire ($M=8,83$) par rapport au début de l'année scolaire ($M=5,86$) avec $t(60)=12.632$ et $p<0.001$ pour le groupe expérimental (GE).

Paired Samples T-Test

Paired Samples T-Test					
Measure 1		Measure 2	t	df	p
après	-	avant	12.632	60	< .001

Note. For all tests, the alternative hypothesis specifies that après is greater than avant.

Note. Student's t-test.

Figure 9 : Test unilatéral de comparaison de moyennes « Après versus Avant » pour GE.

Le test unilatéral (cf. figure 10) réalisé sur les résultats aux 11 items avec l'année scolaire écoulée (avant/après) comme facteur intra-sujets montre que la moyenne des scores est significativement meilleure après l'année scolaire ($M=7,06$) par rapport au début de l'année scolaire ($M=4,49$) avec $t(92)=16,530$ et $p<0.001$ pour le groupe contrôle (GC).

Paired Samples T-Test

Paired Samples T-Test					
Measure 1		Measure 2	t	df	p
après	-	avant	16.530	92	< .001

Note. For all tests, the alternative hypothesis specifies that après is greater than avant.

Note. Student's t-test.

Figure 10 : Test unilatéral de comparaison de moyennes « Après versus Avant » pour GC.

La conclusion de ce double test est rassurante, les élèves des groupes expérimental et contrôle ont progressé (significativement) pendant leur année scolaire.

4.2. Statistiques sur l'ensemble des items

On considère tous les items de l'expérimentation (de 1 à 11) et on cherche à comparer la moyenne des progrès du groupe expérimental *versus* la moyenne des progrès du groupe contrôle (noté GE *versus* GC).

Statistiques à étudier :

- hypothèse nulle (H_0) : les deux groupes ont une même moyenne de progrès pour l'ensemble des items ;
- hypothèse alternative (H_1) : les deux groupes ont des moyennes de progrès différentes pour l'ensemble des items.

Le test de Levene (*cf.* figure 11) n'est pas significatif ($p=0.207$), il permet ainsi de s'assurer de la condition d'homogénéité des variances dans les échantillons.

Un test bilatéral (*cf.* figure 11) a été effectué sur les progrès moyens des élèves avec exposition à la séquence didactique *Learn-O* (expérimental *versus* contrôle) comme facteur inter-sujets. Le test montre que le niveau moyen de progrès n'est pas significativement différent entre les deux groupes expérimental et contrôle avec $t(152)=1.417$ et $p=0.158$.

Independent Samples T-Test

Independent Samples T-Test

	t	df	p
résultats progrès	1.417	152	0.158

Note. Student's t-test.

Assumption Checks

Test of Equality of Variances (Levene's)

	F	df ₁	df ₂	p
résultats progrès	1.604	1	152	0.207

Figure 11 : Test bilatéral de comparaison des progrès GE versus GC pour l'ensemble des items.

On ne peut pas conclure que la séquence didactique ait produit un effet significatif sur la moyenne des progrès concernant les 11 items testés.

4.3. Statistiques sur les items représentatifs des notions travaillées expérimentalement (TE)

On considère maintenant les items 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 et 10 représentatifs des notions travaillées expérimentalement (TE) et on cherche à comparer la moyenne des progrès du groupe expérimental *versus* la moyenne des progrès du groupe contrôle sur ces items.

Statistiques à étudier :

- hypothèse nulle (H_0) : les deux groupes ont une même moyenne de progrès aux items 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 et 10 ;
- hypothèse alternative (H_1) : les deux groupes ont des moyennes de progrès différentes aux items 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 et 10.

Le test de Levene (*cf.* figure 12) n'est pas significatif, les deux échantillons proviennent de populations dont on ne peut pas dire que les variances soient statistiquement différentes. Un test bilatéral (*cf.* figure 12) a été effectué sur les progrès moyens des élèves avec exposition à la séquence didactique (expérimental *versus* contrôle) comme facteur inter-sujets. Le test montre que le niveau moyen de progrès est significativement différent entre les deux groupes expérimental et contrôle avec $t(152)=3.103$ et $p=0.002$.

Independent Samples T-Test

Independent Samples T-Test

	t	df	p
résultats progrès	3.103	152	0.002

Note: Student's t-test.

Assumption Checks

Test of Equality of Variances (Levene's)

	F	df ₁	df ₂	p
résultats progrès	1.617	1	152	0.205

Figure 12 : Test bilatéral de comparaison des progrès GE versus GC pour les items 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 et 10.

Le test unilatéral correspondant (*cf.* figure 13) confirme que les élèves du groupe expérimental ont une moyenne de progrès ($M=1,80$) significativement supérieure à la moyenne des progrès des élèves du groupe contrôle ($M=1,19$) avec $t(152)=3.103$ et $p=0.001$.

Le groupe expérimental a progressé significativement plus que le groupe contrôle lors de l'année scolaire écoulée sur les items travaillés expérimentalement lors de la phase didactique. La conclusion de ce test est donc probante pour la séquence didactique menée (en supposant que nous ayons suffisamment pris garde aux nombreux biais que peut comporter une telle étude). Cette conclusion pourrait être le cœur de l'article, mais nous nous proposons de regarder plus précisément certains résultats.

Independent Samples T-Test			
Independent Samples T-Test			
	t	df	p
résultats progrès	3.103	152	0.001
Note. For all tests, the alternative hypothesis specifies that group expérimental is greater than group contrôle .			
Note. Student's t-test.			

Figure 13 : Test unilatéral de comparaison des progrès GE versus GC pour les items 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 et 10.

Par complémentarité, nous pouvons également regarder les items 6 ; 7 ; 8 ; 9 et 11 représentatifs des notions non travaillées expérimentalement (NTE). On cherche à comparer la moyenne des progrès du groupe expérimental *versus* la moyenne des progrès du groupe contrôle sur ces items.

Statistiques à étudier :

- hypothèse nulle (H0) : les deux groupes ont une même moyenne de progrès aux items 6 ; 7 ; 8 ; 9 et 11 ;
- hypothèse alternative (H1) : les deux groupes ont des moyennes de progrès différentes aux items 6 ; 7 ; 8 ; 9 et 11.

Le test de Levene (*cf.* figure 14) n'est pas significatif, les deux échantillons proviennent de populations dont on ne peut pas dire que les variances soient statistiquement différentes. Un test bilatéral (*cf.* figure 14) a été effectué sur les progrès moyens des élèves avec exposition à la séquence didactique (expérimental *versus* contrôle) comme facteur inter-sujets. Comme attendu, le test montre que le niveau moyen de progrès ne peut pas être considéré comme significativement différent entre les deux groupes expérimental et contrôle avec $t(152) = -1.279$ et $p = 0.203$. On ne peut pas rejeter l'hypothèse H0.

Independent Samples T-Test

Independent Samples T-Test			
	t	df	p
résultats progrès	-1.279	152	0.203

Note. Student's t-test.

Assumption Checks

Test of Equality of Variances (Levene's)

	F	df ₁	df ₂	p
résultats progrès	3.160	1	152	0.077

Figure 14 : Test bilatéral de comparaison des progrès GE versus GC pour les items 6 ; 7 ; 8 ; 9 et 11.

La conclusion de ce test est significative, la séquence didactique a eu un effet positif sur les progrès du groupe expérimental en comparaison de progrès du groupe contrôle concernant l'ensemble des notions travaillées expérimentalement.

Nous allons maintenant regarder plus précisément certains items.

4.4. Statistiques sur les items de construction du symétrique d'une figure (TE)

On considère les items 1 et 2 concernant la construction de symétriques de figures données par rapport à un axe sur réseau quadrillé ou pointé. On compare alors la moyenne des progrès du groupe expérimental versus la moyenne des progrès du groupe contrôle sur ces deux items.

Statistiques à étudier :

- Hypothèse nulle (H0) : les deux groupes ont une même moyenne de progrès aux items 1 et 2 ;

- Hypothèse alternative (H1) : les deux groupes ont des moyennes de progrès différentes aux items 1 et 2.

Le test de Levene (*cf.* figure 15) n'est pas significatif, les deux échantillons proviennent de populations dont on ne peut pas dire que les variances soient statistiquement différentes.

Un test bilatéral (*cf.* figure 15) a été effectué sur les progrès moyens des élèves avec exposition à la séquence didactique *Learn-O* (expérimental *versus* contrôle) comme facteur inter-sujets.

Independent Samples T-Test

Independent Samples T-Test			
	t	df	p
résultats progrès	0.574	152	0.567

Note. Student's t-test.

Assumption Checks

Test of Equality of Variances (Levene's)				
	F	df ₁	df ₂	p
résultats progrès	0.675	1	152	0.413

Figure 15 : Test bilatéral de comparaison des progrès GE versus GC pour les items 1 et 2.

Le test montre que le niveau moyen de progrès n'est pas significativement différent entre les deux groupes expérimental et contrôle avec $t(152)=0.574$ et $p=0.567$. Il n'y a pas de mise en évidence d'une plus-value de l'activité concernant les progrès aux items 1 et 2 sur la construction du symétrique d'une figure sur papier quadrillé ou pointé. Nous pouvons émettre des hypothèses sur ces résultats. Les items évaluatifs ne présentaient aucune difficulté spécifique et la symétrie axiale est travaillée depuis le début du cycle 3 par tous les élèves. Ces remarques nous amènent à nous poser la question suivante : les élèves testés (GE et GC) progressent-ils sur ces items 1 et 2 ? Il nous semble donc intéressant de regarder les résultats concernant ces deux items dans chacun des groupes expérimental et contrôle afin de vérifier statistiquement les progrès.

Le test unilatéral (*cf.* figure 16) réalisé sur les résultats (0 ; 1 et 2) aux items de symétrie axiale avec l'année scolaire écoulée (avant/après) comme facteur intra-sujets montre que la moyenne des scores est significativement meilleure après l'année scolaire ($M=1,70$) par rapport au début de l'année scolaire ($M=1,29$) avec $t(60)=3.551$ et $p<0.001$ pour le groupe expérimental.

Paired Samples T-Test				
Paired Samples T-Test				
Measure 1	Measure 2	t	df	p
après	- avant	3.551	60	< .001
Note. For all tests, the alternative hypothesis specifies that après is greater than avant.				
Note. Student's t-test.				

Figure 16 : Test unilatéral de comparaison des résultats Après versus Avant du Groupe Expérimental pour les items 1 et 2.

Le test unilatéral (cf. figure 17) réalisé sur les résultats (0 ; 1 et 2) aux items de symétrie axiale avec l'année scolaire écoulée (avant/après) comme facteur intra-sujets montre que la moyenne des scores est significativement meilleure après l'année scolaire ($M=1,41$) par rapport au début de l'année scolaire ($M=1,10$) avec $t(92)=3.354$ et $p<0.001$ pour le groupe contrôle.

Paired Samples T-Test				
Paired Samples T-Test				
Measure 1	Measure 2	t	df	p
après	- avant	3.354	92	< .001
Note. For all tests, the alternative hypothesis specifies that après is greater than avant.				
Note. Student's t-test.				

Figure 17 : Test unilatéral de comparaison des résultats Après versus Avant du Groupe Contrôle pour les items 1 et 2.

Les moyennes de réussite passent de 1,29 à 1,70 (+0,41) pour le groupe expérimental et de 1,10 à 1,41 (+0,31) pour le groupe contrôle. Ces résultats prouvent que les élèves ont statistiquement progressé, mais l'écart de progrès n'est pas statistiquement suffisant pour parler de différence de progrès entre les deux groupes.

4.5. Statistiques sur les items aire et périmètre (TE)

On considère les items 3 ; 4 et 5 concernant les notions d'aire et de périmètre. On souhaite comparer la moyenne des progrès du groupe expérimental *versus* la moyenne des progrès du groupe contrôle sur ces 3 items.

Statistiques à étudier :

- h_0 : les deux groupes ont une même moyenne de progrès aux items 3 ; 4 et 5.
- h_1 : les deux groupes ont des moyennes de progrès différentes aux items 3 ; 4 et 5.

Un test unilatéral (cf. figure 18) a été effectué sur les progrès moyens des élèves avec exposition à la séquence didactique *Learn-O* (expérimental *versus* contrôle) comme facteur inter-sujets. Le test montre que les élèves du groupe expérimental ont une moyenne de progrès ($M=0,91$) significativement supérieure à la moyenne des progrès des élèves du groupe contrôle ($M=0,51$) avec $t(152)=3.409$ et $p<0.001$. Le test de Levenne confirme la vérification des hypothèses de variance pour le test de Student.

La conclusion de ce test est significative. La séquence didactique a eu un effet positif sur les progrès du groupe expérimental en comparaison des progrès du groupe contrôle concernant les notions d'aire et de périmètre.

Les progrès des élèves concernant la dernière notion travaillée expérimentalement (déplacement sur quadrillage) donne des résultats qui ne vérifient pas les conditions de Levenne donc nous préférons nous abstenir de dégager des tendances.

Independent Samples T-Test

Independent Samples T-Test

	t	df	p
résultats progrès	3.409	152	< .001

Note. For all tests, the alternative hypothesis specifies that group *expérimental* is greater than group *contrôle*.

Note. Student's t-test.

Assumption Checks

Test of Equality of Variances (Levene's)

	F	df ₁	df ₂	p
résultats progrès	0.299	1	152	0.585

Figure 18 : Test unilatéral de comparaison des progrès GE versus GC pour les items 3 ; 4 et 5.

Conclusion

Un groupe expérimental composé de 61 élèves a bénéficié d'une séquence didactique de quatre interventions d'une heure réparties sur l'année scolaire. Ces interventions ont eu pour objectifs de mettre les élèves en mouvement, par l'intermédiaire du dispositif *Learn-O*, afin de traiter de notions géométriques (symétrie axiale, aire et périmètre, déplacement sur quadrillage). Les progrès de ces élèves ont été mesurés dans un plan expérimental pré-test, post-test. Les mesures ont porté sur des notions travaillées expérimentalement (TE) et des notions non travaillées expérimentalement (NTE). Ces mesures de progrès ont été comparées aux mesures de progrès d'un groupe contrôle composé de 93 élèves comparables (même niveau scolaire, même structure d'école, même implantation géographique et sociale). Les tests statistiques réalisés permettent d'affirmer que la séquence didactique a eu un impact positif sur les notions traitées (TE) pour le groupe expérimental tout en laissant les notions non traitées (NTE) dans le même ordre de progrès que pour le groupe témoin. Le dispositif *Learn-O* est basé sur l'effet kinesthésique de l'apprentissage et sur la cognition incarnée, mais son environnement recèle bien d'autres points qui le distinguent d'un apprentissage classique en classe (jeu physique, autonomie, auto-validation, individualisation, collaboration, numérique...). Toutes ces singularités agissent comme un amplificateur de motivation pour l'élève (cf. Simard *et al.*, 2021 pour une étude qualitative relativement à la motivation engendrée par le dispositif *Learn-O*). Le faible nombre de séances réparties sur l'année scolaire permet de laisser cette motivation intacte (l'attrait de la nouveauté ne s'estompe pas). L'étude réalisée permet de conclure à l'influence positive de quatre séances conduites avec le dispositif *Learn-O* sur certaines notions géométriques. Ces résultats ne peuvent être directement corrélés à la seule mise en mouvement des élèves indépendamment du dispositif utilisé.

Références bibliographiques

Aberkane, I. (2017). *Libérez votre cerveau*. Robert Laffont.

- Bara, F. & Tricot, A. (2017). Le rôle du corps dans les apprentissages symboliques : apports des théories de la cognition incarnée et de la charge cognitive. *Recherches sur la philosophie et le langage*, 33, 219-249. Paris : Vrin.
- Bartolini-Bussi, M. G. & Mariotti, M. A. (2008). Semiotic mediation in the mathematics classroom: artifacts and signs after a Vygotskian perspective. Dans L. English, M. Bartolini Bussi, G. Jones, R. Lesh & D. Tirosh (éds.), Lawrence Erlbaum, N. J. Mahwah : *Handbook of International Research in Mathematics Education, second revised edition* (pp. 746-805).
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques : Didactique des mathématiques 1970-1990*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Brousseau, G. (1983). Étude de questions d'enseignement. Un exemple : la géométrie. *Séminaire de Didactique des mathématiques et de l'informatique*, n° 45. Grenoble : LSD IMAG et Université J. Fourier.
- Billy, C., Cabassut, R., Petitfour, É., Simard, A. & Tempier, F. (2017). Quels apports de la programmation pour la reproduction d'une figure géométrique ? Perspectives pour la formation. *44^e colloque de la COPIRELEM : Manipuler, représenter, communiquer : Quelle est la place de la sémiotique dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques ?* Épinal, France.
- Briand, J. (2007). La place de l'expérience dans la construction des mathématiques en classe. *Petit x*, 75, 7-33.
- Briand, J. (2021). Manipuler en mathématiques... oui, mais. Au fil des Maths, bulletin de l'APMEP, hors-série n°1 « spécial premier degré », 142-145.
- Duval, R. (1995). *Semiosys et pensée humaine*. Peter Lang.
- Duval, R. (2005). Les conditions cognitives de l'apprentissage de la géométrie : développement de la visualisation, différenciation des raisonnements et coordination de leur fonctionnement. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 10, 5-53.
- Duval, R. & Godin, M. (2005). Les changements de regards nécessaires sur les figures. *Grand N*, 76, 7-27.
- Dutriaux, L. & Gyselinck, V. (2017). Cognition incarnée : un point de vue sur les représentations spatiales. *L'année psychologique/Topics in Cognitive Psychology*, 116, 419-465.
- Eysseric, P., Simard, A., Winder, C. (2012). Exemple de dispositif de formation à l'utilisation des jeux à l'école pour les apprentissages mathématiques. *Actes du Colloque EMF 2012*. Genève.
- Pelay, N. (2011). *Jeu et apprentissages mathématiques : élaboration du concept de contrat didactique et ludique en contexte d'animation scientifique*. [Thèse de doctorat, université Claude Bernard, Lyon].

- Petitfour, É. (2015). Enseignement de la géométrie à des élèves en difficulté d'apprentissage : étude du processus d'accès à la géométrie d'élèves dyspraxiques visuo-spatiaux lors de la transition CM2-6ème. [Thèse de doctorat, Université Paris 7].
- Peltier-Barbier, M-L. (2003). *Le napperon, un problème pour travailler sur la symétrie axiale. Carnets de route de la COPIRELEM. T. 2.* « Le napperon » (pp. 161-172).
- Simard, A. & Blondeau, T. (2016). *Learn-O : faire des maths en courant. Math-École*, 226, 35-40.
- Simard, A. (2019). *Learn-O : des mathématiques autrement. 46^e colloque de la COPIRELEM : Dispositifs de formation à l'enseignement des mathématiques au XXI^e siècle.* Lausanne, HEP-Vaud, Suisse.
- Simard, A. & Rage, J. (2020). Course d'orientation. Navigation spatiale et apprentissages scolaires. *Revue EP&S. Education physique et sport*, 387, 63-65.
- Simard, A. (2021). *Learn-O : former à l'enseignement des mathématiques en primaire sans table ni chaise. 47^e colloque de la COPIRELEM : Dispositifs et collectifs pour la formation, l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques.* Grenoble, France.
- Simard, A., Blondeau, T. & Coste, J. (2021). *Learn-O : des maths en plein air. Repères-IREM*, 124, 9-36.
- Simard, A., Cece, V., Lentillon-Kaestner, V., Roure, C. & Blondeau, T. (2022). Innovations numériques : apprentissages interdisciplinaires en mathématiques et en éducation physique. *Revue suisse de pédagogie spécialisée*, 12(1), 23-31.
- Simard, A. & Vermot-Desroches, C. (2023). Innovations numériques : apprentissages interdisciplinaires pour des élèves en décrochage scolaire. *Revue suisse de pédagogie spécialisée*, 13(1), 33-39.
- Simard, A. & Blondeau, T. (2023). Impliquer le corps pour faire des maths grâce à *Learn-O*. *Au fil des Maths, Bulletin de l'APMEP*, « Dehors les maths ! », 548, 13-19.

Références institutionnelles

- Conseil Scientifique de l'Éducation Nationale (2022). Activité physique, fonctionnement cognitif et performances scolaires : niveau de preuve et grade de recommandations. *Note n° 6*.
- Villani, C. & Torossian, C. (2018). *21 mesures pour l'enseignement des mathématiques.* Ministère de l'Éducation Nationale. France.

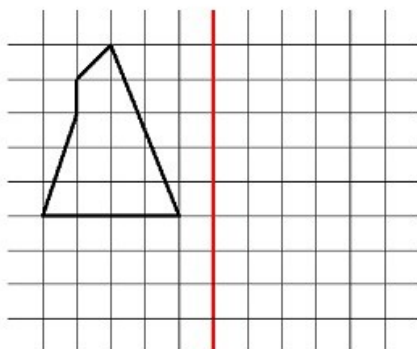
Annexe 1

Le questionnaire pré-test/post-test (réduit à 25 %)

Prénom et NOM :

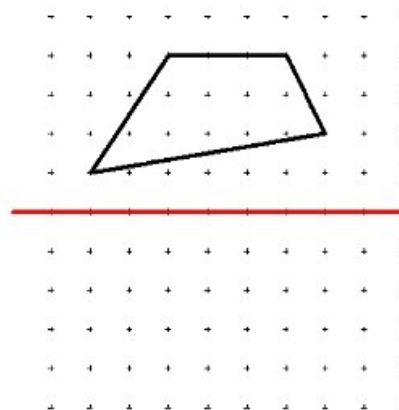
Exercice 1 :

Trace le symétrique de la figure par rapport à l'axe rouge.



Exercice 2 :

Trace le symétrique de la figure par rapport à l'axe rouge.

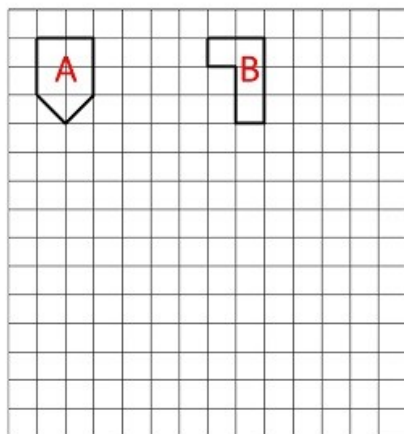


Exercice 3 :

Construis une figure C de même périmètre que la figure A mais qui n'a pas la même forme que la figure A.

Construis une figure D de même aire que la figure B mais qui n'a pas la même forme que la figure B.

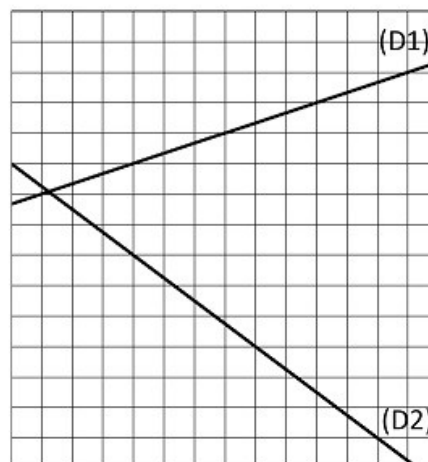
Construis une figure E qui a même périmètre que la figure A et même aire que la figure B.



Exercice 4 :

Trace une droite parallèle à la droite (D1).

Trace une droite perpendiculaire à la droite (D2).



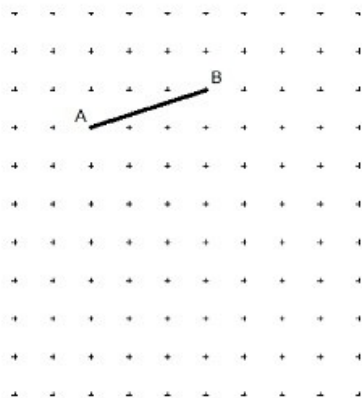
Exercice 5 :

Le segment [AB] est tracé.

Place les points C et D pour que ABCD soit un carré.

Traçe le carré ABCD.

Traçe l'arc de cercle de centre A d'extrémités B et D.

**Exercice 6 :** Les flèches permettent à l'éléphant de se déplacer.

→ Une case vers la droite de la feuille

← Une case vers la gauche de la feuille

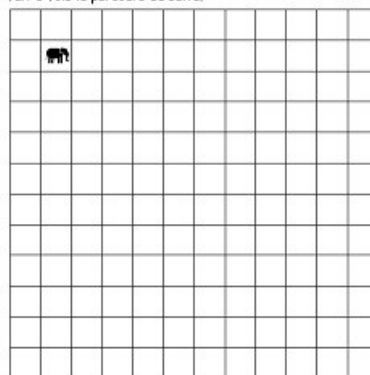
↑ Une case vers le haut de la feuille

↓ Une case vers le bas de la feuille

Le parcours de l'éléphant est le suivant : ↓ → ↓ ↓ → ↑

Place une croix sur la case où l'éléphant arrive après avoir fait une fois le parcours.

Place un cercle sur la case où l'éléphant arrive après avoir fait 3 fois le parcours de suite.



Annexe 2

Consignes de passation du test

CONSIGNES de PASSATIONProtocole de passation :

20-30 minutes.

Individuel.

Uniquement avec un crayon de papier, une gomme, une règle et un compas.

Les copies sont nominatives mais seront anonymées lors de la correction.

Les tests sont envoyés aux écoles en septembre 2022 et avril 2023.

Rôle de l'enseignant :

Aucune préparation ni aucune correction n'est souhaitée.

Elle/il assure la bonne passation du test.

Elle/il renvoie les copies à :

Arnaud Simard
INSPE de L'Université de Franche-Comté
57 avenue de Montjoux
25042 Besançon Cedex

Une enveloppe libellée est associée à l'envoi des tests.

Protocole du projet d'évaluation :

Protocole classique test / re-test.

Plusieurs classes de CM2 sont contactées et proposées aux tests. Les écoles doivent être le plus semblables possible.

Octobre 2022 : les élèves des différentes classes passent le test.

-> L'enseignant renvoie le paquet de copies à Arnaud Simard

Juin 2023 : les élèves passent à nouveau le même test.

-> L'enseignant renvoie le paquet de copies à Arnaud Simard

Objectif de l'expérimentation :

Il ne s'agit pas de comparer les écoles entre elles, ni même les élèves entre eux, mais de comparer chaque élève avec lui-même à 8 mois d'intervalle. Il s'agit d'essayer de « mesurer » les progrès de chaque élève au cours de l'année scolaire 2022/2023 et de comparer ces progrès à trois classes expérimentales.