NATACHA DUROISIN, ROMAIN BEAUSET, JESSICA LUCCHESE

FAVORISER LE PASSAGE À LA VISUALISATION NON ICONIQUE PAR LE RECOURS À UNE INGÉNIERIE DIDACTIQUE POUR FACILITER LA TRANSITION PRIMAIRE/SECONDAIRE EN GEOMETRIE

Abstract. Promoting the passage to non-iconic visualization by using didactic engineering to improve transition primary/secondary education in geometry. There is a rupture of didactic contract about the visualization learning during the transition from primary to secondary (Perrin-Glorian & Godin, 2018). If iconic visualization is exercised in primary education, the acquisition of non-iconic visualization – which is fundamental – is left to the learners at the beginning of secondary school. This article describes the results of a belgian study, based on quasi-experimentation plan in Belgium, which is part of the didactics of mathematics and cognitive sciences. The aim of the authors is to evaluate the implementation of a didactic engineering based on dimensional deconstruction allowing the progressive development of non-iconic type visualization in learners at the end of primary education. The results are used to guide the work of mathematics teachers.

Résumé. Il existe une rupture de contrat didactique lors de la transition primaire-secondaire concernant l'apprentissage de la visualisation (Perrin-Glorian & Godin, 2018). Si la visualisation iconique est exercée durant le primaire, l'acquisition de la visualisation non iconique – pourtant fondamentale – est laissée à la seule charge de l'élève dès le début du secondaire. Cet article présente les résultats d'une étude belge, menée selon un plan quasi expérimental, s'inscrivant dans les domaines de la didactique des mathématiques et des sciences cognitives. L'objectif des auteurs est d'évaluer une ingénierie didactique basée sur la déconstruction dimensionnelle pour permettre le développement progressif de la visualisation de type non iconique en fin de primaire. Les résultats orientent le travail des enseignants de mathématiques.

Mots-clés. Mathématiques, géométrie, déconstruction dimensionnelle, visualisation, ingénierie didactique, apprentissages, transition primaire-secondaire, groupe contrôle, pratiques enseignantes.

La géométrie est décrite, par Duval (2005), comme « le domaine le plus difficile à enseigner et l'un de ceux où, même lorsque les objectifs restent très modestes, les résultats atteints sont décevants » (p. 6). Duval (2005) et aussi Bulf (2019) l'expliquent notamment par le fait qu'elle exige une activité cognitive complète sollicitant simultanément la visualisation, mais aussi le geste (activité matérielle) et le langage : « là, il faut construire, raisonner et voir, indissociablement » (Duval, 2005, p. 6). D'ailleurs, des difficultés résistantes concernant l'usage des figures dans la résolution des problèmes de géométrie ont été repérées depuis longtemps chez les

ANNALES de DIDACTIQUE et de SCIENCES COGNITIVES, volume 25, p. 151 - 182.

élèves du collège[1]. C'est le cas par exemple dans la construction de figures mais aussi dans la démonstration de propriétés géométriques (Duval, Godin & Perrin-Glorian, 2005).

On peut définir la visualisation comme une habileté spatiale qui résulte d'un apprentissage conduisant le sujet à anticiper l'apparence d'objets complexes et à effectuer des opérations mentales (i.e. rotations, transformations, manipulations) sur des objets en deux ou trois dimensions lorsqu'ils sont visuellement perçus (Barisnikov & Pizzo, 2007).

Les recherches menées en didactique de la géométrie ces quinze dernières années, en relation avec les travaux de Duval (2005), ont permis de relever une rupture dans l'enseignement-apprentissage concernant la visualisation de figures. Elles ont également rendu possible le développement d'une mobilité du regard chez les élèves pour favoriser un passage progressif d'une visualisation iconique à une visualisation non iconique. L'enjeu premier pour entrer dans une démarche géométrique est, en effet, le passage du regard habituel et intuitif que les élèves portent sur un dessin (aussi appelé le mode de visualisation iconique) au regard géométrique (faisant référence au mode de visualisation non iconique) qu'il est essentiel de porter sur une figure (Duval, 2011). Le mode de visualisation non iconique apparaît donc comme la manière pertinente de voir. Ce mode est nécessaire à l'acquisition de propriétés géométriques comme les propriétés d'incidence, dont la maîtrise ne semble pas ou semble peu acquise (Mangiante-Orsola & Perrin-Glorian, 2014), mais également au développement des capacités à démontrer (Duval, 2005 ; Perrin-Glorian, 2012 ; Barrier, Hache & Mathé, 2014). Duval et Godin (2005) affirment, en ce sens que, sans ce changement de regard, « toutes les formulations de propriétés géométriques risquent d'être des formulations qui tournent à vide » (p. 8), ce qui constitue un obstacle à la poursuite de l'apprentissage.

Cette rupture au niveau de la visualisation de figures est également relevée dans le curriculum belge francophone (contexte dans lequel se déroule la présente étude). Alors que l'apprentissage explicite de la visualisation n'est objet d'étude qu'à de rares occasions et ne fait l'objet que de consignes floues aux enseignants (Duroisin & Demeuse, 2016), il est attendu des élèves de l'enseignement secondaire qu'ils se situent dans le mode de visualisation non iconique. Or, dans l'enseignement primaire, l'organisation des objectifs d'enseignement en géométrie plane amène d'abord les élèves à développer des connaissances sur les propriétés des objets à une dimension (droites, les relations qu'entretiennent les droites entre elles et leurs propriétés). Elle invite ensuite à travailler sur les formes familières à deux dimensions (carré, rectangle, triangle…), de manière assez scindée, sans établir

[1] Soit le début de l'enseignement secondaire en Belgique francophone.

suffisamment de liens entre les configurations à une dimension et celles à deux dimensions (Duroisin, 2015). Une telle organisation ne correspond pas au mode non iconique. Le changement de mode de visualisation est ainsi laissé à la charge des élèves alors qu'il ne se fait pas naturellement chez ces derniers et nécessite un travail de la part des enseignants (Duval & Godin, 2005 ; Mathé, 2008 ; Bulf & Celi, 2015). Alors que le développement de la visualisation non iconique lors de l'enseignement primaire apparaît indispensable pour organiser une progression cohérente vers le secondaire et, ainsi, éviter la rupture de contrat didactique existant actuellement entre ces deux niveaux (Mathé, 2012), il s'avère que les enseignants ont du mal à se constituer des outils qui peuvent leur permettre d'enrichir leurs pratiques en géométrie (Bulf & Mathé, 2018).

Sur la base de ces éléments contextuels, le but de cette étude est d'observer si des séquences d'apprentissage qui proposent des activités de type résolution de problèmes en géométrie nécessitant le recours à la déconstruction dimensionnelle permettent aux élèves de changer de regard pour effectuer l'analyse de figures. Autrement dit, il est question de mesurer les effets, sur quelques élèves, des suggestions d'enseignement proposées par Duval et Godin (2005) et enrichies par de nombreux auteurs à l'instar de Mathé (2008) ou de Perrin-Glorian et Godin (2014).

L'hypothèse posée est qu'une ingénierie didactique centrée sur le développement de la déconstruction dimensionnelle permettrait aux élèves de fin de l'enseignement primaire[2] d'entrer progressivement dans une visualisation de type non iconique. La variable indépendante de l'étude concerne donc le changement de regard des élèves dans l'analyse des figures au travers du suivi d'un parcours de formation développant la pratique de la déconstruction dimensionnelle. La variable dépendante, qui va faire l'objet d'observations, concerne les performances des élèves et en particulier l'enrichissement de la visualisation des figures.

Plusieurs questions sont ainsi à l'origine de la présente étude : comment assurer une transition plus efficace du primaire au secondaire en géométrie ? Quels types d'activités concrètes peut-on proposer en ce sens ? Comment permettre à l'élève de passer d'un regard centré sur les surfaces et les segments qui les composent (regard naturel que l'homme exerce en dehors des mathématiques) à un regard faisant apparaître des réseaux de droites et de points nécessaires à l'analyse des figures étudiées ? L'objectif poursuivi est donc de proposer et de valider des activités permettant de faire évoluer le regard que les élèves portent sur la figure et plus particulièrement de travailler la mobilité du regard pour favoriser un passage progressif d'une visualisation iconique à une visualisation non iconique.

---

[2] 5e et 6e grade (10-12 ans).

1. Eléments théoriques : de la perception spontanée à la déconstruction dimensionnelle

Selon Duval et Godin (2005), il existe au moins trois voies différentes pour analyser une figure. La première est naturelle : il s'agit de la perception. Celle-ci est prégnante et s'appuie sur la reconnaissance des formes (ou unités figurales) par les propriétés visuelles que celles-ci renvoient. La deuxième voie d'analyse est celle de l'utilisation des propriétés mobilisées en fonction d'hypothèses données. L'analyse instrumentale, correspondant à l'identification des procédures mises en place pour reproduire ou pour construire une figure avec des instruments variés, constitue la troisième voie d'analyse (Duval & Godin, 2005).

1.1. La perception spontanée

Il existe une prédominance très forte et durable de la première voie d'analyse. Au sein de celle-ci, il ressort une « priorité cognitive des figures 2D sur les figures 1D » (Duval & Godin, 2005, p. 7) puisque sur le plan perceptif, les formes à deux dimensions ne se décomposent pas naturellement en un réseau de droites ou encore en un réseau de points. Malgré la dominance de la perception, on cherche à développer les deuxième et troisième voies d'analyse, nécessaires en géométrie, puisqu'elles semblent permettre une transition progressive vers la visualisation non iconique.

1.2. La déconstruction dimensionnelle : déconstruire pour mieux appréhender les relations entre unités figurales

Pour arriver à dépasser la prédominance de la perception, Duval et Godin (2005) et Bulf et Celi (2015) précisent qu'il est nécessaire d'adapter l'analyse visuelle des figures utilisée par les apprenants. Il s'agit de faire passer les apprenants d'une analyse en termes d'assemblages de surfaces, que Mangiante-Orsola et Perrin-Glorian (2014) appellent vision « surfaces », à une analyse visuelle en termes d'assemblages de formes 1D et 0D, appelée respectivement visions « lignes » et « points ». C'est ce que Duval (2005) appelle la déconstruction dimensionnelle : elle consiste à décomposer une unité figurale 2D, en un assemblage d'unités figurales de dimensions inférieures, 1D (droites) et/ou 0D (points), afin de voir apparaître les relations existant entre ces unités figurales (Mithalal, 2010) (Figure 1). Comme l'indique Bulf (2009), la déconstruction dimensionnelle permet « de mettre en évidence des relations entre unités figurales de dimension inférieure et d'en déduire des propriétés géométriques associées à un raisonnement déductif relaté dans un discours axiomatique » (p. 55).

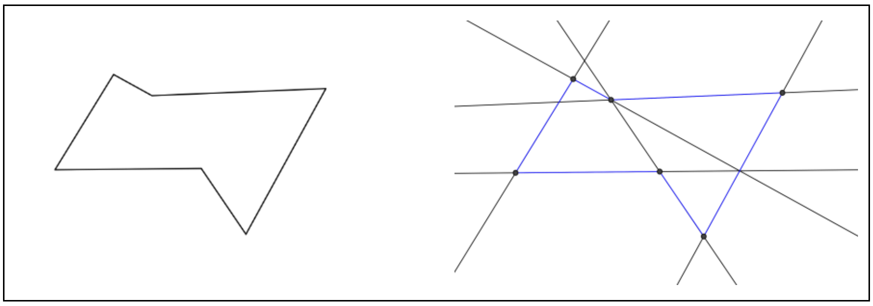


Figure 1. Déconstruction dimensionnelle en unités figurales 1D ou 0D

Ce geste de prolongement de segments a un intérêt primordial : celui de passer progressivement d'une vision d'unités figurales 2D à une vision d'unités figurales 1D. Cela favorise le passage de la vision « surfaces » à la vision « lignes » et ensuite de la vision « lignes » à la vision « points ». Ces différents regards comportant un grand intérêt pour accéder au processus de démonstration (Mangiante-Orsola & Perrin-Glorian, 2014).

1.3. La déconstruction dimensionnelle : déconstruire pour mieux appréhender les relations entre unités figurales

Pour visualiser une figure, deux modes distincts de fonctionnement cognitif peuvent donc être sollicités : la visualisation iconique et la visualisation non iconique. Le premier est plutôt de l'ordre du profil de l'objet réel (vision 2D) et semble se rapporter à la première voie d'analyse susmentionnée. Le second correspond plutôt à la mise en place d'une suite d'opérations qui vont conduire à reconnaître les propriétés géométriques, ce qui correspond davantage aux deux autres voies citées.

En ce qui concerne la visualisation, Duval (2005) précise qu'elle fonctionne selon « deux niveaux d'opérations » qui sont « la reconnaissance discriminative de formes et l'identification des objets correspondant aux formes reconnues » (p. 13). La visualisation iconique est celle qui est utilisée dans la vie quotidienne et qui repose sur un fort potentiel perceptif : on observe des formes, des dessins… et on essaie de les associer à un répertoire connu. Mithalal (2011) précise :

> Le sujet n'a accès qu'à la forme générale, et ne peut opérer dessus sous peine de la dénaturer […]. On le voit, cette limite est rédhibitoire en géométrie puisqu'elle interdit de modifier le dessin pour faire apparaître des propriétés. (p. 114)

La forme devient donc ainsi définitoire pour les objets (Mithalal, 2014) et dès lors, « le dessin est l'objet d'étude à part entière — ou une reproduction à l'identique de l'objet d'étude plutôt qu'une représentation —, et la figure n'est pas prise en compte » (p. 56).

En proposant le développement des gestes de prolongement des côtés, on favorise un passage au mode de visualisation non iconique puisqu'on dépasse la simple perception en mettant en place une série d'opérations qui sont l'ajout de tracés réorganisateurs. Ces opérations vont permettre l'apparition d'un réseau de droites et de points sur lequel des propriétés pourront être identifiées. Dès lors, ce n'est plus leur forme qui définit les objets, mais bien l'assemblage d'objets de dimension plus petite (Mithalal, 2014).

1.4. Dépasser la visualisation iconique pour ouvrir le champ des possibles

La visualisation iconique gêne l'appréhension de certaines propriétés géométriques et conduit parfois à des impasses. Selon Mithalal (2011), en premier lieu, le regard se focalise directement sur le contour, sur le profil des figures. De ce fait, tout ce qui se trouve en dehors de ce champ n'est pas, sans apprentissage, perçu comme mobilisable pour résoudre le problème posé. La prégnance de la visualisation iconique est aussi démontrée par différentes expériences mises au point par les gestaltistes prouvant que les stimuli mis en œuvre dans une situation d'apprentissage sont perçus globalement (Koffka, 1935 ; Köhler, 1929). Pour le gestaltisme, apprendre, c'est organiser et réorganiser différemment certains éléments ; c'est découvrir et établir des relations nouvelles entre des éléments qui jusqu'alors étaient vus comme isolés. Il s'agit alors de résoudre des problèmes et de découvrir une solution appropriée par restructuration des éléments de la situation. Pour expliquer comment se déroule l'apprentissage, les gestaltistes font appel au phénomène d' « insight » (Clément, 2009), qui désigne la prise de conscience permettant au sujet de sortir des limites imposées par la forme. Une deuxième impasse réside dans le fait que la seule visualisation iconique peut parfois être trompeuse et on ne peut, par conséquent, s'y fier : « il peut y avoir conflit entre la reconnaissance des formes par simple ressemblance à un exemple type et l'identification de l'objet auquel correspond la forme reconnue » (Duval, 2005, p. 15). A ce titre, nombreux sont les élèves qui voient un losange strict lorsqu'un carré est présenté sur sa pointe. Une troisième impasse réside dans le fait que « les formes apparaissent comme étant stables. Elles ne sont donc pas vues d'une manière qui permette de les transformer en d'autres formes semblables ou, surtout, différentes » (Duval, 2005, p. 15). Or, une figure donnée peut en générer une autre si l'on procède, par exemple, à la réorganisation visuelle des formes qui ont été reconnues et qui caractérisent la figure initiale.

1.5. Miser sur des activités spécifiques pour permettre le changement de regard

Mathé (2008) propose, comme l’avait déjà fait Grenier (1988) et Bouleau (2001), de faire varier les artefacts utilisés par l’élève lors de travaux de restauration[3] ou de reproduction de figures (matériels favorisant la vision 1D comme la règle ou l’équerre et matériels favorisant la vision 2D comme les gabarits ou pochoirs) afin d’amorcer le changement de regard attendu :

> C’est le jeu sur les instruments, via l’analyse des figures en termes d’unités de dimension un ou zéro que l’utilisation de ces instruments induisent, qui provoque le changement de rapport des élèves aux objets et pourrait leur permettre l’articulation entre l’analyse perceptive et l’analyse géométrique des figures. […] l’enseignant peut accompagner les élèves à exercer ces modifications de la manière de voir les objets par un travail sur les instruments dans des situations de restauration de figures. (Mathé, 2008, p. 5)

Duval et Godin (2005, p. 8) précisent que « c’est en effet en jouant sur la variable qu’offrent les instruments, dans une situation de reproduction [ou de restauration] que l’on inversera chez les élèves, la prédominance très forte et durable d’une analyse perceptive sur une analyse géométrique des figures ». Bulf et Celi (2015) confirment l’intérêt des activités de restauration et de reproduction de figures bien qu’elles soient souvent sous-estimées, notamment parce qu’elles sont utilisées uniquement dans l’optique d’apprendre le maniement des instruments. Pourtant, ces activités sont décrites comme ayant un réel intérêt pour le changement de regard (Delplace, Keskessa & Perrin-Glorian, 2007 ; Mangiante-Orsola & Perrin-Glorian, 2014…), à condition de faire un choix adéquat des variables didactiques.

2. Éléments méthodologiques, échantillon et présentation des séquences d’enseignement-apprentissage

La présente expérimentation porte sur le développement de la visualisation non iconique des élèves de sixième et dernière année de l’enseignement primaire[4] de Belgique francophone[5]. La recherche menée a conduit à la création de séquences

---

[3] Les tâches de restauration de figures consistent à demander à l’élève de « reproduire une figure […] mais avec des conditions spécifiques, soit on dispose déjà d’une partie de la figure, soit on dispose d’instruments qui permettent de transporter des informations 2D sur la figure […] » (Leclercq & Mangiante-Orsola, 2014).

[4] 6e grade (11-12 ans).

[5] Des informations complémentaires à propos du système éducatif belge francophone peuvent être trouvées via la page suivante du site Eurydice :

d’apprentissage de type résolution de problèmes, principalement de restauration et reproduction de figures, axée sur la déconstruction dimensionnelle.

Le module complet de formation a été élaboré en prenant appui sur différentes recherches en didactique issues notamment du groupe de recherche de l’IUFM Nord-Pas-de-Calais (i.e. Duval & Godin, 2005 ; Delplace, Keskessa & Perrin-Glorian, 2007 ; Mathé, 2008 ; Mangiante-Orsola & Perrin-Glorian, 2014). Lors des séquences proposées aux élèves, plusieurs variables didactiques ont été considérées dans la résolution des exercices de restauration et reproduction de figures demandés et dans leur mise en commun en classe (Tableau 1).

Les types d’instruments mis à disposition	Les instruments constituent une variable didactique importante notamment parce qu’ils sont porteurs de propriétés géométriques des dessins (Barrier, Hache & Mathé, 2014). Certains sont des instruments permettant de travailler sur des unités figurales 2D (gabarits…) alors que d’autres permettent de travailler sur des unités figurales 1D (la règle non graduée, le compas…). Comme suggéré par Duval et Godin (2005), une progression est proposée dans le choix des instruments mis à disposition pour résoudre les problèmes rencontrés au sein du dispositif pédagogique. Par ailleurs, les instruments permettant le recours à la prise de mesure ont été évités comme le suggéraient Perrin-Glorian et Godin (2014) ou encore Duval et Godin (2005). Ce choix est fait afin de focaliser l’attention des apprenants sur des propriétés géométriques, et non sur des nombres et des calculs.
L’introduction d’un coût à l’utilisation des instruments	Ce système est mis en place pour inciter à l’utilisation de certaines techniques de reproduction plutôt que d’autres (Mathé, 2008 ; Perrin-Glorian, Mathé & Leclercq, 2013 ; Barrier, Hache & Mathé, 2014).
Le type de figure et l’amorce proposée	Le choix des figures permet de faire varier les connaissances à mobiliser (figures complexes possédant des alignements et/ou nécessitant l’utilisation des milieux). « Certaines amorces favorisent a priori davantage un jeu de déconstruction et reconstruction de la figure modèle (2D ↔ 1D ↔ 0D) » (Bulf & Mathé, 2018, p. 44). L’agrandissement ou la réduction des figures à restaurer, mais également la différence d’orientation par rapport au modèle sont également pris en compte. Cela permet d’inciter davantage à dépasser la perception (Bulf & Celi, 2016). En effet, l’agrandissement des figures à restaurer invite au repérage de relations et à l’utilisation de tracés pour la reconstruction puisque la simple utilisation de mesure est rendue plus complexe.

https://webgate.ec.europa.eu/fpfis/mwikis/eurydice/index.php/BelgiqueCommunaute-francaise:Aper%C3%A7u_des_principaux_%C3%A9l%C3%A9ments.

L'utilisation facultative du logiciel GéoGébra® lors des mises en commun des résultats	Si l'environnement papier-crayon constitue une variable didactique des tâches de restauration proposées aux élèves, le dispositif de formation suggère une utilisation du logiciel de géométrie interactive GéoGébra®[6] en classe, sur le tableau blanc interactif (TBI) pour les temps de mises en commun. Le logiciel est donc intégré après le temps de résolution individuelle sur papier. Cette intégration offre plusieurs avantages. Elle permet de récupérer facilement les traces des séquences de cours précédentes (Duroisin, Temperman & De Lièvre, 2015). Elle permet d'ajouter des tracés et de les effacer aussitôt sans avoir à reconstruire la figure ou l'amorce de départ mais aussi de construire toutes les figures qui servent tantôt de modèle, tantôt d'amorce aux élèves. De plus, son intégration évite à l'enseignant de devoir tracer au tableau les figures et les lignes avec la perte de temps et le manque de précision que cela peut engendrer.

Tableau 1. Variables didactiques prises en compte dans le module de formation

Au total, le module de formation est composé de cinq séquences didactiques[7], dont la longueur de chacune d'elles varie de deux à six fois cinquante minutes. Ces séquences visent à développer la capacité des élèves à envisager des relations d'incidence (l'appartenance d'un point à un segment, l'appartenance d'un point à deux segments, les intersections, les alignements, etc.) comme outils de reproduction de dessin-figure.

– La première séquence porte sur la reproduction isométrique d'un réseau de droites uniquement à l'aide d'une règle non graduée et permet notamment d'introduire l'importance d'observer l'alignement des points.

– La deuxième propose une progression d'activités de restauration isométrique de figures simples puis complexes, en imposant l'usage des différents instruments (gabarits et pochoirs → gabarits et plusieurs règles non graduées → gabarit et une seule règle non graduée → …). La progression d'instrument a été proposée afin de relever différentes techniques de reproduction ou restauration (selon les instruments).

– Dans la troisième séquence, les élèves sont invités à restaurer de manière isométrique des figures complexes. Un système de coût est proposé sur

[6] Lien vers le logiciel de géométrie interactive : https://www.geogebra.org/

[7] Un descriptif de chacune des séquences (avec illustrations) est placé en annexe (Annexe 1) et les dispositifs sont également accessibles à partir du lien suivant : https://sharepoint1.umons.ac.be/FR/universite/facultes/fpse/serviceseetr/methodo/recherches/recherches_en_cours/Pages/FaciliterTransitionGeometrie.aspx.

l'utilisation des instruments afin d'inciter aux techniques utilisant les propriétés d'alignements.

- La quatrième séquence s'inscrit dans le prolongement de la précédente et instaure des reproductions qui ne sont plus isométriques, c'est-à-dire avec agrandissement ou réduction.
- La dernière séquence propose la restauration de figures nécessitant l'utilisation des milieux et un système de coût pour l'utilisation des instruments y est également instauré.

Enseigner autant de séquences de travail sur ce thème devrait permettre donc de voir apparaître une augmentation des gestes d'ajouts de tracés dans les tâches de restauration, permettant ainsi à l'apprenant d'entrer dans un mode de visualisation non iconique.

Le module de formation présenté a été testé au cours d'un plan quasi expérimental à observations pré- et post-expérimentales assorti d'un groupe contrôle, afin d'observer si le traitement expérimental a des effets sur l'acquisition de la visualisation non iconique.

L'échantillon expérimental, de type occasionnel, est constitué de quatre classes de sixième primaire, dernière année avant l'entrée en enseignement secondaire, provenant de deux écoles distinctes de la Fédération Wallonie-Bruxelles (Belgique). Les institutions scolaires dans lesquelles l'expérimentation a été menée sont deux écoles fondamentales communales belges francophones[8]. Celles-ci disposent d'un local équipé d'un TBI. Les indices socio-économiques de ces écoles (attribués par la Fédération Wallonie-Bruxelles par l'arrêté du Gouvernement de la Fédération Wallonie-Bruxelles du 24 mars 2011) sont respectivement de 5 et 4 sur 20. Ces indices étant assez proches, cela témoigne de l'homogénéité du public, en moyenne plutôt défavorisé. Les deux classes de la première école comptent chacune 20 élèves alors que dans la seconde école, elles en comptent 13 chacune. Notre échantillon comporte donc 66 élèves. Une classe de la première école et une classe de la seconde école ont constitué le groupe expérimental. Les deux autres classes forment le groupe contrôle. La procédure d'échantillonnage est non probabiliste ; les individus ont été sélectionnés en fonction de leur disponibilité et de la volonté des enseignants à participer à l'expérimentation. Le tableau 2 résume les informations importantes sur l'échantillon et les groupes constitués.

[8] Une demande d'autorisation a été introduite et acceptée par le collège communal afin que notre expérimentation puisse être menée dans ces écoles.

	Ecole A (indice socio-économique de 5/20)	Ecole B (indice socio-économique de 4/20)	Total
Groupe expérimental	1 classe de 6P (20 élèves)	1 classe de 6P (13 élèves)	2 classes (33 élèves)
Groupe contrôle	1 classe de 6P (20 élèves)	1 classe de 6P (13 élèves)	2 classes (33 élèves)

Tableau 2. Descriptif de l'échantillon et des groupes

Dans un premier temps, un prétest écrit a été soumis aux quatre classes sans donner d'information particulière sur le but de l'expérimentation. Les exercices proposés dans celui-ci ont été présenté au début du mois de novembre.

Ensuite, le traitement expérimental est mis en œuvre dans les deux classes du groupe expérimental. Muni du dispositif élaboré et de la méthodologie complète qui lui est associée, l'expérimentateur, ayant une formation initiale pédagogique, a proposé les différentes séquences du dispositif de formation aux deux classes. Comme suggéré, l'enseignant a utilisé le logiciel GéoGébra® pour la réalisation des mises en commun au cours du dispositif. Le dispositif a été dispensé du début novembre au début février, à raison de deux périodes de 50 minutes par semaine. En parallèle, le groupe contrôle a poursuivi son cursus habituel en géométrie, sans recours aux activités spécifiques de déconstruction dimensionnelle. Aucun traitement expérimental n'a été appliqué sur ce groupe entre les deux phases d'observations. La récolte d'informations auprès des enseignants titulaires des classes constituant le groupe contrôle a également permis de confirmer qu'aucune activité sur des tâches de restauration et de reproduction n'a été proposée aux élèves de ce groupe entre les deux épreuves.

Enfin, dans un troisième temps, un post-test a été réalisé mi-février par les quatre classes, en suivant le même déroulement et dans les mêmes conditions de passation que le prétest. En construisant les exercices du post-test de sorte qu'ils soient parallèles aux exercices du prétest, l'objectif est de mesurer l'évolution du changement de regard des élèves (passage du mode de visualisation iconique vers le mode de visualisation non iconique) lorsque ces derniers résolvent différents exercices (i.e. ajout de tracés auxiliaires).

Les épreuves pré- et post-expérimentales mises en place sont composées de cinq[9] questions pour lesquelles il faut décomposer la figure « modèle » en unités figurales 2D, 1D et/ou 0D pour être en mesure de la reproduire ou de la restaurer. Pour les réaliser, l'ensemble du matériel géométrique habituel (latte, équerre et compas) est laissé aux élèves. Lors de la passation des épreuves, il est par ailleurs demandé aux élèves de ne pas effacer les traces de construction. Certains de ces exercices sont tirés des épreuves certificatives externes passées à la fin de l'enseignement primaire.

Le parallélisme des deux questionnaires a été vérifié afin de s'assurer d'une bonne consistance interne entre les items des épreuves (α prétest = .858 ; α post-test = .857). Chaque exercice du prétest est associé à un exercice du post-test qui lui est proche et cinq paires de questions sont donc identifiées. Il a par ailleurs été vérifié auprès des enseignants qu'aucun des exercices des deux épreuves n'avait été proposé antérieurement aux élèves.

A titre d'illustration, la figure 2 est l'une des questions posées au prétest. On y observe que l'élève va devoir, poursuivre l'amorce imposée en identifiant le centre du cercle à l'aide des diagonales ou médianes du quadrilatère. Les pré- et post-tests sont placés en annexe 2.

Consigne : Voici un dessin composé d'un rectangle et d'un cercle. **REPRODUIS <u>exactement</u>** ce dessin qui est déjà commencé : une longueur et une largeur du rectangle sont déjà tracées. Laisse les traces de ta construction.

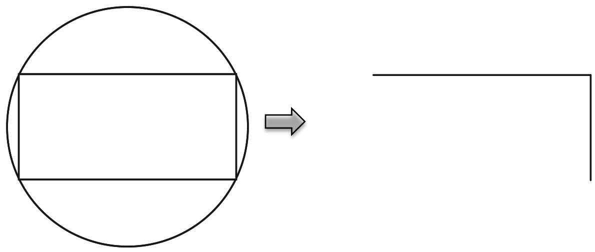


Figure 2. Illustration d'un exercice de l'épreuve prétest

Pour chacun des exercices des pré- et post-tests, six microvariables permettant le codage des productions des élèves ont été retenues. Elles ont notamment pour objectif d'identifier si les élèves ajoutent des tracés, ce qui permet d'obtenir des informations sur le mode de visualisation non iconique :

[9] Chacun des exercices ne se rapporte pas spécifiquement à une des séquences du dispositif de formation.

- L'élève a réussi la reproduction-restauration de la figure (microvariable 1) ;
- L'élève fait apparaitre des tracés sur le modèle (microvariable 2) ;
- L'élève fait apparaître quelques tracés auxiliaires utiles à la restauration-reproduction sur le modèle (microvariable 3) ;
- L'élève fait apparaître quelques tracés auxiliaires utiles à la restauration-reproduction sur l'amorce ou dans la zone de reproduction (microvariable 4) ;
- L'élève fait apparaître tous les tracés auxiliaires utiles à la restauration-reproduction sur le modèle (microvariable 5) ;
- L'élève fait apparaître tous les tracés auxiliaires utiles à la restauration-reproduction sur l'amorce ou dans la zone de reproduction (microvariable 6).

Les données recueillies sont de type dichotomique puisqu'il s'agit d'indiquer si le comportement se manifeste ou non. En cas de manifestation de la microvariable, un point est attribué par exercice. Ainsi, cette façon de noter permet le calcul de scores bruts à chaque épreuve (sur 30) et de gains relatifs[10] sur lesquels des statistiques descriptives et inférentielles vont être appliquées. Ces scores, au-delà d'évaluer la réussite aux tâches de restauration ou reproduction, prennent donc en considération la méthode utilisée pour résoudre ces exercices, en lien avec le mode de visualisation. En effet, la présence des tracés auxiliaires permet d'identifier que l'élève repère des relations au sein de la figure, ce qui permet de le situer dans le mode de visualisation non iconique. Le tableau 3 présente quelques exemples concrets de calculs des scores.

[10] Le gain relatif (exprimé en %) se calcule, quant à lui, par la formule suivante : (Score post-test - Score prétest)/(Score maximum - Score prétest) x 100. Il s'agit donc du « rapport de ce que l'élève a gagné à ce qu'il aurait pu gagner au maximum ». Comme le mentionne D'Hainaut (1985), cet indice est « indépendant du niveau de départ et comme, à niveau de départ égal, il est proportionnel à la performance, on peut considérer que le gain relatif est proportionnel à ce qu'il veut mesurer » (pp. 158-159).

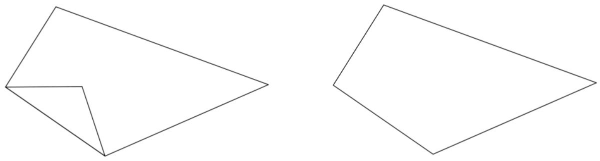
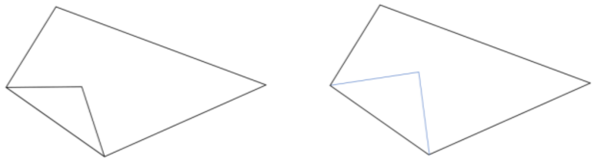
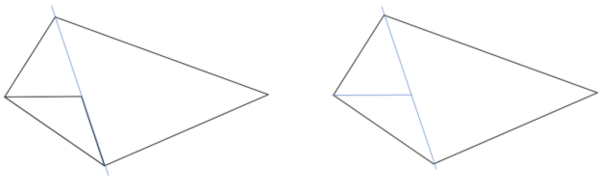
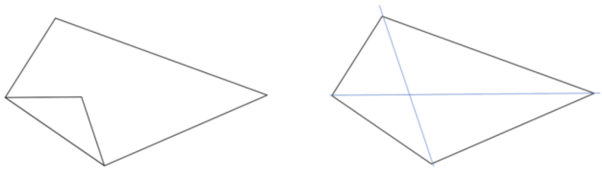
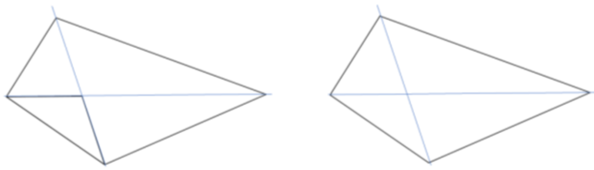
<table>
<tr><th colspan="3">Exercice de départ</th></tr>
<tr><td colspan="3">Consigne : REPRODUIS <u>exactement</u> le même dessin en utilisant les instruments de ton choix. Laisse les traces de ta construction.
</td></tr>
<tr><th>Exemples de productions</th><th>Microvariables validées</th><th>Scores obtenus (sur 6)</th></tr>
<tr><td></td><td>/</td><td>0</td></tr>
<tr><td></td><td>1, 2, 3, 4</td><td>4</td></tr>
<tr><td></td><td>1, 4, 5, 6</td><td>4</td></tr>
<tr><td></td><td>1, 2, 3, 4, 5, 6</td><td>6</td></tr>
</table>

Tableau 3. Illustrations du calcul des scores

3. Résultats

3.1. Analyse des résultats relatifs aux performances des apprenants

L'homogénéité des résultats des groupes expérimentaux et de contrôle au prétest a tout d'abord été analysée. Des scores bruts de performance globale au prétest ont ainsi été calculés afin de vérifier le niveau de départ des deux groupes. Le test de Mann-Whitney réalisé sur les deux groupes distincts a permis de s'assurer de cette homogénéité (p = 0,301). Il n'existe donc pas de différence entre les résultats des différents groupes qui composent l'échantillon.

En ce qui concerne les moyennes des gains relatifs portant sur les performances du groupe contrôle et du groupe expérimental aux deux épreuves, celles-ci sont présentées dans le tableau 4.

Groupe contrôle	N	33
	Moy. (%)	1,98
	Ecart-type	14,370
Groupe expérimental	N	33
	Moy. (%)	95,95
	Ecart-type	9,328

Tableau 4. Moyennes (en pourcentages) des gains relatifs de performances globales pour les deux groupes d'élèves

Comme l'indiquent les données du tableau 4, les deux groupes se distinguent de manière significative en matière de gains relatifs. Le groupe ayant bénéficié du traitement expérimental présente une moyenne largement supérieure à celle du groupe contrôle (p = .000[11]). En effet, un faible gain relatif moyen est constaté au sein du groupe contrôle ce qui permet de souligner, pour ce groupe, une évolution minime entre les deux épreuves. Le groupe expérimental présente quant à lui une évolution marquée. Concernant la dispersion de la valeur des gains relatifs, on remarque qu'elle est davantage marquée dans le groupe contrôle que dans le groupe expérimental.

Dans le but de tester l'évolution des performances des élèves, les moyennes des scores obtenus pour chacun des exercices des deux épreuves (prétest et post-test) ont été calculées pour les élèves des deux groupes. Un test de rang de Wilcoxon sur les résultats bruts obtenus par les groupes expérimental et contrôle à chacune des paires

[11] Test U de Mann-Whitney pour échantillons indépendants.

d'exercices (exercices du prétest et du post-test correspondants) a également été réalisé (Tableau 5*Erreur ! Source du renvoi introuvable.*). Il est à noter que les tests statistiques n'ont pas été effectués sur la base des moyennes présentées dans le tableau, mais sur les scores bruts obtenus par chaque élève à l'ensemble des exercices des deux épreuves. En ce qui concerne les résultats, on peut relever que l'évolution des scores obtenus au sein du groupe contrôle est variable pour chaque exercice, mais que dans tous les cas ces scores moyens restent faibles puisqu'ils n'excèdent pas 22%. Au sein du groupe expérimental, l'évolution des scores aux différentes paires d'exercices est, par contre, plus homogène puisqu'on observe une évolution marquée pour chaque paire.

Les résultats aux tests de Wilcoxon indiquent qu'il existe, en faveur du groupe expérimental, des différences de performances significatives entre le prétest et le post-test. En effet, les différences de performances sont très significatives dans le groupe expérimental pour tous les exercices du post-test (p = .000), contrairement aux différences de performances du groupe contrôle qui, elles, ne sont pas significatives (p allant de 0.087 à 0.774).

		Paires de questions				
		1	2	3	4	5
Groupe contrôle	Moy.(%) prétest	6,06	13,13	16,16	8,08	2,02
	Moy.(%) post-test	10,1	21,21	14,65	7,07	5,05
	Stat. Z	-1,713	-1,546	-2,287	-0,832	-1,508
	Significativité	.087	.122	.774	.405	.132
Groupe exp.	Moy.(%) prétest	9,09	17,68	18,69	8,08	3,54
	Moy.(%) post-test	100	94,95	95,45	95,96	94,95
	Stat. Z	-5,181	-4,936	-5,002	-5,117	-5,232
	Significativité	.000	.000	.000	.000	.000

Tableau 5. Tests de rang de Wilcoxon sur les épreuves prétest et post-test des groupes contrôle et expérimental

3.2. Illustration du processus à partir de quelques-unes des productions des apprenants

À titre d'illustration sont ici présentées trois des productions les plus couramment réalisées par les apprenants lors d'un exercice du post-test. La présentation de cette question a pour objectif de comparer les différences qui existent entre les productions des apprenants issus des deux groupes. Pour résoudre l'exercice demandé, les apprenants peuvent mettre en évidence des tracés auxiliaires (tels que des alignements, des diagonales, des médianes) sur le modèle et sur l'amorce. Cela sera vérifié au travers des microvariables évaluées et permettra, in fine, d'apporter la preuve que l'apprenant passe progressivement d'un mode de visualisation iconique à un mode de visualisation de type non iconique. La figure 3 illustre les différences de productions issues des apprenants des deux groupes au post-test.

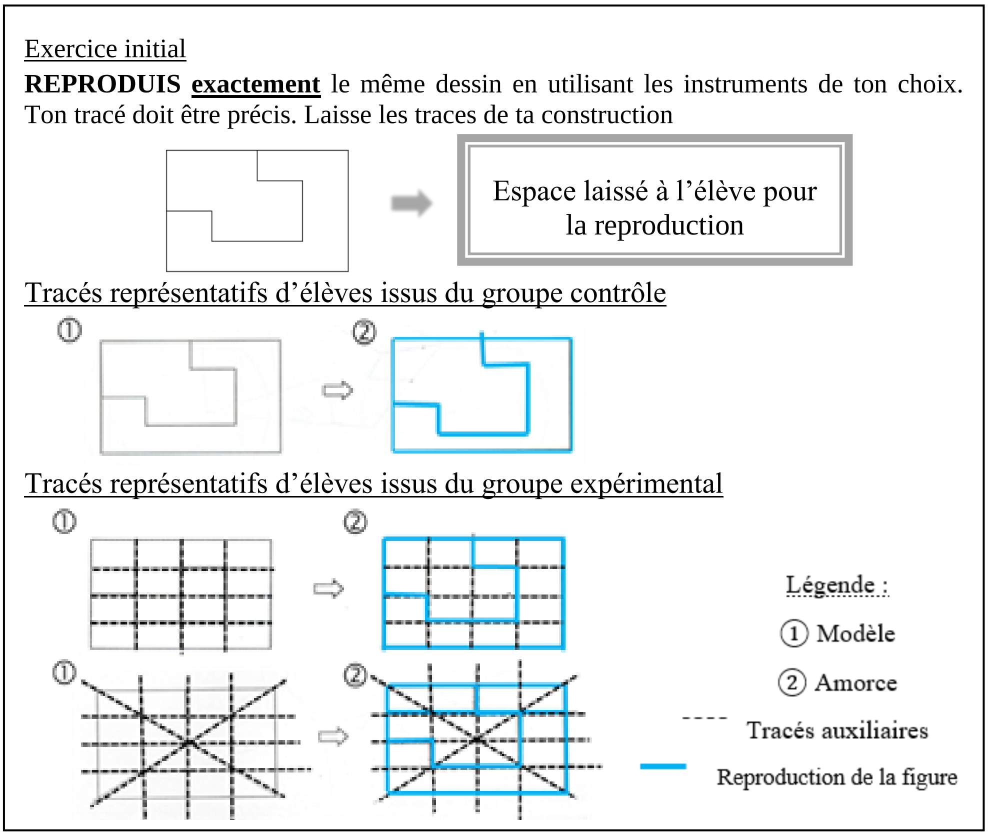


Figure 3. Productions des élèves pour une des questions du post-test

De l’analyse des productions réalisées, il ressort que les élèves du groupe contrôle ne travaillent pas sur le modèle proposé. Lorsqu’ils effectuent la reproduction, ils n’utilisent pas de tracé supplémentaire et les rapports de longueurs ne sont pas respectés. Dans les productions réalisées par le groupe expérimental, les élèves utilisent le modèle ① en y mettant en évidence des alignements et points utiles obtenus grâce aux alignements repérés (unités figurales 1D et 0D). On peut en effet remarquer la présence de tracés auxiliaires sur le modèle. Cela permet d’affirmer que les élèves du groupe expérimental ont commencé à développer le mode de visualisation non iconique puisqu’un travail de déconstruction de formes a été mené. Le graphique, présenté en figure 4, rend compte des différences de comportements observées pour cet exercice par les élèves formant les deux groupes. Pour rappel, chacune des productions est évaluée selon 6 microvariables.

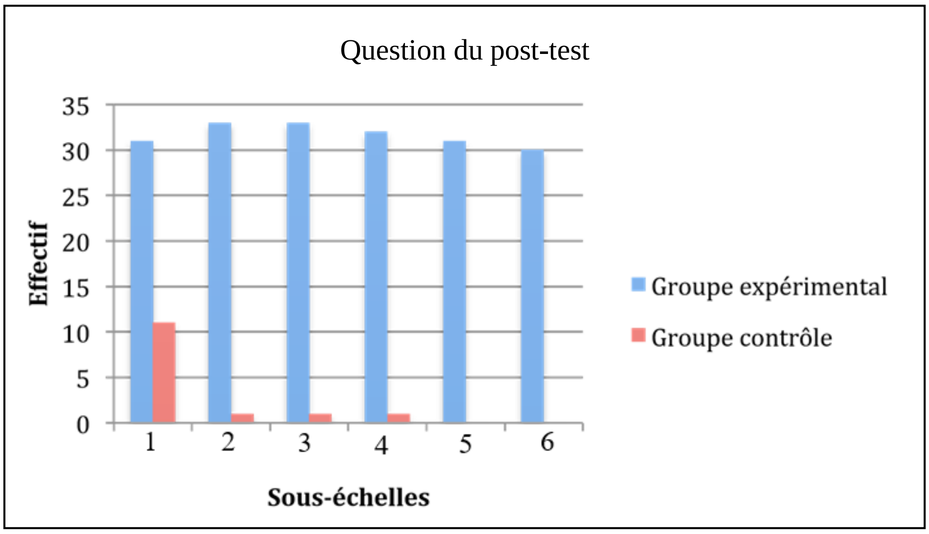


Figure 4. Comportements des élèves définis selon les microvariables à la question

Il apparaît que la quasi-totalité des élèves qui constituent le groupe expérimental (N=33) présente les comportements attendus pour la réalisation de cette question. En effet, au moins 29 élèves sur les 33 font apparaître l’ensemble des tracés auxiliaires utiles sur l’amorce ou dans la zone de reproduction (microvariable 6). Pour la microvariable 1, 10 élèves sur les 33 composant le groupe contrôle parviennent à réussir l’exercice alors qu’ils sont 30 sur 33 à le réussir dans le groupe expérimental. Il est à noter que les tracés auxiliaires sont peu présents, voire totalement absents, dans les copies des élèves du groupe contrôle, aussi bien sur le modèle que sur l’amorce.

4. Discussion et conclusion

Bien que l'intérêt de l'enseignement-apprentissage de la géométrie ne soit plus à démontrer (Commission de réflexion sur l'enseignement des mathématiques, 2002), les évaluations des contenus curriculaires réalisées sur des programmes d'études belges, français et québécois concluent que les contenus géométriques sont sous-représentés par rapport aux contenus algébriques et que l'apprentissage spécifique de la visualisation ne fait l'objet que de rares ou de floues prescriptions (Duroisin, 2015 ; Duroisin & Demeuse, 2015). Dans l'enseignement primaire, l'organisation des objectifs d'enseignement en géométrie plane amène les élèves à développer des connaissances sur les propriétés des objets à une dimension (droites et segments, les relations qu'entretiennent ces éléments entre eux et leurs propriétés) puis à travailler sur les formes familières à deux dimensions (carré, rectangle, triangle…). Ce travail est proposé de manière dissociée, sans tisser suffisamment de liens entre les configurations à une dimension et celles à deux dimensions. La visualisation non iconique (pourtant fondamentale) est, quant à elle, laissée à la seule charge de l'élève dès le début de l'enseignement secondaire.

L'hypothèse posée dans le cadre de cette étude est qu'une ingénierie didactique centrée sur l'apprentissage de la déconstruction dimensionnelle permet aux élèves du 4e cycle de l'enseignement primaire de passer progressivement d'une visualisation de type iconique à une visualisation de type non iconique. Ce passage requiert une mobilité du regard entre surfaces, lignes et points. Acquérir cette mobilité du regard est essentiel pour la discipline. D'une part pour construire les compétences et connaissances attendues dans l'enseignement primaire (i.e. la mise en évidence de propriétés géométriques telles que les propriétés d'incidence). D'autre part pour permettre une entrée facilitée dans la démarche géométrique théorique de l'enseignement secondaire (i.e. l'usage des différents regards permettrait d'accéder au processus de démonstration). Par cette étude, les auteurs cherchaient à savoir si des séquences d'apprentissage comportant des activités de type résolution de problèmes en géométrie et nécessitant le recours à la déconstruction dimensionnelle permettaient aux élèves de développer un changement de regard dans l'analyse des figures en ayant recours à un mode de visualisation non iconique. Pour ce faire, un plan quasi expérimental à observations pré- et post-expérimentales assorti d'un groupe de contrôle a été mis en œuvre. Ce plan a notamment permis de contrôler l'effet prétest.

Concernant les résultats du prétest, ceux-ci permettent d'abord de confirmer que la visualisation non iconique des apprenants en dernière année de l'enseignement primaire est peu développée, voire inexistante. En effet, la manière dont les élèves ont réalisé les exercices du prétest confirme que très peu d'entre eux ont recours aux tracés auxiliaires qui permettent de restaurer ou reproduire une figure. En outre, lors du prétest, on a pu observer que les élèves restent centrés sur les contours fermés des figures (Duval & Godin, 2005 ; Godin, 2005). L'observation des productions permet de conclure que les élèves ne travaillent pas de manière spontanée sur le modèle. En effet, les élèves n'ont pas conscience qu'ils peuvent mettre en évidence, sur le modèle, des tracés auxiliaires utiles à la restauration ou reproduction de figures. S'il est possible de suspecter l'existence d'un effet de contrat didactique, contre-productif pour cet apprentissage, amenant les élèves à considérer qu'ils ne sont pas autorisés à effectuer des tracés sur le modèle ; on peut cependant mettre en évidence que les élèves du groupe expérimental sont parvenus, par le suivi du dispositif, à résilier ce contrat puisqu'ils ont, pour une large majorité, réalisé des tracés sur le modèle.

Au terme de cette recherche, les analyses statistiques effectuées ont permis de constater l'influence favorable du traitement expérimental sur les performances des apprenants. Les élèves qui constituent le groupe contrôle n'ont pas augmenté leurs performances globales, ce qui n'est pas surprenant étant donné l'absence d'activités spécifiques visant le développement de la visualisation non iconique dans le cursus suivi entre les deux épreuves. A contrario, les performances des élèves du groupe expérimental varient de manière très significative entre les résultats au prétest et au post-test, et ce, pour chaque exercice réalisé. Si les améliorations du groupe expérimental sont, de facto, assez logiques, étant donné le plan quasi expérimental mis en œuvre, nous ne pouvons que mettre en exergue les différences de performance observées. De tels résultats montrent ainsi que le repérage de tracés de construction n'est pas spontané (au vu des scores des deux groupes au prétest et du groupe contrôle au post-test), mais que cela peut s'apprendre à la condition de suivre un enseignement basé sur la mise en œuvre d'activités spécifiques. Par ailleurs, les scores au post-test et plus particulièrement à la microvariable 1 montrent que les élèves du groupe contrôle sont nettement moins nombreux à réussir les restaurations et reproductions, en comparaison aux élèves du groupe expérimental. Entrainer les élèves à identifier les tracés auxiliaires les aide donc aussi à mieux réussir des tâches de restauration-reproduction. Le traitement expérimental dispensé a également permis aux élèves d'augmenter de manière considérable leurs performances dans la résolution des exercices des épreuves expérimentales issus des épreuves certificatives externes réalisées à la fin de l'enseignement primaire en Belgique. Cela plaide donc en faveur d'un développement de la visualisation non iconique chez les élèves et laisse à penser qu'un tel dispositif permet de progresser en géométrie, au-delà du développement de la visualisation.

Ceci étant dit, les résultats de cette étude doivent être nuancés puisque, dans le cadre d'expérimentations de courte durée, un biais de surévaluation des résultats a pu apparaître. De plus, un tel biais peut être présent également dans le cadre d'expérimentations pour lesquelles les épreuves ont été construites en fonction du dispositif d'apprentissage, comme c'est le cas ici (Cheung & Slavin, 2013). Par ailleurs, et ceci constitue une limite à cette étude, il s'avère que la réalisation du post-test, directement après le suivi des séquences, ne permet pas d'obtenir des informations sur la durabilité des acquisitions. Le fait que les scores calculés s'appuient uniquement sur les tracés réalisés par les élèves peut également constituer une autre limite. En effet, certains élèves peuvent avoir identifié des relations sur le dessin ou s'être servis de tracés auxiliaires sans pour autant les avoir tracés sur leur feuille. Ils peuvent s'être contentés de positionner leur instrument sur le modèle de départ, sans effectuer de tracé, afin, par exemple, d'y constater des alignements et de s'en servir pour la résolution de l'exercice. En agissant de la sorte, ces élèves font preuve de visualisation non iconique même si cela n'a pas d'impact sur l'augmentation de leur score à l'épreuve. Dans le même ordre d'idée, les élèves peuvent avoir en tête les tracés auxiliaires ; dès lors, les scores calculés peuvent sous-évaluer le niveau d'acquisition de la visualisation non iconique. Si la présence de tracés permet de statuer sur le développement de la visualisation non iconique, l'absence de tracé rend, quant à elle, plus délicate la conclusion sur l'utilisation d'un mode de visualisation spécifique. Dans le cas où aucun trait de construction n'apparaît, l'observation des élèves et la récolte d'informations sur la façon dont les instruments sont utilisés constituent une solution qui pourrait être envisagée dans le cadre de prochaines recherches. Quant à savoir si cet entraînement conduit à un accès plus facile à la démonstration, l'expérimentation menée ne peut répondre à cette question sans recherches additionnelles, susceptibles de tester les propositions de Duval et Godin (2005) à ce sujet.

Pour terminer, les résultats obtenus confirment donc qu'il est possible de développer la visualisation non iconique des élèves en fin de primaire sur la base d'un enseignement/apprentissage visant le développement de la déconstruction dimensionnelle par le recours à des activités de restauration et reproduction de figures. Comme Godin et Perrin-Glorian (2009) avaient pu le supposer, la production ou la reproduction de figures géométriques peuvent être utilisées « comme un milieu ou un domaine de travail où peuvent se construire les connaissances attendues à l'école élémentaire, mais aussi un rapport à la géométrie et à l'usage des instruments plus conforme à ce qui est attendu au collège » (p. 2). Après une période de trois mois de traitement expérimental, on remarque que les progrès des élèves sont considérables. Si de telles activités peuvent donc être implantées dans les classes, cela nécessite cependant des enseignants qu'ils soient conscients des enjeux et finalités de la géométrie (et de l'importance et de l'utilité de faire acquérir aux élèves une visualisation non iconique). Ceci n'est pas acquis puisque Bulf et Mathé (2018) ont montré que les enseignants de primaire perçoivent avec difficulté les enjeux et finalités de la géométrie et que ces derniers ne s'intéressent pas forcément au fonctionnement cognitif des apprenants impliqués dans des tâches géométriques. A l'heure de la réforme de la formation initiale des enseignants en Belgique francophone (Ministère de la Communauté française, 2019), une place plus importante pour la didactique des disciplines et la psychologie des apprentissages est prévue dans les cursus de formation. Il convient donc de se saisir de cette possibilité pour former les enseignants de mathématiques aux enjeux et finalités d'un des domaines les plus difficiles à enseigner aux élèves et pour lequel les prescrits curriculaires sont peu explicites. Il convient également de renforcer cette formation en suscitant (notamment chez les futurs enseignants) des réflexions plus approfondies sur la place du développement de la visualisation non iconique, habileté constituant un prérequis important pour de multiples apprentissages ultérieurs.

Bibliographie

BARISNIKOV, K. & PIZZO, R. (2007). L'examen des compétences visuo-spatiales. Dans M.-P. Noël (Eds.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (pp. 139-170), Wavre : Mardaga.

BARRIER, T., HACHE, C. & MATHÉ, A.-C. (2014). Droites perpendiculaires au CM2 : restauration de figure et activité des élèves. *Grand N*, **93**, 13-37.

BOULEAU, N. (2001). Reproduction de figures et géométrie en cycle 1 et 2. *Grand N*, **67**, 15-32.

BULF, C. & CELI, V. (2015). Des problèmes de reproduction aux problèmes de restauration de figures plane : quelles adaptations pour la classe ? *Actes du 41e Colloque COPIRELEM, Mont-de-Marsan 2014*, 86-102.

BULF, C. & CELI, V. (2016). Essai d'une progression sur le cercle pour l'école primaire - une articulation clé : gabarit-compas. *Grand N*, **97**, 21-58.

BULF, C. & MATHE, A.-C. (2018). Agir-parler-penser en géométrie. Un point de vue sémiotique sur l'enseignement et l'apprentissage de la géométrie à l'école primaire. *Actes du 44e Colloque COPIRELEM, Epinal 2017*, 29-56.

BULF, C. (2009). Analyses en termes d'espaces de travail géométrique sur l'enseignement français de la symétrie en début de collège. *Actes du Premier colloque franco-chypriote de Didactique des Mathématiques,* 51-70.

BULF, C. (2019). Professional actions of novice teachers in the context of teaching and learning geometry. *Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME11).*

CHEUNG, A. & SLAVIN, R. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms : A meta-analysis. *Educational Research Review*, **9**, 88-113.

CLEMENT, E. (2009). *La résolution de problème*. Paris : Armand Colin.

COMMISSION DE REFLEXION SUR L'ENSEIGNEMENT DES MATHEMATIQUES (2002). L'enseignement des sciences mathématiques. Dans J.P. KAHANE (dir.), *L'enseignement des sciences mathématiques : Rapport au Ministre de l'Education nationale*. Paris : Odile Jacob.

D'HAINAUT, L. (1985). *Des fins aux objectifs de l'éducation* (4è éd.). Bruxelles : Labor-Nathan.

DELPLACE, J.-R., KESKESSA, B. & PERRIN-GLORIAN, M.-J. (2007). Géométrie plane et figures au cycle 3. Une démarche pour élaborer des situations visant à favoriser une mobilité du regard sur les figures de géométrie. *Grand N*, **79**, 33-60.

DUROISIN, N. (2015). *Quelle place pour les apprentissages spatiaux à l'école ? Etude expérimentale du développement des compétences spatiales des élèves âgés de 6 à 15 ans.* Thèse de doctorat, Université de Mons.

DUROISIN, N., & DEMEUSE, M. (2015). What role for developmental theories in mathematics study programmes in French-speaking Belgium? An analysis of the geometry curriculum's aspects, framed by van Hiele's model. *Cogent Education*, **2(1)**, 1-15.

DUROISIN, N. & DEMEUSE, M. (2016). Le développement de l'habileté de visualisation spatiale en mathématiques chez les élèves âgés de 8 à 14 ans. *Petit x*, **102**, 5-25.

DUROISIN, N., TEMPERMAN, G.& DE LIÈVRE, B. (2015). Restrict or Share the Use of the Interactive Whiteboard? The Consequences on the Perception, the Learning Processes and the Performance of Students within a Learning Sequence on Dynamic Geometry. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, **14(2)**, 144-154.

DUVAL, R. (2005). Les conditions cognitives de l'apprentissage de la géométrie : développement de la visualisation, différenciation des raisonnements et coordination de leurs fonctionnements. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, **10**, 5-53.

DUVAL, R. (2011). Idées directrices pour analyser les problèmes de compréhension dans l'apprentissage des mathématiques. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, **11**, 149-161.

DUVAL, R. & GODIN, M. (2005). Les changements de regard nécessaires sur les figures. *Grand N*, **76**, 7-27.

DUVAL, R., GODIN, M. & PERRIN-GLORIAN, M.-J. (2005). Reproduction de figures à l'école élémentaire. *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques 2004*, 5-89.

GODIN, M. & PERRIN-GLORIAN, M.-J. (2009). De la restauration de figures à la rédaction d'un programme de construction. Le problème de l'élève, le problème du maître. *Actes du XXXVe Colloque COPIRELEM, Bombannes 2008*, 1-19.

GRENIER, D. (1988). *Construction et étude du fonctionnement d'un processus d'enseignement sur la symétrie orthogonale en sixième*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble.

KOFFKA, K. (1935). *Principles of gestalt psychology*. N.Y. : Harcourt, Brace.

KÖHLER, W. (1929). *Gestalt psychology*. N.Y. : Liveright.

LECLERCQ, R. & MANGIANTE-ORSOLA, C. (2014). Etude d'un dipositif articulant production de ressources et formation continue en géométrie : quels effets sur les pratiques des enseignants ? *Actes du XLème colloque de la COPIRELEM, Nantes*, 108-116.

MANGIANTE-ORSOLA, C. & PERRIN-GLORIAN, M.-J. (2014). Géométrie en primaire : des repères pour une progression et pour la formation des maîtres. *Grand N*, **94**, 47-79.

MATHE, A.-C. (2008). Confrontation aux objets et processus de conceptualisation en géométrie plane à la fin de l'école primaire, rôle des interactions langagières. *Actes de la Conférence internationale « Efficacité et équité en éducation »*, 1-14.

MATHE, A.-C. (2012). Jeux et enjeux de langage dans la construction de références partagées en géométrie. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, **32(2)**, 195-228.

Décret définissant la formation initiale des enseignants (07 février 2019). Administration Générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, Service général des Affaires pédagogiques, de la Recherche en Pédagogie et du Pilotage de l'Enseignement organisé par la communauté française, 05 mars 2019, p.1-61. https://www.etaamb.be/fr/decret-du-07-fevrier-2019_n2019040573.html

MITHALAL, J. (2010). *Déconstruction instrumentale et déconstruction dimensionnelle dans le contexte de la géométrie dynamique tridimensionnelle*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble.

MITHALAL, J. (2011). Vers la mobilisation d'une géométrie axiomatique et de la déconstruction dimensionnelle : intérêt de la géométrie dynamique tridimensionnelle. *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques*, 114-128.

MITHALAL, J. (2014). Voir dans l'espace: est-ce si simple ? *Petit x*, **96**, pp.51-73.

PERRIN-GLORIAN, M.-J. (2012). La géométrie (plane) du CP à la 5ème. Quelques réflexions pour le comité scientifique des IREM. Communication présentée au comité scientifique des IREM.

PERRIN-GLORIAN, M.J. & GODIN, M. (2014). De la reproduction de figures géométriques avec des instruments vers leur caractérisation par des énoncés. *Math-école*, **222**, 26-36.

PERRIN-GLORIAN, M.J. & GODIN, M. (2018). Géométrie plane : pour une approche cohérente du début de l'école à la fin du collège. *Actes du Concertum de la CORFEM, 1-41*.

PERRIN-GLORIAN, M.-J., MATHE, A.-C. & LECLERCQ, R. (2013). Comment peut-on penser la continuité de l'enseignement de la géométrie de 6 à 15 ans ? Le jeu sur les supports et les instruments. *Repères IREM*, **90**, 5-41.

NATACHA DUROISIN

Ecole de Formation des Enseignants, Université de Mons

Natacha.Duroisin@umons.ac.be

ROMAIN BEAUSET

Institut d'Administration Scolaire, Université de Mons

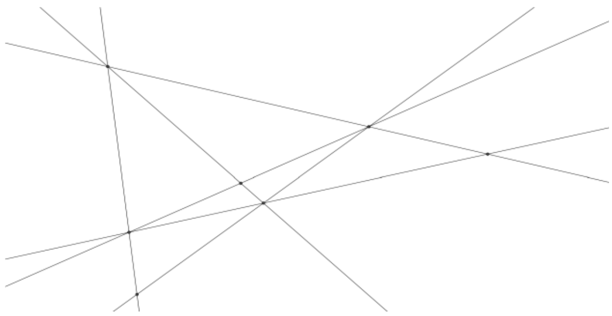
Romain.Beauset@umons.ac.be

JESSICA LUCCHESE

Université de Mons

Jessica.Lucchese@alumni.umons.ac.be

Annexe 1 : Description des séquences élaborées et dispensées dans le traitement expérimental

Séquence 1 : Faisceaux de traits (repérer des alignements)
3 périodes
Résumé : Activités de restauration à la droite non graduée consistant à reconstruire à la même échelle une configuration de traits sécants (figures modèles) à partir de certains points d'intersection des traits (amorces).
Illustration d'une des activités : - Observe la construction ci-dessous. Que peux-tu en dire ?  - Tente de la reproduire avec les points qui te sont donnés 

Séquence 2 : Initiation à l'utilisation de divers

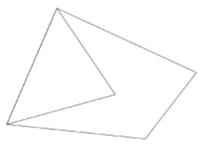
6 périodes

Résumé : Activités de reproduction ou restauration de figures simples puis complexes isométriques avec une progression dans les instruments imposés (Gabarits et pochoirs ➔ Gabarits et plusieurs règles non graduées ➔ Gabarit et une seule règle non graduée ➔ Surface quelconque et une règle non graduée ➔ Une règle non graduée et une équerre non graduée ➔ un compas et une règle non graduée) afin de relever différentes techniques (selon les instruments) pour reproduire ou restaurer des figures.

Illustration d'une des activités :

- Voici une construction. Reproduis-la avec les deux gabarits et le pochoir. Attention, tu ne peux utiliser que ces trois éléments pour reproduire la figure.

Matériels :



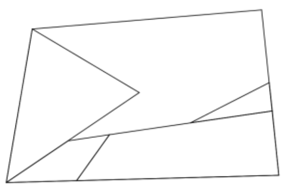
Séquence 3 : Notions d'alignement, droite et point

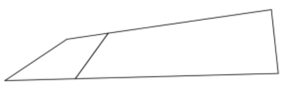
2 périodes

Résumé : Activités de restauration de figures complexes isométriques, avec système de coût pour l'utilisation des instruments

Illustration d'une des activités :

- Voici une construction. Reproduis-la à l'aide d'une règle informable et d'une règle plastifiée. Trace une barre verticale dans le tableau ci-dessous dès que tu traces une droite ou que tu repores une mesure. A la fin de la construction, calcule le coût de celle-ci. Tracer une droite coûte 1 point et reporter une longueur coute 5 points.





J'ai tracé des droites	
J'ai reporté une mesure	

Séquence 4 : Restauration de figures (la mobilité du regard pour résoudre le problème)

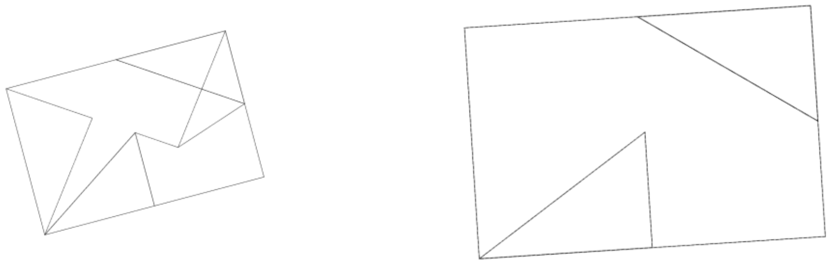
2 périodes

Résumé : Activités de restauration de figures complexes isométriques ou après agrandissement ou réduction, avec système de coût pour l'utilisation des instruments.

Illustration d'une des activités :

Le matériel mis à disposition est une règle non graduée et une règle plastifiée.

- Observe bien cette figure complexe.
- Quels points ste paraissent alignés ? Vérifie avec ta règle.
- Complète l'agrandissement pour qu'il soit semblable au modèle.



J'ai tracé des droites	
J'ai reporté une mesure	

Séquence 5 : Restauration, reproduction de figures

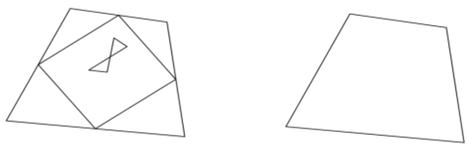
2 périodes

Résumé : Activités de restauration de figures complexes à l'identique avec agrandissement.

Si les figures à restaurer ou à reproduire jusqu'ici ne comportaient ni rapport particulier, ni angle droit, ni droites parallèles, les figures à restaurer ici demandent d'utiliser des alignements et des milieux.système de coût pour l'utilisation des instrumentss (les figures à restaurer ici demandent d'utiliser des alignements et des milieux).

Illustration d'une des activités :

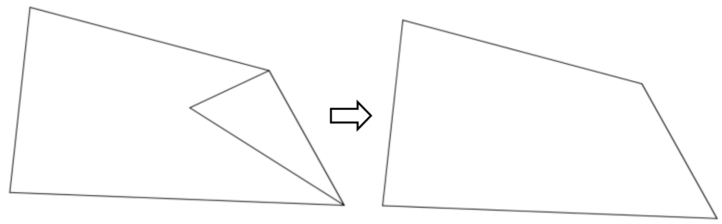
- Reproduis le modèle sur base de l'amorce. Calcule le coût de ta restauration.



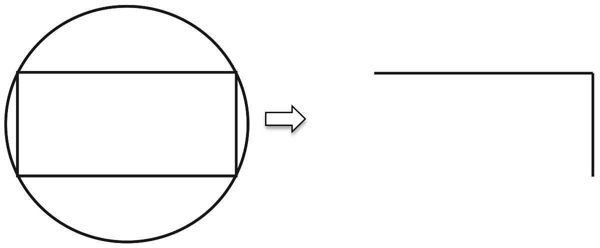
Annexe 2 : Description des séquences élaborées et dispensées dans le traitement expérimental

Prétest

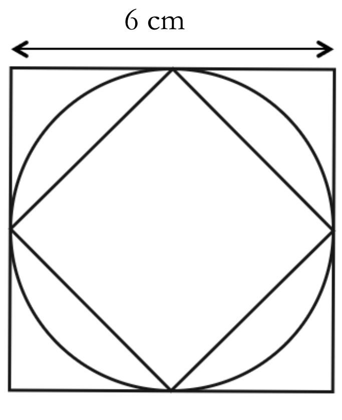
1) **REPRODUIS** **exactement** le même dessin en utilisant les instruments de ton choix. Ton tracé doit être précis. Laisse les traces de ta construction.



2) Voici un dessin composé d'un rectangle et d'un cercle. **REPRODUIS** **exactement** ce dessin qui est déjà commencé : une longueur et une largeur du rectangle sont déjà tracées. Laisse les traces de ta construction.

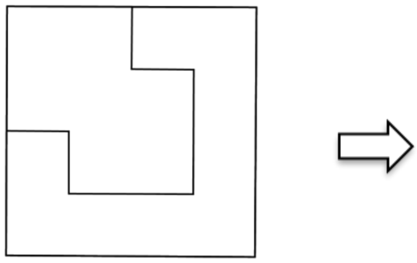


3) **REPRODUIS** **exactement** le même dessin en utilisant les instruments de ton choix. Ton tracé doit être précis. Laisse les traces de ta construction.



Ton tracé :

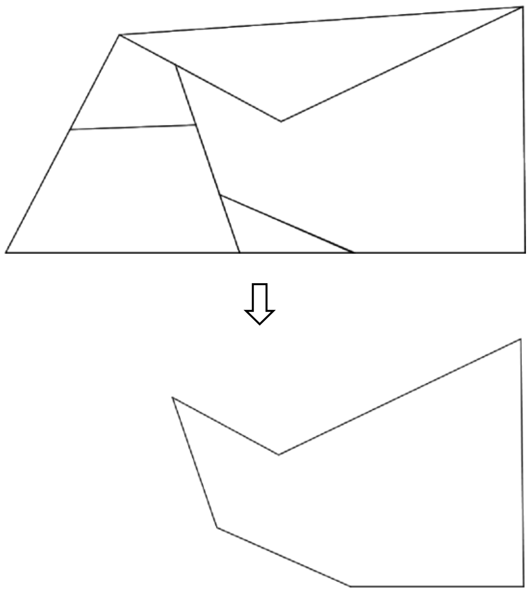
4) **REPRODUIS** **<u>exactement</u>** le même dessin en utilisant les instruments de ton choix. Le carré est déjà tracé. Laisse les traces de ta construction.



5) **REPRODUIS** **<u>exactement</u>** le dessin 1 en prenant le dessin 2 comme point de départ. Utilise les instruments de ton choix. Laisse les traces de ta construction.

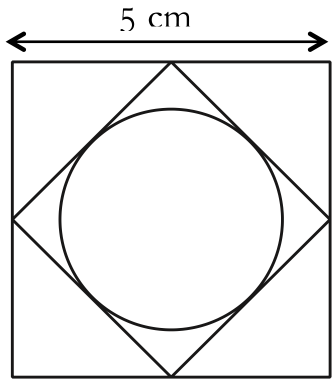
①

②



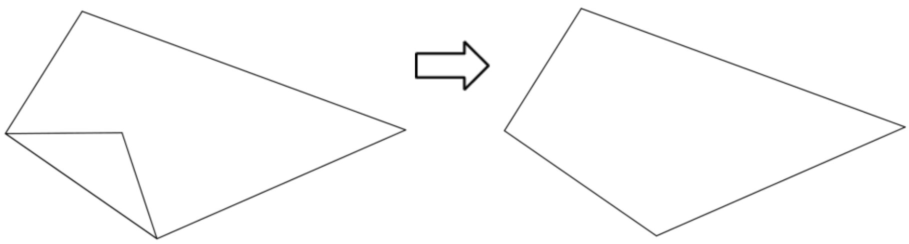
Post-test

1) **REPRODUIS <u>exactement</u>** le même dessin en utilisant les instruments de ton choix. Ton tracé doit être précis. Laisse les traces de ta construction.

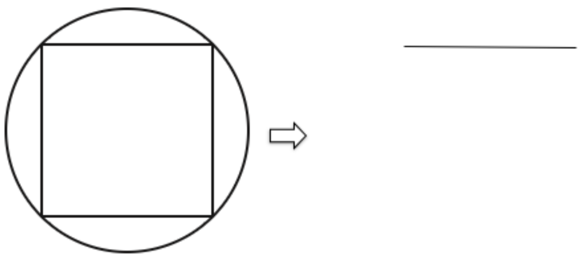


<u>Ton tracé :</u>

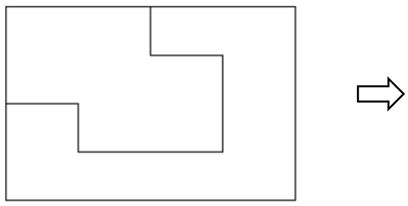
2) **REPRODUIS <u>exactement</u>** le même dessin en utilisant les instruments de ton choix. Ton tracé doit être précis. Laisse les traces de ta construction.



3) Voici un dessin composé d'un carré et d'un cercle. **REPRODUIS <u>exactement</u>** ce dessin qui est déjà commencé : deux côtés du carré sont déjà tracés. Laisse les traces de ta construction.

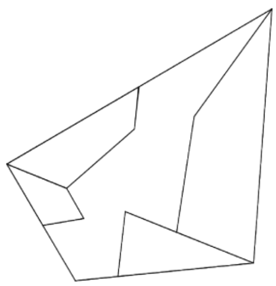


4) **REPRODUIS** **<u>exactement</u>** le même dessin en utilisant les instruments de ton choix. Le rectangle est déjà tracé. Laisse les traces de ta construction.



5) **REPRODUIS** **<u>exactement</u>** le dessin 1 en prenant le dessin 2 comme point de départ. Utilise les instruments de ton choix. Laisse les traces de ta construction.

①



②