CAEGADV – Monographie 2010

La Boîte à Pliages Géométriques

Pascal AYMARD

IPHV Les Hauts Thébaudières
44122 VERTOU

Mes plus sincères remerciements

à Solène Juvin, pour son engagement constant à mes côtés dans ce projet, contre vents et marées
à Michel Lucas, pour nous avoir donné envie de plier, pour ses astuces et ses conseils passés et futurs
à Véronique Graiz et Olivier Aymard pour leurs rigoureuses relectures

à Maryse Papineau, Gautier Thomas, Damien Juvin, Cédric Desessard et Damien Tribaleau, Solène Ripoche, Pascal Baudry, Denis Maury, Alain Bonnefoux, Arnaud Delanoë, Yann Renaudineau et Christophe Taupin, pour leur participation ou leurs conseils techniques

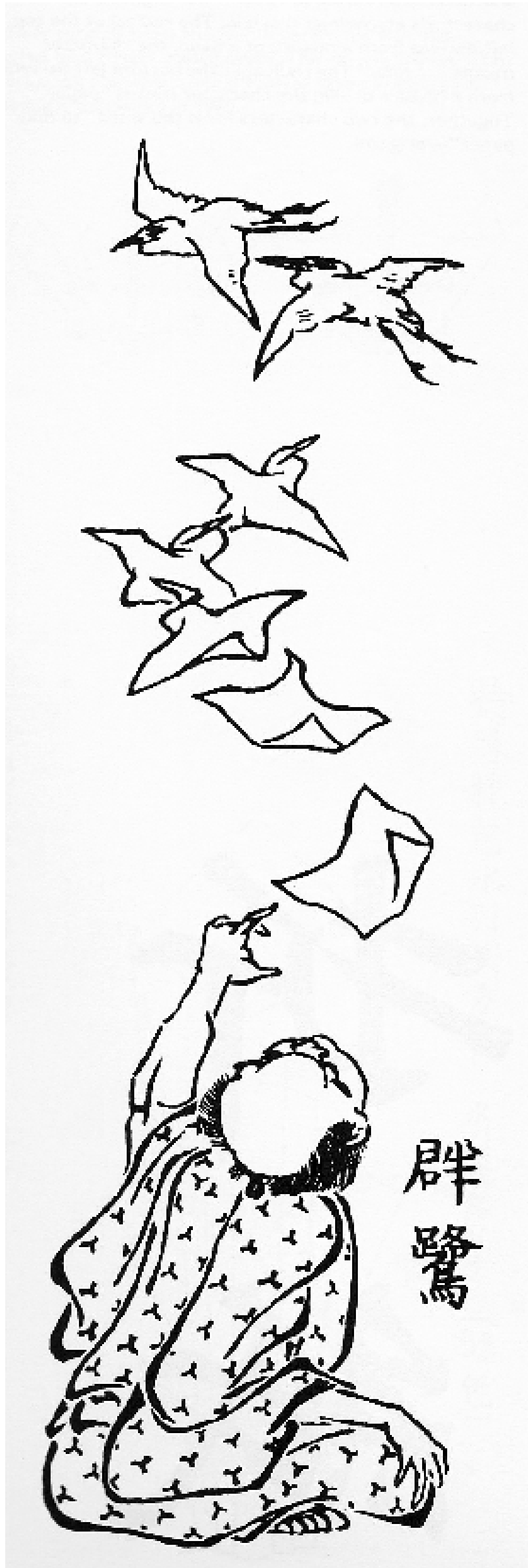
aux professionnels qui sont intervenus dans la formation CAEGADV 2007-2010, *pour les nouvelles compétences et questions que je leur dois*

*au groupe des plieurs de l'*AVH, *pour les observations qu'ils ont aimablement permises*

à Dominique Marquez, Maryvonne Pibou et Françoise Taté, pour la chaleur de leur soutien au quotidien

aux élèves qui utilisent la boîte à pliages, eux dont je tire tous les enseignements qui nous font avancer ensemble.

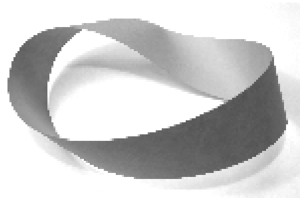
Merci enfin à vous, qui avez préféré ne pas apparaître ici mais êtes bien le brillant miroir de cette passion que j'entends préserver.



Sommaire

Annexes

Bibliographie et références



Introduction

Un souvenir d'étudiant m'est récemment revenu… Nous nous efforcions, avec quelques autres étudiants en mathématiques, de percer le mystère des propriétés topologiques du Ruban de Moebius. La géométrie était depuis longtemps devenue dans nos cours un enchevêtrement de symboles et de formules abstraites exsangues de tout espoir de concrétisation dessinée. Mais cette fois, l'enseignant nous demanda de découper une bande de papier, de l'assembler comme le fameux 'ruban tordu', puis de reprendre nos recherches. Notre groupe, si studieux d'habitude, s'est remis à jouer avec le papier, comme des enfants l'auraient fait. De ce jeu manuel guidant la pensée est venue la compréhension. Un simple morceau de papier pour résoudre un épineux problème.

J'ai commencé à enseigner les mathématiques il y a une dizaine d'années. Cinq se sont écoulées depuis mon entrée à l'Institut Public pour les personnes Handicapées Visuelles « Les Hauts Thébaudières » de Vertou (44), où j'accompagne des élèves âgés de 12 à 17 ans (selon les programmes du cycle 3 de l'Ecole primaire ou ceux du Collège). Je n'avais jamais fait d'*origami*, jamais pensé non plus, à utiliser les transformations du papier dans mon enseignement, jusqu'à Septembre 2007. A cette époque, une piste pédagogique commençait à être explorer dans l'Institut. Il s'agissait de **réaliser un nouvel outil dédié à l'apprentissage de la géométrie pour les élèves déficients visuels en s'inspirant de l'origami**. De rencontres et discussions en lectures, d'expériences en remises en question, ma collègue Solène JUVIN et moi-même, avons peu à peu créé une 'boîte à outils' pour enseigner la géométrie grâce au pliage : une '**boîte à pliages géométriques**'. Mon action s'est concentré sur la formalisation des principes fondateurs et méthodologiques sous-tendus et sur le développement des applications envisageables auprès des élèves suivants mes cours.

Cet écrit expose l'histoire d'une réflexion et celle de sa mise en œuvre.

Il m'a d'abord fallu considérer quelques unes des théories expliquant comment les notions géométriques se construisent dans l'esprit humain, quelles sont les contraintes particulières dans cette élaboration émanant de la déficience visuelle, puis comment, et à quelles fins s'adapte notre enseignement au service des élèves non ou malvoyants.

A la suite de ces principes théoriques succèdent ceux qui ont fondé un outil pédagogique utilisant le pliage pour la géométrie et quelques descriptions illustrant son utilisation pratique.

Enfin, après l'expérimentation, vient le temps d'un premier bilan laissant entrevoir des limites et des perspectives pour la boîte à pliages géométriques.

Première partie : Principes théoriques

Les mathématiciens de la Grèce antique ont historiquement baptisé **la géométrie** il y a environ 2 500 ans. Pourtant, les utilisations empiriques d'une géométrie élémentaire ont laissé des traces beaucoup plus anciennes en Egypte, en Inde, en Mésopotamie ou en Bretagne. La multiplicité de ces berceaux de connaissances rappelle qu'elle s'est **imposée à la réflexion de l'Homme**. Avec l'étude des nombres, elle constitue le pilier des mathématiques pré-modernes, essence des premières représentations abstraites de l'esprit matérialisée en évolutions agricoles et architecturales, au profit de la sécurité, de l'hygiène et du confort.

La géométrie intuitive, « empruntée à l'espace visuel »[1], étymologiquement *mesure* (*métron*) et *Terre* (*gê*), s'est destinée « à **l'étude des formes et des grandeurs** ». Nourrie d'explorations intellectuelles et d'expériences concrètes, elle est réellement devenue mathématique avec l'introduction de la méthode axiomatique dans les *Eléments* d'EUCLIDE (vers 285 av J-C). La rigueur du raisonnement appliqué au cadre de la géométrie euclidienne a permis le développement des mathématiques en général et celui de nouvelles branches autonomes de la géométrie en particulier. Protéiforme, elle atteint aujourd'hui un tel degré d'abstraction et de complexité, qu'aucun mathématicien ne peut s'enorgueillir de pratiquer toutes les géométries[2].

L'élaboration cognitive de concepts et de procédures reliant l'Homme à son environnement spatial se soumet à lui dans sa phylogenèse aussi naturellement qu'à l'individu dans son ontogenèse. A bien des égards d'ailleurs, nos histoires individuelles et collectives de cette construction intellectuelle empruntent le même chemin et connaissent les mêmes hésitations mathématiques. **L'acquisition de connaissances géométriques élémentaires est essentielle pour comprendre et transformer l'environnement spatial**. En particulier, si une personne **en situation de handicap visuel** veut 'être au monde', la représentation mentale et la manipulation de données géométriques constituent pour elle, **un intérêt et un enjeu des plus prégnants**. Or, les personnes déficientes visuelles, les parents, les professionnels du handicap l'ont vérifié, **l'absence ou le défaut de vision n'empêchent pas mais compliquent le développement du lien à l'espace**. Les retentissements des difficultés, décalages et erreurs ainsi occasionnés peuvent apparaître **dans plusieurs étapes du parcours scolaire.**

L'enseignement de la géométrie revêt ainsi un caractère d'autant plus important et complexe qu'il s'adresse à des élèves déficients visuels. Il lui faut **répondre à sa problématique générale en s'adaptant au mieux aux capacités et attentes particulières.**

---

[1] Fritz REINHARDT et Heinrich SOEDER, *Atlas des mathématiques*, Livre de Poche
[2] « depuis Henri POINCARE (1854 -1912) », Pierre ROUSSEAU, *Histoire de la science*, Fayard - 1945

1.1. Développement psychogénétique des structures géométriques

L'étude du **développement de l'enfant** a nourri de nombreux débats et fait couler beaucoup d'encre. Philosophes, scientifiques, psychologues, pédagogues ont souvent distingué les thèmes de cette **vaste réflexion**, défendant des théories parfois centrales dans la genèse épistémologique de nouvelles sciences. La perception, la manipulation physique, les opérations physiologiques et cognitives qu'impose la géométrie au développement de l'Homme lui attribuent un rôle qui a naturellement fait l'objet d'**investigations particulières**. De la simple observation des comportements à l'imagerie cérébrale fonctionnelle, les hypothèses d'hier s'affinent ou disparaissent aujourd'hui. Se pencher sur les différences et les points d'ancrages que constituent certaines hypothèses difficilement contournables revient à marcher au bord d'un précipice abyssal, tant la plupart des ouvrages abordant ces sujets sont denses et précis. En **extraire quelques principes essentiels** permettant de **guider notre action pédagogique** peut donc être considéré comme une gageure. Pourtant, cette démarche permet de **mettre en évidence un champ de contraintes** qu'il ne me semble pas vain d'évoquer ici, dès lors que la **théorie** est envisagée **à des fins pratiques**.

1.1.1. La perception des formes, l'inné et l'acquis

Dans les approches pourtant variées de David HUME (XVIII^{è} siècle), père de l'*empirisme* moderne, ou des ***behavioristes*** de WATSON à SKINNER au milieu du XX^{è}, **l'environnement est l'élément clé** de la détermination et de l'explication **des conduites humaines**. L'environnement stimule, l'organisme est stimulé et adapte le comportement ou la réponse. Le **principe biologique d'*assimilation-accommodation*** régissant l'évolution de tout organisme vivant est déjà sous-jacent dans cette analyse. Les données extérieures sont coordonnées et insérées dans le cycle propre de l'organisme (*mécanisme d'assimilation*) et le résultat des pressions exercées par le milieu sur l'organisme en transforme les caractéristiques (*mécanisme d'accommodation*). En particulier, la différence cérébrale entre les individus provient de la stimulation qu'ils reçoivent. Nous sommes naturellement transformés au contact de la structure géométrique de l'espace grâce à l'utilisation de nos modalités visuelles, tactiles et auditives. Nous devons pouvoir percevoir l'espace afin de prendre connaissance de l'environnement, d'interagir avec lui et d'agir sur lui. Le développement nécessite ainsi en particulier la **perception de stimulations géométriques suffisantes en qualité et quantité**.

Les psychologues de la ***Gestalt***[3] estiment que **l'on ne peut réduire la perception à l'ensemble des stimuli reçus**[4] et concentrent leur attention sur l'interaction entre l'Homme et

[3] KOFFKA, KOLHER, WERTHEIMER…
[4] Puisque *le tout est différent de la somme des parties qui le constituent.*

son environnement. La *forme* dans son acception gestaltiste revêt un **caractère signifiant**. L'activité mentale liée à la géométrie doit être envisagée au-delà d'une simple mise en relation physique. La forme signifiée par l'esprit, notre forme physiologique (en particulier du cerveau) et celle du message perceptif sont reliées et interdépendantes (« par un isomorphisme »[5]). Il convient ainsi d'approfondir la connaissance de la perception et de **considérer les processus par lesquels les données perçues 'font sens'**.

Le philosophe Thomas HOBBES écrivait déjà en 1651 : « Il n'y a aucune idée dans l'esprit de l'homme qui n'ait été engendrée totalement ou partiellement par les organes des sens », mais **sensation et perception** n'étaient **pas encore** véritablement **distinguées**. James GIBSON[6]**,** dans la *théorie écologique*, rejette cette distinction. La perception s'exercerait directement au travers des relations de l'animal avec son environnement, par les *affordances* (à la fois significations et fonctions de l'objet), sans passer par une représentation intermédiaire. Mais le *constructivisme* défendu notamment par Donald OLDING HEBB[7] affirme que seuls la *distinction figure/fond* et certains éléments du monde externe sont codés de façon innée, alors que l'identification des figures est apprise. Les *transactionnalistes* et Richard GREGORY[8] contredisent également GIBSON. « **La perception accorde une signification à la source responsable de la sensation** », et doit être conceptualisée comme **un ensemble d'hypothèses testées en permanence**. D'ailleurs, sous le prisme de la *sémiologie* (théorie s'attachant aux signes, la manière dont ils fonctionnent et prennent du sens), l'analyse d'ECO[9] stipule que l'image contient des *figurae*, tels des lignes, des angles et des coins, formant des *signes*, (par exemple un nez ou un œil) qui ensemble composent des *propositions iconiques* (par exemple une femme brune qui marche et porte un manteau clair), elles-mêmes s'associant pour former une *scène*. **La proposition globale la plus signifiante annule les autres** (les illusions perceptives confirmant d'ailleurs parfaitement cette règle). Pour SONESSON[10], la **logique de la perception est probabiliste**. Le sens n'est pas donné une fois pour toutes, mais il est affecté avec plus ou moins de certitude. Or, les probabilités, dont l'ambition est de prédire, sont d'autant plus fiables et proches de la réalité qu'elles peuvent **tirer leurs conclusions d'un nombre important de tests et d'estimations effectués dans des situations identiques ou *a contrario* variées**.

Arlette STRERI [5] me semble enfin exprimer un **consensus** admis par la grande majorité des tendances actuelles, permettant de débattre d'un même concept : « La perception, activité

---

[5] Arlette STRERI, L'homme cognitif, sous la direction d'Annick WEIL-BARAIS, Quadrige/PUF - 2005
[6] James GIBSON, The Ecological approach to visual perception, Houghton Mifflin - 1979
[7] Donald OLDING HEBB, The Organization of behavior, Wiley & Sons - 1949
[8] Richard GREGORY, Eye and brain, Mc Graw-Hill - 1973
[9] Umberto ECO, La struttura assente, Bompiani - 1968
[10] Göran SONESSON, Pictorial Concept, Aris/Lund University Press - 1989

complexe et individuelle, met en jeu trois systèmes : un stimulus qui fournit des informations, un capteur ou récepteur sensible à ces informations et un système de traitement de l'information *id est* le système perceptivo-cognitif du sujet ».

Plusieurs orientations pédagogiques découlent de ces différentes analyses. La **nature des stimuli** doit être **appropriée** aux capacités perceptives et sensorielles de l'élève. Il faut **multiplier et diversifier les expériences de perception** des informations géométriques, et permettre qu'elles **suscitent une suite d'opérations cognitives**, qu'elles **prennent et donnent du sens**. Mais le médiateur de développement, que peut être le pédagogue, doit également se soucier des **recherches de la psychologie cognitive** appliquées au domaine de l'éducation, de l'étude des opérations de traitement de l'information qui est reçue, sélectionnée, mémorisée et communiquée, en fonction de l'apprentissage visé.

1.1.2. Cognition et géométrie

Après la seconde guerre mondiale, **Jean PIAGET** place **l'étude des *fonctions cognitives***[11] et de **leur construction** au cœur de ses investigations[12]. Il renvoie dos à dos *innéistes* et *empiristes* en considérant que notre capacité à connaître et réfléchir se construit progressivement au cours de **quatre stades**, eux-mêmes subdivisés en sous-stades. L'activité intellectuelle de l'enfant met en jeu ses premiers *schèmes* réflexes, disponibles à la naissance. Il les organise en ensembles de mouvements (sucer, tirer, pousser...) puis d'*opérations cognitives* également acquises et développées par son interaction avec le monde environnant. Les actions, opérations et procédures mentales et physiques sont assimilées, ancrées si l'expérience les conforte. Lorsque les connaissances initiales mobilisées ne suffisent plus à traiter l'information à laquelle le sujet est confronté, un déséquilibre (ou *conflit cognitif*) suscite l'accommodation et l'évolution de l'activité. « Les avancées de PIAGET font surgir une évidence incontournable : le problème de la logique est un problème d'ordre psychologique et biologique »[13].

Il décrit précisément le **développement de notre intelligence *sensori-motrice*** (de 0 à environ 2 ans), essentiellement **pratique**, sans réelle représentation ni pensée. L'apparition des réflexes conditionnés, des conduites, déplacements et regards dirigés, l'accès à la première *permanence des objets* ou à la causalité entre **les actions et leurs résultats résultent tous de la relation à l'espace**, d'abord uniquement *perceptif*, buccal puis manuel et visuel.

PIAGET constate[14] une **double évolution simultanée**, celle de l'**espace physique des objets** et celle de l'**espace mathématique des figures** se construisant en interaction. La

[11] « mécanismes généraux de la construction des connaissances» (perception, attention, mémoire, motricité, langage et activité intellectuelle : raisonnement, pensée…)
[12] Jean PIAGET et Bärbel INHELDER, La psychologie de l'enfant, PUF - 1966
[13] Hubert REEVES, Malicorne, Le Seuil - 1990
[14] Jean PIAGET et Rolando GARCIA, Psychogenèse et histoire des sciences, Flammarion - 1983

manipulation concrète et les expériences de représentations de l'espace physique initient l'élaboration intellectuelle des propriétés géométriques des figures qui permet à son tour de nouvelles manipulations des objets…

Lors du **stade *pré opératoire*** (de 2 à 6/7 ans), la ***fonction symbolique***, regroupant l'imitation différée, le jeu symbolique, le dessin, l'image mentale et le langage, permet à l'enfant de **se représenter l'espace en intériorisant mentalement les actions disponibles**. Pendant cette période, les relations géométriques sont ***intrafigurales***, uniquement **liées à des considérations topologiques**. L'enfant est d'abord sensible à certaines relations internes aux figures ou aux éléments qu'elles contiennent, aux notions d'ouverture et fermeture, d'intérieur et d'extérieur, de voisinage. Les **propriétés géométriques** telles que distances, mesures d'angles, parallélisme ou perpendicularité, **ne sont pas permanentes**. Il distingue les figures rectilignes des curvilignes, les angles droits des non-droits mais n'utilise que maladroitement les notions de verticalité ou d'horizontalité nécessitant des références extérieures à la figure.

Les **acquisitions de cette période** consistent à **dégager les rapports des objets entre eux**. Elles marquent le début des coordinations intériorisées, l'apparition des premières esquisses de représentations décentrées et des déplacements réversibles. L'objet est finalement conçu comme permanent (continuant d'exister, identique à lui-même, caché sous un canapé). Les caractéristiques *invariantes* des objets offrent la possibilité de les représenter. L'enfant utilise les **nouveaux signifiants géométriques** à sa disposition pour ses premières **opérations cognitives**[15], sériation, classification et réversibilité, qu'il parvient à maîtriser complètement lors du **stade des *opérations concrètes*** (de 6/7 à 11/12 ans). Les relations géométriques deviennent alors ***interfigurales***. Les figures sont comparées les unes aux autres et englobées dans un **espace devenu projectif**. L'enfant peut se représenter l'environnement d'un autre point de vue que le sien, articuler les données temporelles et spatiales d'un déplacement en le distinguant d'un allongement. Il apprend à **localiser les objets en mouvement** dans les trois dimensions, conserver, transformer et organiser les surfaces, à orienter les volumes. Parallèlement sa capacité de raisonnement évolue. Il peut **induire une conclusion de ces expériences et imaginer la géométrie**.

Il entre alors dans le **stade des *opérations formelles*** (de 11/12 à 16 ans), celui de l'**abstraction**, et accède à la ***logique déductive***. De l'hypothèse postulée mentalement découle la conclusion, la pensée n'est plus liée à la simple expérience, elle passe de l'immédiat au possible. Les relations géométriques deviennent *transfigurales* et associées, par PIAGET, aux conceptions mathématiques *euclidiennes*. L'espace en tant que contenant général cède la place

[15] ensemble des schémas abstraits, comme la *réversibilité* (capacité d'exécuter consciemment une action dans les deux sens du parcours), la *classification* logique (catégorisation ou inclusion de classe, et addition, soustraction, multiplication, division) et la *sériation* (ordonner de façon séquentielle selon un critère).

à des structures multiples et plus complexes, coordonnables et bien différenciées. Il répond à des considérations logiques, peut être raisonné, calculé et représenté de façon abstraite. L'activité cognitive logique s'enrichit de la capacité *combinatoire* et des processus *réversibles* d'inversion et de réciprocité, ainsi que de la *corrélation* (***groupe des INRC***). Plusieurs repères spatiaux et systèmes de coordonnées peuvent être simultanément utilisés, de même que les relations projectives entre plusieurs objets et leurs mouvements relatifs. Les transformations géométriques (translations, rotations, symétries…) prennent sens et les **propriétés géométriques** établies peuvent être **utilisées dans la démonstration mathématique**.

Des théories constructivistes piagétiennes émanent **plusieurs principes pédagogiques**. Il en va ainsi de la *programmation des apprentissages scolaires* et de la *pédagogie par objectifs*, de la *différenciation* ou du *socio-constructivisme* montrant l'intérêt de l'apprentissage coopératif, de la collaboration entre pairs lors d'une résolution de *situations problèmes*. D'autre part, le statut de la figure géométrique évolue grâce à son utilisation globale, diversifiée. **Il ne suffit pas de reconnaître les formes pour se les représenter**. L'observation de l'espace ne suffit pas à **dégager les propriétés géométriques**, et la représentation mentale seule ne saurait induire la **construction des figures**. Le passage de l'usage implicite d'une notion à sa prise de conscience et à sa conceptualisation suppose **une restructuration profonde**. En tenant compte également de la triade de l'intra, de l'inter et du transfigural, les activités pédagogiques doivent permettre à l'élève de **s'appuyer sur ses conceptions déjà existantes pour les transformer** et aborder de nouvelles façons d'appréhender la géométrie. « (…) il va de soi que de telles triades, beaucoup plus souples en leur principe que les thèses, antithèses et synthèses de la dialectique classique (…) ne sont que des **phases découpées d'un processus continu** : les structures atteintes au niveau 'trans' donnent lieu à leur tour à des analyses 'intra' conduisant à des nouveaux 'inter' puis à la production de super structures 'trans' et ainsi de suite indéfiniment »[14]. PIAGET semblait ainsi reconnaître lui-même la légitimité d'une **remise en question de certains points de sa théorie**. Une large majorité des psychologues cognitivistes et neurobiologistes modernes réfutent en effet le découpage d'un développement 'en escalier', par paliers et stades successifs. La **linéarité** d'un développement psychologique continu et régulier est aujourd'hui **clairement contredite** par les observations *in vivo* de l'activité cognitive que permet l'imagerie cérébrale fonctionnelle[16]. Dans l'épistémologie alternative de Michel SERRES, et selon les expériences de simulations des *systèmes dynamiques de développement*[17], « **le temps de l'apprentissage scientifique se tord** à l'instar d'un mouchoir

[16] Olivier HOUDE, La psychologie de l'enfant, PUF- 2004 ;
Jean-Pierre CHANGEUX, L'Homme neuronal, Hachette - 1983
[17] (R. CASE et K. FISHER), Psychologie française, Anik DE RIBAUPIERRE - 1997

chiffonné au fond d'une poche », marquant des « points d'arrêts, des ruptures, des puits, des cheminées d'accélération foudroyante, des déchirures, des lacunes »[18]. Autrement exprimé par Robert SIEGLER, « chaque stratégie cognitive est comme une vague qui approche d'un rivage avec plusieurs autres vagues, susceptibles de se chevaucher à tout moment. La hauteur de chaque vague change continuellement et des vagues différentes sont proéminentes à certains moments »[19]. **Nous constatons bien empiriquement** les périodes de stagnation, de modifications brusques et même parfois de régression. **Toute nouvelle acquisition**, ou expérience, assimilée **ne vient pas seulement s'ajouter** au 'répertoire géométrique' préexistant, **elle en modifie le 'tout'**. S'il nous faut prendre en compte le caractère adapté de certaines approches pédagogiques correspondant favorablement à la chronologie du développement tel que PIAGET l'a conceptualisé, **l'intérêt de diversifier ces approches et de réinvestir des connaissances acquises dans la mise en œuvre de compétences nouvelles semble ainsi décuplé**. Les retentissements de ces 'réutilisations' toucheront la cognition, l'activité praxique, la représentation ou encore la perception. La construction mentale d'une géométrie souffrirait d'une telle économie.

1.1.3. Des approches complémentaires…

Sans nier les éléments sus-évoqués, d'autres courants de pensée enrichissent ou complètent l'analyse constructiviste de la cognition telle que PIAGET l'a envisagée.

Ainsi, « **l'importance des interactions entre le système *affectivo-relationnel* et le système cognitif n'est niée par personne** »[20]. FREUD lui-même estimait qu'une psyché envahie par les pulsions devient inefficace. Contrairement à PIAGET et FREUD, Henri WALLON s'est attaché à réunir affectivité et intelligence dans une même description du développement. Inspirant de nombreux psychanalystes, psychologues et médecins[21], ses travaux placent **les émotions entre la pensée et l'acte**. A la jonction du physiologique et du psychisme, tour à tour catalyseurs ou inhibiteurs de progrès, les émotions sont prépondérantes dans la construction de la personnalité, des relations sociales et bien entendu, du système perceptivo-cognitif. Le neurologue Antonio DAMASIO[22] observe cliniquement que les émotions permettent un **marquage somatique des expériences vécues** contribuant à donner sens et valeur aux situations nouvelles rencontrées, indépendamment des facteurs attentionnels ou mnésiques. Grâce à l'imagerie cérébrale fonctionnelle, Jean-Pierre CHANGEUX[16] souligne les implications croisées du *cortex préfrontal*, siège de la pensée et de l'abstraction, et du

[18] Michel SERRES, Eclaircissements, François BOURIN - 1992
[19] R.SIEGLER, Enfant et raisonnement, De Boeck - 2001
[20] Annick WEIL-BARAIS, L'homme cognitif, Quadrige/PUF - 2005
[21] tels que SPITZ, M. KLEIN, MALHER, WINNICOTT, DOLTO, LACAN, VYGOTSKI…
[22] Antonio DAMASIO, L'erreur de DESCARTES, la raison des émotions, Odile Jacob - 1995

système limbique, siège des émotions, dans le processus de *variation-sélection* ayant permis en particulier l'évolution du système *neuronal-mental* de notre espèce. Comme Gérald EDELMAN, il constate également que **l'*évolution-développement* du système nerveux** au cours de l'existence, **réorganisant les stratégies cognitives**, se réalise à l'intérieur du cerveau sous **l'influence notamment du système limbique**, « dans des limites d'échelles temporelles courtes, des mois, des jours, des minutes et **jusqu'à des dixièmes de secondes** »[23]. La recherche ne se contente pas d'étayer **le principe de plaisir** recherché par certains pédagogues, elle l'érige ici en **fondement de l'acte d'enseignement**.

D'autre part, de nombreux faits attestent de l'importance du **développement du langage dans celui de la pensée**. Pour Lev VYGOTSKI[24], le langage est d'abord un instrument social de communication mais il doit être *intériorisé* pour **devenir un instrument au service de la pensée**. Il distingue en ce sens le développement du langage des concepts quotidiens et celui des concepts scientifiques. Le premier, voué à l'immédiat, se forme dans l'expérience alors que le second, d'une portée générale, forme des systèmes abstraits dont les **dangers** principaux sont le **verbalisme** et ***l'insuffisante saturation en concret***, autrement dit : l'insuffisante signification émanant du réel. Or, la **sémantique de la géométrie** est très précise et suscite parfois des significations paradoxales. Comment l'élève parvient-il à comprendre qu'un 'sommet' n'est plus en géométrie celui de la montagne ? Pourquoi l'angle 'droit' mesure-t-il 90° alors que la droite, elle, est bien 'droite' ? Et comment un 'triangle' pourrait-il être 'rectangle' ? Et pourquoi n'est-il pas 'droit' ? Le pédagogue doit considérer cette difficulté, particulièrement dans le premier degré.

Mais VYGOTSKI défend en outre que « l'apprentissage scolaire ne commence jamais sur une table rase» et qu'il coïncide rarement avec le développement. Entre l'apprentissage réel et le développement se situent les ***zones de proche développement***. Articulant ce concept avec un **intérêt majeur pour la *métacognition*** (qu'il décrit comme « intériorisation de la cognition »), il invite l'enseignant à une précaution nouvelle dans sa programmation pédagogique. Il ne suffit pas de tenir compte de la chronologie attendue du développement dans un contexte général à long terme, il faut en outre **s'intéresser à la juxtaposition des éléments d'apprentissages** qui constituent ensemble une notion, et veiller, chaque fois que cela est possible, à **exercer la prise de conscience par l'élève de ses opérations cognitives** ainsi transformées en compétences.

La ***gestion mentale***, concept développé par Antoine DE LA GARANDERIE, s'attache justement à considérer la métacognition comme un processus essentiel de l'apprentissage et *in fine* du développement. Entre la perception et l'action, elle s'intéresse alors à **l'*évocation***,

[23] Gérald EDELMAN (prix Nobel de médecine), Biologie de la conscience, Odile Jacob -1992
[24] Lev VYGOTSKI, *Pensée et langage* - 1933

élément du conscient, désignant l'acte de faire exister mentalement le perçu dont le résultat est une *image mentale.* Les neurosciences prouvent aujourd'hui que l'activation des neurones permettant une action se produit effectivement lors de la **préparation mentale de cette action**, même si elle n'est pas exécutée. Ainsi, la **représentation de l'espace** se construit aussi grâce aux **images mentales** qui peuvent être modifiées, comparées ou enchaînées. De nature *visuelle* ou *auditivo-verbale*, elles **codent les éléments perçus** de manière plus ou moins riche et organisée, sous forme de structures spatiales, « vidéos intérieures »[25] figées ou mobiles ou dans le second cas, sous forme de mots, phrases ou sons. Les **stratégies mentales** engagées par des élèves pour atteindre une compétence peuvent être enrichies, développées, guidées par l'enseignant mais elles **seront finalement propres à chacun** d'entre eux. Le principe de différenciation pédagogique utilise les mêmes conclusions : le développement individuel passe par l'enrichissement de **l'autonomie d'apprentissage** et le soutien à la structuration de la personnalité d'un élève, central dans notre pratique. La gestion mentale vise ainsi l'objet de la représentation mentale, la prise de conscience de cet acte, les stratégies utilisables pour effectuer une compétence et l'évolution des méthodes individuelles employées pour y parvenir, « une double vocation (…) celle de l'objet à être connu, et celle du sujet à accéder au connaître »[26]. A ces fins, la pratique pédagogique doit **favoriser l'*attention***, réalisée si l'élève peut temporellement vérifier que son évocation est conforme à la réalité ; *la **mémorisation***, consistant à regarder ou écouter avec le projet de re-donner en images ou en mots ce qui est perçu dans le futur ; *la **compréhension***, vérifiée par la reformulation, la traduction de l'image mentale comparée au concret afin que naisse le sens ; ***la réflexion***, réquisition des acquis susceptibles d'apporter les moyens de traiter une situation et enfin ***l'imagination**,* découverte ou invention d'évocations inédites.

Ces considérations générales du développement psychogénétique, et celui des structures géométriques en question, **demeurent incontournables en pédagogie adaptée à la déficience visuelle.**

[25] Marcel BONHOMMEAU, *Vers le dessin en relief des aveugles*.
[26] Antoine DE LA GARANDERIE, Revue de la gestion mentale N°3

1.2. Des particularités de la perception géométrique des élèves déficients visuels

La taxonomie de VAN HIELE[27] est une classification en cinq niveaux de la pensée géométrique, qui influence aujourd'hui considérablement la didactique mathématique et l'élaboration des programmes de l'Education Nationale[28]. **A la fin du cycle 3** des approfondissements (CE2, CM1, CM2), le premier niveau d'*identification-visualisation* doit être maîtrisé. Les **acquisitions attendues** sont liées à la perception des objets géométriques dont les caractéristiques sont établies au moyen de considérations **purement visuelles** (*prototypes visuels)* en fonction de l'apparence physique à partir de laquelle le raisonnement peut s'effectuer, sans utilisation explicite des propriétés mathématiques.

Personne ne peut raisonnablement le nier, « aucune autre modalité perceptive n'égale la vision dans la qualité et la quantité des données qu'elle fournit, en particulier en ce qui concerne les propriétés spatiales de l'environnement »[29]. De ce fait, **la vision est déterminante dans l'initiation et le contrôle des actions motrices** dirigées vers les objets. « Dès l'âge de 3 ou 4 mois, c'est la vue des objets proches de lui qui incite le nourrisson à les saisir et guide les mouvements de ses mains. La privation ou l'altération de la vue diminue donc l'information perceptive disponible sur l'environnement, et a par ailleurs un retentissement sur l'activité motrice qui perd son principal système d'incitation, de guidage et de correction»[29]. Les études menées dans les domaines de la **psychologie cognitive et des neurosciences** parviennent à des conclusions cohérentes : Le **décalage attendu** dans le développement postural, moteur, perceptif, représentatif est d'autant plus important que la déficience visuelle est profonde et qu'elle survient tôt. Les retentissements de ce décalage en entraînent souvent d'autres, au niveau du jeu (davantage sur le jeu fonctionnel que symbolique), de la communication (compréhension de l'état mental d'autrui, empathie, utilisation verbale des pronoms personnels, communication non verbale) et sur d'autres aspects de l'activité cognitive, de la construction psychologique et affective de l'enfant. Un élève atteint de pathologie visuelle ne sera ainsi probablement pas en mesure d'atteindre les objectifs du programme classique de géométrie au même âge que ses camarades 'clairvoyants'. Néanmoins, si une cécité congénitale ou précoce est censée entraîner des difficultés scolaires plus profondes qu'une cécité survenue après l'âge de 3 ans, si l'on imagine *a priori* qu'une pathologie visuelle donnée entraîne des complications spécifiques à un moment précis de l'apprentissage de la géométrie, force est de constater que la

---

[27] Pierre et Marie VAN HIELE, Structure and Insight, Academic Press – 1986. (*cf* page 26)
[28] Edouard GENTAZ, La main, le cerveau et le toucher, Dunod, 2009 ; Angel GUTIEREZ, Exploration des liens entre les niveaux de VAN HIELE et la géométrie tridimensionnelle (article); Annette BRACONNE MICHOUX, Evolution des conceptions et de l'argumentation en géométrie chez les élèves (thèse 2008 – Paris 7).
[29] Yvette HATWELL, Psychologie cognitive de la cécité précoce, Dunod - 2003

nature et la qualité de l'accompagnement d'un élève déficient visuel, sa capacité à compenser ce déficit sensoriel, les milieux familiaux et sociaux dans lesquels il évolue ou encore l'association d'un autre type de handicap **bouleversent considérablement toute prévision**. Francis RAYNARD[30] souligne ainsi « l'inadaptation du raisonnement et l'erreur qui consistent à établir une comparaison ou une hiérarchie entre les déficiences visuelles », leur hétérogénéité, et « la variété des critères qui modifient le tableau clinique du fait de leurs répercussions simultanées» ou différées.

Pour autant, nous pouvons **déduire certaines spécificités** et difficultés importantes à considérer **pour l'accompagnement pédagogique d'élèves malvoyants ou aveugles apprenant la géométrie**.

1.2.1. Des contraintes liées à la perception visuelle des élèves malvoyants

En ophtalmologie, **cinq grandes composantes de la perception visuelle** sont évaluées, différemment touchées selon les pathologies.

La *perception morphoscopique* (vision des formes), liée aux acuités visuelles proches et éloignées, permet de connaître les détails d'un stimulus statique. Cette capacité est mise en défaut par de nombreuses pathologies altérant la macula, le cristallin ou encore les voies nerveuses de transmissions du message sensoriel de la rétine à l'occiput. Fondamentale lors de la prise de connaissance des informations graphiques, de l'écriture ou du dessin, elle requiert alors une adaptation différenciée des supports d'activités pédagogiques. La police d'écriture, la taille des figures, l'épaisseur des traits, les codes géométriques (angles droits, distances égales, traits pleins ou discontinus…) sont des paramètres facilitateurs de la '**lecture géométrique**'. Mais la **production de dessins** est **également astreinte à cette spécificité**. L'ordinateur, outil de compensation habituellement satisfaisant pour la production des textes, est en règle générale inutilisable pour les élèves lors de la production géométrique. Il faut donc également adapter les instruments de dessin (crayons, graduations de la règle, etc.) et utiliser dans certaines situations un télé-agrandisseur ou une loupe.

La *perception de la luminance et du contraste* est **associée** sur le plan fonctionnel **à toutes les autres perceptions visuelles**. Elle est perturbée par une large majorité de pathologies. En pédagogie, sa **prise en compte est aussi essentielle que complexe** puisqu'elle fluctue selon les moments de la journée, la fatigue, le stress etc. L'élève doit être correctement placé, dans une classe convenablement éclairée et son poste de travail nécessite parfois l'ajout d'une lampe ou *a contrario* moins de lumière.

[30] Francis RAYNARD, Un autre regard, la réadaptation des déficients visuels, Solal - 2002

La ***perception spatiale*** est en partie liée à la qualité du champ visuel (relative à la périphérie rétienne), à la vision du relief nécessitant une bonne vision binoculaire (fixation simultanée des deux yeux) ainsi qu'à celle de la profondeur. Cette dernière notion est une opération cognitive, une interprétation cérébrale des lignes de fuites. Instable, elle dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels la luminosité, la fatigue ou la charge cognitive. Elle est pourtant importante pour **comprendre la géométrie tridimensionnelle** qui modélise l'espace et guide donc les déplacements et les gestes. En mathématiques, l'espace est projeté dans le plan bidimensionnel de la feuille de papier. La **perspective** est alors représentée artificiellement par un code graphique n'ayant parfois aucune signification pour un élève malvoyant. Il faut alors renforcer l'impression de fuite grâce à un gradient de couleur, utiliser des solides concrets ou verbaliser la description (qui ne revêt de sens qu'à partir d'un certain âge et d'un certain niveau scolaire).

La ***perception du mouvement*** est évaluée par l'acuité visuelle dynamique (des objets en déplacement) et l'acuité visuelle cinétique (des détails des objets en mouvements). La rétine périphérique et la motricité oculaire conditionnent, en particulier, la qualité de cette perception. Son importance est **capitale en locomotion** mais elle permet également d'établir la causalité des événements et leur succession, participant ainsi du **développement des opérations hypothético-déductives et du concept de temps**. Elle est peu sollicitée lors des activités pédagogiques utilisant des supports graphiques statiques mais peut entraîner des erreurs lors de certaines constructions.

Enfin, **la** ***perception des couleurs*** est davantage une construction de notre système nerveux central. Très fragile, elle doit être considérée lors de la création des supports pédagogiques afin d'**éviter qu'une mise en évidence ne se transforme en confusion problématique**.

1.2.2. Des caractéristiques et difficultés liées à la modalité haptique

Face à la cécité, l'utilisation de la modalité tactile est le vecteur privilégié de l'apprentissage géométrique. « Il s'agit en effet d'une modalité spatiale qui, sous certaines conditions, peut informer sur presque toutes les propriétés des objets auxquelles accède la vision : forme, taille, localisation, distance, texture. A l'exception de la couleur, spécifique à la vision, et de la température et du poids, spécifiques à la perception tactile, toutes les autres propriétés des objets sont accessibles à la fois par la vision et le toucher »[29]. Il faut cependant **envisager les difficultés autant que les atouts de la perception tactile**.

L'exploration des objets de l'espace et celle des figures et formes de la géométrie sont complémentaires et dépendent de gestes particuliers et parfois distincts. Yvette HATWELL résume « ce qui saute aux yeux ne saute pas aux mains » et aborde ces explorations **sous**

l'angle *tactilo-kinésthésique* (*T-K* ou *haptique*). Les gestes liés à la perception tridimensionnelle ont été classés et décrits par LEDERMAN et KLATZKY[31] détaillant le *frottement latéral* d'une surface pour en percevoir la texture, la *pression* pour la dureté et l'élasticité, le *contact statique* pour la température et quelques éléments de la texture, le *soulèvement de l'objet* pour son poids, l'*enveloppement* (ou *agrippement*) pour une appréhension globale de la taille et de la forme, précisées par le *suivi des contours.* Les études menées sur **l'identification haptique** des objets montrent qu'elle s'appuie, comme l'identification visuelle, sur les **indices de formes et de textures** mais aussi sur l'évaluation de la température et du poids. La stratégie d'exploration **dépend de la tâche à effectuer**. En ce sens, aucune n'est « bonne en soi »[32]. L'identification s'effectue grâce à la **synthèse mentale** d'un nombre suffisamment important d'**informations pertinentes**, collectées de façon séquentielle. La nature de l'activité de perception est subordonnée à la cognition de celui qui l'effectue. Ses connaissances et capacités intellectuelles, à l'instant précis de l'exploration, influencent largement la rapidité, sinon le succès, de ce processus. GIBSON et VURPILLOT[32] ont également constaté que les **critères de décision du jugement d'identité évoluent avec l'âge**, de manière plus marquée dans la reconnaissance haptique. Ainsi, certaines variations tactiles de localisation spatiale ou d'orientation ne sont pas considérées avant l'âge adulte. Les enfants aveugles (précoces ou non) reconnaissent parfaitement les objets qu'ils ont déjà manipulés. En revanche, les **dessins bidimensionnels en relief** suscitent de **nombreuses difficultés d'identification haptique** qui repose uniquement sur les indices de formes et de textures. Les figures de la géométrie scolaire ne contiennent pas d'informations caractéristiques de texture, seule leur forme permet de les percevoir, uniquement donc grâce au geste de *suivi des contours*, processus peu performant, très lent et parcellaire, accaparant la mémoire pour l'intégration des données successives.

Edouard GENTAZ[33] soulève **d'autres complications**. D'abord, si le dessin en relief est constitué d'un simple contour, il existe une **grande ambiguïté entre les éléments provenant de la figure et ceux émanant du fond** sur lequel elle est représentée. Cette confusion peut être partiellement levée grâce à l'utilisation de texture. En outre, seuls les élèves aveugles congénitaux ou précoces distingueront mieux une figure, globalement mise en relief, de son fond lors d'une exploration haptique (sur un thermoformage par exemple).

Plusieurs **stratégies d'explorations des dessins en relief** peuvent être rencontrées. Elles sont généralement initiées par un balayage vertical, horizontal (considéré comme le plus simple) ou suivant des demi-cercles de tailles croissantes, proches puis s'éloignant du corps

[31] (1987 et 1993). Cf. Annexe A
[32] Yvette HATWELL, _Toucher l'espace_, Presses Universitaires de Lille - 1986
[33] Edouard GENTAZ, _La main, le cerveau et le toucher_, Dunod - 2009

(considéré comme le plus efficace). La figure ainsi globalement localisée peut ensuite être examinée en détail. Il est généralement plus efficace d'effectuer ces gestes des deux mains et d'utiliser si possible plusieurs doigts pour accéder aux détails.

Les considérations anatomiques et physiologiques permettent de comprendre le processus de perception tactile afférente. Elles montrent également que **nous sommes parfaitement 'équipés' pour explorer tactilement** les détails d'une figure bidimensionnelle grâce, notamment, à des *mécanorécepteurs* de quatre types différents, sensibles aux déformations de la peau : Les *corpuscules de PACINI* et ceux de *RUFFINI* permettent de sentir de manière globale le contact et détectent le déplacement d'objets sur de grandes régions de la peau. Les *corpuscules de MEISSNER* et les *disques de MERKEL* permettent la détection fine, la reconnaissance et la distinction de deux stimulations différentes et rapprochées l'une de l'autre. Les corpuscules de MEISSNER s'adaptent rapidement et nécessitent donc un renouvellement fréquent du frottement. Ils répondent à des dépressions minimes de la peau, des mouvements légers de surface, des vibrations lentes. Les disques de MERKEL s'adaptent lentement, répondent à de légères pressions et permettent la discrimination statique des formes, des bords et des textures.

Malgré tout, les chercheurs font état d'**erreurs récurrentes** dans l'identification haptique, constatées chez les personnes voyantes et non-voyantes[34].

L'estimation de **l'orientation, de la longueur, de la courbure** est soumise aux confusions et erreurs classiquement rencontrées dans l'exploration visuelle mais **souvent amplifiées**. La loi de WEBER stipule par exemple que la longueur d'un segment est systématiquement fortement **surévaluée si elle est inférieure à 20 cm**, et de même **sous-évaluée si elle est supérieure à 30 cm**. L'*effet de l'oblique* entraînant des **erreurs d'estimation des mesures angulaires** existe également en perception haptique et se verra décuplé si les avant-bras ou poignets ne reposent pas sur la table. La taille et le nombre de détours par rapport à la ligne droite dans le suivi d'un chemin en **modifient démesurément l'impression de longueur.**

Les **illusions haptiques** sont également source de méprises. L'*illusion de MÜLLER-LYER* sur les longueurs (évaluations comparées de segments comportant en leurs extrémités des flèches tournées vers l'intérieur ou l'extérieur du segment) ou celle de la *verticale-horizontale* (montrant la surestimation d'un segment orienté en position verticale) ont également des incidences sur l'identification.

Les tests effectués sur la **reconnaissance des catégories de figures** (cercle, carré, rectangle et triangle) font apparaître une **hiérarchie des performances** allant du cercle (figure la mieux reconnue), au carré puis au rectangle et enfin au triangle (figure la moins bien reconnue).

[34] cf. le site du Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition de Grenoble, « Toucher pour connaître et apprendre », Edouard GENTAZ ; http://webu2.upmf-grenoble.fr/LPNC

D'autre part, tous les exemplaires d'une même catégorie ne sont pas reconnus aussi aisément. « Ainsi, comme le souligne NEISSER (1987), **chaque catégorie aurait un exemplaire prototypique**, c'est-à-dire le plus représentatif de la catégorie. Cet exemplaire prototypique semble être caractérisé spatialement (axe de symétrie vertical) et géométriquement (rapport entre les longueurs des côtés) »[34].

Par ailleurs, les codes et les normes utilisés par les personnes voyantes pour la **transposition des objets tridimensionnels sur papier s'avèrent finalement inadaptés aux personnes aveugles**. Les lois du dessin en perspective ne correspondent à aucune expérience perceptive pour un élève aveugle précoce et donnent lieu à des « erreurs et contaminations par le savoir haptique »[33]. Pour transmettre une représentation cohérente de la troisième dimension appliquée aux dessins en relief, THOMPSON[35] et son équipe ont créé **un nouveau code** (*code Texyform*) employant des rayures orientées sur les faces des objets dessinés selon le plan correspondant (raies verticales et respectivement horizontales sur le papier pour un plan vertical et respectivement horizontal, ou courbées pour une surface courbe concave ou convexe) auxquelles peuvent être ajoutés des signifiants de textures associés à l'aspect réel solide, souple, etc. Cette idée pourrait être utilisée en géométrie pour les représentations spatiales mais elle **requiert comme toute autre forme d'exploration tactilo-kinesthésique un apprentissage**. De façon très surprenante d'ailleurs, « les enfants aveugles sont naturellement plus performants en production des dessins qu'en identification »[34]. C'est bien l'éducation et l'apprentissage des techniques qui fournissent les clés de l'identification T-K. A ce titre, « les chercheurs constatent que l'effet de l'apprentissage d'une stratégie d'exploration haptique est bénéfique chez les enfants de 11 ans mais qu'elle perturbe au contraire ceux de 15 ans qui ont déjà construit leur propre mode d'exploration et souffrent alors d'un brouillage de leurs habitudes »[33].

En outre, il faut **regrouper les différents renseignements partiels** obtenus tactilement pour aboutir à une conceptualisation globale des informations alors que **la vision n'est pas sujette à ces aspects morcelés et séquentiels**. L'usage des deux yeux d'un voyant est conjoint, automatiquement coordonné. Le sens tactile nécessite une **coordination active**. Les deux mains n'ont pas de mouvements conjugués automatiquement. Il y a là une **difficulté *a priori*** mais éventuellement **un atout si l'enfant apprend à utiliser indépendamment ses mains** pour explorer différentes parties d'une figure, d'un objet ou plusieurs objets simultanément. De même, le système moteur des yeux est uniquement dédié à leur mouvement. La main, dont toutes les actions passent par la *voie pyramidale*, a une double fonction : sa fonction motrice, utilisée lors des actions classiques de la vie quotidienne, et sa fonction perceptive. Un acte

[35] THOMPSON, *Texyform*, Chronicle & Collins - 2006

moteur utilise évidemment la fonction perceptive qui lui est alors dédiée. Dans le cas contraire, pour percevoir, les mouvements sont au service de la fonction perceptive. Mais la fonction dominante de **la main est motrice et sa servitude nécessite donc un effort**. Chez une personne aveugle, l'alternance de ces deux fonctions est constante. Ce **jeu dialectique est très compliqué** à mettre en œuvre chez les jeunes enfants aveugles, comme chez les élèves malvoyants. Cette **maîtrise est d'autant plus nécessaire** que l'exploration tactile peut **détériorer l'objet**, ce qui n'est pas le cas dans la vision. C'est une **contrainte majeure de la construction graphique pour les élèves non-voyants**, particulièrement pour ceux qui n'ont jamais ou peu vu. L'alternance d'action et de vérification, la localisation des outils de dessin adaptés sur la table ou la fragilité des supports rendent cette **tâche particulièrement laborieuse et ainsi désagréable** alors que les enfants voyants apprécient très rapidement le coloriage, le dessin et ses symboles. Cette notion de plaisir intervient également dans la perception (contact désagréable de certaines textures) et s'ajoute au **paramètre social** (possibilité de détérioration, réglementation plus stricte du toucher due à son caractère intime) de telle sorte que **les enfants non-voyants, comparés aux voyants, profitent encore moins des objets du quotidien pour reconnaître graphiquement des structures géométriques déjà observées**.

1.2.3. D'autres éléments d'attentions particulières

Comme PIAGET et INHELDER se sont employés à le montrer, Yvette HATWELL l'affirme : l'espace représentatif « n'est pas un simple décalque de l'espace perceptif et n'est pas entièrement donné par la perception »[36]. **L'image mentale soutenant la représentation est ainsi au cœur de la problématique d'apprentissage de la géométrie** auprès des élèves déficients visuels. Pour Pierre VILLEY, dans sa relation à l'espace, « pratiquement ce qui importe seul, c'est que l'aveugle dispose d'une représentation synthétique de l'étendue assez souple pour lui permettre de se représenter très aisément les formes des objets. Or, sur ce point, l'expérience ne laisse aucun doute »[37]. Les élèves déficients visuels utilisent également les images mentales afin de localiser et d'orienter leur corps et les objets dans l'espace, et de transformer ces éléments lors des déplacements en particulier. Ces images demeurent de nature *auditivo-verbale* ou *visuelle*, bien que le terme d'***image spatiale*** semble davantage approprié dans cette situation. Aussi surprenant que cela puisse paraître, de nombreuses personnes non-voyantes décrivent en effet leur représentation de l'espace grâce aux **concepts et au vocabulaire propres aux images mentales visuelles**, les utilisent pour mémoriser les

[36] Yvette HATWELL, Privation sensorielle et intelligence, PUF - 1966
[37] Pierre VILLEY, Le monde des aveugles, Flammarion - 1914

informations, empruntent des codes visuels lors de l'évocation. Pourtant, chez certains, ces *images spatiales* ne peuvent pas provenir de la modalité visuelle. Elles sont naturellement associées aux images auditivo-verbales mais il est pertinent, sinon salutaire, de **développer cette association en s'assurant que les mots et les images spatiales convergent et forment ensemble la signification**. Outre une amélioration de l'efficacité cognitive dont les retentissements fonctionnels peuvent être importants, cette association permet de mettre en évidence et parfois de **contourner l'écueil que constitue le *verbalisme***, danger fréquemment rencontré par les élèves déficients visuels, source de 'faux apprentissages' difficiles à gommer. L'existence d'images tactiles, kinesthésiques, ou relatives à l'écholocation (*sens des masses*) questionne inévitablement. Les instructeurs en locomotion et les psychologues cognitivistes constatent une forme de pré-évocation mentale haptique participant à l'enchaînement de la gestion mentale. Certains sportifs professionnels et des personnes aveugles font appel à ce type d'images mentales au quotidien. L'intérêt d'en développer l'usage semble loin d'être négligeable.

De nombreux éléments analytiques ou empiriques abondent dans une direction commune justifiant **l'approche multisensorielle et *intermodale*** (utilisation simultanée de plusieurs modes de perception) dans l'apprentissage de la géométrie. Si cette position a largement contribué au succès des innovations apportées par Maria MONTESSORI il y a un siècle, elle **demeure aujourd'hui sous-employée en pédagogie**. Au-delà des débats opposant les nativistes (pour qui les sens communiquent dès la naissance) et les connexionnistes (pour qui cette faculté survient et se développe au cours de l'existence), il est désormais évident que les sens communiquent et que le développement d'**une perception multisensorielle favorise l'apprentissage de la géométrie, lors de la reconnaissance, de la construction et de la réflexion**. Ainsi, Edouard GENTAZ[33] fait état de recherches récentes montrant que « la représentation est amodale dès la naissance », et que le développement du transfert d'informations entre les modalités perceptives est *asynchrone* dans l'ontogenèse et diffère chez les sujets aveugles congénitaux, précoces ou tardifs. Les neurologues ont constaté la présence d'aires corticales *associatives* au sein desquelles les informations physiologiquement issues de sens différents se mélangent ainsi que l'existence de neurones capables d'être stimulés par des messages sensoriels distincts[16]. L'imagerie cérébrale fonctionnelle prouve également que l'approche multisensorielle n'engendre pas seulement l'ajout mais bien la multiplication des qualités et quantités d'informations provenant de chaque modalité considérée indépendamment, ainsi mieux et plus rapidement traitées par le cerveau. En outre, elle favorise la mémorisation, la représentation mentale, la construction du sens et permet le développement intrinsèque de chacune des modalités mises en jeu[38]. **En pédagogie, il faut ainsi essayer de donner à voir (quand cela est possible), toucher et entendre simultanément lors d'une même séance**.

Parmi les décalages constatés lors du développement des enfants déficients visuels, il nous faut considérer **la construction du schéma corporel**. En géométrie, le corps peut être un point de départ, une fin ou un moyen mais il faut encore une fois tenir compte à cet endroit des difficultés spécifiques inhérentes à la cécité ou à la malvoyance. La **transformation d'une conception égocentrée vers l'hallocentrisme est beaucoup plus lente chez la majorité des enfants déficients visuels** et suscite de nombreuses difficultés, ne s'affirmant en cas de cécité précoce qu'avec 3 ou 4 ans de décalage dans les meilleures situations observées, *dixit* Yvette HATWELL. Or, la conceptualisation de la géométrie du corps et celle de l'espace sont interdépendantes. La symétrie, le parallélisme ou la perpendicularité de certains éléments du corps peuvent être utilisés pour illustrer les notions géométriques scolaires. Les élèves 'clairvoyants' ne réalisent pas combien ils appellent ce lien pour construire les figures géométriques, pourtant, sans latéralisation par exemple, le tracé symétrique est très compliqué. D'autre part, **l'enseignement de la géométrie utilise les capacités motrices fines et participe de leur développement**, grâce à la manipulation du crayon, de la gomme, des instruments de dessin nécessitant de solliciter avec souplesse les articulations et les muscles. Le bras et l'objet saisi subissent la gravité terrestre qui doit être compensée par une force de résistance troublant la perception d'orientation et la précision du geste. L'œil ne subit pas cette contrainte et permet au contraire de contrôler l'action.

Citons simplement à cet égard un principe biologique aussi fondamental que sous-estimé dans la cognition, celui de **l'*action/inhibition***. Si son rôle dans le contrôle moteur est bien connu, les neurosciences mettent en évidence son **intervention omniprésente dans le contrôle cognitif**. « Le cerveau est un cheval fougueux que l'inhibition contrôle de ses rênes. C'est le cas du cervelet, dont tous les neurones de sortie sont inhibiteurs, du cortex frontal, etc.»[39]. L'enseignement de la géométrie doit également tenir compte de ce principe permettant **l'interprétation de certaines erreurs motrices ou intellectuelles**.

[38] Olivier HOUDE, Bernard MAZOYER, Nathalie TZOURIO-MAZOYER, Cerveau et psychologie, PUF - 2002
[39] Alain BERTHOZ, La décision, Odile Jacob - 2003

1.3. Enseignement adapté de la géométrie aux élèves déficients visuels

Quel que soit le cycle scolaire suivi, **l'enseignement de la géométrie aux élèves déficients visuels est jalonné de difficultés**. Accompagnant depuis 5 ans des collégiens aveugles et malvoyants scolarisés en milieu ordinaire, je constate également que cette partie des apprentissages mathématiques **déstabilise les enseignants malgré leur expérience**. Dans nos enseignements des mathématiques, les adaptations et transcriptions des documents supports des activités et évaluations, le vocabulaire employé, la manipulation des outils du dessinateur, la pertinence, les fins comme les moyens d'atteindre les objectifs visés sont inéluctablement remis en question lorsque surviennent les chapitres de géométrie. Sans emphase, il faut considérer là une importante et parfois légitime **crainte d'échec ou d'inefficacité**. L'enseignant spécialisé doit alors **pallier les contraintes** engendrées par l'absence ou le défaut de vision. Or, au sein même des institutions spécialisées, **la question relative à l'approche de la géométrie est encore l'objet d'investigations**. Les nombreuses monographies de fin de formation au *CAEGADV*, les fréquentes interventions lors des congrès et colloques, les articles et les projets abordant ce thème illustrent la récurrence d'une réflexion transcendant les époques, la nôtre comme celle de MOLYNEUX (XVII^{è}) et sa célèbre question[40], ou celle de DIDEROT évoquant Mlle DE SALIGNAC, « aveugle presque de naissance » pour qui « la seule vraie science des aveugles est la géométrie »[41].

Plusieurs interrogations pédagogiques actuelles portent sur l'adaptation des documents graphiques pour la **reconnaissance des formes géométriques**, sur les moyens et outils permettant d'**effectuer des constructions**, ou encore sur **l'articulation de ces deux opérations** avec une troisième, **intellectuelle**, celle de l'argumentation, du raisonnement et de la démonstration. Chacune de ces questions est liée aux autres dans la dynamique pédagogique mais les difficultés techniques sous-tendues sont de nature et d'ampleur différentes.

Et, s'il convient de se demander comment adapter, il n'en demeure pas moins essentiel de savoir quoi et pourquoi adapter…

1.3.1. Des outils de la didactique géométrique spécialisée

Dans les situations où la vision fonctionnelle permet de l'envisager, l'**adaptation graphique des documents** est un recours classiquement utilisé auprès des élèves malvoyants. Les évolutions technologiques autorisent aujourd'hui la **modification de certains paramètres** susceptibles de nuire à la perception visuelle d'une représentation géométrique. La taille

[40] Une personne aveugle congénitale retrouvant soudainement la vue distinguerait-elle simplement en les regardant deux objets qu'elle identifiait avec le toucher du fait de leurs différences de forme, cubique ou sphérique ?
[41] Denis DIDEROT, *Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient* - 1749

générale, le contraste, la couleur, l'épaisseur des traits de construction, la nature et la taille des polices d'écriture, l'insertion de vides de confort visuel à l'intérieur des points, l'ajout d'un fond coloré (…) sont des éléments plus ou moins aisément modifiables informatiquement grâce à des logiciels de DAO (Dessins Assistés par Ordinateur) comme CorelDRAW®, Flash MX® ou d'autres (libres) comme Geogebra, Cabri, Inkscape ou Gimp. Les images obtenues peuvent être affichées à l'écran d'un ordinateur pour une simple visualisation. Une impression et reproduction de bonnes qualités associées à une création correcte assurent dans la majorité des cas une représentation sur papier satisfaisante. Toutefois, les figures graphiquement chargées, les représentations de solides en perspective ou les graduations et quadrillages trop précis demeurent des obstacles souvent incontournables. L'utilisation d'une loupe ou d'un *télé-agrandisseur* peut optimiser la qualité du travail d'adaptation sus-évoqué, même s'ils nécessitent un apprentissage spécifique (relativement simple).

Pour les élèves aveugles, **les représentations en relief** permettent d'accéder plus ou moins efficacement aux informations graphiques. En théorie, il existe au moins six types de supports utilisables pour la **réalisation d'un *document graphique en relief* (DER)** répondant à des normes de conceptions homologuées[42] : le *papier thermogonflable*, la *sérigraphie*, le *thermoformage*, le *gaufrage*, le *moulage* et la *gravure chimique*. L'élaboration de chacun de ces supports nécessite **plusieurs étapes de fabrication**, parfois industrielle, et l'utilisation d'un **matériel spécifique** (différents types de fours en particulier). Ils sont, en outre, davantage préconisés selon les **contraintes** liées à la durée de vie du DER, au produit type dans lequel il sera présenté (affiche, feuillet, brochure, livre, borne ou plaquette), au coût de sa fabrication, au nombre de tirages souhaité et au temps disponible.

Un enseignant spécialisé utilise généralement peu d'exemplaires d'un même document en relief. Le temps nécessaire aux adaptations est une des contraintes les plus prégnantes de sa pratique. Les documents qu'il crée seront, *in fine*, rangés dans le classeur de l'élève et leur coût de fabrication doit être réduit. De plus, le contact tactile prolongé qu'exercera l'élève en explorant ce document engage à la prudence quant aux matières premières qui le constituent. Ces paramètres ont déterminé les investissements matériels et les habitudes de travail des enseignants et des professionnels des services de transcription dans les établissements médico-sociaux accueillant des élèves déficients visuels. **En général, seuls les papiers thermogonflés et les documents thermoformés subsistent donc parmi l'inventaire précédent**.

Ces deux types de DER sont édités en faible quantité (moins d'une centaine), la chaîne de production graphique et la mise en œuvre de la réalisation sont relativement simples, rapides et

[42] Normes AFNOR . *Guide de l'acheteur public de produits graphiques en relief à l'usage des personnes déficientes visuelles - N°5730*. Guides et recommandations des GPEM - DAJ. http://www.minefi.gouv.fr/fonds_documentaire/daj/guide/gpem/5730/5730.htm

peu coûteuses. Comparé au thermoformage, un document produit sur papier thermogonflé est plus rapide à réaliser mais il est plus onéreux et moins résistant. En outre, il permet moins de précision, moins de variété dans les types d'aplats et textures, moins de discrimination des différents motifs.

Dans la pratique, **un autre support est souvent utilisé** par les professionnels pour effectuer les représentations géométriques. Il s'agit de **feuilles en plastique transparentes**, d'épaisseurs et de dimensions variables. Disposées **sur une *planche à dessiner en DYCEM***[43], elles permettent de tracer des figures géométriques à l'aide d'une roulette, d'un poinçon ou d'un stylo à bille. Les **notations en codage braille** relatives aux éléments de la figure (noms des points, des droites, valeurs d'angles, de distances etc) peuvent être ajoutées à l'aide d'une tablette et d'un poinçon ou grâce à une *machine PERKINS*. Cette **solution est la moins chère** de toutes. Une représentation en relief sur une feuille en plastique est rapide à effectuer et ne nécessite pas le passage dans un four ou la création d'une matrice comme pour les documents thermoformés. Néanmoins, les feuilles en plastique **supportent mal la surcharge d'informations**. Il devient par exemple très difficile de distinguer trois droites sécantes en un même point, et les codifications des propriétés de perpendicularité, d'égalité de distances ou de mesures d'angles sont malaisées et peu signifiantes. De même, **leur conservation est problématique**. Elles se déchirent vite, gondolent et se froissent facilement. Le plastique utilisé doit être suffisamment fin mais souffre en contrepartie d'une faible résistance matérielle de sorte que les points isolés et les codes braille embossés s'enfoncent sous la pression répétée des doigts ou d'un classeur. Les élèves utilisant fréquemment ces feuilles doivent être particulièrement ordonnés, méthodiques dans leur rangement et soigneux dans leur manipulation s'ils espèrent pouvoir les relire.

Afin de répondre à la problématique de la stimulation multisensorielle en général et de la perception d'élèves braillistes capables sous certaines conditions d'accéder visuellement aux informations graphiques en particulier, l'adaptation des **documents en *bigraphisme*** peut également être choisie. Il s'agit le plus souvent d'utiliser un document thermoformé dont les signifiants en relief sont colorés, ou l'un des modèles de feuilles de papier[44] habituellement utilisé pour la saisie du texte à la PERKINS, sur lequel la figure est représentée en codage noir adapté et les détails (lettres, valeurs etc.) en double codage braille et noir. **Il demeure compliqué de concilier ces deux avantages (figures et détails en double codage) sur un même support**. Le test, personnellement effectué, de créer le relief à l'aide d'une roulette sur un trait graphique ne semble pas satisfaisant car le papier se déchire sous la perforation des

---

[43] Le DYCEM est un matériau d'allure caoutchoutée, antidérapant qui ne colle pas mais s'agrippe sur des surfaces sèches et glissantes telles que plateaux, sols, tables.
[44] Densité de 120 à 160 g/m^2 contre 80 g/m^2 pour le papier utilisé le plus fréquemment par les personnes voyantes.

'dents' d'une roulette mal choisie, de sorte que le relief se transforme rapidement en vide, peu signifiant. En outre, **ce type de relief est désagréable**. Les adaptations en bigraphisme sont pourtant **très appréciées par les élèves** en mesure d'en profiter mais leur production réclame davantage de temps et de matériel.

Dans les **domaines mathématiques de l'analyse** (repères du plan, courbes représentatives des fonctions numériques et paramétrées, lignes de niveau, transformations…), de la **trigonométrie ou encore des statistiques** (diagrammes et courbes) les **mêmes supports** sont utilisés. Le quadrillage de la feuille plastique sur DYCEM peut être effectué grâce à la PERKINS ou, si le plastique est plus épais, en utilisant le four et une matrice sur le principe du thermoformage.

Concernant **les solides de l'espace**, les **objets concrets existants ou fabriqués** (patrons cartonnés, modules en bois réalisés en cours de technologie par exemple) constituent le **seul soutien pédagogique de la description verbale**. A partir du Lycée, d'importantes difficultés peuvent être issues de cette restriction. La représentation mentale des élèves déficients visuels doit alors être suffisamment bien développée pour rivaliser avec le dessin en perspective.

D'une façon générale, **pour construire ou compléter une figure**, un repère ou un diagramme, les élèves aveugles utilisent **les feuilles plastiques sur DYCEM**, les instruments de dessin géométrique adaptés (règle, équerre, compas, rapporteur), un outil scripteur, une ou plusieurs roulettes, un poinçon, parfois une gomme braille et s'ils ont appris à s'en servir, une tablette pour les notations et des épingles pour repérer des points. L'utilisation efficace de ce matériel est **longue et fastidieuse à développer**. L'**encombrement** qu'il représente et son rangement nuisent à l'autonomie de l'élève, à sa disponibilité cognitive, à sa sérénité. **L'organisation des différents éléments autour du DYCEM doit être systématique** afin que l'élève les retrouve facilement. Positionner correctement un instrument, le tenir de façon ferme et au bon endroit, le lâcher ou le ranger pour en saisir un autre, repérer tactilement les extrémités d'un segment et tracer simultanément en s'appuyant sur l'outil sans être perturbé par un doigt mal placé, planter les épingles, utiliser le compas, retourner la feuille pour l'embosser après l'avoir insérée dans la tablette (etc) me **semblent quelquefois relever du prodige**. Les **inconvénients de la modalité tactilo-kinesthésique**, lente, séquentielle et nécessitant une alternance permanente entre le geste de perception et celui de l'action sont **alors aisément observables**. Si des collégiens aveugles parviennent à s'acquitter de cette tâche après d'importants efforts, nombreux sont les élèves des cycles du primaire ou scolarisés dans les dispositifs de SEES (Section d'Education et d'Enseignement Spécialisés) fortement **déstabilisés par des tracés simples** à réaliser même pour un élève malvoyant. En outre, l'**impossibilité de corriger les erreurs** est un inconvénient pédagogique et la cause d'un stress supplémentaire pour l'élève. Plusieurs réflexions pédagogiques ont été engagées autour de cette problématique mais les avancées réalisées ne permettent pas encore de réduire raisonnablement le temps et la complexité de cette action, en augmentant la qualité des productions obtenues.

Les **élèves malvoyants** utilisent des outils dont les graduations sont plus lisibles. Ils tracent sur papier à l'aide de stylos ou de crayons à mine grasse et se servent parfois d'un télé-agrandisseur. Certains éprouvent peu de difficultés à produire les figures attendues mais d'autres sont gênés par la manipulation et l'alternance de la lecture et du tracé.

D'autres types de matériel pédagogique sont parfois proposés aux élèves déficients visuels. **Le *cubarithme*** permet ainsi de représenter des figures planes, des diagrammes statistiques, d'illustrer la symétrie, de former un repère (dans lequel les coordonnées des points sont les cases et non pas les graduations), de construire des frises à compléter etc. Ephémère, il peut constituer un excellent brouillon, demeure un outil dont la manipulation s'enrichit de ce double usage en calcul et en géométrie, surtout dans les cycles du primaire.

Certains jouets éducatifs se prêtent bien aux activités pédagogiques de géométrie. A cet égard, citons par exemple la marque **Geomag®**, proposant depuis 1998 des boules plaquées au nickel et des tiges courtes munies d'aimants en leurs extrémités. Les enfants peuvent les assembler pour construire de nombreuses structures spatiales ou des représentations planes. Très pratiques d'utilisation, permettant de distinguer les arêtes et les sommets, elles ont également l'avantage d'être ludiques. Les structures manquaient, jusqu'à l'année dernière, de solidité, mais une amélioration a été apportée par l'intermédiaire de panneaux à ajouter aux constructions. Les **jouets Conexion®** sont des formes planes à clipper pour représenter d'abord un patron puis un objet de l'espace. Ils sont compliqués à manipuler pour un enfant aveugle mais ont l'avantage de permettre des constructions spatiales très solides. Enfin, on ne présente plus **le tangram**, composé de sept pièces planes permettant de représenter quelques formes planes ou le **jeu de construction Kapla®** dont les petites planchettes de bois sont très à la mode. Tous ces jouets possèdent l'inconvénient de **ne pas constituer un document de travail scolaire acceptable** (problématiques pour adjoindre des notations mathématiques, transporter, conserver…). En outre, il s'agit bien d'**objets du commerce**, excellent complément au cours mais supports finalement chers et aux possibilités de représentations très limitées.

Enfin, il est judicieux de **relier les apprentissages scolaires à la réalité**. Les **objets familiers** comme les boîtes d'emballage et d'autres contenants, les meubles, les bâtiments, les ballons et bien d'autres éléments du quotidien répondent à cet objectif. Les élèves peuvent s'entraîner à les décrire, à les reconnaître ou à les mesurer.

Mais la question posée par l'enseignement spécialisé de la géométrie n'est pas uniquement en relation avec la problématique de l'adaptation des documents…

1.3.2. Des enjeux de la géométrie en rééducation fonctionnelle

Si la pédagogie est le fait de l'apprentissage et du développement des *savoirs*, des *savoir-faire* et des *savoir-être*, **la pédagogie spécialisée doit également être celui des 'savoir-compenser'**. Les notions géométriques, les techniques d'explorations, la représentation des formes sont essentielles à la majorité des actions rééducatives et thérapeutiques qui, dans un cercle vertueux, facilitent l'enseignement.

Ainsi, la **locomotion** s'appuie sur les notions de points, de repères, de direction et de sens pour localiser. Lors de nos déplacements, nous évaluons les distances et les mesures d'angles, nous projetons inconsciemment sur des axes imaginaires, nous utilisons des intersections, des parallèles, des perpendiculaires, des symétries et nous avons besoin d'identifier la forme des pièces, des objets qu'elles contiennent, la forme des rues. Pour lire un plan ou un croquis, pour mémoriser des trajets simples ou longs, les personnes aveugles et les instructeurs en locomotion utilisent en permanence **un vocabulaire, des notions et des techniques de raisonnement géométrique travaillées en classe**. L'utilisation du ***cadran horaire*** permettant de situer de façon égocentrée les douze directions (ou axes) suivant l'aiguille des heures d'une montre est un gain de précision important par rapport aux quatre directions potentiellement fournies par les termes *gauche, droite, devant, derrière*. L'acquisition de cette compétence peut être travaillée en cours.

Elle est également **utilisée lors des repas** par les éducateurs et les rééducateurs en *Activités de la Vie Journalière* (AVJ) où les élèves apprennent également à **préparer des repas**. La manipulation dans l'espace des ustensiles, des aliments et leur orientation, les gestes et le vocabulaire employés pour éplucher, couper, localiser la plaque de cuisson et l'allumer (etc) vont tous utiliser la géométrie. Elle intervient constamment pour faire un lit, nettoyer une pièce ou un meuble, plier, ranger ou repasser du linge, coudre, utiliser les appareils électroniques et mécaniques, constituer des marquages tactiles, les placer et les retrouver.

Les exercices de **rééducation '*basse vision*' en orthoptie** emploient également très souvent les lignes, les cases, les formes, la position, l'orientation. Pour stimuler la vision fonctionnelle, la géométrie et son vocabulaire constituent des outils pertinents pendant les séances mais également en classe.

Notre **vie sociale, culturelle et professionnelle** met en jeu les connaissances géométriques, s'accompagnant pour une personne aveugle ou malvoyante d'une capacité à explorer tactilement, reconnaître et manipuler. Pour une personne non-voyante, savoir « lire les dessins en relief est une forme de rééducation élémentaire »[45] pour **les loisirs** (catalogues, cartes à jouer, damiers, puzzles, livres illustrés), la **pratique sportive ou le tourisme** mais également

[45] Mme VALMALETTE, Les représentations en relief pour les aveugles, « Comme les autres » - 1985

pour accéder à certains métiers dont les **formations utilisent des supports en relief** (kinésithérapeute, praticien bien-être, secrétaire, standardiste et téléconseiller, canneur pailleur en ameublement, accordeur de piano, …). La **description des objets d'arts ou des monuments** s'appuie également en partie sur la géométrie. Même si les maquettes ou DER suggèrent parfois une illustration intéressante, la verbalisation ajoute à l'impression quand elle n'est pas le seul accès au ressenti. Comment partager avec une personne aveugle l'émotion que provoquent la Joconde, la majesté des grands monuments devant lesquels nous ne manquons pas de jeter un coup d'œil furtif 'en passant', sinon par la **description orale et ses codes géométriques** ?

De même, la **géométrie et la manipulation s'articulent dans une majorité de disciplines enseignées aux élèves déficients visuels** telles que l'éducation manuelle, la technologie (pour planter un clou à la perpendiculaire d'une planche, en poncer les bords, arrondir des angles…), l'EPS, la géographie (cartographie), les sciences expérimentales, les TICE etc.

En **psychomotricité et en ergothérapie**, les élèves apprennent en particulier à prendre conscience des éléments de leurs membres supérieurs (articulations des épaules, coudes, poignets et phalanges, muscles) et en perfectionner la maîtrise via le contrôle de la pression, de la pesanteur, l'indépendance des doigts ou le développement de la souplesse. Ces techniques du toucher auxquelles on pourrait par exemple ajouter la reconnaissance des textures ou le suivi des chemins peuvent être travaillées en cours de géométrie.

Il est donc pertinent de nourrir l'ambition de **participer à la rééducation fonctionnelle** des élèves déficients visuels **tout en s'adaptant aux programmes de l'Education Nationale**.

1.3.3. La géométrie des programmes de l'Education Nationale

Selon **la taxonomie de VAN HIELE**[27], notre capacité à comprendre et utiliser la géométrie se situe dans l'un des 5 niveaux suivants (classés par complexité croissante) :

- ***Identification-visualisation*** : percevoir les formes par la vision, les reconnaître et effectuer un raisonnement grâce à des prototypes (éventuellement faux : le losange est sur la 'pointe', la hauteur est 'verticale', etc),
- ***Analyse*** : associer les objets géométriques et leurs propriétés sans sérier leur importance, leur redondance ou leur articulation,
- ***Abstraction*** : ordonner les propriétés, définir des concepts abstraits, distinguer les caractères nécessaires et suffisants, et comprendre des déductions simples,
- ***Déduction*** : élaborer des démonstrations et comprendre le rôle des différents niveaux d'une structure déductive, et enfin,

- ***Rigueur (ou Axiomatisation)*** : utiliser des systèmes axiomatiques différents, des géométries n'ayant pas de représentations concrètes (géométries non euclidiennes, projectives, différentielles…)

La **progression des enseignements de la géométrie** de l'Education Nationale est **en accord avec cette classification**. L'apparition du ***socle commun de connaissances et de compétences***[46] **et celle de nouveaux programmes**[47] impliquent quelques évolutions conceptuelles de l'articulation et de certaines finalités pédagogiques ainsi qu'un changement, moins prononcé, en termes de contenus des enseignements. Un même *pilier,* regroupant (dans le socle) « les principaux éléments de mathématiques et la culture scientifique et technologique », établit une **liste exhaustive d'objectifs prioritaires** pour l'Ecole primaire et le Collège. En mathématiques, quatre domaines sont distingués par leurs contenus *(nombres et calcul, organisation et gestion des données, géométrie, grandeurs et mesures)* alors qu'un domaine transversal est mis en relation avec tous les autres et s'attache aux procédures permettant de **résoudre les problèmes**, par essence indépendants d'un domaine particulier. Désormais, notre enseignement de la géométrie est donc officiellement lié à l'élaboration de contenu de connaissances mis en application au travers de compétences utilisées pour résoudre des situations dites « problèmes » selon une démarche scientifique : reformuler un énoncé, observer, recenser et organiser les informations, exécuter une tâche, construire un graphique, un tableau ou un schéma, formuler une conjecture, faire des essais, concevoir un protocole, contrôler et exploiter les résultats obtenus, expliquer une démarche, présenter une conclusion, expliquer ce qui a été appris et compris[47].

En détail, au cycle 3 du premier degré, l'objectif principal est de **transformer progressivement la reconnaissance perceptive en étude** fondée sur le recours aux instruments de tracé et de mesure. L'élève **met en jeu les relations et propriétés géométriques** d'alignement, de perpendicularité, de parallélisme, d'égalité de longueurs, de milieu, de symétrie axiale. Il apprend à **utiliser la règle, l'équerre et le compas** et à produire des représentations graphiques en décalquant, en dessinant sur du papier quadrillé ou pointé et parfois en pliant. **L'ensemble des figures planes** comparées, décrites, reproduites et construites, comprend le carré, le rectangle, le losange, le parallélogramme, le triangle et ses cas particuliers ainsi que le cercle. L'élève procède à des **agrandissements et réductions** de figures planes, en lien avec la proportionnalité. **Dans l'espace, il rencontre quelques solides** comme le cube, le pavé droit, le cylindre, le prisme droit et la pyramide, qui sont reconnus, construits grâce à des patrons, et localisés. **Le vocabulaire se précise** grâce aux termes :

[46] BOEN n°29 du 20 juillet 2006
[47] BOEN hors-série n°3 du 19 juin 2008 pour les programmes d'enseignement de l'école primaire et BOEN spécial n°6 du 28 août 2008 pour les programmes d'enseignement du collège

sommet, côté, diagonale, angle, axe de symétrie, centre, rayon, diamètre, face ou encore arête. Les **gabarits** (surtout pour la comparaison des angles) et l'**ordinateur** (logiciel de dessin) sont parfois utilisés.

Au Collège, l'accent est mis sur le **développement des capacités d'analyse, d'abstraction et de déduction**. L'élève apprend à caractériser les objets par leurs propriétés, considère davantage dans ses raisonnements la figure abstraite que le dessin concret qui la représente. Il distingue le cas général des cas particuliers, développe sa capacité à démontrer, à utiliser la logique formelle (déduction, implication, réciproque, équivalence, contraposition). La rigueur et l'analyse critique étayées par la vérification conduisent à une **autonomisation de la pensée**. En substance, les connaissances liées aux polygones précédemment perçus en primaire sont largement approfondies et augmentées des parallélogrammes. Les propriétés des côtés, angles et diagonales sont utilisées pour la construction. L'élève découvre les droites remarquables (médiatrices, médianes, hauteurs et bissectrices), la symétrie axiale, le cercle circonscrit au triangle, le parallélépipède rectangle, le prisme droit, les cylindres et cônes de révolution, les pyramides, la sphère et quelques sections planes. Il constate et formalise également des propriétés fondamentales : la somme des angles aux sommets d'un triangle, l'inégalité triangulaire, les relations entre le parallélisme ou la perpendicularité. Et à partir de la classe de quatrième, il acquiert progressivement la maîtrise d'outils permettant une argumentation nouvelle grâce aux théorèmes de Pythagore et de Thalès et à la trigonométrie. Plusieurs notations et symboles sont introduits dans la communication écrite (appartenance, approximation, notations d'angles, de segments, de droites…). Le rapporteur intervient au Collège afin de mesurer, comparer et 'construire' des angles. En outre, élément important pour notre étude, les logiciels de géométrie dynamique illustrent plusieurs notions et supportent des programmes de constructions. De même, régulièrement, on y souhaite une approche diversifiée des supports de représentation…

Grâce à une approche dont la portée semble à l'heure actuelle sous-estimée, **nous allons tenter de répondre à la majorité des contraintes, directives et souhaits d'améliorations** que les différents principes théoriques sommairement évoqués dans ces quelques pages ont pu mettre en exergue.

Deuxième partie : La boîte à pliages géométriques en action

Le pédagogue allemand Friedrich FRÖBEL, père des *Jardins d'enfants,* considérait le « pliage et le découpage du papier comme des aides pédagogiques essentielles pour le développement de l'enfant »[48]. **Associer le pliage du papier et la pensée géométrique semble parfaitement naturel**. De nos jours, les programmes d'enseignement français lui accordent d'ailleurs une place parmi les outils disponibles permettant l'apprentissage de la géométrie. D'autre part, l'intérêt porté par les Occidentaux à la culture japonaise contribue à l'engouement manifeste pour l'*origami*, objet de mode et de design s'affichant largement dans les vitrines et les écrans publicitaires, ayant acquis, même en Europe, le statut de création artistique qu'il a toujours eu en Asie. **De nombreux manuels et sites internet à dessein éducatif fleurissent ainsi**. Des modèles ludiques, parfois prédécoupés, décorés ou pré-pliés, sont mis à disposition des enfants, des parents, des enseignants et de tous les curieux souhaitant s'adonner à la réalisation en deux ou trois dimensions d'objets, d'animaux, de végétaux, de personnages (…) de papier. Or, en essayant de se livrer à cette activité censée développer la patience, on constate vite qu'elle peut se révéler frustrante ou agaçante tant la compréhension des diagrammes illustrant les étapes de la création est parfois complexe. **L'acte de plier requiert bien un apprentissage**. Malgré le foisonnement de modèles disponibles et l'intérêt pédagogique reconnu pour l'apprentissage scolaire qu'il représente, **il existe peu de liens clairement établis entre le pliage et la construction des savoirs géométriques dans les manuels**. A l'exception d'un développement concret pertinent de cette approche croisée[49], présenté par Didier BOURSIN (origamiste de renom, enseignant en arts plastiques, architecture et design) et Valérie LAROSE (enseignante en mathématiques) peu de sites, blogs internet, ou manuels en langue française s'y attachent. En outre, la **réalisation des modèles est systématiquement guidée par des diagrammes visuels et codifiés de façon assez compliquée pour un enfant**. Ainsi, on ne trouve pratiquement aucune progression ou 'boîte à outils' pédagogique satisfaisante, *a fortiori* pour le public dont il est ici question.

Pourtant, cette **'géométrie au bout des doigts'** constitue une démarche pédagogique déjà envisagée et pratiquée de façon relativement marginale au sein de certains établissements médico-sociaux accueillant des élèves déficients visuels. Dans le prolongement de ces initiatives, nous allons donc présenter ici les **principes fondateurs généraux d'une *boîte à pliages géométriques* avant d'en détailler le contenu et quelques exemples d'applications destinées avant tout aux élèves aveugles ou malvoyants**.

---

[48] Friedrich FRÖBEL, <u>*Die Menschenerziehung (De l'éducation de l'homme)*</u>, Wienbrack - 1826.

[49] Rédacteur en chef de la revue « Le Pli » depuis 1997
Didier BOURSIN, <u>*Pliages et mathématiques*</u>, ACL/Les éditions du Kangourou - 2000
Didier BOURSIN et Valérie LAROSE, <u>*Mathémagie des pliages*</u>, ACL/Les éditions du Kangourou - 2007

2.1. Le pliage géométrique à destination des élèves déficients visuels

2.1.1. De l'origami au pliage, du pliage à l'origami…

L'art du pliage de papier semble être apparu en Chine il y a environ 1 500 ans. Appelé *jiezhi* à l'origine, il consistait à plier le papier et, majoritairement à l'époque, à le découper. Les prêtres shintoïstes véhiculèrent ces techniques jusqu'au Japon où il devint au VI^è^ siècle *origami*, de 'plier' (*oru*) et 'papier' (*kami*). Considéré comme un art sacré, il servait à représenter des divinités ou à décorer les cruches de saké lors des cérémonies religieuses. Il y est d'abord transmis familialement avant d'intégrer officiellement les programmes de 'l'Ecole primaire japonaise' où **l'enseignement de l'origami est toujours obligatoire**.

Le papier n'est arrivé **entre les mains européennes** qu'aux alentours du XIII^è^ siècle mais dès le XV^è^ siècle, Léonard DE VINCI puis Miguel DE UNAMUNO, Lewis CARROLL ou encore Harry HOUDINI le plient[50]. En 1897, C. SAVINEAU[51], instituteur français, publie un ouvrage présentant des croquis et des illustrations pour former des pliages et des découpages, dans le prolongement des travaux de Friedrich FRÖBEL alliant pliage et géométrie selon trois principes : « la vie, la beauté et la connaissance ». Maria MONTESSORI l'introduit également dans la *Casa dei bambini* dans le but « d'éveiller l'intelligence par la manipulation »[52].

La **renaissance contemporaine profane de l'origami** au Japon, attribuée à Akira YOSHIZAWA (décédé en 2005), a fait des émules dans le monde entier. Le **Mouvement Français des Plieurs de Papier (MFPP)** apparaît en 1978 et crée autour de Jean-Claude CORREIRA, la revue *Le Pli*, recueil incontournable de modèles très variés.

Aujourd'hui, les techniques de pliages se multiplient, sont utilisées en architecture, modélisent la géométrie différentielle appliquée à la mécanique pour le déploiement des panneaux solaires des satellites, celui des sondes injectées dans le corps humain en médecine ou encore celui des airbags dans les automobiles. Il suffit de contempler les incroyables créations de David MITCHELL, Robert LANG ou Eric JOISEL pour comprendre que **les maîtres origamistes utilisent leurs yeux autant que leurs doigts**.

Malgré tout pronostic, l'expérience m'a maintes fois démontré, au cours de ces trois dernières années, que **les adultes et enfants aveugles sont capables de plier grâce à la modalité haptique et au guidage verbalisé**. Le plaisir qu'ils ont ressenti à donner forme au papier était flagrant et communicatif, même si les modèles nés de leurs seuls doigts peuvent sembler simples…

---

[50] Peter Angel, Origami from Angelfish to Zen – Dover - 1989
[51] C. SAVINEAU, Pliage et découpage, Hachette - 1897
[52] Maria MONTESSORI, *L'esprit absorbant de l'enfant*, Desclée de Brouwer - (réédition et traduction) 2003

Le principe des activités proposées dans la *boîte à pliages géométriques* n'est pas, à proprement parler, la réalisation des représentations d'origami, appartenant au domaine de l'art, mais bien **l'utilisation des notions géométriques** qui le structurent. Toutefois, mathématiques et origami sont intimement liés. Le vocabulaire propre à chacun des deux domaines nourrit la précision attendue dans la description et la réalisation des modèles. L'approche mathématique permet aux élèves de se représenter convenablement les outils de l'origami, de concevoir le pliage comme un exercice physique et mental rigoureux, concrétisant des savoirs et des compétences. Grâce au développement des connaissances mathématiques et des techniques de manipulations, de nouveaux pliages, dessins et raisonnements géométriques et de nouvelles réalisations d'origami deviennent possibles. Et pour que l'élève entre dans ce cercle vertueux, il n'est pas nécessaire d'user de la séduction ludique. Leurs affinités pour cette activité sont naturelles et comblées lorsque la réalisation d'une figure géométrique est prolongée par celle d'un objet plus artistique (du triangle équilatéral vers une étoile ou une fleur par exemple).

Le premier des principes de cette démarche consiste donc à **se détacher de l'origami traditionnel afin de faire de la géométrie dans un objectif pédagogique spécialisé en pliant du papier, et d'initier parallèlement les élèves à l'origami**.

2.1.2. Des principes généraux de la boîte à pliages géométriques

La *boîte à pliages géométriques* a été créée dans le but de **rassembler des fiches d'activités pédagogiques** utilisant le **pliage comme outil complémentaire à ceux traditionnellement engagés dans l'apprentissage de la géométrie et de permettre la mutualisation de ces activités**. Sa construction, déjà largement engagée, sera donc poursuivie sous **deux formes**. La première, **concrète**, contient des documents adaptés en codage noir et en codage braille (intégral pour l'instant), et la seconde, **virtuelle**, sera disponible par le biais d'internet. Nous souhaitons que les personnes intéressées par ce projet (professionnels de l'enseignement, passionnés d'origami ou élèves) puissent à la fois télécharger des fiches d'activités pédagogiques et soumettre leurs propres idées et réalisations, harmonisées avec les principes et protocoles établis ici afin d'enrichir l'ensemble du contenu. La **réalisation d'un site internet accessible** aux utilisateurs déficients visuels est complexe (plages braille tactiles, revues d'écrans, compatibilité avec des logiciels comme ZOOMTEXT®, JAWS® et leurs équivalents libres de droits), contrainte essentielle à notre ambition d'une coopération pédagogique élargie. Si la base de données numériques correspondant à la *boîte* concrète est déjà préparée à une telle exploitation, l'ensemble des démarches permettant l'aboutissement d'un projet de cette envergure **nécessite beaucoup plus de temps** que nous n'en avons disposé depuis le début de sa mise en œuvre.

L'origami traditionnel est soumis à **quelques lois**. Le papier utilisé ne comporte aucune notation, il est de forme carrée, ne doit être ni découpé, ni collé. **Ces règles sont ici transgressées**. Si le collage n'a pas été utilisé pour l'instant, rien n'exclut dans notre approche qu'il le soit. Les feuilles utilisées dans les activités sont parfois découpées avec les mains sans paire de ciseaux, ni cutter[53]. De même, elles ne sont pas toujours de forme carrée mais parfois rectangulaire (il est d'ailleurs pertinent d'utiliser le format A4 des feuilles les plus couramment rencontrées, quitte à les rendre rapidement carrées grâce à deux plis et une découpe) ou moins souvent, triangulaire ou encore découpées en forme de disque. D'autre part, le dessin géométrique sur une feuille vierge est issu d'un plan exempt des propriétés de la feuille carrée ou rectangulaire. En dessinant, on commence par créer des objets géométriques selon les propriétés souhaitées alors qu'en origami, l'objet initial est déjà caractérisé (carré, rectangulaire…) et exploité, transformé en fonction de ses propriétés. Cette démarche est donc complémentaire du dessin ou en contradiction avec l'objectif recherché. Afin de contourner cet obstacle, la feuille à plier peut être découpée de façon aléatoire par l'enseignant de sorte qu'elle ne représente plus un polygone mais un plan quelconque.

Comme dans la pratique de l'origami, **plusieurs densités de papier**, dont les faces sont éventuellement de couleurs ou de textures différentes, peuvent être choisies. En revanche, les feuilles proposées et les modèles réalisés **peuvent comporter des notations en codages noir ou braille** de façon à enrichir les possibilités de réflexions didactiques ou à simplifier le raisonnement et la construction.

Le pli revêt ici trois intérêts distincts. Comme en origami, il peut servir à **transformer la feuille** pour construire un modèle. De la même façon, il peut laisser une marque tactilement perceptible sur le papier plié puis déplié. Cette trace obtenue représente géométriquement une droite ou un segment de droite et sert en origami à **guider ou préparer une transformation future** (*pli préparatoire*). Certains origamis nécessitent de nombreux plis préparatoires, quelques techniques consistant d'ailleurs à anticiper ainsi intégralement le modelage, qui n'est réalisé qu'en dernier lieu. Mais nous accorderons parfois à cette manipulation un autre objectif, celui de **représenter une figure destinée à demeurer plane sur la feuille dépliée**. Enfin, nous utiliserons certains plis dans le but de vérifier des propriétés (milieu, perpendicularité, parallélisme, égalité de longueur …).

Les modèles réalisés peuvent **représenter des figures géométriques en deux ou trois dimensions** (polygones ou solides particuliers), des **objets géométriques particuliers** (médianes, médiatrices, hauteurs, bissectrices, diagonales, axes de symétries), **illustrer des propriétés et théorèmes mathématiques** (théorèmes de Pythagore et de Thalès par exemple),

[53] Cf. Annexe B : « Comment découper sans paire de ciseaux ni cutter »

ou **des transformations** (translations, symétries…). Ils sont susceptibles de guider le raisonnement (construire la parallèle à une droite passant par un point extérieur, localiser le centre de gravité sur une médiane, caractériser les particularités d'un polygone). Il est également possible de **quadriller une feuille** pour obtenir un repère du plan et y plier des droites représentant des fonctions affines. La majorité des **solides de l'espace** peut être réalisée grâce à des patrons ou des modules indépendants assemblés. L'utilisation du papier plié permet en outre d'obtenir différents gabarits de mesure de distances ou d'angles. Lorsque la forme est réalisée, l'activité peut être prolongée vers une création artistique.

Akira YOSHIZAWA, soucieux de transmettre son art, a élaboré un ***codage de base standardisé*, à la fois visuel et verbal**. Plusieurs symboles, souvent fléchés, illustrent ainsi les consignes : plier devant, derrière, pousser, enfoncer, tourner, retourner, ouvrir, tirer, déplier, maintenir un point, insérer, glisser dans, répéter etc. **Ces symboles ne sont pas utilisés** dans les activités que nous proposons et leur dénomination est parfois modifiée pour nos élèves. Nonobstant cette simplification, **les termes désignant les bases classiques** (base préliminaire, bases de la bombe à eau, du poisson, de la grenouille, du moulin, du cerf-volant, du diamant…) élaborées après quelques plis **sont progressivement introduits** de façon à habituer les élèves à les reconstruire rapidement, s'exercer à la mémorisation et à l'évocation ainsi qu'à progresser dans la manipulation du pliage en se représentant les formes. Pour expliquer aux élèves comment plier, il faut donc **verbaliser les consignes**, proposer une **illustration graphique adaptée aux élèves malvoyants**, **des modèles intermédiaires pour les élèves non-voyants** et parfois, 'donner à voir aux mains'.

2.1.3. Les principes d'un outil de la pédagogie spécialisée

Les élèves auxquels s'adresse la boîte à pliages géométriques ont des âges et des niveaux variés. Ils sont scolarisés dans des classes aux fonctionnements différents. Certains d'entre eux sont atteints de cécité, les autres sont malvoyants. Leurs apprentissages peuvent être ralentis et compliqués par d'autres handicaps, en particulier, des troubles de motricité fine d'origines diverses. En raison de ces difficultés, du décalage qu'ils observent parfois entre leur niveau scolaire et leur âge, ou encore de l'idée socialement répandue que les mathématiques sont 'compliquées', **peu d'entre eux apprécient la géométrie alors que tous en ont besoin**. Les activités proposées visent donc les apprentissages d'élèves scolarisés dans une classe de SEES, en milieu ordinaire, en primaire ou secondaire, souffrant éventuellement de handicap associé.

Certaines fiches, destinées aux novices qui apprendront comment réaliser des plis très simples, peuvent être utilisées même si l'objectif principal n'est pas l'acquisition du vocabulaire géométrique rigoureux, mais l'acquisition d'un vocabulaire plus varié et précis. De même, la **technique de découpage** n'est pas systématiquement employée mais cette compétence deviendra vite un atout, en particulier pour illustrer les propriétés géométriques. La *boîte à pliages géométriques* est de difficultés graduelles. Après une phase de découverte, il sera possible de ne plus guider que ponctuellement l'élève. Elle permet ainsi une **pédagogie différenciée, invite à l'autonomie et suggère la métacognition**.

Comme nous l'avons vu, les activités de construction sont d'autant moins aisées pour les élèves aveugles que la modalité tactilo-kinesthésique est séquentielle, lente et nécessite une alternance permanente entre l'exploration et le geste de tracé. Les approches permettant de stimuler ce sens participent du développement général des élèves déficients visuels. **En pliage, il n'y a pas d'intermédiaire entre le corps et le matériau**, **exploration et action de construction coexistent parfois dans un même geste et l'encombrement du matériel y est sans commune mesure avec celui indispensable à une activité de tracé sur la planche DYCEM**. Certaines contraintes sont donc amoindries même si d'autres persistent. Les objectifs purement manuels relevant de l'entraînement en motricité fine ou du respect des consignes sont souvent complémentaires, ce qui constitue autant une difficulté qu'un travail de rééducation fonctionnelle intéressant. Si certaines manipulations sont compliquées à décrire verbalement, on peut imaginer quelle peine ont les élèves à se les représenter mentalement et à les reproduire. **Certains aménagements ont donc déjà été apportés**. Ainsi, les techniques de pliages sont **décrites pour être effectuées sur une feuille posée à plat sur la table**. Certains élèves ne parviennent pas à appuyer sur le pli avec suffisamment de force, ils peuvent alors **utiliser la partie arrondie d'une cuillère** ou un autre objet approprié. Si la feuille glisse sur la table, **la planche DYCEM peut fournir une surface antidérapante** intermédiaire entre la table et le modèle. Certains élèves dont les articulations sont physiologiquement bloquées peuvent **plier sur un pupitre**… Quoi qu'il en soit, c'est la **répétition du geste** qui fournit la solution, qui assouplit le poignet, le coude ou suscite l'indépendance des doigts, permet de dissocier le rôle et les qualités de chacun d'eux. Le pliage peut ainsi compléter le tracé afin de provoquer d'abord la compétence puis la recherche de la précision, de la performance. Lors d'une même activité, les élèves réalisent souvent plusieurs modèles et il est judicieux de leur suggérer de **répéter l'activité** en dehors de la classe, ce qu'ils font facilement le plus souvent, par plaisir.

Développer le plaisir des jeunes aveugles à toucher pour apprendre est une des responsabilités qui nous incombent. Or, suivre un pli du doigt, faire coulisser le papier entre le pouce et l'index, vérifier sur la pulpe du pouce que les côtés se correspondent bord à bord, sentir qu'un pli s'écrase sous la pression des doigts, que le papier s'assouplit et prend forme (etc.) suscitent de véritables plaisirs tactiles, même chez les voyants, ce que le tracé provoque beaucoup moins pour une personne aveugle. De plus, « le pliage est un art régi par des règles strictes et simples comme celles d'un jeu, (…) un jeu qui peut produire un travail d'art »[54]. En général, les enfants sont fascinés par le pliage de papier, dont le produit fini est attrayant. Lorsque j'ai annoncé à certains de mes élèves adolescents que nous allions plier, SAF, passionné de mangas, s'est écrié : « Ouais ! On va faire des étoiles de ninjas » mais ML, jeune fille plus romantique, l'a repris : « Non, des fleurs ! ». Chacun y a trouvé son propre plaisir en pratiquant la même géométrie. D'autre part, les élèves aveugles disposent ainsi d'une occasion supplémentaire de rapporter chez eux leurs créations, de présenter à leurs proches l'étoile qui ornera le sapin et le père Noël plié en cours, d'offrir des fleurs de papier pour la fête des mères, de jouer avec la cocotte, le lapin, la grenouille, seuls ou avec leurs frères et sœurs.

Comme cela a déjà été évoqué, la **stimulation intermodale** est un atout majeur pour le développement. Afin de suivre ce précepte, les supports de plusieurs activités sont réalisés selon un procédé de **bigraphisme utilisant le pliage**[55]. Les figures en codage noir sont imprimées sur du papier classiquement utilisé pour l'embossage des textes en codage braille. Il est alors très simple de plier puis déplier les différents segments de la représentation (un seul pli suffit) en en respectant les extrémités. La gomme braille permet de localiser les points, et du texte peut être ajouté à la figure (avant ou après le pliage) au moyen de la machine PERKINS ou de la *tablette braille*. Parfois, une *roulette de couturière* (aux dents suffisamment espacées) peut enrichir la figure d'un signifiant mettant en évidence une droite particulière, éliminer l'obstacle des formes curvilignes irréalisables en pliage, ou illustrer les codes graphiques de la géométrie. Les gommettes carrées peuvent être collées pour marquer un angle droit. Ce type de document en relief réunit des informations à la fois visuelles et tactiles en un seul document, support d'une activité pédagogique qui peut être de surcroît décrite oralement.

Comme en *locomotion*, certaines activités peuvent **mettre en scène des exercices de description de parcours**, d'un point à un autre, utilisant le *cadran horaire,* suivant une parallèle, décrivant un 'carrefour' et les 'directions' (ou axes) qui en partent... Ces objectifs, également accessibles dans les activités 'traditionnelles', se prêtent d'autant plus facilement aux manipulations courantes du pliage qu'elles y sont nécessaires.

Lorsque les élèves sont habitués aux constructions utilisant le pliage, ils parviennent à **reproduire les modèles de mémoire** en s'appuyant parfois de l'aide-mémoire constitué par la *fiche d'activité*. Dans les séances de pliage, les élèves doivent régulièrement **reformuler verbalement leur compréhension des savoirs mis en œuvre**. Ils peuvent facilement évaluer leurs progrès d'une réalisation à l'autre, la précision étant assez simple à constater en pliage. Un questionnaire final leur permet de s'auto-évaluer pour accroître cet effort de **métacognition**

[54] *dixit* Samuel RANDLETT : Robert HARBIN, *L'art du pliage de papier*, Les éditions de l'Homme - 1980
[55] cf. Annexe J : « Fiches supports »

2.2. Des éléments particuliers du contenu

2.2.1. Présentation du contenu

La boîte à pliages géométriques est scindée en **différents compartiments**.

Le premier contient plusieurs types de feuilles à manipuler classées par catégories de densité, de couleur et de format, selon les préférences des élèves et les activités choisies. Ces feuilles sont donc des carrés de 20 ou 30 cm de côtés, des rectangles au format A4, des triangles équilatéraux de 20 cm de côté. Elles sont blanches, beiges, jaunes, orange, rouges, vertes ou bleues, de densité 80, 160 ou 210 g/m^2. Il est parfois intéressant d'utiliser du papier beaucoup plus fin (type papier cadeau, aluminium…) ou bicolore. L'élève doit alors adapter ses manipulations ou comprendre le rôle de chaque face et dans tous les cas, modifier les paramètres esthétiques du modèle.

Viennent ensuite des fiches liées à l'utilisation de la boîte : une liste de principes généraux, une liste de définitions des termes spécifiques employés dans les fiches d'activités, une liste des fiches d'activités pédagogiques et une proposition de programmation pédagogique réactualisée selon les évolutions (même si la majorité des fiches d'activités peuvent être utilisées sans suivre cet exemple) et une fiche présentant « quelques conseils pour bien démarrer ».

Enfin, chacun des compartiments suivants contient les documents nécessaires à une activité de pliage : une fiche d'activité de pliage pour l'enseignant, les fiches adaptées à destination des élèves, des modèles préalablement réalisés (éventuellement par les élèves pour ceux qui traiteront l'activité ultérieurement).

La **fiche d'activité de pliage pour l'enseignant** se compose de plusieurs rubriques :

- Un **titre**, des notions mathématiques croisées dans l'activité, des **connaissances et compétences de mathématiques** développées grâce à l'activité (extraites du 'socle commun' de l'Education Nationale) et des **objectifs liés au pliage**. Cette partie permettra aux enseignants de vérifier la pertinence de l'activité à un moment donné de leur progression pédagogique.
- Quelques notions préalables requises liées au **vocabulaire** et aux **techniques de pliage** abordées dans l'activité permettant à l'enseignant d'estimer la nécessité d'une activité préparatoire.
- Le **matériel utilisé** (type de feuilles, documents ou modèles annexes supports de l'activité).
- Une série de **prolongements possibles** de l'activité.

- Le ‘corps’ de l’activité présentant son déroulement séparé en étapes, les actions à effectuer par les élèves et l’enseignant, les consignes à préciser oralement, des questions et des exercices dont les réponses peuvent être orales ou écrites. Dans le **déroulement de l'activité**, un **code de couleurs, doublé d'un code alphabétique** (pour une version braille), permet à l'enseignant de suivre, s'il le souhaite, une procédure. En vert, code « R » (remarque), figurent des remarques dédiées uniquement à l'enseignant, qu’il peut énoncer à voix haute ou taire. En orange, code « O » (oral), sont proposées des démarches à exposer oralement afin que l'élève positionne son modèle de façon particulière, ou suive un parcours sur le pliage afin de remarquer une propriété etc. En noir, code « C » (consigne), figurent les consignes présentes également sur la fiche de l'élève. En bleu, code « Q » (question), sont notées les questions (et parfois les réponses) posées aux élèves sur leur fiche. En violet, code « T » (théorie) apparaissent des éléments de cours présents sur la dernière page de la fiche de l’élève.
- Une **fiche destinée à l’élève dans laquelle** figurent : des consignes générales, les actions et exercices de l’activité, séparés selon les mêmes étapes, et une numérotation identique à celle présentée dans la fiche de l’enseignant ainsi qu’un résumé de cours.
- Une **fiche d’auto-évaluation proposée à l’élève** pouvant également servir de support d’évaluation par l’enseignant. Il ne s’agit pas d’un devoir mais bien d’une estimation de certains critères liés au déroulement de l’activité.

Le **contenu pédagogique** des fiches d’activités destinées aux élèves alterne la réflexion et la manipulation. Chaque étape propose un **geste**, un ou plusieurs **exercices** constitués de questions ouvertes ou fermées, de textes à compléter, d’invitations à conjecturer, déduire, vérifier, formuler, classifier, sérier, effectuer des **recherches** (pour établir ou utiliser une propriété, calculer, trouver l’étape suivante…). Lors des phases de recherches, la coopération est souhaitée. Les manipulations sont de natures et de difficultés variées. Certaines mettent en jeu la règle, l’équerre, le compas, le rapporteur ou un gabarit. L’élève trouve dans certaines étapes une **définition mathématique ou un élément de cours** établi par induction ou déduction. Selon le temps disponible, il est judicieux de répéter la (ou les) première(s) étape(s) avec quatre ou cinq feuilles qui serviront à effectuer autant de fois la manipulation suivante. On recommence alors toutes les étapes avec une nouvelle feuille puis on aborde l’étape suivante avec tous ces modèles en finissant avec une nouvelle réalisation partant d’une feuille neuve et ainsi de suite. Certaines activités peuvent être traitées lors d’une séquence découpée en plusieurs séances.

Dans l’étude que l’élève réalise ainsi, il **développe des capacités unissant la géométrie, le vocabulaire et la manipulation**.

2.2.2. Vocabulaire

L'usage du vocabulaire de la géométrie rebute souvent les élèves. S'il fournit la précision nécessaire à l'étude détaillée d'un fondement des sciences exactes, il apporte également, comme nous l'avons précédemment évoqué, les **clés d'une conceptualisation** essentielle des notions abordées en cours et réinvesties dans nos vies quotidiennes. L'origami, art précis et rigoureux, est lui aussi doté d'un vocabulaire d'une grande richesse. La description de certains objets et actions qu'il utilise peut se révéler très complexe.

Soucieux de rendre les activités de pliages géométriques abordables par une très large majorité d'élèves, nous employons dans ce contexte un **vocabulaire globalement inspiré de l'origami auquel d'autres termes seront parfois prudemment préférés**. De même, certaines propositions permettent à l'enseignant de **s'adapter aux connaissances des élèves** ainsi qu'**aux objectifs de la séance**. L'apparition de **nouveaux termes**, associés à de **nouvelles compétences**, donne lieu à des **explications supplémentaires** dans les fiches d'activités. Les notions géométriques abordées sont **progressivement rendues fidèles à la terminologie utilisée dans les programmes de l'Education Nationale, et plus généralement, aux mathématiques**. Il est important que les expressions employées aient ou prennent **du sens**, qu'elles n'induisent pas d'erreur, **que leur usage se justifie au travers de l'action**.

Voici une liste de termes fréquemment rencontrés dans les fiches pédagogiques ; liste qui ne saurait être exhaustive et induit depuis sa création **une réflexion récurrente** :

- **Matériel :** *Feuille, pliage, modèle, figure, représentation, polygone, solide.*

  Avant que le premier **pli** ne soit effectué, nous parlons de la **feuille** (carrée, rectangulaire…), puis du **pliage** et progressivement du **modèle**. Pour une illustration de notions mathématiques formelles, les mots '**figure'** ou '**représentation'** sont préférés et précisés si possible par les termes '**polygone'** ou '**solide'.**

- **Repérage, localisation:** *Coin, bord, sommet, côté, segment, loin, proche, supérieur, inférieur, haut, bas, gauche et cadran horaire.*

  Dans un premier temps, le modèle est posé sur une table (ou un plan incliné).

  Les notions de **coin** et de **bord** sont plus signifiantes pour les élèves des classes primaires mais sont remplacées dès que possible par les **sommets** et **côtés** (ou **segments de droite**, et par simplification, segments).

  Les termes '**supérieur**' et '**inférieur**' désignent respectivement les côtés, ou sommets, les plus et les moins éloignés de l'élève. Pour certains, les adjectifs '**éloigné**' et '**proche**' qualifient de façon plus signifiante ces notions. ‘**Haut**’ et ‘**bas**’ peuvent également être utilisés lorsqu'aucune confusion avec leur sens initial n'est possible.

Les termes ‘**droite**’ et ‘**gauche**’ sont utilisés pour les sommets, les côtés ou des parties du pliage et ne semblent, outre une latéralisation non acquise, porteurs d’aucune difficulté. Ainsi, le sommet ‘supérieur de droite’, ou ‘éloigné droit’, ou encore ‘en haut à droite’ est facilement repéré par l'élève.

Enfin, un sommet peut être **situé ‘à midi’** ou à ‘2 heures’…

- **Plis essentiels:** *Vallée, montagne, double, en ligne, en colonne, selon un axe, horizontal, vertical, médian, oblique, volet, face, dessus, dessous, épaisseur, intérieur, extérieur.*

Plusieurs termes sont progressivement introduits. Les élèves doivent, dès les premières activités, être initiés aux définitions de ‘**pli vallée**’ et de ‘**pli montagne**’ et savoir les distinguer.

Le terme **‘pli’** revêt **deux significations** : c’est le résultat de l’action de plier sans que l’on ait déplié le modèle, et également la trace imprimée sur le papier dans le cas contraire. Les élèves s’accommodent fort heureusement très bien de cette ambiguïté. Afin de la lever partiellement, **l’action ‘déplier’ est toujours précisée**.

On effectue un pli vallée en amenant une partie du pliage sur lui-même de telle sorte qu'une sensation de creux naisse sur le papier s’il est déplié. A l'inverse, un pli montagne fournit une sensation de bosse. Un pli est **double** s'il est marqué à la fois en montagne et en vallée. Ces plis offrent un relief plus net, mais nuisent au repérage des faces du modèle. Sauf mention contraire explicite, **les plis sont toujours effectués en vallée**.

Pour désigner les côtés ou plis que nous décrivons habituellement comme ‘**horizontaux**’ ou ‘**verticaux**’, il est parfois plus judicieux, et dans l’absolu davantage approprié, de parler de **lignes** et de **colonnes**, ou des **axes ‘3 heures – 9 heures’** et **‘midi - 6 heures’**, ou encore **‘Est-Ouest’** et **‘Nord – Sud’**. La **confusion** entre le plan horizontal et la ligne (horizontale) sur une feuille est pédagogiquement problématique. Néanmoins, elle correspond aux ‘codes voyants’ qu’il nous faut donc apprendre aux élèves aveugles qui le rencontreront fréquemment. Un pli horizontal peut également être associé à supérieur ou inférieur…

Un pli peut être **oblique** ou de travers, de biais, en diagonale (en l'absence de confusion) et associé à ‘gauche’ ou ‘droite’.

Le terme de ‘**pli médian**’, très utile, sera introduit au moment opportun et peut être dans un premier temps remplacé par le ‘**pli du milieu**’.

En pliant une feuille, on obtient deux **volets**. L'un est appelé volet '**du dessus**' ou '**de dessus**', et l'autre, volet '**du dessous**'... Ces termes sont choisis afin d'éviter les confusions avec 'supérieur' et 'inférieur'.

Un modèle comporte éventuellement plusieurs **épaisseurs** de papier. Ces épaisseurs sont alors **numérotées** en partant de celle située au-dessus de toutes les autres. Les adjectifs '**intérieur' et 'extérieur'** précisent alors certaines situations.

- **Actions**: *Plier, déplier, replier, rabattre, glisser, amener, bord à bord, sommet sur sommet, suivre un pli, tourner, retourner.*

Plier, **déplier et replier** sont souvent employés. **Rabattre un volet** consiste à replier un volet préalablement plié puis déplié.

Glisser un volet, ou une partie du modèle, consiste à placer ce volet à l'intérieur du modèle sous une épaisseur.

Amener par un pli vallée consiste simplement à effectuer un pli vallée. Mais cette expression peut être enrichie des précisions **bord à bord**, **sommet sur sommet**, en **suivant un pli ou un côté particuliers**.

Tourner doit être distingué de **retourner**. Le modèle est retourné lorsque sa face du dessus devient sa face du dessous. Le pliage est tourné (dans le sens des aiguilles d'une montre, d'une mesure d'angle ou encore 'de façon à...') en effectuant une rotation plane.

- **Plis élaborés**[56].

Il existe de nombreux autres plis, plus ou moins compliqués à effectuer qui peuvent être appris au fur et à mesure, dont l'utilisation requiert des explications spécifiques et qui ne seront abordés qu'auprès des élèves souhaitant dépasser le pliage pour s'exercer à l'origami : pli zig-zag, crimp, pli renversé intérieur ou extérieur, oreille de lapin, pli pétale, pli aplati, double oreille de lapin, pli enfoncé ouvert ou fermé…

Enfin, les notions mathématiques des programmes officiels sont à la fois pertinentes dans la description des manipulations et dans le repérage. Ainsi, médiane, hauteur, médiatrice, bissectrice, diagonale, angle droit, aigu ou obtus, mesure d'angles, polygones particuliers, côtés et droites parallèles ou perpendiculaires, et bien d'autres **objets mathématiques seront donc graduellement présentés dans la boîte à pliages géométriques**.

[56] Cf. Annexe D. « Plis de base en origami »

2.2.3. Manipulations

Le papier est familier aux enfants dès leur plus jeune âge. La texture comme le format des feuilles A4 sont généralement signifiants avant que nous les invitions à le plier. Si aucun conseil n'intervient, le geste alors naturellement effectué par une majorité d'élèves déficients visuels est maladroit et imprécis. S'il leur est demandé de plier la feuille 'en deux', ils constatent généralement que la **juxtaposition des bords n'est pas satisfaisante**. Les difficultés proviennent parfois d'un manque de souplesse dans les différentes articulations, d'une dissociation maladroite des mains ou des doigts, du manque d'assurance dans le contrôle (s'il existe) de la partie maintenue de la feuille ou d'une trop grande précipitation à effectuer l'écrasement du pli, de l'absence préalable de vérification que les bords 'se correspondent', etc.

Leurs **progrès** en la matière dépendent bien sûr de leurs capacités cognitives et motrices mais sont **très rapidement observables après quelques conseils**. Il peut être nécessaire, particulièrement en cas d'échec, de **guider leurs mains ou de leur suggérer de toucher les nôtres et de constater la position de nos doigts lors d'une prise ou d'une manipulation du papier**, puis de les laisser effectuer les gestes que nous décrivons oralement avant qu'ils ne deviennent autonomes.

Les **manipulations décrites en *annexe***[57] (à titre d'exemple) peuvent être effectuées de nombreuses manières. Nous proposons de les réaliser avec les débutants. Néanmoins, les élèves demandent ou s'approprient rapidement d'autres techniques. Même lorsqu'ils ont acquis des habitudes efficaces, il est intéressant de leur proposer de nouvelles procédures afin qu'ils diversifient leurs compétences et prennent mieux conscience de leurs gestes.

Les activités de pliage peuvent débuter avec un **échauffement proximo-distal des articulations et l'énumération de chacun des doigts**. Chaque doigt possède en effet un rôle qui peut changer d'une action à l'autre ou d'une main à l'autre. De **leur placement** dépend le succès des plis. Nous y accordons donc **une grande importance.**

La **description écrite ou orale des manipulations** est fastidieuse mais permet de mieux conseiller les élèves et n'est complètement utilisée qu'au début de chaque nouvelle apparition. Elle est en outre complétée par une illustration graphique, un modèle préplié et l'accompagnement des mains lors des premières tentatives.

Grâce à deux plis (pli médian et pli diagonal) il est possible de réaliser plusieurs bases et de participer à la majorité des activités de la boîte à pliages géométriques. Les enseignants qui ont essayé de les apprendre aux élèves **sont parvenus à atteindre cet objectif, auprès d'élèves scolarisés dans les cycles du secondaire comme en primaire.**

[57] Cf. Annexes E et F (pli médian et pli diagonal)

2.3. Des exemples de séances pédagogiques

2.3.1. Triangles particuliers - Construction d'un triangle équilatéral

La première activité présentée ici a été testée en mai 2009 auprès de trois groupes d'élèves déficients visuels relevant de la SEES de l'Institut des Hauts Thébaudières :

Initiales. Groupe	**Classe 2009**	**NS[58] 2009**	**Type d'atteinte visuelle**	**Codage**	**CMF[58]**	**Remarques**
ML 1	3è SEES	CM2	Rétinite pigmentaire, scotomes (macula et périphérie)	Noir : Arial 18, ordinateur	+ +	Dynamique et volontaire. Peut tracer et écrire à la main. Apprécie la géométrie.
LP 1	3è SEES	CM2	Cécité congénitale	Braille intégral : SCRIBA	- -	Apprécie le calcul mais pas la géométrie. Tracé difficile sur DYCEM.
JC 2	4è SEES	CM1	Glaucome issu d'un diabète	Noir : Arial 18, ordinateur	**0**	Apprécie les math. Très volontaire. Tracé difficile.
SAF 2	4è SEES	CM1	Centrale d'origine congénitale. Troubles moteurs.	Noir : Arial 20, ordinateur	- -	N'apprécie pas la géométrie. Tracé très difficile.
AM 2	4è SEES	CE2	Cécité congénitale	Braille intégral : PERKINS	- -	Difficultés cognitives. Verbalisme très marqué. Tracé très difficile.
CG 2	4è SEES	CM1	Cécité tardive (11 ans) (Rétinite pigmentaire)	Braille intégral : SCRIBA	-	Apprécie les math. Très volontaire. Tracé très difficile sur DYCEM.
CB 3	5è collège	5è	Cécité précoce (3 ans)	Braille abrégé : IRIS	+ +	Très à l'aise en classe. Tracé assez bon sur DYCEM.

A cette époque, les **groupes 1 et 2** étaient inscrits dans une classe externalisée au collège Lucie AUBRAC (44) et suivaient les **programmes d'enseignements de cycle 3 du premier degré**. Le **groupe 3 est relatif à une élève scolarisée en milieu ordinaire** au collège Aristide

[58] « N.S » désigne le niveau scolaire évalué selon les critères de l'Education Nationale en mai 2009 et « C.M.F » signifie « capacités en motricité fine » à cette même époque, selon 5 niveaux.

BRIAND (44) où elle suivait alors les cours de la **classe de 5ème**, en bénéficiant d'un accompagnement pédagogique spécialisé disciplinaire assuré en dehors des cours de la classe.

La fiche d'activité de pliage pour l'enseignant correspondant à cette séance figure en *annexe*[59] dans son intégralité, accompagnée d'une des adaptations de la fiche distribuée aux élèves travaillant en codage noir. Elle s'inscrit dans une **séquence abordant les triangles particuliers** et comprend comme **objectif principal la réalisation d'un triangle équilatéral** mais également les éléments présentés dans le tableau en première page de la fiche destinée à l'enseignant.

Outre **sa fiche d'activité**, l'élève doit disposer d'une **feuille au format A4** et éventuellement, de quatre modèles pliés selon les différentes étapes. Cette **illustration des manipulations** est également réalisée graphiquement, directement insérée dans la fiche destinée aux élèves malvoyants ou mise en relief (bigraphisme) pour ceux qui le souhaiteraient.

La séance peut être, en particulier, **prolongée par la création d'un origami** représentant une étoile à 6 branches ou d'une fleur (Iris à 3 pétales).

L'élève ne dispose pas du titre intégral de l'activité et ignore donc qu'il va construire un triangle équilatéral. Il sait, en revanche, s'il a prêté attention au **titre « Triangles particuliers – Partie 3 » écrit sur sa feuille**, de quoi il retourne, mais pour diverses raisons AM, SAF ou ML, par exemple, n'y ont accordé aucun intérêt. Les consignes générales le ramènent donc à cette réflexion préparatoire :

> Le travail à effectuer est décrit dans les pages suivantes et va être dirigé à l'oral.
> Cette fiche vous permettra de reproduire le pliage désiré.
> Vous trouverez, dans chaque étape, des questions auxquelles il faudra répondre par écrit.
> Vous prendrez soin d'attendre la vérification de votre pli par le professeur à la fin de chaque étape.
> Nous allons construire un triangle particulier grâce à un pliage, sans découper de papier.
> Avant de commencer à plier, essayez de vous rappeler les triangles particuliers que vous connaissez… et choisissez une feuille au format A4.

Nous procédons au **rituel de l'échauffement** des articulations pendant que je les aide à choisir les feuilles, libérer les surfaces de travail, installer les tapis en DYCEM. C'est aussi l'occasion de **rappeler les noms des doigts** et d'insister sur le rôle de contrôle régulièrement opéré par le pouce, sur la possibilité de maintenir le modèle avec une seule main si les contrôles sont assurés…

[59] Cf. Annexes G et H.

Mis à part CG qui a d'abord demandé du **papier** de 80 g/m^2, les élèves aveugles ont tous préféré le papier de 160 g/m^2, éventuellement coloré. C'est également le cas de JC. ML et SAF demandent généralement du papier blanc de 80 g/m^2 en guise de brouillon. Tous finissent par essayer de réaliser des modèles plus solides sur du papier de 160 g/m^2 mais certains aiment commencer avec une matière plus souple donc moins difficile à écraser ou à maintenir pendant les manipulations.

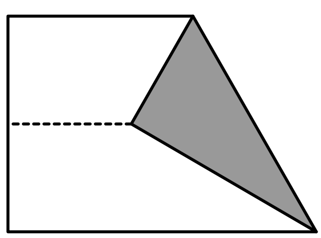
Dans chaque groupe, je profite de l'introduction pour **écouter les réactions**. Le triangle équilatéral est cité parmi les autres triangles particuliers (dont le triangle rectangle isocèle qui était le sujet d'une séance précédente). Mais lorsque, plus tard dans l'activité, il est question de le nommer après l'avoir construit, seule la moitié des élèves répond correctement.

A partir de la feuille posée sur la table, un **texte à trous** est proposé afin de **rappeler les notions** de côté, sommet, longueur, largeur, parallèle et perpendiculaire. **Le vocabulaire est ainsi précisé** et permet de **placer correctement la feuille** et de mieux **comprendre les consignes qui suivent**. Dans les groupes 1 et 2, les réponses sont variées mais correctes à plus de 75% pour la reconnaissance du *rectangle* (A), pour la définition des *longueurs* et *largeurs* (F, H), et l'usage de la règle pour mesurer les distances. En revanche, les termes *sommets* (B) et *côtés* (C), les notions de *perpendicularité* (E) et *parallélisme* (I) suscitent plus de 50% d'erreurs, et jusqu'à 5 erreurs sur 6 réponses pour le caractère '*droit*' des angles aux sommets (D). CB se corrige plusieurs fois et obtient les bonnes réponses au bout de 10 minutes. Les élèves des groupes 1 et 2 ont disposé de 15 minutes et ont rarement relu leurs écrits. La correction immédiate effectuée à l'oral permet de **s'accorder**.

Le premier pli (« amener bord à bord, par un pli vallée, le côté supérieur sur le côté inférieur puis déplier ») a déjà été construit par le passé de nombreuses fois et ne contient plus de difficulté particulière pour la majorité mais SAF, AM et CG s'y reprennent à deux fois.

La **question 2** a pour but de rappeler que la feuille est pliée en deux parties d'aires identiques, que le pli médian passe par le milieu des côtés latéraux. 2 élèves aveugles (CG et AM) n'y répondent pas. Comme je m'y attendais, c'est le pli suivant qui soulèvera le plus grand nombre d'erreurs. Les **illustrations** et modèles pré-pliés sont alors d'un **grand secours** :

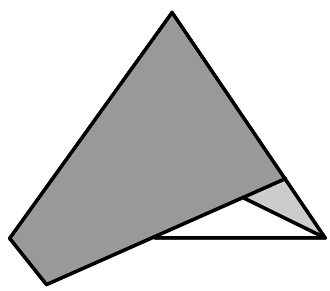
> Amener le sommet supérieur droit sur le pli vallée médian, de telle sorte que le pli passe par le sommet inférieur droit de la feuille. On obtient un pli vallée oblique.



La difficulté est double : manipuler et comprendre la consigne. Si les illustrations lèvent facilement ce dernier obstacle, il faut néanmoins guider AM, plusieurs fois avant qu'elle ne parvienne à franchir l'étape avec une précision très réduite, et un soupir de soulagement. Les autres élèves le font seuls et correctement au bout de trois tentatives pour les plus adroits (ML, CB) et six pour ceux, aveugles ou malvoyants (SAF, LP, CG), dont les difficultés motrices sont les plus prononcées. Les deux mains doivent contrôler avant que l'une n'assure le maintien pendant que l'autre marque le pli. C'est un geste nouveau et difficile à exercer sans technique et sans un bon contrôle visuel. C'est la sensation tactile qui permet le mieux de vérifier que le pli passe bien par le sommet « inférieur droit ». Lorsque les élèves l'ont compris, ils utilisent parfaitement la pulpe du pouce et font coulisser le volet à plier avec les doigts libres.

Dans la **question 3A** (mesure des angles aux sommets du triangle rectangle), seule CB répond correctement après avoir été invitée (comme dans les autres groupes où pourtant, la réponse demeure incorrecte) à utiliser le rapporteur. Le triangle rectangle est pourtant bien identifié par tous et le trapèze par la majorité.

Je ne pose la **question de recherche** (« Que se passe-t-il avec d'autres rectangles ? ») qu'à CB qui se contente de répondre : « Je pense que ça ne marche pas toujours… j'essaierai», ce qui répond à mes attentes. Le pli suivant est plus ludique et une large majorité s'en acquitte sans peine :



La **question (4) suivante** (diviser 180° par 3) est plus compliquée pour le groupe 2. Les compétences en calcul de ces élèves sont trop fragiles pour qu'ils répondent seuls. D'une façon générale, il faut guider les groupes 1 et 2 pour aboutir à la bonne mesure d'angle, alors que CB trouve seule le résultat attendu.

Les élèves doivent ensuite **trouver le dernier pli à effectuer** pour finir la construction. SAF et JC trouvent la solution en collaborant, comme ML et CB qui procèdent individuellement. ML ayant terminé me demandera aussitôt si elle peut recommencer. Puisqu'elle n'avait pas glissé le dernier volet, je lui propose d'améliorer le modèle. SAF, JC et CB attendent mon avis. Nous poursuivons donc. Le dernier pli est bien réussi par tous et le volet se laisse facilement glisser entre les épaisseurs.

Le **triangle équilatéral** est immédiatement reconnu par ML, JC, SAF, CB (qui l'orthographient parfois étrangement) puis plus lentement par LP et CG. Seule CB propose de mesurer les angles aux sommets alors que le plus grand nombre cherche à mesurer les longueurs des côtés. Seule ML pense à les replier selon la bissectrice pour effectuer ce constat. Aucun ne pense à déduire les mesures d'angles. Pourtant, après la **question Q6.D**, plusieurs élèves déduisent la mesure des angles aux sommets, sans toutefois parvenir à expliquer correctement leurs raisonnements. **Après ces différentes vérifications, les notions de cours semblent s'imposer d'elles-mêmes.**

Mis à part LP qui n'a réalisé aucun essai supplémentaire, et AM qui en a réalisé trois, tous les élèves ont rapporté plus de cinq triangles équilatéraux la semaine suivante. SAF, CG, JC, ML et CB ont demandé à faire l'étoile à six branches. ML a profité de son avance relative dans certaines activités pour apprendre à le découper et réaliser le modèle de l'Iris à trois pétales, à plus d'une dizaine d'exemplaires. CB réclame toujours cet apprentissage qui aura lieu quand son emploi du temps (chargé) le permettra.

2.3.2. Parallèles et perpendiculaires

Ce second exemple d'activité pédagogique extrait de la boîte à pliages géométriques est une **séquence** abordée avec le groupe 2 en janvier 2010, devenu « classe adaptée de 3ème SEES », externalisée au collège Lucie AUBRAC. Les élèves concernés sont toujours au nombre de 4. JC et SAF, adolescents malvoyants travaillent en codage noir adapté. Leurs **difficultés motrices sont médicalement diagnostiquées**. Le diabète de JC affecte en particulier sa **mémorisation et le contrôle de certains gestes**, généralement lents, peu précis et difficilement dissociés. La pathologie visuelle de SAF, d'origine congénitale, est associée à d'**importants troubles moteurs**. Il se servait très peu de son membre supérieur droit avant d'entrer dans l'Institut (il y a 6 ans) où un travail de rééducation fonctionnelle mené par les professionnels (kinésithérapeute, psychomotricien et ergothérapeute en particulier) lui a permis d'accroître ses capacités. Il demeure néanmoins en difficulté dans l'analyse visuelle et l'organisation du geste utilisant des instruments de dessin géométrique. CG est devenue aveugle (au sens légal du terme) à la suite des évolutions d'une atteinte rétinienne. Elle souffre également de troubles bilatéraux de l'audition et porte des prothèses. Elle éprouve également des difficultés motrices. Ces trois élèves sont curieux et enthousiastes en cours de mathématiques où ils acquièrent majoritairement cette année les **compétences de la classe de CM2** et quelques éléments du cycle d'adaptation de Collège. Lorsque j'ai commencé à les accompagner, la **géométrie, source d'échecs répétés, était logiquement évoquée avec crainte et déplaisir**. SAF en avait, selon ses propres mots, « horreur ». Leurs compétences en la matière étaient très inférieures à celles constatées en calcul. Enfin, AM est aveugle congénitale (cécité totale). Adolescente joyeuse et dispersée, son élocution est excellente et son

verbalisme profond. Elle n'a, par exemple, pas acquis pour l'instant la compétence calculatoire que représente la division et progresse très lentement dans ses apprentissages en général. Ses opérations cognitives réflexives sont très rares, en classe autant qu'en rééducation (locomotion par exemple). Elle n'a, pour l'instant, **jamais réussi à tracer un triangle sur DYCEM** et peut, selon les jours, appréhender la géométrie avec joie ou mécontentement.

L'exemple de séquence géométrique qui suit est liée à la **reconnaissance et à la représentation du parallélisme**. Elle se déroule **en trois séances** au cours desquelles l'élève **rencontre d'abord des trapèzes**, polygones choisis pour initier le raisonnement. Il doit ensuite **établir le lien entre le parallélisme et la perpendicularité**. Dans ces deux premières séances, le pliage et les instruments traditionnels de dessin sont alternativement sollicités. Enfin, dans la dernière séance, l'élève **met en œuvre les propriétés mathématiques** acquises par un processus inductif **pour représenter deux droites pliées parallèlement**.

La fiche d'activité de pliage pour l'enseignant correspondant à cette séquence, accompagnée des fiches supports, figure en *annexe*[60]. Les **manipulations de pliage sont ici assez simples**, surtout si on les compare aux gestes engagés dans les actions de tracé et de vérification à la règle et l'équerre que cette séquence impose habituellement.

- **Séance 1 : Reconnaître un trapèze**

Sur la première fiche support (« S1 ») sont représentés **7 quadrilatères**. Parmi eux, se trouvent 4 trapèzes et 3 quadrilatères quelconques. Un des trapèzes est prototypique (figure 3), un autre est un trapèze rectangle (figure 7). Leur orientation est variable. Les questions posées à l'élève ont pour objectif de **distinguer les trapèzes des autres quadrilatères**, puis de les nommer.

Les élèves aveugles **disposent, au choix, d'un DER thermogonflé ou d'un document en bigraphisme plié**. Sans se concerter et sans connaître la décision de l'autre élève, CG opte immédiatement pour le document en bigraphisme alors qu'AM désigne le DER thermogonflé. JC me demande également un document en bigraphisme.

Tous **reconnaissent des quadrilatères par habitude** mais **hésitent sur la sélection à faire**. Je leur propose d'échanger les points de vue et un compromis est réalisé. C'est bien la figure prototypique, représentant le plus signifiant de sa catégorie, qui initie la classification attendue dont seule la figure 7 est finalement exclue. L'erreur peut provenir de l'orientation ou de l'ajout de la propriété supplémentaire. Je précise que la feuille peut être tournée, ce qui provoque 3 changements de décision sur 4. SAF s'oppose à la décision générale du fait de la

[60] Cf. Annexes I et J

perpendicularité. Je donne raison à la majorité. La particularité remarquée est bien le parallélisme. « Deux côtés sont pareils », « Les côtés en face sont toujours écartés pareil »… JC finit par trouver les mots justes : « Les côtés opposés sont parallèles ». Je précise que seuls deux côtés opposés sont parallèles. Après réflexion, CG trouve le nom des trapèzes. Nous revenons alors sur la figure 7 pour expliquer qu'un trapèze peut, en particulier, posséder deux côtés consécutifs perpendiculaires sans préciser le nom qu'il porte alors.

La recherche de vérification produit peu de résultat positif. Les élèves savent qu'il faut utiliser la règle et l'équerre mais placent mal les instruments, les emploient au mauvais moment et savent encore moins expliquer la démarche à suivre. Je leur détaille donc le geste, guide les mains et nous obtenons quelques résultats mais ce rappel d'une manipulation déjà effectuée l'an passé ne s'opère en autonomie pour aucun des quatre élèves concernés. Au bout de 20 minutes infructueuses, nous passons à la suite. Il sera intéressant d'observer les incidences des bénéfices du pliage dans l'exercice de manipulation des instruments de dessin.

Dans la seconde étape, 4 trapèzes découpés sont distribués à chacun des élèves. Ils **classent très rapidement les trapèzes** (moins de 5 minutes). Ils doivent ensuite **trouver un pli permettant de vérifier le parallélisme**. A ma grande surprise, AM trouve immédiatement le bon pli. Malgré quelques tentatives erronées, tous les élèves replient un des côtés parallèles sur lui-même et observent que dans le cas des trapèzes, le côté opposé est alors replié sur lui-même bord à bord. Ils l'expriment plus ou moins aisément mais semble avoir globalement compris le raisonnement et n'ont eu aucune difficulté à réaliser le geste attendu.

Indéniablement, **la reconnaissance par le pliage a pris moins de temps**. Elle a été réalisée **en autonomie**. Alors qu'ils n'ont pas réussi à remplir un texte à trous dans la manipulation précédente, ils ont **expliqué assez correctement la démarche de pliage suivie**. Quant à l'identification des parallèles sur la première série des 7 figures, on observe 4 fois plus d'erreurs chez AM que chez CG, mais il en aurait probablement été également ainsi sur des supports différents.

- **Séance 2 : Reconnaître le parallélisme**

La séance suivante se déroule une semaine plus tard, en l'absence imprévue de JC. A mon invitation, Pascal BAUDRY (instructeur AVJ) a accepté de se joindre à nous afin d'observer l'activité. Nous débutons par un **rappel oral, effectué par les élèves**, des principaux éléments précédemment observés. L'objectif annoncé de ce cours tient à **l'étude du parallélisme**, des façons de le définir, de l'identifier et une réflexion sur un moyen de le construire.

La **première étape** met en jeu une figure (figure 1 sur le support 3) représentant deux droites nommées et explicitement décrites comme étant parallèles entre elles. Les élèves peuvent choisir un support construit sur DYCEM, un document en bigraphisme préplié ou en codage noir adapté. Cette fois, CG et AM optent sans hésitation pour le document préplié alors que SAF prend (peut-être par habitude) un document sans relief.

Le **questionnement** les amène d'abord à **distinguer la droite du segment**, ce qu'ils font sans difficulté. Ils doivent ensuite **constater que deux droites (strictement) parallèles n'ont aucun point commun**. A cette fin, ils cherchent à suivre les deux droites des doigts pour me prouver qu'elles possèdent « toujours le même écartement ». SAF est alors en difficulté : « Monsieur, je n'arrive pas à voir si je suis bien les droites… ». Je lui propose à nouveau les supports en relief, il choisit le document préplié, teste à nouveau le geste de suivi, un pouce sur une droite, l'index sur l'autre et déclare : « Vous voyez, elles ne se touchent pas ! ». En acquiesçant, je leur soumets la question suivante à laquelle ils répondent, plus rapidement que je ne le pensais (*a posteriori* sans doute du fait de la formulation employée), qu'ils ne peuvent vérifier le parallélisme au-delà de la feuille. De façon pertinente, CG ajoute : « Oui, mais vous avez dit qu'elles étaient parallèles ! », transition rêvée vers la définition.

Le terme « confondue » interroge, ce qui ne me surprend pas. Je le définis puis résume que deux droites du plan sont dites parallèles si elles ne possèdent aucun point commun ou tous leurs points en commun, alors que deux droites possédant un seul point commun sont dites sécantes (notion déjà abordée). Judicieusement, Pascal BAUDRY demande ce qu'il en est de deux droites possédant deux points communs. Les élèves s'interrogent à leur tour… Je leur demande de se lever, de placer leurs avant-bras face à eux et parallèles l'un à l'autre. Tous choisissent un parallélisme strict. Je les invite ensuite à les croiser en un seul point puis de sorte que les avant-bras aient deux points communs. SAF conclut que les droites sont alors confondues. CG procède à une synthèse : « Alors, elles sont parallèles ou sécantes ? », ce que je reformule en lui donnant raison, dans le cadre de la géométrie plane.

Pour **l'étape suivante**, les élèves choisissent à nouveau le document en bigraphisme. La seconde figure représente **deux droites parallèles et une droite perpendiculaire à l'une des deux** qu'ils devront prolonger pour conclure au premier théorème de la séquence. Collégialement, ils prolongent avec succès le pli. L'action, même autonome, semble simple mais constitue un effort très valorisant compte tenu des différentes difficultés motrices qu'ils éprouvent. Pour vérifier la perpendicularité, il faut utiliser l'équerre. SAF y parvient relativement vite. Mais les deux élèves aveugles rencontrent des difficultés à positionner correctement l'instrument. Je propose à SAF de poursuivre seul l'activité pendant que je guide CG et AM. Il faut reprendre plusieurs fois l'explication avec une conviction empreinte de motivation constante, utiliser le coin de la table pour trouver l'angle droit de l'équerre, guider les mains pour vérifier que ses bords et les droites se juxtaposent. CG finit par aboutir, mais la véritable surprise vient d'AM qui n'a jamais réalisé ce geste depuis que je l'accompagne et qui, ce jour là, y parvient et répète la manipulation sans erreur. SAF a effectué la recherche, pliant en s'appuyant sur le bord de la table. Il conclut donc que l'observation ne doit rien au hasard. La manipulation est toutefois incorrecte puisque la perpendicularité est approximative.

Nous exposons le théorème, illustré en suivant des doigts les différents plis. «D'accord, mais à quoi ça sert ? » demande SAF. Je dois admettre que les transitions sont rarement aussi aisément provoquées par les élèves. Nous abordons **la phase suivante pour répondre** à cette question. Je distribue les modèles suivants présentant **deux plis parallèles**, l'un en vallée et l'autre en montagne, sur un plan (découpage aléatoire de la feuille) et demande si nous pouvons vérifier que les droites sont parallèles. Comme précédemment, les élèves n'ont pas relié le parallélisme et la perpendicularité et concluent par la négative. Mais j'ajoute qu'en utilisant **l'idée suggérée par le théorème 'dans l'autre sens'**, nous allons pouvoir conclure…

Les plis de cette troisième étape sont simples. Je constate chez chacun des élèves les effets d'un an et demi d'exercice de pliage. Ils ont appris à respecter les consignes, comprennent le vocabulaire, attendent et interrogent en cas de doute, placent correctement leurs doigts et vérifient la correspondance des bords avant d'écraser les plis. **La compétence commence à se muer en performance à la recherche de précision**. La représentation recherchée comprend seulement la répétition de deux actions : rabattre un volet et plier comme les trapèzes l'ont été dans la première séance. Dans l'intervalle, il faut répondre à une question tenant à **la nature de l'angle formé, immédiatement reconnu comme droit**. Lorsqu'il faut justifier la réponse grâce au **calcul**, la mission s'avère **plus difficile**. Il ne s'agit pourtant que d'une division par 2 mais je dois détailler la réflexion qui aboutit au résultat avec, *in fine*, un aveu de CG : « Oh oui ! c'était facile ! ». Il demeure **complexe pour eux de relier l'algèbre et la géométrie**, comme de réutiliser les connaissances mathématiques dans les actes de la vie quotidienne.

Je pensais initialement que le **dernier pli** engendrerait des erreurs puisqu'il faut, pour le réaliser, repérer un point de contact particulier mais l'action se déroule sans encombre car le pli précédent la prépare favorablement. La **question 8** conduit à une imprécision que je n'avais pas anticipée. Les élèves comptent, à juste titre, 3 plis. Je voulais établir le constat que les deux plis marqués pendant l'étape étaient confondus. J'apporte donc cette précision à l'oral et les autres questions s'enchaînent correctement.

Nous lisons donc le théorème, une dizaine de minutes avant la fin du cours, ce qui est exceptionnel, et profitons donc de ce temps pour expliquer l'intérêt de cette partie théorique qui sera réutilisée pour la construction des droites parallèles, et légitime, comme le souhaitait SAF la formalisation des théorèmes.

- Lorsque nous avons abordé la **séance 3**, JC était revenu en classe. J'ai décidé de lui proposer d'effectuer la séance précédente pendant que SAF, AM et CG travaillaient sur la suite de la séquence. Ils ont terminé les quatre étapes en moins d'une heure. Les plis utilisés sont en effet les mêmes que ceux des deux premières séances. Pendant ce temps, JC a progressé convenablement dans la deuxième séance, se posant **des questions du même ordre** que ses camarades.

Habitué à la gestion d'un enseignement différencié, j'ai aidé alternativement les deux groupes. AM et CG ont construit des trapèzes puis des parallélogrammes en découpant le papier sans ciseaux (comme elles savent le faire depuis l'an dernier). Elles ont utilisé le parallélisme des côtés opposés, ont pu vérifier qu'ils étaient de même longueur et commencer à réfléchir aux **propriétés des diagonales**. **SAF a demandé l'autorisation d'épauler JC**. Attaché au principe *d'apprentissage vicariant* (cher à Albert BANDURA ou Maurice REUCHLIN), ils ont poursuivi l'activité ensemble. JC a pu entamer la dernière séance pendant ce cours et SAF a commencé à construire des trapèzes et des parallélogrammes.

Tous ont **poursuivi leurs recherches** et réalisations pendant l'étude et le week-end, sur des papiers différents. Notre classe s'est momentanément vue décorée de ces polygones multicolores que **les élèves plus jeunes** de cette classe adaptée de SEES ont cherché à connaître…

2.3.3. D'autres expériences pédagogiques de pliages géométriques.

Les exemples précédemment décrits sont **deux éléments d'un ensemble constitué aujourd'hui d'une dizaine de fiches** d'activités de pliages géométriques : *milieux ; égalité de longueur ; base préliminaire ; polygones quelconques ; repères et quadrillages ; triangles isocèles ; triangles équilatéraux ; triangles rectangles isocèles (gabarit d'équerre) ; droites remarquables ; parallèles et perpendiculaires (trapèzes et parallélogrammes) ; propriétés des côtés et des diagonales de quadrilatères particuliers ; théorème de la droite des milieux et théorème de Thalès ; cube ; tétraèdres réguliers*.

Certaines ont été élaborées par ma collègue Solène JUVIN, enseignante spécialisée, exerçant à l'heure actuelle, en particulier, **en classe de primaires** auprès d'enfants dont les difficultés d'apprentissages ou le niveau scolaire pourraient *a priori* laisser penser qu'un tel exercice n'a aucun espoir d'aboutir. Il n'en est rien. D'ailleurs les enfants des classes de primaire autrefois présents dans l'Institut ont commencé à plier depuis plusieurs années déjà. S'il ne s'agit pas de faire découvrir des théorèmes aux enfants déficients visuels concernés, ils peuvent néanmoins **apprendre à plier bord à bord, construire des bases préliminaires, des quadrillages, réaliser des personnages, des poissons, des bateaux**… Leurs gestes parfois très maladroits s'accommodent au papier et peu à peu, les activités de la boîte à pliages géométriques les entraînent dans une réflexion mathématique qui pourrait **se poursuivre** dans la classe adaptée et externalisée au Collège. Sans cette **collaboration pédagogique**, sans cette **préparation dans l'enfance,** les activités menées à l'adolescence seraient assurément moins productives. Comme je le constate dans ma pratique, Solène JUVIN souligne elle aussi des **effets inattendus chez les élèves** qui s'approprient une nouvelle relation à la géométrie, d'autant plus enrichissante lorsque le pliage ne remplace pas mais s'ajoute aux outils pédagogiques qu'elle utilisait auparavant.

L'idée d'utiliser le **relief du pli pour l'adaptation des documents en bigraphisme** est, quant à elle, venue de l'accompagnement pédagogique spécialisé que j'exerce auprès des élèves scolarisés en milieu ordinaire. Souvent, les adaptations doivent être effectuées très rapidement, dans un lieu où les fours nécessaires au thermogonflage sont absents. J'ai dans certaines situations testé cette méthode qui s'est **d'abord révélée satisfaisante puis préférée par certains élèves**. Elle représente depuis deux mois plus de la moitié de mes adaptations.

Gautier THOMAS, professeur de mathématiques au collège Aristide BRIAND, m'a soumis une interrogation ayant entraîné **une autre expérience d'adaptation** pour CB (Cf. p 42). Il s'agissait de conjecturer le théorème de Thalès en suivant un **protocole de construction géométrique** créé par l'enseignant et réalisé par les élèves **à partir du logiciel Geogebra**. Si les compétences inhérentes à l'utilisation des TICE doivent être également acquises par CB, ce logiciel en particulier ne lui est **pas accessible**. J'ai adapté l'activité sous la forme d'une fiche de pliages géométriques. Elle a pu réaliser la construction dans les mêmes temps que les autres élèves en atteignant les objectifs liés aux mathématiques et au respect d'un programme de construction.

Enfin, il faut ajouter que notre investissement dans ce projet est également lié au travail de Michel LUCAS, passionné d'origami, qui nous a accompagnés dans la démarche de création, notamment grâce à son expérience des ateliers d'origami menés à l'AVH (Association Valentin Haüy) de Nantes auprès d'adultes déficients visuels. Ces ateliers l'ont amené à **verbaliser plus d'une centaine de diagrammes d'origami**, pliables sur un plan, réunis dans un **document numérique ou imprimé accessible aux personnes voyantes ou non-voyantes** (par le biais d'une plage braille tactile ou du lecteur DAISY). Orientés vers l'enseignement, ses efforts nous permettent d'initier les activités de pliages géométriques ou de les prolonger vers la réalisation de modèles que les élèves apprécient beaucoup. Il y a là une source d'inspiration importante, celle qui nous fournira encore pendant longtemps les clés d'un champ d'investigations pédagogiques déjà suffisamment étendu pour que l'on en dresse **un premier bilan**.

Troisième partie : Bilans, limites et perspectives

Afin de préserver une relative **objectivité** dans l'analyse des résultats de cette expérimentation et de **profiter de leurs avis et conseils**, j'ai invité plusieurs professionnels à découvrir les activités issues de la boîte à pliages géométriques. Professeur de mathématiques de l'Education Nationale, instructeur en locomotion, ergothérapeute, rééducateur en AVJ, transcripteur ou enseignant spécialisé se sont intéressés à cet outil pédagogique dont les prolongements sont désormais envisagés au-delà de la classe.

3.1. Mathématiques

3.1.1. Bilan

Depuis deux ans, je constate **une nette évolution** dans le domaine des apprentissages géométriques accomplis par tous les élèves déficients visuels que j'accompagne. Le plus flagrant des éléments observables de ce changement tient à la **nature des compétences et connaissances acquises**. Aborder des notions géométriques relevant de la classe de 6ème avec des élèves qui atteignent difficilement les objectifs arithmétiques de CM2, voire de CM1, continue de me surprendre. Cette avancée constitue un résultat que je n'ai jamais atteint, loin s'en faut, avec les élèves qui ne pliaient pas. Pourtant, le **temps d'enseignement** de la géométrie qui leur est dispensé n'a pas changé et ces élèves **continuent à tracer des figures** sur DYCEM. D'ailleurs, leurs compétences sur ce plan sont également en progrès, puisque certains gestes de pliage sont en accord avec ceux du tracé et que leur **représentation mentale** des éléments de géométrie s'est enrichie. En pliant, les élèves ont appris à **nommer précisément** des objets géométriques qui semblent davantage revêtir une signification concrète. Ils argumentent, se questionnent et justifient leur **raisonnement**, **construisent** et **exploitent** des figures qu'ils ne parviennent parfois pas à produire en traçant (en particulier pour ceux des solides qui ont été l'objet d'une fiche d'activités). La **réversibilité** des procédures s'est également améliorée. Les résultats en évaluations et examens l'illustrent.

Pour les élèves scolarisés en milieu ordinaire, les activités de constructions comme les supports adaptés en **bigraphisme** pliés ont été **favorablement accueillis**. Gautier THOMAS en dit ceci : « Lors de la préparation d'un travail de découverte des propriétés des milieux et du théorème de Thalès (version quatrième), à l'aide d'un logiciel de géométrie dynamique, nous avons beaucoup échangé. Notre but était de proposer une activité équivalente mais adaptée à une élève non-voyante, ce qui a été réalisé en s'appuyant sur des pliages géométriques. Nous avons d'abord constaté que ces techniques sont potentiellement riches d'enseignement pour tous les élèves. A la fois 'souples' et 'lisibles', elles nécessitent peu de matériel spécifique, les constructions peuvent être produites fréquemment et rapidement. De plus, l'enseignant non formé spécifiquement sur le handicap visuel semble plus à même d'évaluer la justesse des constructions réalisées et les difficultés y afférentes. Cela ne semblait pas perturber l'élève non-voyante apparemment habituée. Nous avons donc prolongé l'expérience avec une élève de sixième qui semblait, elle aussi, satisfaite de cette façon de faire. En tant qu'enseignant, je dresserai un premier bilan très positif de cette technique qui limite le nombre de documents à distribuer aux élèves (les pliages peuvent être insérés directement sous le texte des activités). Je comprends rapidement de quoi il s'agit, je pourrais éventuellement essayer de compléter une construction pendant le cours si besoin était … Par ailleurs, si les élèves peuvent travailler la géométrie à partir de pliages, c'est un allègement matériel considérable : nul besoin de DYCEM, de poinçon ou de feuilles spécifiques, c'est un vrai gain d'efficacité. »

3.1.2. Limites

Il va sans dire qu'**aucun outil pédagogique n'est autosuffisant** ou absolu. Certaines compétences sont difficiles à adapter par le biais du pliage géométrique. Il en est ainsi des constructions de forme circulaires, des figures chargées ou encore des courbes représentant certaines fonctions du domaine de l'analyse. De même, un élève déficient visuel n'est pas, à l'heure actuelle, autorisé à **rendre un pliage dans sa copie lors d'un examen**. Enfin, les constructions géométriques sont traditionnellement réalisables « à la règle et au compas », instruments ne permettant pas la ***trisection des angles***, alors que le pliage le peut. Cette contradiction pourrait entraîner des confusions si les 'élèves plieurs' n'y prenaient pas garde. Mais il faut bien avouer que cette situation n'est pas abordée dans les programmes avant les études supérieures et constitue, à mon humble avis, un sujet de débat mathématique.

Le pliage géométrique n'est certainement **pas une fin en soi** mais les activités qui ont été présentées ici ne sont pas chargées d'une telle prétention. Au contraire, elles proposent une **approche complémentaire** plutôt qu'une alternative, **un supplément** davantage qu'un remplacement. Puisque notre ambition pédagogique est, en particulier, de guider les élèves dans leurs découvertes géométriques, j'observe que le **bénéfice** issu de notre démarche est **loin d'être négligeable** en particulier dans la capacité à exercer une géométrie sans plier.

3.1.3. Perspectives

Sur un plan mathématique, les possibilités que laissent entrevoir les méthodes et techniques portées par la boîte à pliages géométriques semblent **prometteuses**. Ainsi, les thèmes concernant les symétries, la majorité des solides de l'espace, les agrandissements et réductions, le théorème de Pythagore ou encore les transformations du plan n'ont pas encore été traités. De même, certaines notions déjà approchées pourraient l'être différemment.

3.2. Rééducation fonctionnelle

3.2.1. Bilan

Dans les commentaires recueillis auprès des rééducateurs, un **élément revient constamment**. Tous ont, en effet, évoqué les progrès permis par l'attention particulière apportée à l'emploi d'un **vocabulaire** unifié, signifiant, précis et diversifié. Ce vocabulaire est utile en locomotion, ergothérapie, psychomotricité, AVJ ou orthoptie. Si comme le veut l'adage, « ce qui se conçoit bien s'énonce clairement (…) », on peut réciproquement ajouter : ce qui s'énonce clairement se conçoit certainement mieux.

En **locomotion**, les notions géométriques intervenant par exemple dans *la marche parallèle*, la construction d'un plan rappelant un trajet, la localisation grâce au cadran horaire, la découverte et la description d'une pièce (…) peuvent être facilement illustrées grâce au pliage si la personne déficiente visuelle accompagnée est habituée à ce mode de représentation. Les 'élèves plieurs' profitent déjà en cours de cette idée.

Sous le prisme de la **psychomotricité et de l'ergothérapie**, ce travail participe bien de la connaissance et du contrôle du corps. Il favorise le développement de la latéralisation, l'estimation des distances, la coordination bimanuelle, la dissociation des mains et des doigts, l'assouplissement et l'augmentation de l'amplitude articulaire ou encore la souplesse du geste.

La **répétition des gestes** entraînant leur automatisation est, en outre, un des facteurs de réussite dans les Activités de la Vie Journalière développé par le pliage.

3.2.2. Limites

Encore une fois, il faut considérer qu'il s'agit bien d'un moyen supplémentaire ne se substituant pas à ceux qui sont d'habitude utilisés en rééducation. Par exemple en locomotion, il serait intéressant d'imaginer apprendre la représentation d'un trajet sur un pliage mais, en extérieur, il faudra alors tenir compte de la pluie, facilement nuisible au papier.

3.2.3. Perspectives

La **communication** entre l'enseignant spécialisé et les rééducateurs favorise la qualité du travail de chacun. Lors des activités de pliages, de nombreux éléments sus-évoqués sont évaluables par l'enseignant et peuvent être **signalés aux différents intervenants** accompagnant les élèves, qui peuvent, à leur tour, conseiller sur les stratégies favorables et les compétences à travailler à un instant donné. Plusieurs rééducateurs m'ont fait part de leur intérêt pour notre démarche et envisagent déjà une **collaboration autour des activités de pliages**. De même, les éducateurs spécialisés qui le souhaiteraient pourraient **poursuivre certaines réalisations** effectuées en cours dans les activités éducatives.

3.3. L’avis des élèves

18 élèves ont traité avec moi une ou plusieurs activités extraites de la boîte à pliages géométriques. Même si leurs degrés de satisfaction sont variables, ils ont tous fait part d’un certain engouement pour cette approche. Certains d’entre eux qui plient depuis deux ans réclament régulièrement une nouvelle fiche alors qu’ils en traitent environ une par mois. J’ai plus précisément questionné oralement JC, AM, SAF et CG sur leur ressenti.

CG et AM parlent des constructions sur DYCEM, SAF et JC du tracé :

CG : « C’est difficile de retrouver les instruments, de tracer, de bien tenir la règle…j’aime vraiment pas ça ».

AM : « Moi, j’ai jamais réussi à bien tracer une droite ! ».

SAF : « Je n’ai rien contre le calcul mais le tracé… Je dois me concentrer sur le contrôle de la règle… plus ma main, c’est super dur. Et puis je vois pas bien ce que je fais», dit-il penché sur la table pour joindre le geste à la parole. « En plus, j’arrive pas à bien gommer et je me trompe tout le temps. C’est sale».

JC : « Moi aussi, je trouve ça compliqué. J’aime bien mais j’y arrivais très mal… un peu mieux maintenant ».

- Votre pratique de la géométrie a-t-elle changé ?

AM : « Ben, faut dire qu’avant, quand j’étais petite, j’en faisais presque pas ».

CG : « Si, on en faisait…mais pas beaucoup».

AM : « Oui, mais moins que maintenant ».

JC : « Pareil ! ».

SAF : « Moi, avec mon problème moteur, on m’en demandait moins ».

- Et que pensez-vous du pliage ?

AM : « On en fait de plus en plus. J’aime bien ! ».

CG : « Oui, quand je me dis ‘on va faire de la géométrie’, je me dis ‘j’aime pas’… et puis ça passe vite ».

SAF : « Ah oui ? moi aussi ! C’est ludique. C’est vraiment mieux que le tracé ! ».

JC : « …Et puis c’est joli, c’est agréable… ».

SAF : « D’ailleurs, Monsieur, j’aimerais bien des choses plus artistiques… ».

CG et AM : « Moi aussi ! ».

- ***Est-ce plus difficile de vous rappeler ce qu'il faut faire quand vous pliez ou quand vous tracez ?***

CG et SAF : « C'est plus dur en pliage ».

AM : « Non, moi c'est plus dur pour tracer ».

JC : « Surtout, on fait pas des choses aussi longues quand on trace… enfin, j'essaie pas de le refaire, alors que là, j'y arrive un peu ».

- ***En quoi vous aide le pliage en géométrie ?***

CG : « Quand on se pose une question on peut s'aider du pliage ».

SAF : « La semaine dernière, pour 'parallèles et perpendiculaires', j'ai réussi tout seul et en plus j'étais content de moi ».

AM : « Moi, je réfléchis mieux à ce que je fais ».

CG : « Ben moi, je réfléchis tout court ! », dit-elle en nous entraînant dans son rire.

JC : « Et puis on se pose des questions tous ensemble et on y répond ensemble, on se montre comment faire, alors que le tracé, c'est tout seul, dans notre coin ».

- ***Pour lire les informations, explorer ou regarder une figure, quel support préférez-vous ?***

CG : « Je préfère quand c'est plié ».

AM : « Moi je préfère l'autre… ».

- ***Le thermogonflage ?***

AM : « Oui, c'est ça, c'est plus gros, je le sens mieux ».

SAF : « Je préfère le bigraphisme, c'est bien pour guider les doigts et regarder, mais juste à toucher sans regarder, je sens mieux avec le thermogonflage ».

JC : « Oui, ça dépend, des fois je préfère avec des plis ou pas… parce qu'il faut les deux, c'est comme pour le tracé, j'aime bien essayer les deux».

Généralement, j'ai constaté cette année, parmi les 6 élèves braillistes uniquement en mesure de percevoir les graphiques et figures de géométrie sur des supports en relief, que la préférence du thermogonflage était prégnante chez ceux (3/6) qui avaient le plus de difficultés cognitives ou encore de difficultés à sentir les plis, plus fins. Cela dit, je n'ai noté aucune différence de nombre ou de nature d'erreur d'identification dans l'un ou l'autre des cas, concernant ces élèves. En revanche, les élèves mal-voyants ou braillistes en mesure de voir préfèrent majoritairement un bigraphisme plié et adapté (avec ou sans information en codage braille).

Pour la construction des figures, aucun élève aveugle ne m'a dit préférer l'utilisation du DYCEM.

« Têtes bien faites et mains expertes plutôt qu'outres bien pleines.»

Célestin FREINET

Conclusion

Nombreux sont les pédagogues qui, injustement, n'apparaissent pas formellement dans cet écrit, alors que leurs travaux guident mes pas dans un 'syncrétisme de méthodes d'enseignement' auquel j'aspire idéalement.

Il me semble avoir atteint plusieurs objectifs initialement projetés dans cette création, pourtant, tout reste à faire, ou presque…

Il me tarde par exemple de remettre, encore une fois, en question certaines activités qui ne s'appliqueront peut-être pas de la même façon auprès d'élèves accompagnés par d'autres enseignants, de savoir quelles modifications ils demanderont, d'enrichir la boîte de leurs idées.

La mutualisation des ressources invite à une coopération qui peut se développer. Mais il faudra pour cela réunir suffisamment de volonté et uniformiser les outils pour mieux libérer la pratique. Certains enseignants se disent déjà prêts à s'y essayer. De nouvelles applications seraient alors envisageables. Pourquoi, par exemple, ne pas échanger entre différentes classes des modèles pliés et demander aux élèves de décrire les manipulations aboutissant au résultat reçu ?

Nous souhaitons poursuivre l'extension de ce travail auprès d'enfants de la SEHA. Jusqu'où pourrons-nous aller ? Quelles collaborations entre les professionnels de la rééducation et les enseignants pouvons-nous imaginer autour des activités de pliage afin qu'elles soient les plus efficaces ?

Mes échanges avec les professionnels du service de transcription de l'Institut des Hauts Thébaudières m'ont confirmé que le type d'adaptation en relief proposé ici leur était inconnu. Si elle n'intéresse que modérément un service disposant de tout le matériel nécessaire à l'élaboration d'un autre type de DER, cette méthode n'en reste pas moins pertinente pour l'enseignant spécialisé contraint d'adapter des graphiques et figures géométriques sans aide matérielle. Et que penser des pays en voie de développement qui, bien souvent, ne parviennent pas à financer les fours, les feuilles ou le plastique utilisés pour le thermogonflage ou le thermoformage ?

Enfin, puisqu'il est bien de la responsabilité de chacun de préserver l'écosystème qui nous entoure, il me semble judicieux de réfléchir à des supports de cours recyclables, tout comme il appartient, d'une certaine façon, à l'enseignant, de 'recycler les savoirs', de génération en génération…

Annexes

A. Les différentes procédures exploratoires, d'après LEDERMAN et KLATZKY – 1987. Extrait de Psychologie cognitive de la cécité précoce (Yvette HATWELL)

B. Comment découper sans paire de ciseaux ni cutter

C. Différentes feuilles pour plier

D. Plis de base en origami

E. Effectuer un pli médian horizontal (description verbale et photographies)

F. Effectuer un plier un pli diagonal (description verbale et photographies)

G. Fiche d'activité de pliage pour l'enseignant : Triangles particuliers – Construction d'un triangle équilatéral sans découpe.

H. Fiche d'activité de pliage pour l'élève : Triangles particuliers – Partie 3

I. Fiche d'activité de pliage pour l'enseignant : Parallèles et perpendiculaires – Reconnaissance, définition et utilisation des propriétés pour caractériser et construire.

J. Fiches supports

K. Photographies de modèles

A. Les différentes procédures exploratoires,

d'après LEDERMAN et KLATZKY – 1987.

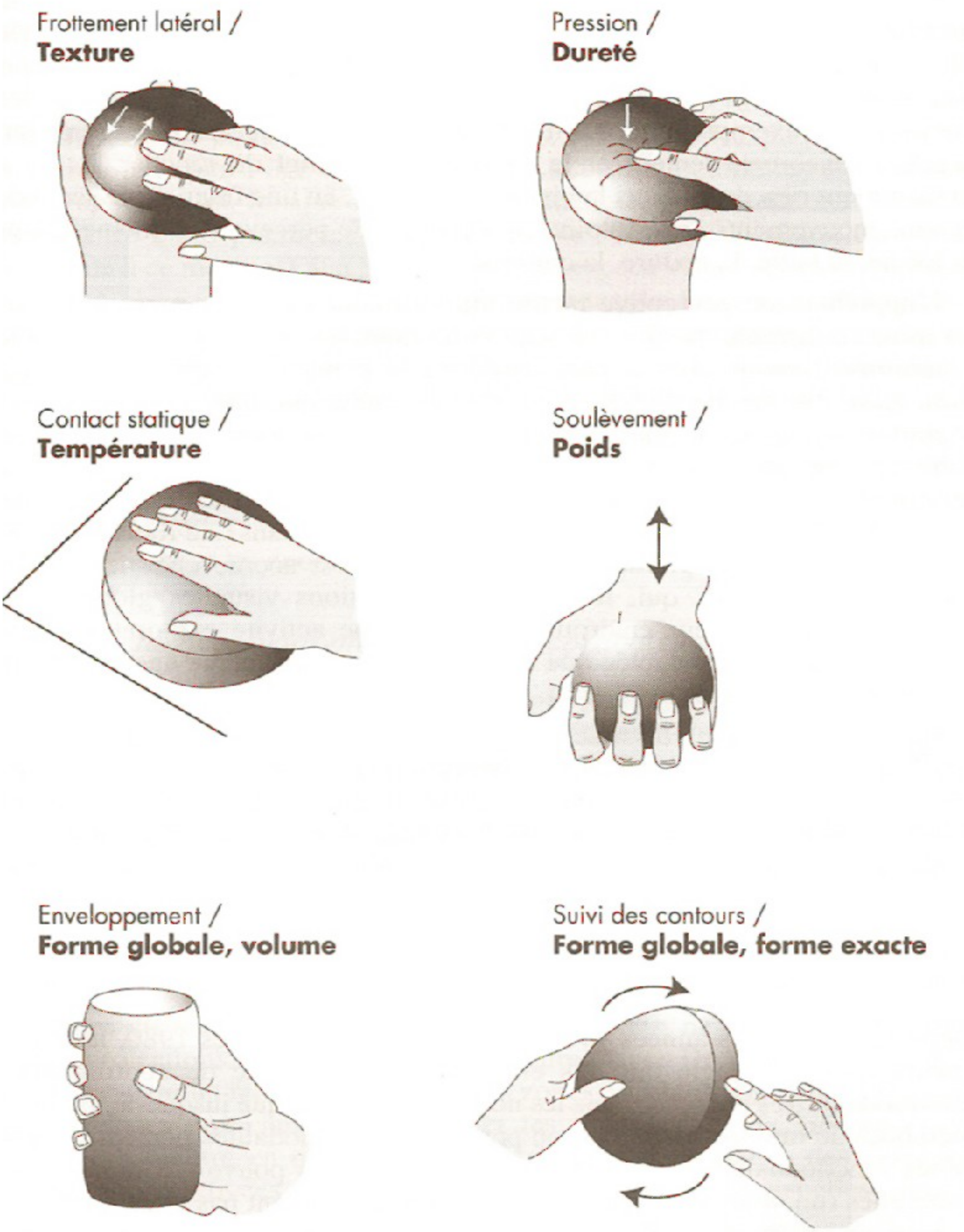
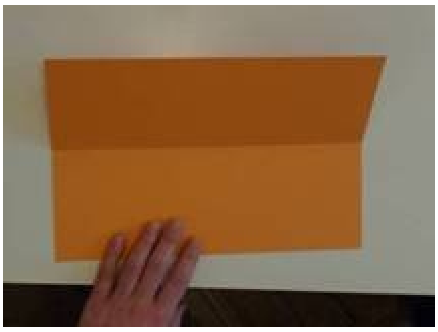


Figure 1.2
Les différentes procédures exploratoires manuelles et les propriétés des objets qu'elles permettent de percevoir de façon optimale
(adapté d'après Lederman et Klatzky, 1987)

B. Découper une feuille sans ciseaux

1 - Effectuer un pli vallée :

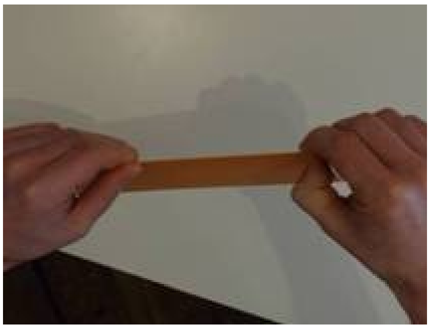
2 – Déplier :



3 - Retourner le modèle :

4 - Effectuer un pli vallée (pour doubler le pli) :

5 – Marquer le pli avec les ongles :



6 – Placer les mains contre le pli, indexes à midi s'éloignant du pli, pouces maintenant le pli, les autres doigts écartés. Pli plat au niveau des index et en hauteur au niveau des pouces :

7 – Découper en écartant les index :

8 – Déplacer les mains en les rapprochant du corps au fur et à mesure, jusqu'à la fin :

C. Différentes feuilles pour plier

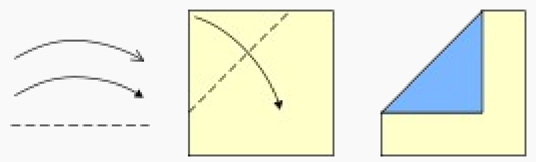
D. Plis de base en origami

(Un article de Wikipédia, l'encyclopédie libre).

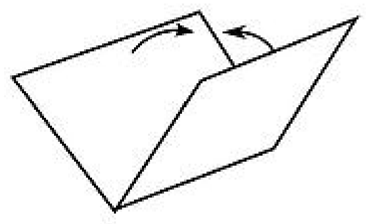
En origami, pour représenter par écrit la création d'un modèle, on crée généralement des **diagrammes**, dans lesquels l'on représente les différents plis par un ou une combinaison des symboles. Il existe ainsi un "solfège de l'origami", universel, et regroupant tous les différents symboles que l'on peut trouver dans les diagrammes.

Plis simples

Le pli vallée : Il s'agit d'un simple pli, "en creux", les pointillés signifiant "plier par devant"

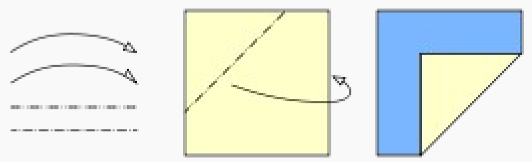


Représentation

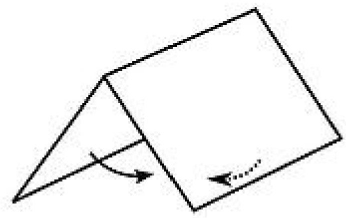


En 3D

Le pli montagne : C'est l'opposé du pli vallée, il vise à faire une "crête". Représenté par un trait mixte (alternance de tirets et de points), il signifie "plier par derrière".

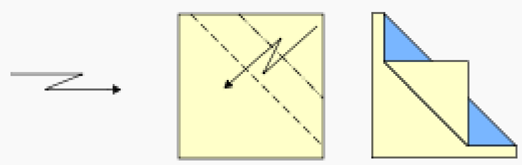


Représentation



En 3D

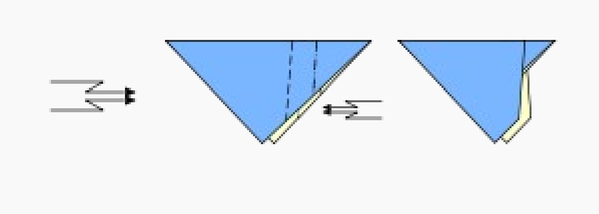
Le pli zig-zag : Il est constitué d'un pli vallée et d'un pli montagne (voire une succession)



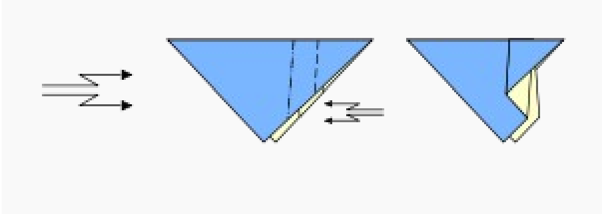
Représentation

Plis de niveau intermédiaire

Le crimp

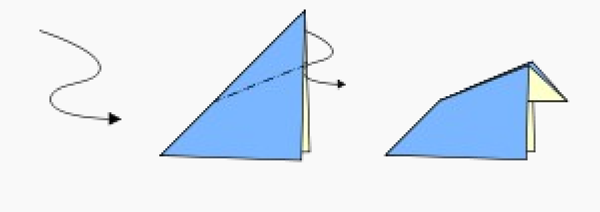


Première possibilité



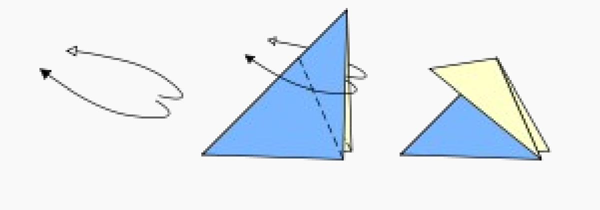
Deuxième possibilité

Le pli renversé intérieur



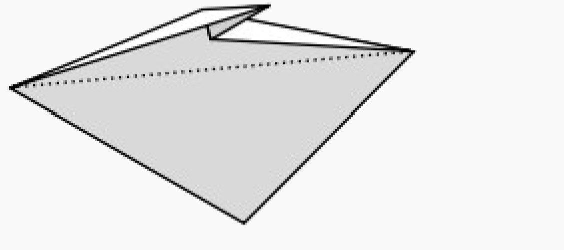
Représentation et rendu

Le pli renversé extérieur



Représentation et rendu

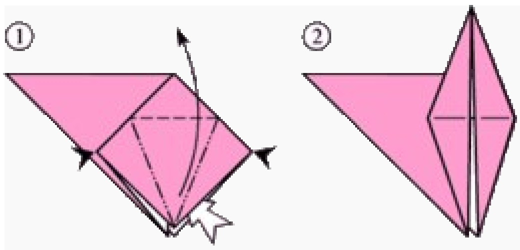
L'oreille de lapin : Pincer un sommet selon sa bissectrice pour en faire une pointe.



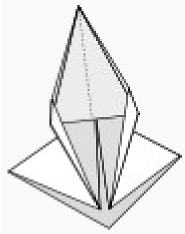
Résultat

Remarque : Réalisé des deux côtés, on obtient alors la base du poisson

Le pli pétale : Il consiste à soulever une pointe, la relever et en aplatir les flancs. Il sert notamment à créer la base de l'oiseau à partir de la base préliminaire.

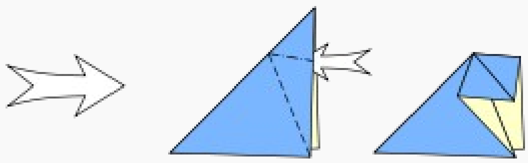


Représentation

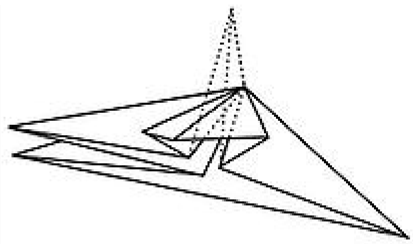


En 3D : Pli pétale en cours sur une moitié de la base préliminaire

Le pli aplati : Il consiste à relever une pointe à la verticale puis à l'écraser. C'est un pli qui sert notamment à créer la base de la grenouille à partir de la base préliminaire (ou de la base de la bombe à eau).



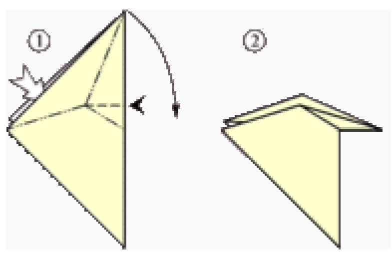
Représentation



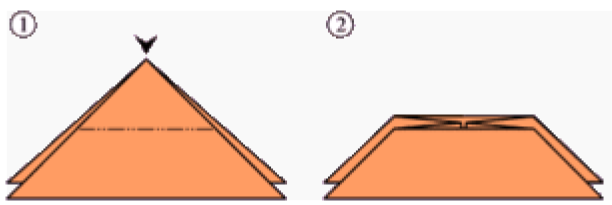
En 3D : Pli aplati sur un côté de la base de la bombe à eau

Plis complexes

La double oreille de lapin



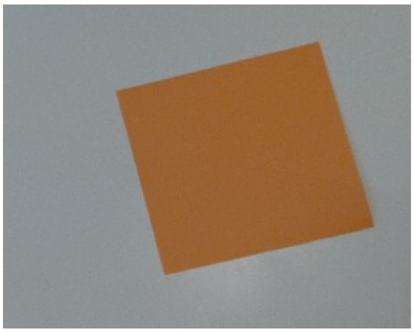
Le pli enfoncé ouvert



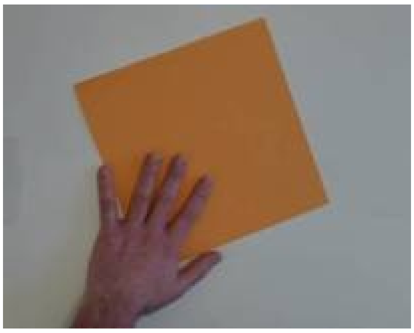
E. Effectuer un pli médian horizontal bord à bord (pour un droitier):

- Commencer avec une feuille carrée, posée sur la table,
- repérer les coins et les bords de la feuille,
- poser la paume de la main gauche sur le coin gauche le plus proche,
- écarter les doigts de cette main en contact avec la feuille,
- amener un bord de la feuille contre le bord (supposé 'droit') de la table, en contrôlant avec la pulpe du pouce gauche la tranche de la feuille et le bord de la table,
- la main droite prend la position symétrique dans la partie droite proche, pour assurer que les bords de la feuille et de la table sont correctement juxtaposés,
- la main gauche assure le maintien de la feuille dans cette 'bonne' position, alors que la main droite peut se libérer,
- la main droite attrape le bord opposé en son milieu (approximatif), et le ramène au-dessus de la main gauche,
- le pouce droit se replace à côté du pouce gauche contre la tranche du bord proche de la feuille, alors que les autres doigts appuient (doucement) sur la deuxième épaisseur de papier,
- la main droite assure maintenant le contrôle alors que les doigts de la main gauche passent au-dessus du modèle,
- les pouces assurent le contrôle des tranches pendant que les autres doigts font coulisser le volet du dessus pour que les bords se rapprochent. Ce geste est souple. Si le volet du dessus dépasse celui du dessous, il faut alors l'éloigner du corps : le pouce droit maintient sa position contre les tranches et le pouce et l'index gauche font coulisser les deux volets l'un contre l'autre pour ramener les deux épaisseurs dans une position estimée correcte par les tranches des pouces,
- lorsque le contact entre les tranches des deux épaisseurs et les pulpes des pouces est correctement établi, on fixe fortement le modèle avec les doigts de la main gauche, écartés, le pouce restant si possible en contact avec les tranches du modèle,
- la main droite étant libre, l'index droit écrase le pli en deux temps. Il part du centre du modèle, se déplace vers midi (s'éloigne du corps) pour rejoindre le milieu du côté éloigné et toujours selon ce geste d'éloignement écrase le papier par saccades en se dirigeant un peu plus vers la droite du pli,
- sans bouger la main gauche, l'index droit effectue un geste symétrique vers la gauche du pliage.

Si le modèle est déplié, une ligne en vallée traverse la feuille formant la médiane 'horizontale' (ou 'médiane dans l'axe 3h-9h' etc.). En retournant la feuille, le pli devient montagne. En tournant de 90° le modèle, on peut effectuer l'autre pli médian.



- 1 -



- 2 -

- 3 -

- 4 -

- 5 -

- 6 -

- 7 -

- 8 -

- 9 -

- 10 -

- 11 -

- 12 -

- 13 -

- 14 -

– 15 -
–

F. Effectuer un pli diagonal (pour un droitier):

- De la même façon que précédemment, on amène un bord de la feuille contre le bord de la table,

- la main gauche assure le maintien de la feuille, toujours avec le pouce en position de contrôle de la tranche,

- la main droite libérée attrape le coin éloigné droit et l'amène contre le coin proche gauche,

- la main gauche est entre les deux épaisseurs, la main droite au-dessus du modèle,

- en plaçant le pouce droit (la pulpe contre les tranches) pour assurer la juxtaposition des deux bords et de la table, la main gauche se dégage,

- l'index et le pouce gauche viennent se placer 'pulpes contre tranches' dans le coin proche gauche, l'index contre le côté vertical (ou en colonne, etc.) gauche et le pouce contre le côté horizontal (ou en ligne, etc.),

- les doigts de la main droite en contact avec le modèle font coulisser (entre le pouce et l'index droits) le volet du dessus jusqu'au contact correct entre les tranches, le pouce et l'index gauches,

- on amène les doigts (écartés) de la main gauche au-dessus du modèle pour le maintenir,

- pendant que la main gauche maintient le modèle dans cette position, il est possible de vérifier avec le pouce droit que le coin proche droit se forme correctement. Une position correcte offre une sensation très particulière et reconnaissable facilement si elle a été éprouvée une première fois,

- comme précédemment, on écrase le pli avec l'index droit en partant du centre du modèle vers l'extérieur, en deux temps, vers la droite proche puis vers la gauche éloignée du corps.

<u>Remarques :</u>

- Il est possible de plier l'autre diagonale du carré en tournant la feuille…
- En effectuant les deux plis médians, en retournant la feuille puis en construisant les deux diagonales, on obtient la base préliminaire, début de nombreuses créations d'origami et de raisonnements mathématiques.
- Pour un élève gaucher, il suffit de remplacer systématiquement le terme 'droite' par 'gauche' et réciproquement.

- 1 -

- 2 -

- 3 -

- 4 -

- 5 -

- 6 -

- 7 -

- 8 -

- 9 -

- 10 -

- 11 -

- 12 -

G. Fiche d'activité de pliage pour l'enseignant :

Triangles particuliers – Construction d'un triangle équilatéral sans découpe

Titre	**Triangles particuliers – Construction d'un triangle équilatéral sans découpe.**
Connaissances et compétences de géométrie	Utiliser les outils de représentation géométriques (règle et rapporteur). Reconnaître et représenter des figures géométriques planes (rectangle, trapèze, triangle équilatéral). Utiliser les propriétés de géométrie plane (utiliser le vocabulaire, caractériser les figures, décrire une figure, comparer des longueurs). Réaliser, comparer, estimer des mesures (distances, angles).
Compétences en démarche scientifique	Rechercher, extraire et organiser l'information utile. Réaliser, mesurer, calculer, appliquer les consignes. Raisonner, argumenter, pratiquer une démarche expérimentale.
Objectifs de pliage	Effectuer un pli médian. Plier en amenant un sommet sur un pli. Glisser un volet. Construire un triangle équilatéral. Distinguer un pliage résistant d'un pliage fragile (en répétant l'activité des feuilles de densités différentes).
Vocabulaire	Repérage et positionnement. Plis vallée, montagne, médian, volet, épaisseurs multiples, intérieur, extérieur.
Manipulations	Plier, déplier et replier, rabattre, glisser, amener, bord à bord, sommet sur sommet, suivre un pli, tourner, retourner.
Matériel utilisé	Feuille rectangulaire en format A4. Fiche support des figures de 1 à 4.
Prolongements	• Triangle équilatéral découpé • Droites remarquables • Etoile plane à 6 branches • Lys à 3 feuilles

<u>Déroulement de l'activité</u>

<u>Etape 1 :</u> Préparation	R : S'assurer que les bords de la table sont droits Position ; C: Placer le grand côté de la feuille contre le bord de la table. Texte à trous : Q1 : Dans le texte suivant, certains mots importants ont été remplacés par des lettres de A à I. Remplacer chacune de ces lettres par le mot qui convient : La feuille représente un quadrilatère particulier, c'est un A **(rectangle).** En mathématiques, les 4 coins de la feuille sont appelés les B **(sommets)** du A. Les C **(côtés)** du A sont les segments de droites dont les extrémités sont limitées par les B. Tous les angles aux B sont D **(droits).** Les côtés qui se suivent sont E **(perpendiculaires)** entre eux. La F **(longueur)** du rectangle est la distance qui sépare les B des plus grands côtés. On peut la mesurer avec une G **(règle)**. La H **(largeur)** du rectangle est la distance qui sépare les B des plus petits côtés. Les côtés opposés sont I **(parallèles)** deux à deux.
<u>Etape 2 :</u> Figure 1	Pli n°1 ; C : Amener bord à bord, par un pli vallée, le côté supérieur (éloigné) sur le côté inférieur (proche) puis déplier (figure1) Constat écrit ; C : On obtient un pli vallée, médian et horizontal. Questions Q2 : Par quel point de chaque petit côté passe ce pli ?
<u>Etape 3 :</u> Figures 2	Pli n°2 ; C : Amener le sommet supérieur droit sur le pli vallée médian, de telle sorte que le pli passe par le sommet inférieur droit de la feuille. On obtient un pli vallée oblique (figures 2) **O : On peut déplier pour la fin de cette étape.** Constat oral / localisation : R : On obtient, sur la partie droite de la feuille, un volet représentant un triangle rectangle. L'angle droit est au sommet supérieur droit de la feuille. Les autres sommets sont le sommet inférieur droit de la feuille et le point commun du pli vallée oblique et du côté supérieur de la feuille. Questions ; Q3.A) Quelles sont les mesures des angles aux sommets du volet de droite ? (Raisonnement ou utilisation d'un rapporteur ou d'un gabarit) Recherche possible : En est-il de même avec d'autres modèles de feuilles rectangulaires de départ ? et avec un carré ? Q3.B) Quelle est la nature du quadrilatère obtenu si le volet est rabattu comme sur la figure 2 ?

Etape 4 : Figure 3	Position ; **O : Volet triangulaire rabattu, feuille en trapèze rectangle, angle aigu au sommet inférieur droit comme sur la figure 2.** Pli n°3 : C : Par un pli vallée, bord à bord ; Amener le côté supérieur du trapèze sur le côté oblique de droite (figure 3). Remarque ; R ; Constat possible : Le dernier volet obtenu et situé au-dessus en première épaisseur est un trapèze rectangle. Question ; Q4 : Au sommet situé à midi on trouve 3 épaisseurs dont les mesures d'angles sont identiques sur chaque épaisseur. En divisant correctement la mesure de l'angle plat, calculer la mesure de l'angle à ce sommet. Constat ; C : On constate qu'une partie de la feuille déborde sur la partie inférieure gauche du pliage. Recherche ; Q5 : Trouver le pli à effectuer sur la partie inférieure du pliage pour obtenir un triangle particulier.
Etape 5 : Figure 4	Position: R : La figure obtenue possède 5 côtés. Placer le modèle pour que le sommet de trois épaisseurs soit dirigé à midi et la partie qui dépasse soit sur la partie proche gauche. C : Retourner le pliage. Parcours : **O : 1. Partir du sommet supérieur situé à midi. Suivre le côté oblique de gauche, il est lisse et en contact avec la table. 2. Revenir au sommet supérieur à midi. Suivre le côté oblique de droite, il est également lisse et en contact avec la table. 3. A partir du sommet inférieur gauche, suivre le bord inférieur du pliage. Il est d'abord lisse et en contact avec la table, et finit avec la partie qui dépasse. C'est cette partie qui doit être pliée pour obtenir le troisième côté du triangle particulier cherché.** Pli n°4: C : Par un pli vallée, rabattre la partie qui dépasse du côté inférieur droit au-dessus du modèle en s'appuyant sur le bord inférieur. On obtient un volet triangulaire. Glisser le volet à l'intérieur du pliage (figure 4). Question 6: Q6.A) Quelle est la nature du triangle ainsi obtenu ? Q6.B) Comment le vérifier ? Q6.C) Quelles sont les mesures des longueurs des côtés ? Q6.D) Quelles sont les mesures des angles aux sommets du triangle ? Cours ; **T : Un triangle équilatéral possède 3 côtés de même longueur et des angles aux sommets de même mesure : 60°.** R ; recherches possibles : Obtient-on un triangle de même nature en suivant la procédure à partir d'une feuille rectangulaire de taille différente ? Obtient-on le même résultat si l'on effectue dans l'étape 1 un pli non médian ?

H.

Mathématiques F321

Géométrie : Triangles particuliers – Partie 3

Consignes :

Le travail à effectuer est décrit dans les pages suivantes et va être dirigé à l'oral.

Cette fiche vous permettra de reproduire le pliage désiré.

Vous trouverez, dans chaque étape, des questions auxquelles il faudra répondre par écrit.

Vous prendrez soin d'attendre la vérification de votre pli par le professeur à la fin de chaque étape.

Nous allons construire un triangle particulier grâce à un pliage, sans découper de papier.

Avant de commencer à plier, essayez de vous rappeler les triangles particuliers que vous connaissez… et choisissez une feuille au format A4.

Etape 1 : Préparation

Placer le grand côté de la feuille contre le bord de la table.

Question Q1: Texte à trous

Dans le texte suivant, certains mots importants ont été remplacés par des lettres de **A** à **I**. Remplacer chacune de ces lettres par le mot qui convient :

« La feuille représente un quadrilatère particulier, c'est un **A**. En mathématiques, les 4 coins de la feuille sont appelés les **B** du **A**. Les **C** du **A** sont les segments de droites dont les extrémités sont limitées par les **B**. Tous les angles aux **B** sont **D**. Les côtés qui se suivent sont **E** entre eux. La **F** du

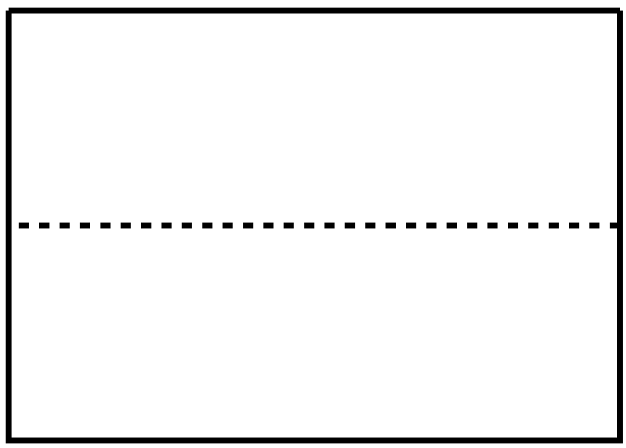
rectangle est la distance qui sépare les **B** des plus grands côtés. On peut la mesurer avec une **G**. La **H** du rectangle est la distance qui sépare les **B** des plus petits côtés. Les côtés opposés sont **I** deux à deux. »

Etape 2

Amener bord à bord, par un pli vallée, le côté supérieur (éloigné) sur le côté inférieur (proche) puis déplier.

On obtient un pli vallée, médian et horizontal.

Figure 1 :



Question Q2 :

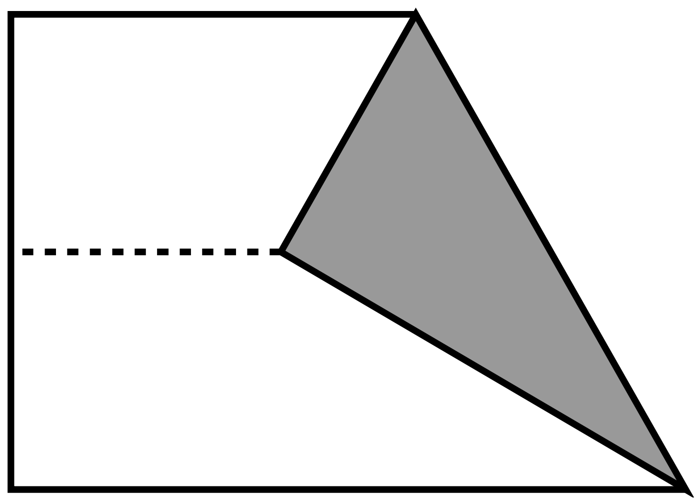
Par quel point de chaque petit côté passe ce pli ?

Etape 3

Amener le sommet supérieur droit sur le pli vallée médian, de telle sorte que le pli passe par le sommet inférieur droit de la feuille.

On obtient un pli vallée oblique.

Figure 2 :



Questions Q3:

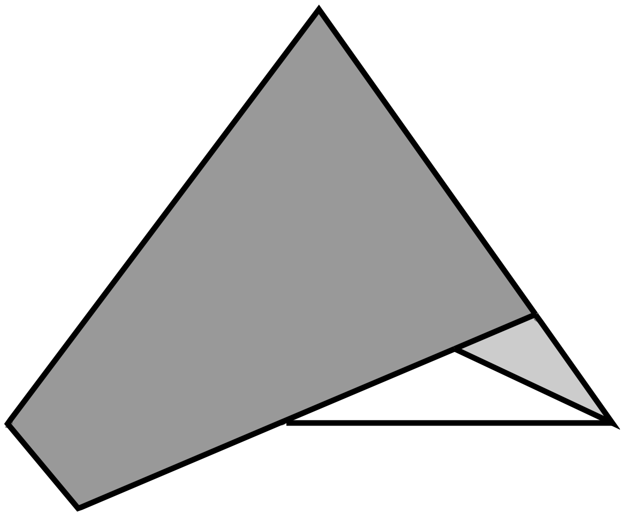
a) Quelles sont les mesures des angles aux sommets du volet de droite ?

b) Quelle est la nature du quadrilatère obtenu si le volet est rabattu comme sur la figure 2 ?

Etape 4

Par un pli vallée, bord à bord, amener le côté supérieur du trapèze sur le côté oblique de droite.

Figure 3 :



Question Q4:

Au sommet situé à midi on trouve 3 épaisseurs dont les mesures d'angles sont identiques sur chaque épaisseur. En divisant correctement la mesure de l'angle plat, calculer la mesure de l'angle à ce sommet.

Recherche Q5 :

On constate qu'une partie de la feuille déborde sur la partie inférieure gauche du pliage

Trouver le pli à effectuer sur la partie inférieure du pliage pour obtenir ce triangle.

Etape 5

Retourner le pliage.

Par un pli vallée, rabattre la partie qui dépasse du côté inférieur droit au-dessus du modèle en s'appuyant sur le bord inférieur.

On obtient un volet triangulaire.

Glisser le volet à l'intérieur du pliage.

Retourner le pliage.

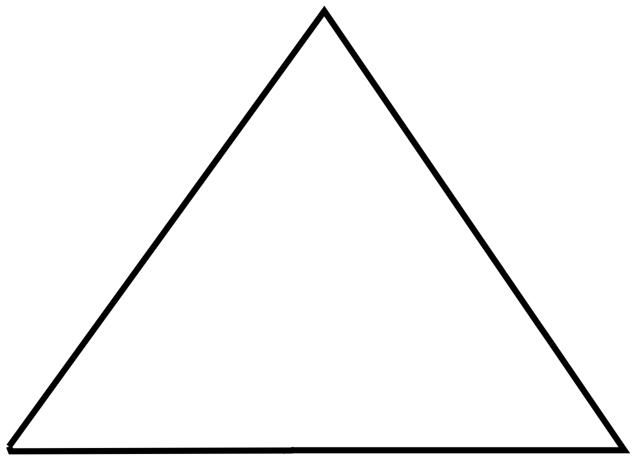
Questions Q6:

a) Quelle est la nature du triangle ainsi obtenu ?

b) Comment le vérifier ?

c) Quelles sont les mesures des longueurs des côtés ?

d) Quelles sont les mesures des angles aux sommets du triangle ?



Auto-évaluation : Elève

Nom :

Répondre par 1, 2 ou 3 aux questions suivantes. Si vous pensez avoir acquis la compétence,
parfaitement : répondez 1,
moyennement : répondez 2,
pas du tout : répondez 3.

- J'ai obtenu la figure attendue :
- J'ai travaillé seul, le professeur n'a pas eu à intervenir dans mes pliages :
- Mon pliage est précis :

- J'ai répondu aux questions posées :
- J'ai trouvé lors de la recherche :
- J'ai suivi lors du parcours :
- Je peux refaire seul ce pliage :

I. Fiche d’activité de pliage pour l’enseignant :

Parallèles et perpendiculaires

Titre	**Parallèles et perpendiculaires –** **Reconnaissance, définition** **et utilisation des propriétés pour caractériser et construire.**
Connaissances et compétences de géométrie	Utiliser les outils de représentation géométriques (règle et équerre). Reconnaître et représenter des figures géométriques planes (rectangle, trapèze, parallélogramme). Représenter et utiliser le parallélisme et la perpendicularité (reconnaître, construire des droites perpendiculaires ou parallèles à une droite donnée). Utiliser les propriétés et théorèmes de géométrie plane (utiliser le vocabulaire, caractériser les figures, décrire une figure, comparer des longueurs). Réaliser, comparer, estimer des mesures.
Compétences en démarche scientifique	Rechercher, extraire et organiser l'information utile. Réaliser, mesurer, calculer, appliquer les consignes. Raisonner, argumenter, pratiquer une démarche expérimentale.
Objectifs de pliage	Prolonger un pli, effectuer un pli pour représenter une droite, effectuer un pli à angle à la perpendiculaire d’un pli donné, découper, effectuer deux plis parallèles.
Vocabulaire	Repérage et positionnement. Plis vallée et montagne, pli double, épaisseurs multiples.
Manipulations	Plier, déplier et replier, rabattre, amener, bord à bord, tourner, retourner. Utilisation de l’équerre et de la règle.
Matériel utilisé	Fiche support S1, modèle S2, fiche support S3, modèle S4, modèle S5 représentant un plan quelconque
Prolongements	• Propriétés des côtés et diagonales des parallélogrammes • Théorème de Thalès • Translations

Séance 1 : Reconnaître un trapèze (1h00/2h00)

<table>
<tr>
<td><u>Etape 1 :</u>
(instruments)

Fiche :
S1
(figures planes)</td>
<td>R : Distribuer la fiche support 1 (S1)
Exploration ; C: Examiner les figures de la fiche support S1 pour répondre aux questions de l’exercice 1.
O : Vous pouvez utiliser des instruments de mesure.
Identification du trapèze : Q1.A) Les figures numérotées de 1 à 7 représentent des polygones. Combien de côtés possèdent-ils ?
Q1.B) Comment appelle-t-on ce type de polygones ?
Q1.C) Parmi ces polygones, certains sont dits « particuliers ». Lesquels ?
Q1.D) Quelle particularité possèdent-ils ?
Q1.E) Comment nomme-t-on ce type de polygones particuliers ?
Recherche ; Q2 : Peut-on vérifier grâce à des instruments de géométrie que la particularité constatée est vraie ? Si oui, recopier et compléter le texte suivant pour expliquer votre démarche:
« J’ai utilisé … (la règle et l’équerre), je place … (un côté de l’angle droit de l’équerre) sur un côté du polygone. Ensuite, je place … (la règle) contre … (l’autre côté de l’angle droit de l’équerre). Sans bouger … (la règle), je fais coulisser… (l’équerre) contre … (la règle) jusqu’à … (rencontrer le côté opposé du polygone). Je constate que … (le côté est aligné avec le bord de l’équerre). Donc les côtés opposés de ce polygone sont … (parallèles). Puisqu’il possède … (4) côtés dont deux côtés opposés sont … (parallèles), c’est un … (trapèze). »
Cours ; T1 ; Définition 1 : Un trapèze est un quadrilatère possédant deux côtés opposés parallèles.</td>
</tr>
<tr>
<td><u>Etape 2 :</u>
(pliage)

Modèles S2 :
(modèles à plier)</td>
<td>R : Distribuer les modèles à plier (S2)
Classification ; C : Examiner les modèles distribués. Les séparer en deux catégories en faisant deux tas : celui des quadrilatères quelconques et celui des trapèzes.
R : Corriger la classification si besoin.
Recherche ; Q3: Quel pli peut-on effectuer pour vérifier facilement et sans instrument que seuls les modèles de trapèzes que vous avez reconnus possèdent bien deux côtés opposés parallèles ?
Rédigez un petit texte expliquant votre démarche pour répondre.</td>
</tr>
</table>

Séance 2 : Reconnaître le parallélisme (2h00)

<table>
<tr>
<td><u>Etape 1 :</u>
(instruments)
Fiche S3
(figures planes)</td>
<td>R : Distribuer la fiche support 3 (F305 S3 - codage noir ou plastique DYCEM)
Exploration ; C : Sur la figure 1 de la fiche support 3, on a représenté les deux droites parallèles (AB) et (CD). Vous pouvez utiliser cette figure et effectuer autant de tracés que vous le voulez.
Question ; Q4.A) Rappel : Pourquoi une droite et un segment sont-ils mathématiquement différents ?
Q4.B) Les droites (AB) et (CD) possèdent-elles un point commun ?
Q4.C) Est-il simple de prouver avec les instruments de dessin géométrique que les droites (AB) et (CD) ne se croisent pas en dehors de la feuille ?

Cours ; T2, Définition 2 : Dans un plan, des droites parallèles sont des droites qui n'ont aucun point commun ou qui sont confondues.</td>
</tr>
<tr>
<td><u>Etape 2 :</u>
(instruments)
Fiche S3
(figures planes)</td>
<td>Exploration ; C : Sur la figure 2, on a tracé :
- deux droites parallèles (AB) et (CE)
- la droite (BD) perpendiculaire en B à la droite (AB)
Tracé ; C : Prolonger la droite (BD) avec l'outil approprié.
R : Les élèves non-voyants disposent de deux supports au choix : figure 2 en bigraphisme sur laquelle ils peuvent prolonger le pli représentant la droite (BD) ou construction sur film plastique et DYCEM).
On constate que la droite (BD) coupe la droite (CE) au point E.
Question : Q5.A) La droite (BD) peut-elle être nommée autrement ?
Q5.B) Cette droite est-elle perpendiculaire à la droite (CE) ?
Q5.C) Quel instrument de géométrie utilise-t-on pour le vérifier ?
Recherche : Q6) Si on trace d'autres droites perpendiculaires à la droite (AB), seront-elles également perpendiculaires à la droite (CE) ?

Cours ; T3, Théorème 1: Si deux droites sont parallèles, alors toute perpendiculaire à l'une est aussi perpendiculaire à l'autre.</td>
</tr>
</table>

<u>Etape 3 :</u> Reconnaître le parallélisme (pliage) **Modèles** S4	R : Distribuer le modèle S4. Pli 1 ; vérification ; C : Sur le modèle, le pli vallée représente la droite (AB) et le pli montagne représente la droite (CD). Rabattre le volet en suivant le pli vallée de la droite (AB). Position ; C : Tourner d'un demi-tour le modèle en amenant le pli contre le bord de la table. Pli 2 ; C : Maintenir la partie gauche du modèle. Plier le modèle bord à bord en amenant sa partie droite sur la partie gauche. Question ; Q7.A: Quel angle forme ce pli avec le bord proche horizontal ? Q7.B : Sachant qu'un angle plat mesure 180 °, quel calcul peut-on faire pour vérifier la réponse précédente ? Position ; C : Déplier le modèle. R : On peut faire constater avec l'équerre les angles droits. Position ; C : Retourner le modèle. R : Nous allons recommencer le pli de l'étape 4. Pli 3 ; vérification ; C : Sur le modèle, le pli vallée représente maintenant la droite (CD) et le pli montagne représente la droite (AB). Rabattre le volet en suivant le pli vallée de la droite (CD). Position ; C : Tourner d'un demi-tour le modèle en amenant le pli contre le bord de la table. Pli 4 ; C : Maintenir la partie gauche du modèle. Plier le modèle bord à bord en amenant sa partie droite sur la partie gauche et en passant par le point commun entre la droite (CD) (qui est contre le bord de la table) et le pli qui vient d'être construit. Position ; C : Déplier entièrement le modèle et retourner la feuille. Question ; Q8.A) Combien de plis apparaissent sur la feuille ? Q8.B) Peut-on dire que le pli effectué est perpendiculaire à la fois à la droite (AB) et à la droite (CD) ? Q8.C) Les droites (AB) et (CD) sont-elles parallèles ? **O : Les droites (AB) et (CD) sont toutes les deux perpendiculaires à la droite représentée par le pli effectué.** Cours ; **T4, Théorème 2: Si deux droites sont perpendiculaires à une même troisième droite, alors les deux premières sont parallèles entre elles.**

Séance 3 : Construire deux droites parallèles - Représenter un trapèze - Représenter un parallélogramme (2h00)

Etape 1 : Construire (pliage) **Modèles** S5 : (modèles à plier)	R : Distribuer les feuilles représentant un plan quelconque à plier (S5) Pli 1 ; C : Effectuer un pli vallée sur la partie supérieure de la feuille. Déplier. **O : Attention à ne pas dépasser le milieu de la feuille.** Question ; Q9 : Quel objet mathématique représente ce pli ? (correction immédiate : Dans la mesure où le pli a pour extrémités les points communs avec le bord du plan, on peut considérer qu'il s'agit d'une droite. Pour le segment, le pli s'arrête à l'intérieur du plan). Position ; C : Rabattre le volet situé à midi.
Etape 2 : Construire (pliage) **Modèles** S5 : (modèles à plier)	Position ; C : Tourner d'un demi-tour le modèle en amenant le pli contre le bord de la table. Maintenir la partie gauche du modèle. Pli 2 ; C : Plier le modèle bord à bord en amenant sa partie droite sur la partie gauche. On obtient ainsi une nouvelle droite. Question ; Q10 : Cette nouvelle droite est-elle perpendiculaire à celle obtenue dans l'étape 1 ?
Etape 3 : Construire (pliage) **Modèles** S5 : (modèles à plier)	Position ; C : Tourner le modèle d'un quart de tour dans le sens des aiguilles d'une montre. Maintenir la partie gauche du modèle. Pli 3 ; C : Plier le modèle bord à bord en amenant sa partie droite sur la partie gauche. On obtient ainsi une troisième droite. Question ; Q11 : Cette nouvelle droite est-elle perpendiculaire à celle obtenue dans l'étape 2 ? Position ; C : Déplier entièrement le modèle.
Etape 4 : Construire (pliage) **Modèles** S5 : (modèles à plier)	Reconnaissance ; C : Trouver les deux droites parallèles. Pli 4 ; C : Doubler les plis représentant les deux droites parallèles. Recherche ; Q12 : A partir de ce pliage, représenter un trapèze. Q13 : A partir du trapèze, représenter un parallélogramme.

J

Mathématiques – séance1 Fiche support 1

Figure 1

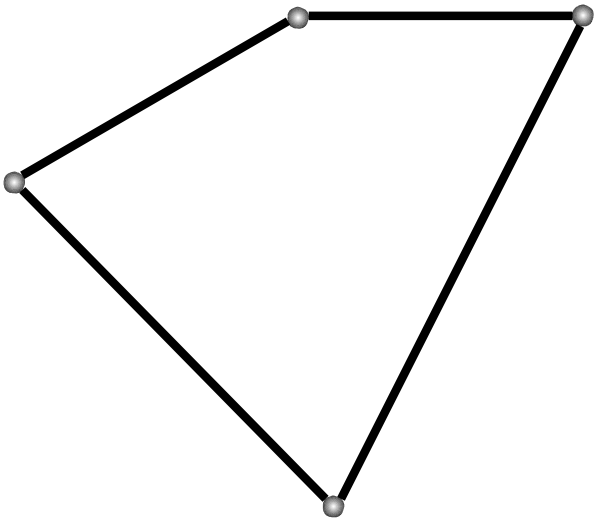


Figure 2

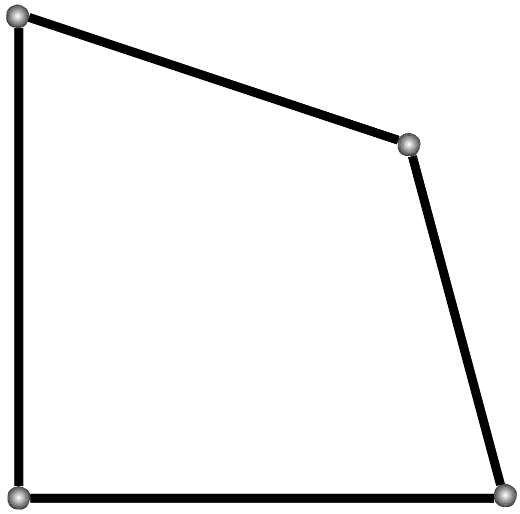


Figure 3

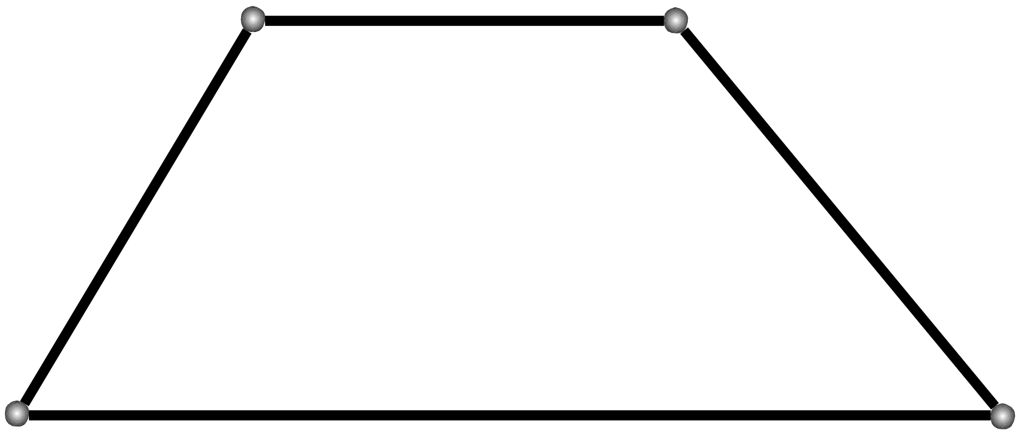


Figure 4

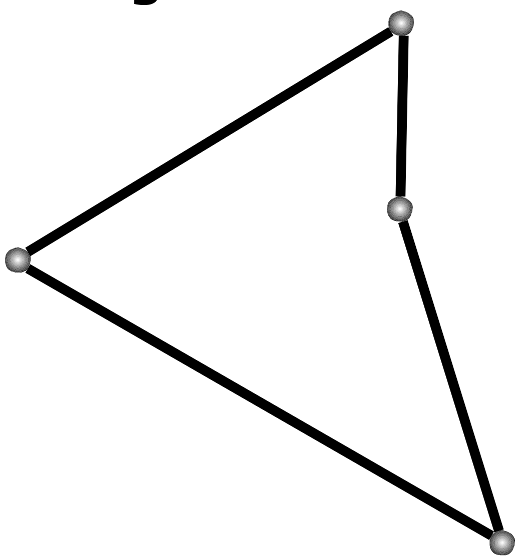


Figure 5

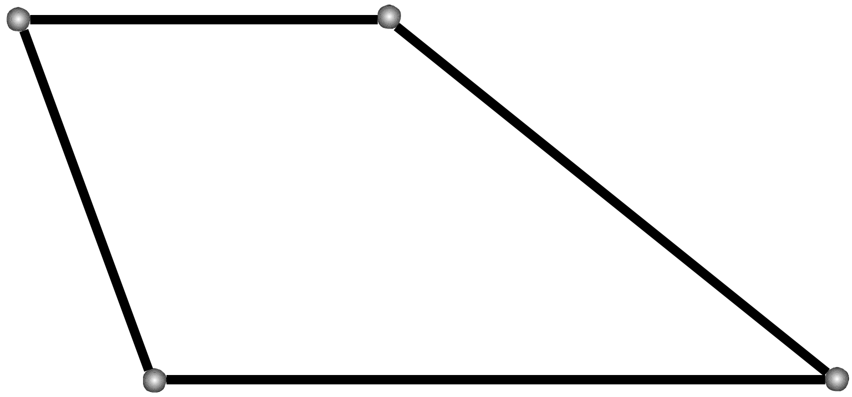


Figure 6

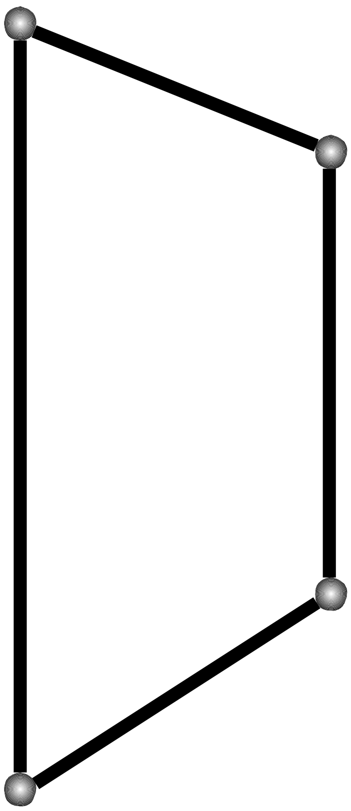
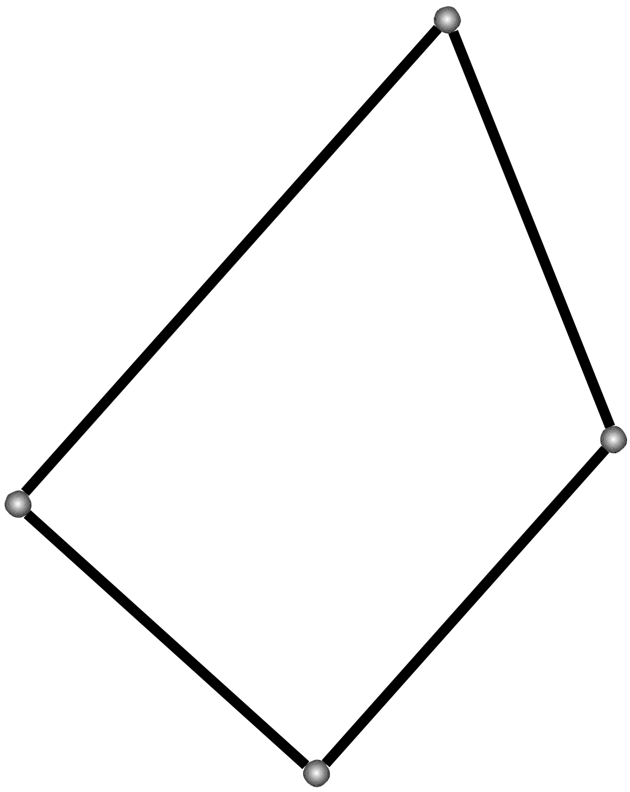
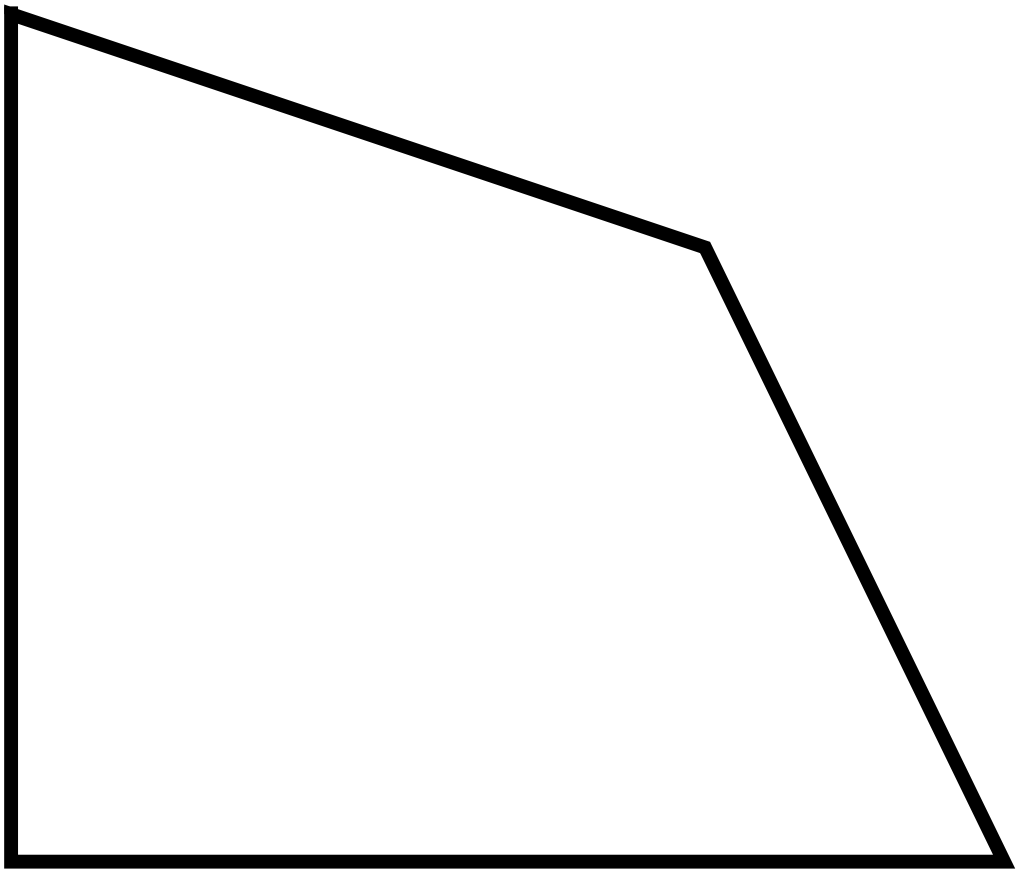


Figure 7

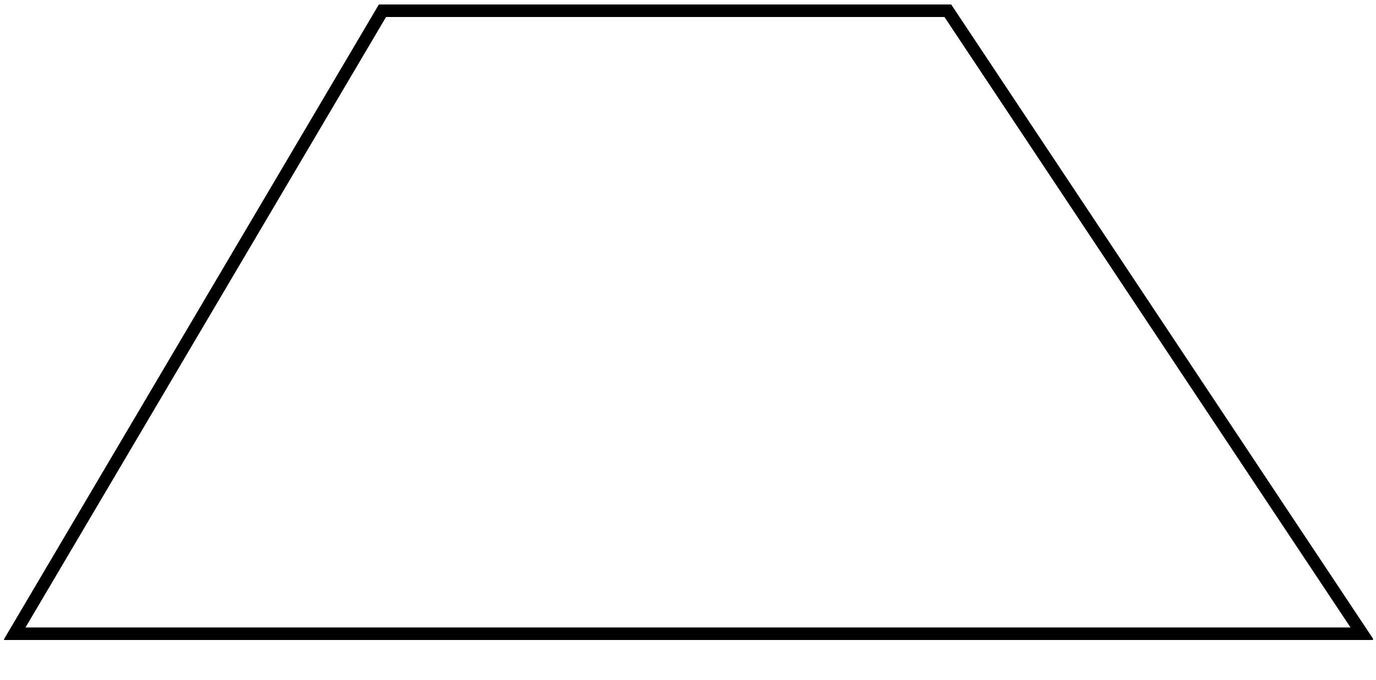


Mathématiques – Séance 1   Fiche support S2

Modèle 1

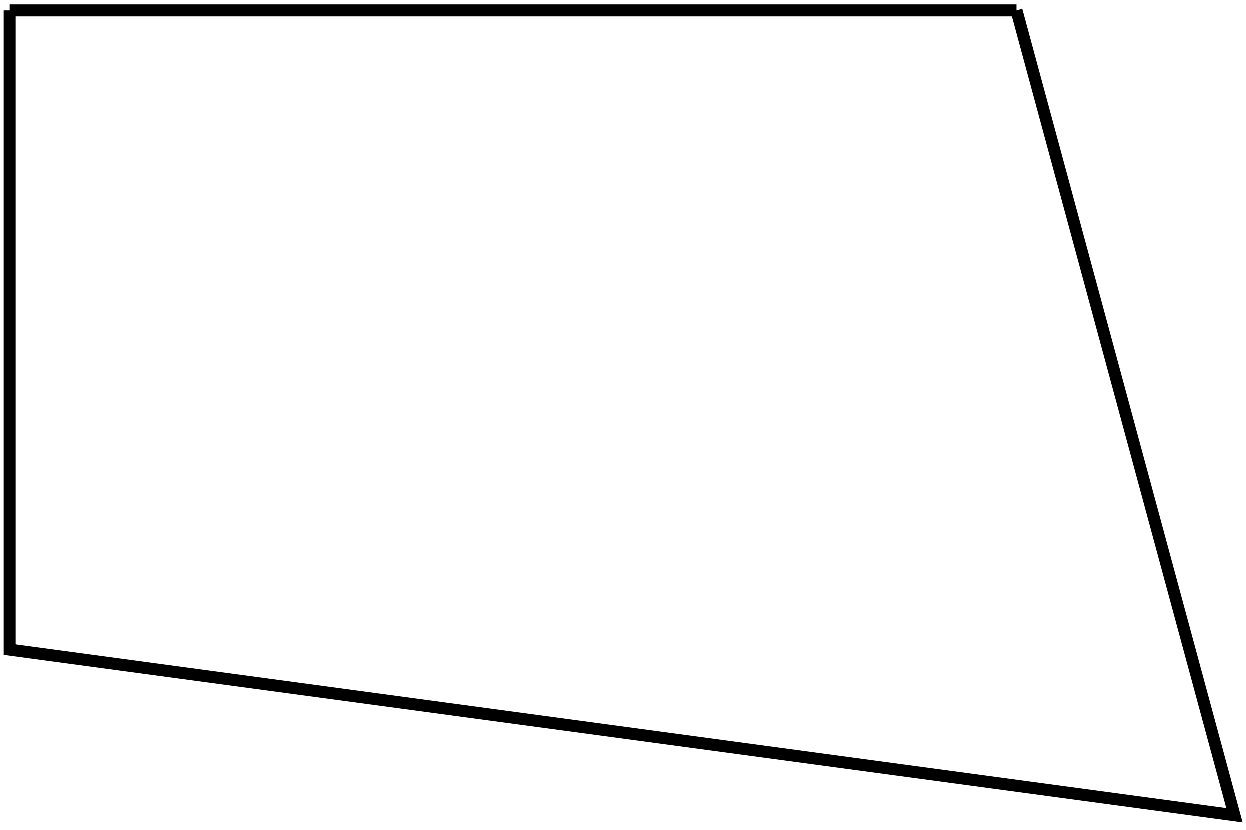


Modèle 2



Modèle 3

Modèle 4



Mathématiques – Séance 2   Fiche support S3

Figure 1 :

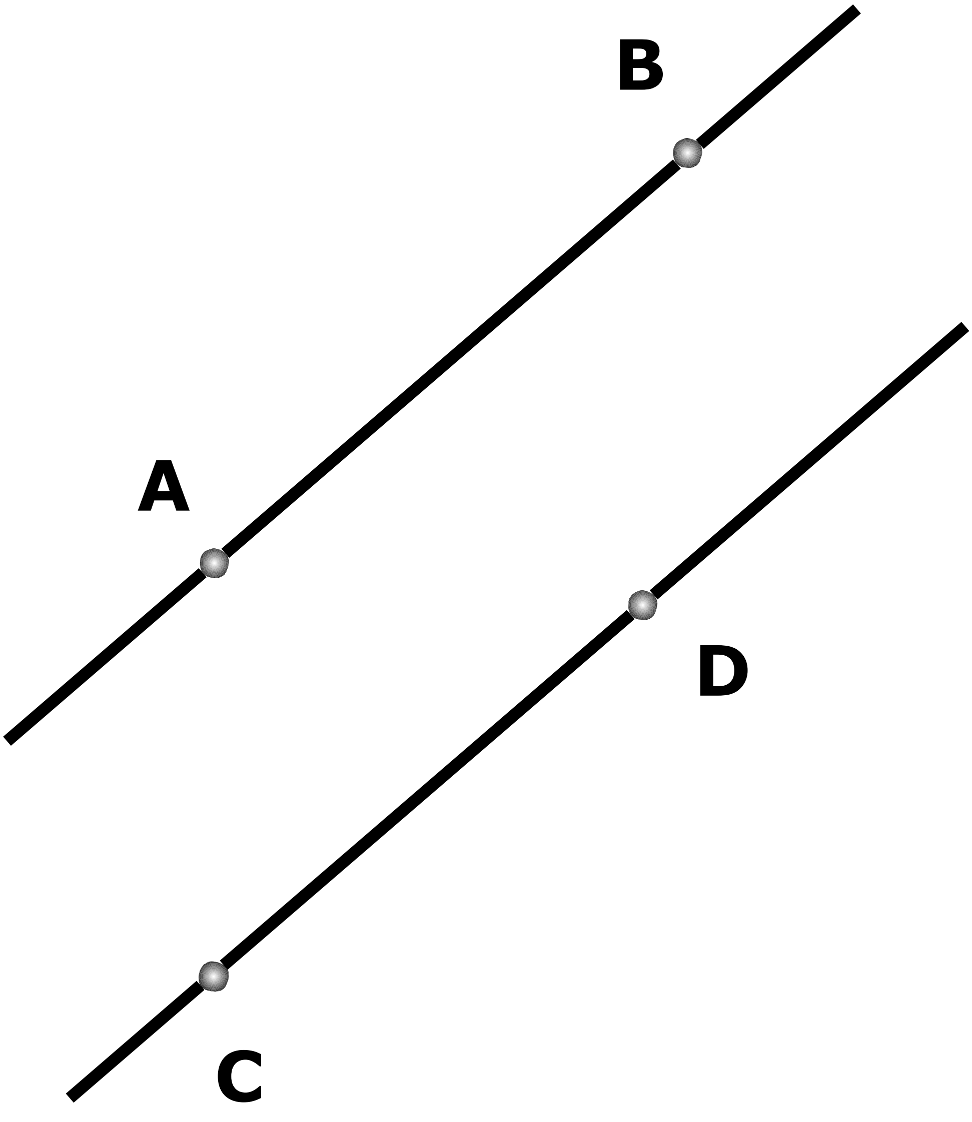
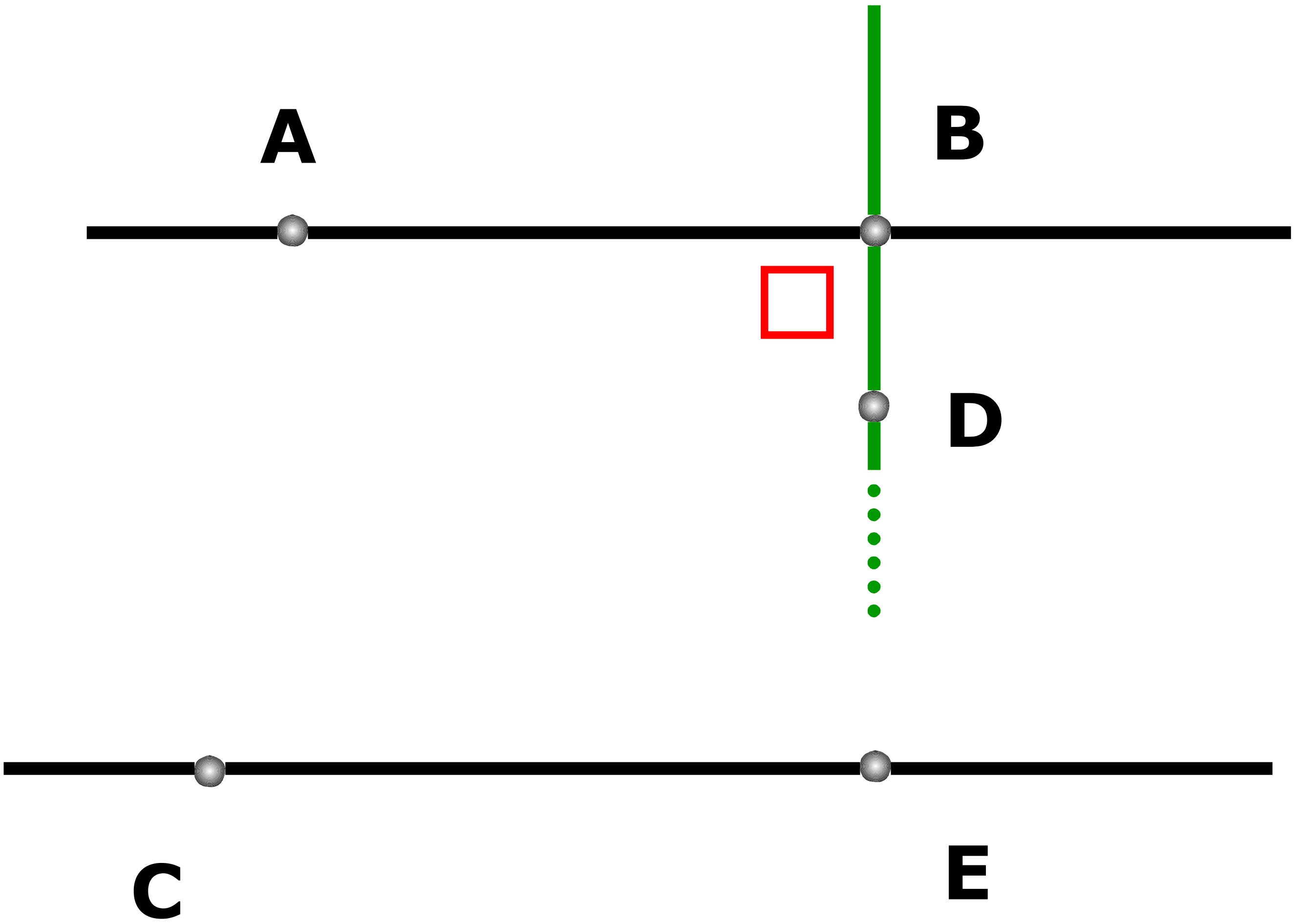
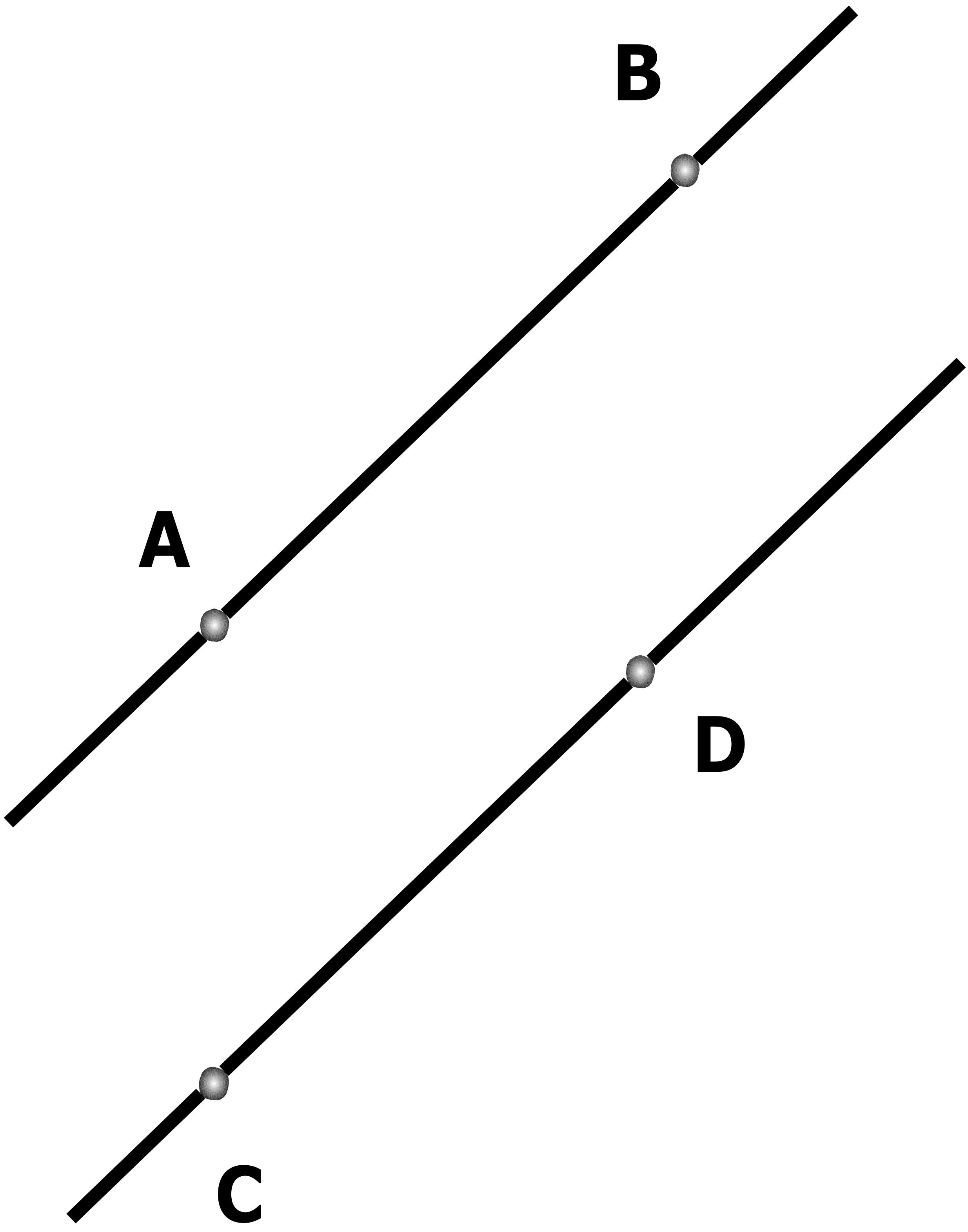


Figure 2 :

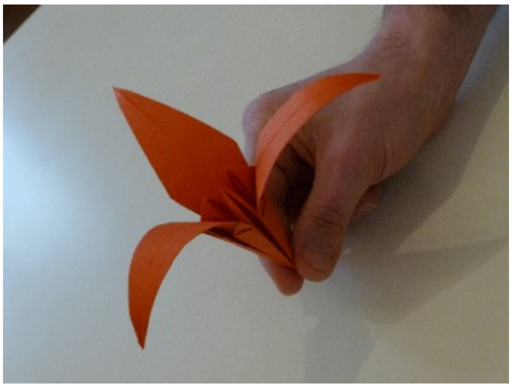


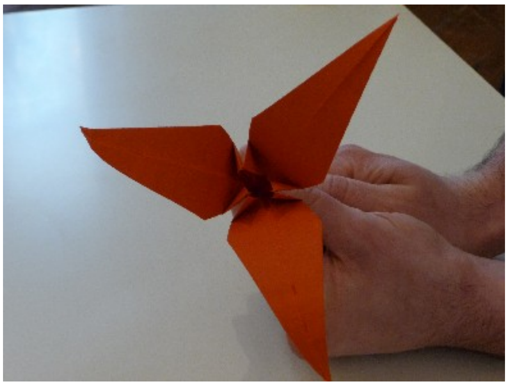

B
A
D
C

K. Photographies de modèles

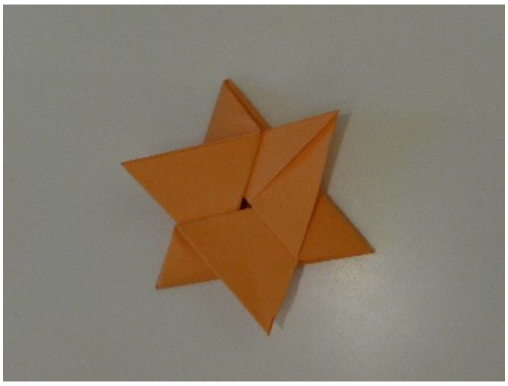
(ayant tous été réalisés à plusieurs reprises par des élèves)

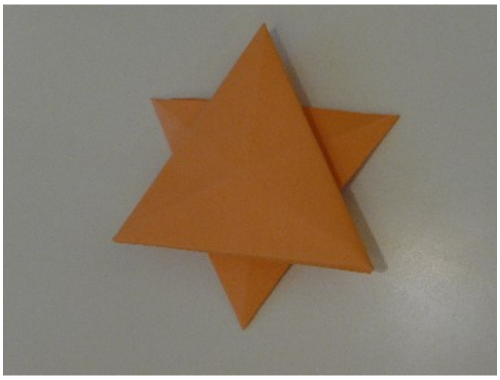
- Iris à 3 pétales :



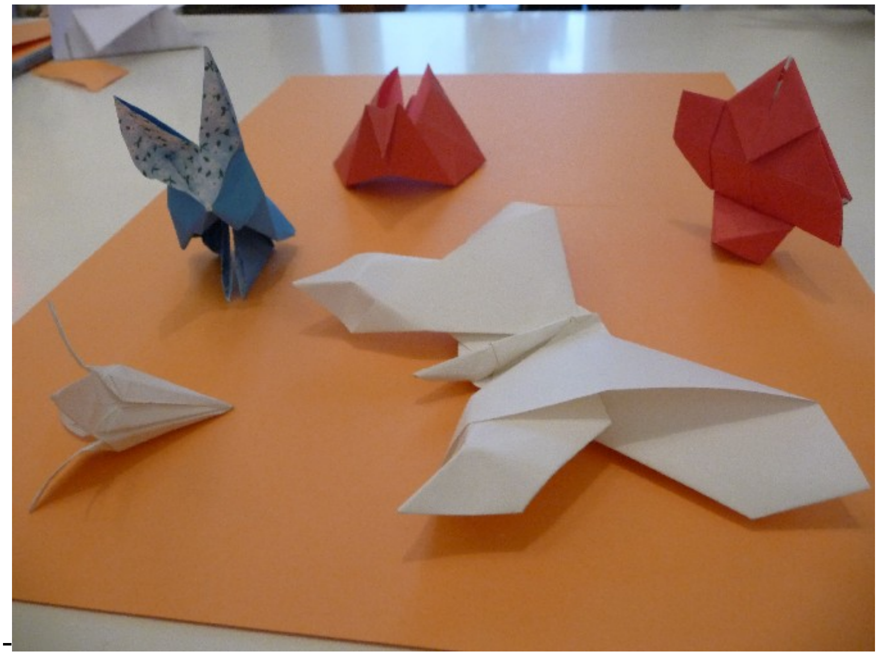


- Etoiles à 6 branches :





- (de haut en bas et de gauche à droite), le cygne, le lapin, l'Iris à 4 pétales, le bonhomme, le papillon (seulement réalisé par CB)



-

Bibliographie et références

- ***Illustrations***

- 1ère de couverture : LUCAS M. Origami du symbole des matériaux recyclables
- Remerciements : KATSUCHICA H, A magician turns sheets of paper into birds
  Gravure sur bois - 1819

- ***Ouvrages***

- ANGEL P. Origami from Angelfish to Zen, Dover - 1989
- BOURSIN D. Pliages et mathématiques, ACL/Les éditions du Kangourou - 2000
- BOURSIN D. & LAROSE V. Mathémagie des pliages, ACL – 2007
- CHANGEUX J-P. L'Homme neuronal, Hachette – 1983
- DAMASIO A. L'erreur de Descartes, la raison des émotions, Odile Jacob – 1995
- DE BROCA A. Le développement de l'enfant, Masson - 2009
- DIDEROT D. Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient – 1749
- GENTAZ E. La main, le cerveau et le toucher, Dunod, 2009
- HARBIN R. L'art du pliage de papier, Les éditions de l'Homme – 1980
- HATWELL Y. Toucher l'espace, Presses Universitaires de Lille – 1986
- HATWELL Y. Privation sensorielle et intelligence, PUF – 1966
- HATWELL Y. Psychologie cognitive de la cécité précoce, Dunod - 2003
- HOUDE O. La psychologie de l'enfant, PUF- 2004
- HOUDE O & MAZOYER B. & N. Cerveau et psychologie, PUF - 2002
- LEGRAND L. Les différenciations de la pédagogie, PUF - 1996
- MONTESSORI M. L'esprit absorbant de l'enfant, Desclée de Brouwer – (rééd.) 2003
- MEIRIEU P.   Ethique et pédagogie, ESF – 1991
- PERRENOUD P.   Pédagogie différenciée, des intentions à l'action, ESF - 1997
- PIAGET J. & INHELDER. B La psychologie de l'enfant, PUF - 1966
- PIAGET J. & GARCIA R. Psychogenèse et histoire des sciences, Flammarion - 1983
- RAYNARD F. Un autre regard, La réadaptation des déficients visuels, Solal – 2002
- VILLEY P. Le monde des aveugles , Flammarion – 1914
- VYGOTSKI L. Pensée et langage (1933),
- SERRES M. Eclaircissements, François BOURIN – 1992
- WEIL-BARAIS A. L'homme cognitif, Quadrige/PUF - 2005

- ***Articles :***

- *Le Pli*, BOURSIN D.
- *Psychologie française*, DE RIBAUPIERRE A. – 1997
- *Revue de la gestion mentale*, DE LA GARANDERIE A.

- ***Mémoires / Monographies***

- JEANDEL B. Le pliage du papier, CAPSAIS – 1990
- JUVIN S. La géométrie autrement, CAEGADV – 2005

- ***Sites :***

- Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition de Grenoble
  http://webu2.upmf-grenoble.fr/LPNC
- Normes AFNOR
  http://www.minefi.gouv.fr/fonds_documentaire/daj/guide/gpem/5730/5730.htm

- ***Communications personnelles :***

- LUCAS M. Projet Aveuglami – audiogami