



Esprit critique, Mathématiques & Education

Mémoire de recherche
Didactique des Mathématiques

Valentin Roussel



Esprit critique, Mathématiques & Education

Ressources didactiques et pédagogiques pour une intégration de l'esprit critique en classe de mathématiques - une étude au troisième cycle

Critical Thinking, Mathematics & Education

Didactical approaches and educational tools for a critical thinking deployment into mathematics class - a study in secondary school

Valentin Roussel

Sous la direction de *Jana Trgalova*

Avec le soutien de :

L'institut français de l'éducation

L'institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques de Lyon

Mémoire soutenu le 24/06/2019, devant un jury composé de,

Jana Trgalova, Maîtresse de conférences – Laboratoire S2HEP de Lyon

Christian Mercat, Directeur de l'IREM de Lyon

Charles-Henri Eyraud, Professeur agrégé – IFE-ENS de Lyon

2018 - 2019

REMERCIEMENTS

Avant tout, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire et future directrice de thèse, Madame Jana TRGALOVA. Je la remercie pour sa confiance, sa prévenance, son encadrement, son aide, la justesse de ses conseils et la pertinence de ses avis. Ce travail, fruit d'une collaboration commencée en Master 1, marquera, je le souhaite, le début d'un projet plus vaste.

Mes plus sincères remerciements,

À Christian, pour son temps, sa sympathie et le partage de sa créativité et de sa passion pour les mathématiques, mais également pour sa grande contribution à ce projet.

À Charles-Henri, pour son altruisme, son amitié et sa grande disponibilité, mais également pour son aide précieuse à la conception des pièces utilisées dans l'expérience.

À l'institut français de l'éducation, pour son accueil chaleureux et bienveillant, et pour son soutien à ce projet.

À Karine BECU- ROBINAULT, Benoît URGELLI, Olivier PERRU, Gilles ALDON, Virginie DELOUSTAL, Hugues CHABOT, Frédéric CHARLES, François LÊ, Joris MITHALAL-LE DOZE, Cléo SCHWEYER, Mohamed SOUDANI, pour la richesse et la bienveillance de leurs enseignements.

Remerciements également,

À Nikos KALAMPALIKIS, Directeur de l'École doctorale Education, Psychologie, Information et Communication, et à Philippe LAUTESSE, pour leur confiance et leur soutien.

Au collège Jules Michelet de Vénissieux et à l'école élémentaire Lamartine de Lyon, pour leur accueil et leur confiance.

Une attention particulière est désormais portée à l'éducation aux médias et à l'information. Elle répond à une volonté de former les élèves au décryptage du réel et à la construction, progressive, d'un esprit éclairé, autonome, et critique : c'est même une « ambition majeure de l'Ecole »¹. Or, il apparaît, au regard des programmes, que certaines disciplines semblent naturellement s'imposer comme propices à l'exercice de cet esprit critique : Histoire, Sciences expérimentales, Education morale et civique... mais qu'en est-il des mathématiques ? Ce travail souhaite apporter un début de réponse à cette question. A l'interface des trois grands axes théoriques – Psychologie cognitive, Didactique des sciences, Mathématiques –, nous nous interrogeons sur la faisabilité d'une telle démarche. Cette recherche semble indiquer que des moyens efficaces et ludiques existent pour permettre le travail de l'esprit critique en classe de mathématiques. Elle aboutit à une proposition d'activité, pensée et construite au regard et à la confrontation de concepts didactiques et psychologiques, dont l'expérimentation nous conduit finalement à interroger le potentiel rationnel des jeunes élèves.

Mots-clefs

- Didactique
- Epistémologie
- Esprit critique
- Mathématiques
- Psychologie cognitive

1. <https://eduscol.education.fr/cid107295/former-l-esprit-critique-des-eleves.html>

Table des matières

1	Introduction	11
2	Apports historiques et prescriptions actuelles	13
2.1	Critical Thinking : vers un « modèle de pensée »	13
2.1.1	John Dewey (1910) : le penseur critique est un enquêteur acharné	14
2.1.2	Bertrand Russel (1930) : les faits, rien que les faits	15
2.1.3	Ennis, Postman & Weingartner : lutter contre la manipulation et l'endoctrinement	16
2.1.4	Prescriptions générales des systèmes éducatifs : l'influence du modèle Ennis	18
2.1.5	L'esprit critique : une carte heuristique	19
2.2	L'esprit critique dans les programmes : prescriptions, attendus et nécessités	20
2.2.1	Au cycle 2 : développer sa créativité, ses conceptions, et dialoguer	20
2.2.2	Au cycle 3 : vers l'autonomie de la pensée	21
2.2.3	Au cycle 4 : penser par soi-même et évaluer la fiabilité de l'information	22
2.2.4	Bilan des prescriptions : de l'identification à autrui à la pensée autonome	23
2.3	l'esprit critique des élèves : retour sur un article d'Eduscol	25
2.3.1	Modestie, lucidité, curiosité et écoute : des dispositions plus que des compétences	25
2.3.2	Des outils d'auto-défense intellectuelle?	27
2.3.3	Apports historiques et prescriptions actuelles : deux cartes conceptuelles de cadrage	27
2.4	Enseignements mathématiques au cycle 3	31
2.4.1	Programme de mathématiques du cycle 3 : quelques généralités .	31
2.4.2	Nombres et calculs	32
2.4.3	Grandeurs et mesures	33
2.4.4	Espace et géométrie	33
2.4.5	Croisements entre enseignements	34
3	Apports théoriques	35
3.1	Apports et travaux en psychologie cognitive	36
3.1.1	Travaux de Daniel Kahneman : les deux vitesses de la pensée . . .	36
3.1.2	Associations biaisées, amorçage et conclusions hâtives : les travers du S1/S2	38
3.1.3	Effet de halo de Thorndike et nécessité de croyance de Daniel Gilbert	39
3.1.4	Evaluations primaires et fondements de l'approche de l'heuristique et des biais	40
3.1.5	Les caractéristiques du Système 1 : bilan	43
3.1.6	Les biais cognitifs	44
3.2	Apports et travaux en didactique	51
3.2.1	Construction intrapersonnelle des savoirs	52
3.2.2	Construction interpersonnelle des savoirs	62

3.2.3	Bilan des apports théoriques didactiques	70
3.3	Apports mathématiques et techniques	70
3.3.1	Le jeu	71
3.3.2	Compatibilité entre le jeu et l'apprentissage	72
3.3.3	Le tangram	73
3.3.4	Le potentiel ludique des paradoxes mathématiques	75
3.3.5	Apports au projet	79
3.4	Questions de recherche	80
4	Méthodologie et analyse a priori	80
4.1	Présentation générale du dispositif pédagogique	81
4.1.1	Activité, dispositifs et outils	81
4.1.2	Profils et répartitions des élèves	86
4.1.3	Intervenants et enseignants	86
4.1.4	Temps et consignes	87
4.1.5	Collecte des données : types et matériel	88
4.1.6	Traitement des données	89
4.2	Analyse a priori	89
4.2.1	Objectifs spécifiques de la séance	89
4.2.2	Compétences visées	90
4.2.3	Justification de l'activité – Aspects psychologiques	90
4.2.4	Justification de l'activité – Aspects didactique	92
4.3	Déroulement attendu : différentes phases et durées	96
4.3.1	Réponses et procédures attendues	97
4.3.2	Difficultés prévisibles et aides éventuelles	97
4.3.3	Activité numérique	98
4.3.4	Activité tangible souple	98
4.3.5	Activité tangible robuste	98
5	Résultats et analyse a posteriori	99
5.1	Légende	99
5.2	Résultats	101
5.2.1	Pertinences des résultats	106
5.2.2	Signification des résultats	108
5.2.3	Portée des résultats	112
5.2.4	Portabilité des résultats	112
5.3	Discussion	113
5.3.1	Faits marquants	118
5.3.2	Cause et conséquence des résultats	118
5.3.3	Suggestion pour des expérimentations futures	119
6	Conclusion	120

Table des figures

1	Esprit critique : une proposition de carte heuristique	19
2	Esprit critique : du modèle anglosaxon au modèle français	29
3	Esprit critique : les spécificités du modèle français	30
4	Une expérience de mésinterprétation cognitive par Kahneman	39
5	Une expérience pour illustrer les limites du S1 par Kahneman	41
6	Expérience de Asch	48
7	Assimilation et accommodation, deux processus d'autonomisation de la pensée	54
8	Un schème du scepticisme ?	56
9	La notion de schème, évolution et complémentarité des définitions	60
10	Genèse instrumentale de Rabardel	61
11	Approche constructiviste et socio-constructiviste de l'apprentissage . . .	63
12	Zone proximale de développement de Vygotsky	64
13	Zone proximale de développement et étayage	65
14	Mouvements et constructions du savoir à l'interface intrapersonnelle-interpersonnelle	70
15	Version classique du Tangram	74
16	Triangle de Penrose	76
17	Blivet	76
18	Exemple de dérive périphérique	76
19	Présentation du paradoxe du carré manquant	77
20	Résolution du paradoxe de lewis carroll - 1	77
21	Résolution du paradoxe de lewis carroll - 2	78
22	Maquette des artefacts	81
23	Situation initiale de l'activité	82
24	Situation 2 de l'activité	82
25	La figure gauche est recouverte et l'on n'indique pas les dimensions des figures fixes.	83
26	Représentation experte du paradoxe.	83
27	Feuille distribuée aux groupes pour l'activité	84
28	Dispositif numérique	85
29	Dispositif tangible souple	85
30	Dispositif tangible robuste	86
31	Dispositif technique de l'expérimentation	88
32	Situation initiale de l'activité	91
33	Schème du scepticisme	93
34	Expérience 1, activité "tangible robuste"	101
35	Expérience 1, activité "tangible souple"	102
36	Expérience 1, activité "numérique"	103
37	Expérience 2, activité "tangible robuste"	104
38	Expérience 2, activité "tangible souple"	105
39	Expérience 2, activité "numérique"	106
40	Expérience 1 – Atelier tangible souple – Fin d'activité	107
41	Expérience 2 – Atelier tangible souple – Milieu d'activité	107

42	Expérience 1 – Atelier Numérique. Un élève non-manipulant montre l'espace entre les figures aux autres élèves du groupe.	108
43	Expérience 2 – Atelier numérique. Un élève est parvenu à déformer une figure colorée, supposée indéformable.	109
44	Expérience 2 – Atelier robuste. Les manipulations sont rarement collectives.	110
45	Expérience 2 – Mise en commun au TBI. Les élèves de l'activité « souple » expliquent le paradoxe.	111
46	Expérience 2 – Mise en commun au TBI. Le professeur organise les échanges intergroupes.	111
47	Compétences travaillées en Mathématiques au Cycle 3	137
48	Expérience 1 : groupe "numérique"	138
49	Expérience 1 : groupe "robuste"	139
50	Expérience 1 : groupe "souple"	140
51	Expérience 2 : groupe "robuste"	141
52	Expérience 2 : groupe "numérique"	142
53	Expérience 2 : groupe "souple"	143

Liste des tableaux

1	Influence du modèle Ennis dans <i>Critical Thinking An Introduction</i> . . .	18
2	Evolution des prescriptions du cycle 2 à 4	24
3	L'esprit critique dans les programmes français, des compétences et des dispositions	25
4	Exemple d'activités attribuées au Système 1 et au Système 2 selon Kahneman	37
5	Cycle 2 - Extrait 1	127
6	Cycle 2 - Extrait 2	128
7	Cycle 2 - Extrait 3	128
8	Cycle 2 - Extrait 4	129
9	Cycle 2 - Extrait 5	129
10	Cycle 2 - Extrait 6	130
11	Cycle 3 - Extrait 1	130
12	Cycle 3 - Extrait 2	131
13	Cycle 3 - Extrait 3	131
14	Cycle 3 - Extrait 4	132
15	Cycle 3 - Extrait 5	132
16	Cycle 3 - Extrait 6	132
17	Cycle 3 - Extrait 7	133
18	Cycle 4 - Extrait 1	133
19	Cycle 4 - Extrait 2	134
20	Cycle 4 - Extrait 3	134
21	Cycle 4 - Extrait 4	135
22	Cycle 4 - Extrait 5	135
23	Cycle 4 - Extrait 6	135
24	Cycle 4 - Extrait 7	136
25	Cycle 4 - Extrait 8	136
26	Cycle 4 - Extrait 9	136

Glossaire

Didactique : étude scientifique des questions posées par l'enseignement et l'acquisition des savoirs dans le cadre des disciplines scolaires. Elle se différencie de la pédagogie par sa dimension épistémologique : si la didactique est centrée sur le contenu d'une discipline, la pédagogie se trouve davantage centrée sur l'action qui vise l'enseignement de ce contenu. La didactique consiste à en repérer les principaux concepts qui se rattachent aux contenus, à les explorer en s'intéressant à leur histoire, à leurs évolutions respectives et à la façon dont ils ont trouvé leur place dans l'enseignement : la nature des connaissances à enseigner. La didactique est donc l'étude du savoir à travers ses différentes composantes et les stratégies utiles à son enseignement ainsi que les pratiques pédagogiques qu'elles sous-tendent.

Epistémologie : il demeure une résistance historique quant au sens exact du terme. Par « *epistemology* », un anglophone fera généralement référence à une branche particulière de la philosophie, la « study of knowledge and justified belief » (**Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2005**) ou théorie de la connaissance. En ce sens-là, l'« *epistemology* » se définit comme l'étude de la nature de la connaissance et de la croyance, elle se veut rationnelle et interroge ce qui les rend justifiables. Une question centrale de cette « *epistemology* » serait « Comment savons-nous ce que nous savons ? ». En France, l'épistémologie désigne l'étude critique des sciences : les savoirs qu'elles produisent, les concepts fondamentaux qui en émergent, ainsi que leurs méthodes, pratiques, théories et résultats de référence. Sous cet angle, l'épistémologie est l'étude qui questionne l'origine logique, la valeur, la portée intellectuelle et philosophique de la Science. Une question centrale de cette épistémologie serait alors : « Qu'est-ce que la Science ? ». Dans ce travail, nous ne rejetterons aucune de ces deux significations au dépend de l'autre, en revanche il conviendra d'écarter toute ambiguïté les cas échéants.

Esprit critique : attitude intellectuelle qui consiste à ne pas admettre une affirmation, un jugement ou un fait sans en avoir reconnu la légitimité rationnelle ou sans en avoir éprouvé la valeur intrinsèque. L'esprit critique est une forme de scepticisme rationnel fondé sur le doute méthodique visant le refus systématique des amalgames simplistes, des généralisations infondées, des idées reçues, des préjugés, des certitudes engendrées par des croyances, des énoncés sans preuve et des conclusions hâtives. Cette démarche intellectuelle méthodique est une position épistémologique que vise le décryptage du réel et à la construction progressive d'un esprit autonome et rationnel. Il s'agit en somme d'une « hygiène préventive du jugement » (**Jean Rostand, 1958**) consistant à n'admettre rien de véritable ou de réel qui n'ait été au préalable soumis à l'épreuve de la démonstration ou de la preuve.

Psychologie cognitive : étude des grandes fonctions psychologiques de l'être humain que sont le langage, la perception, le raisonnement, la résolution de problèmes, l'attention et la mémoire. Dans un sens plus large, c'est l'étude scientifique de la cognition, une « tentative contemporaine, faisant appel à des méthodes empiriques pour répondre à des questions épistémologiques anciennes, et plus particulièrement à celles concernant la nature du savoir, ses composantes, ses sources, son développement et son essor » (**Gardner, 1993**). La psychologie cognitive est l'une des disciplines phares des « sciences cognitives », elle occupe une place légitime en éducation, milieu dans lequel le savoir et sa construction ont une place centrale. Dans un contexte scolaire, la psychologie cognitive cherche à décrire et comprendre les processus cognitifs mis en jeu dans les diverses situations d'apprentissage. Elle cherche ainsi à décrire les processus comportementaux, développementaux, ainsi les effets de ces processus. Nous nous intéresserons dans ce travail aux apports de la psychologie dans la connaissance des biais cognitifs.

Biais cognitifs : les biais cognitifs font l'objet de recherches dans le domaine des sciences cognitives, psychologie cognitive et psychologie sociale notamment. Un biais est une forme de pensée systématique qui engendre des distorsions du traitement de l'information, du jugement, de la rationalité et de la logique. Théorisés par Daniel Kahneman, les biais cognitifs s'apparentent à des courts-circuits mentaux assurant un traitement immédiat des informations internes – attenantes à la mémoire – et externes – attenantes à l'environnement – engendrés par le cerveau de manière à produire le plus rapidement possible une analyse de la situation cohérente avec une vision préétablie du monde. En d'autres termes, un biais est une interprétation simplifiée qui tend à construire des stéréotypes, des préjugés, des croyances et des catégorisations de manière à ordonner les informations qui émergent d'un milieu.

Paradoxe mathématique : revenons sur la définition de paradoxe telle que donnée par le dictionnaire de l'Académie Française : « Proposition qui, énonçant son propre contraire, paraît à la fois vraie et fausse ; raisonnement dont la conclusion contredit les prémisses ou qui engendre deux conclusions contradictoires ». En ce sens, nous discuterons dans ce travail de « paradoxe mathématique » à propos d'objets géométriques, algébriques ou arithmétiques tel que l'analyse nécessaire à leur préhension cognitive conduise à un résultat contre-intuitif. De même, nous choisissons dans ce travail de ne retenir que les objets dits « paradoxaux » pouvant être expliqués rationnellement par les mathématiques et relevant d'un caractère tangible. Par exemple, nous retiendrons le rectangle de Harry Langman comme type de paradoxe mathématique en accord avec le cadre de ce travail : c'est en effet un objet dont la forme est variable entre deux états – deux rectangles de dimensions différentes –, qui soulève à priori un résultat contre-intuitif et qui peut être manufacturé. Les illusions d'optiques telles que les dérivées périphériques – serpents tournants de Akiyoshi Kitaoka² – les objets irréalisables – blivet³, triangle de Penrose⁴ – et les expériences de pensée ne seront ainsi pas retenus. Nous y reviendrons par la suite.

2. Les serpents tournants sont une image fixe constituée d'une dizaine de ronds représentant symboliquement des serpents enroulés sur eux-mêmes.

3. Le blivet est à la fois une figure indécidable, une illusion d'optique, et un objet impossible.

4. Le triangle de Penrose, aussi connu comme la tripoutre ou la tribarre, est un objet impossible conçu par le mathématicien Roger Penrose dans les années 1950.

1 Introduction

- (1) « Le développement de l'esprit critique est au centre de la mission assignée au système éducatif français. Présent dans de nombreux programmes d'enseignement, renforcé par l'attention désormais portée à l'éducation aux médias et à l'information, le travail de formation des élèves au décryptage du réel et à la construction, progressive, d'un esprit éclairé, autonome, et critique est une ambition majeure de l'Ecole »⁵.

C'est en ces mots que le ministère de l'éducation nationale affiche son ambition pour le développement de l'esprit critique à l'école.

Cette déclaration pose deux questions : quoi et comment ?

« Quoi », c'est-à-dire : qu'entendons-nous par « esprit-critique » ? Quelle est sa légitimité ? Que peut-on apprendre d'une analyse épistémologique, historique du concept ?

Et « Comment », c'est-à-dire : quelles compétences mobiliser ? Quelles exercices élaborer ? Quelles disciplines sont concernées ?

- (2) C'est à ce point que commence notre réflexion, et par-delà même, ce travail de recherche. Nous avons souhaité revenir sur l'histoire de l'esprit critique, afin d'en saisir les origines, les objectifs et les fondements intellectuels. Ceci, nous permet d'aboutir à une définition de l'esprit critique en termes de compétences, c'est le modèle proposé par Robert Ennis en 1999 : quelle est la portée de ce modèle ? Quel est son écho dans les programmes français ? Et à ce propos, que disent les programmes français de l'esprit critique ? Comment s'articulent ce panel de compétences spécifiques avec des compétences plus fondamentales ?
- (3) Ces questions nous conduisent à une analyse des prescriptions, des attendus et des nécessités des programmes français, au cycle 2, 3 et 4 des bulletins officiels de l'éducation nationale de Juillet 2018. Nous notons que l'évolution des prescriptions marque une volonté d'accompagner l'élève dans un processus de construction de sa personnalité morale et intellectuelle, chaque cycle ayant sa spécificité : confrontation constructive avec autrui et identification de soi par rapport aux autres (cycle 2), autonomisation de la pensée (cycle 3), distinguer faits, croyance et opinion (cycle 4). Mais comment organiser la construction de ces processus intellectuels ? Et comment ces processus s'articulent dans les disciplines de référence ? En particulier en mathématiques ?

Les programmes français semblent focalisés sur l'éducation aux médias et à l'information, c'est-à-dire sur des faits concrets, d'actualités. Certaines disciplines permettent l'appropriation de ces faits du quotidien et le travail de ces questions socialement vives : la mouvance climatosceptique ; les théories du complot ; l'homme a-t-il vraiment marché sur

5. <https://eduscol.education.fr/cid107295/former-l-esprit-critique-des-eleves.html>

la lune ? etc. . .

Mais qu'en est-il des disciplines plus abstraites ? Sous prétexte qu'elles ne soient pas particulièrement propices à l'évocation de ces questions, doit-on pour autant se résoudre à un cloisonnement de la discipline aux seules sciences des nombres et des figures ? Quels moyens mobiliser pour permettre l'émergence et le travail de l'esprit critique des élèves en classe de mathématiques ? Le peut-on seulement ?

- (4) Pour répondre à ces questions, ce travail s'appuiera sur deux domaines complémentaires des sciences de l'éducation : la psychologie cognitive et la didactique.

L'usage de la psychologie cognitive trouve sa légitimité dans les mêmes raisons qui sont à l'origine de l'esprit critique : mettre à la disposition d'autrui, des compétences, des réflexes, des méthodes, pour résister aux biais cognitifs auxquels peut nous contraindre notre cerveau : biais de confirmation, biais de cadrage, réactance, encrage etc. . . La connaissance de ces biais apparaît ici essentielle : elle doit nous permettre de saisir la manière dont une croyance, un raisonnement fallacieux se forme, mais également comment le contrer. Nous observerons pour ça les travaux de Daniel Kahneman, théoricien du modèle « Système 1 / système 2 », et les travaux majeurs qui lui ont succédé.

Toutefois, la connaissance des mécanismes psychologiques n'est pas ici suffisante pour prétendre apporter une proposition de réponse à notre question de recherche. La didactique, doit nous permettre en complément, d'orchestrer, de concevoir, d'articuler les différents savoirs en jeu de l'activité : non seulement pour donner vie aux mécanismes psychologiques que nous chercherons à enclencher, mais également pour organiser la construction des savoirs et compétences ciblés chez les élèves.

- (5) Pour se faire, nous proposerons d'observer deux modes d'acquisition du savoir : un mode intrapersonnel, qui repose sur l'introspection de l'individu, centré sur l'élève ; un mode interpersonnel, où le savoir a pour source les agissements et interactions entre les individus. Nous observerons dans un premier temps les travaux de Piaget, Vergnaud et Rabardel, avec le concept de schème pour fil conducteur. Ce premier moment s'intéressera à une construction intrapersonnelle du savoir. Puis, dans un second temps, aux travaux de Vygotsky, Doise et Mugny, Brousseau et enfin Bruner : ce qui nous conduira à questionner le mode intrapersonnel.

Par la suite, un troisième point théorique nous permettra de questionner les usages du jeu et le potentiel ludique des paradoxes mathématiques. Nous aborderons dans cette partie quelques aspects des travaux de Brousseau et de Roger Caillois, le potentiel pédagogique des puzzles, et présenterons les paradoxes mathématiques utiles à l'élaboration de l'activité souhaitée. Enfin, nous tâcherons de préciser l'articulation de ces différents apports et leurs justification dans la conception de l'activité expérimentée. Nous exposerons alors les résultats de cette enquête et discuterons en conséquence de leurs apports pour la validation de l'hypothèse initiale.

2 Apports historiques et prescriptions actuelles

2.1 Critical Thinking : vers un « modèle de pensée »

- (6) Si l'on veut saisir les enjeux et la finalité du concept d'esprit critique, alors il semble important de s'arrêter un temps sur l'histoire et les grands travaux fédérateurs du *critical thinking*, ou *art de la pensée critique*. Ce regard éclairé sur l'histoire du concept doit nous permettre d'en comprendre l'essence et les bases inaltérables pour ne pas, par la suite, commettre de faux-sens ou d'impairs à l'égard des grandes idées et des théories qui y sont essentielles.
- (7) La prolifération incontrôlée des définitions de la pensée critique a eu des conséquences désastreuses pour l'éducation note Richard Paul, figure éminente du mouvement et fondateur de la très influente *Critical Thinking Community* :
- « In fact, the field of "thinking" became, and still is, a veritable hodge-podge, some work bordering on charlatanism. Quick-fixes for teaching and understanding thinking became commonplace. Quick-fixes ruled, and still rule, reform efforts at all educational levels. Otherwise respectable educational organizations sponsored approaches to thinking that were simplistic and glitzy. Big money began to move into the field, since there was much money to be made by quick-fix programs that implied that thinking could be quickly and painlessly upgraded by educators, even by those who had never themselves studied thinking and thought poorly themselves. Instant success was promised. »
- (8) Ceci nous oblige dans ce travail à un retour aux sources historiques du *Critical Thinking* et à adopter le modèle de pensée de référence qui en a émergé et nous servira de référence par la suite.

2.1.1 John Dewey (1910) : le penseur critique est un enquêteur acharné

- (9) Une première définition historique de l'esprit critique, alors nommé *pensée réfléchie*, nous vient de John Dewey :

« In some cases, a belief is accepted with slight or almost no attempt to state the grounds that support it. In other cases, the ground or basis for a belief is deliberately sought and its adequacy to support the belief examined. This process is called reflective thought ; it alone is truly educative in value." [...] Reflective thought defined [...] Active, persistent, and careful consideration of any belief or supposed form of knowledge in the light of the grounds that support it, and the further conclusions to which it tends, constitutes reflective thought [...] it is a conscious and voluntary effort to establish belief upon a firm basis of reasons. » (**Dewey, 1910**)

- (10) L'activité cognitive en jeu est désignée par le terme d'« *inquiry* » et de « *critical examination* », autrement dit elle suggère un examen rationnel et rigoureux de la validité d'un raisonnement, d'un argument, d'une preuve appuyant une croyance. Selon Dewey, le penseur critique doit procéder de manière systématique à ce type d'examen, à cette attitude de questionnement, d'enquête. Cette posture rigoureuse de l'esprit est directement opposable à la croyance naïve et à l'esprit dogmatique et emprunte fortement à la démarche scientifique.

- (11) De fait, deux grandes idées émergent des propos de Dewey : celle d'enquête et de systématisme. Il y a selon lui une nécessité à pourvoir les gens d'une « éducation constante et ininterrompue des bonnes habitudes de l'observation et de la réflexion ». Le penseur *libre* est un enquêteur de chaque instant qui a l'aptitude de juger la portée de la connaissance fournie par d'autres sur les préoccupations communes.

- (12) Selon Serge Cospérec, la pensée *deweyienne* suggérerait en éducation les apprentissages suivants :

- « - investiguer de façon critique, c'est-à-dire selon les normes de l'enquête scientifique.
- formuler clairement ses idées, les soutenir par des arguments rationnellement recevables et raisonner de manière impartiale et objective, autant qu'il se peut.
- évaluer de façon critique tous les discours et argumentations
- délibérer, à prendre des décisions, de façon rationnelle là encore, en se fondant sur les résultats de cette démarche critique. » (**Cospérec, 2018**).

2.1.2 Bertrand Russel (1930) : les faits, rien que les faits

- (13) Dans un interview accordée à la BBC en 1959, Bertrand Russel énonce ce qui serait selon lui l'attitude intellectuelle que devrait adopter les générations futures :

« When you are studying any matter, or considering any philosophy, ask yourself only : What are the facts, and what is the truth that the facts bear out. Never let yourself be diverted, either by what you wish to believe, or by what you think would have beneficent social effects if it were believed ; but look only and solely at what are the facts. » (**Russel, 1959**).

- (14) Il faut considérer les faits et questionner les observations qui les confirment. Comme Dewey, Russell souligne la parenté entre cette forme d'esprit requise par et pour l'éducation et l'attitude scientifique :

« The temper of intelligence that is needed to work a democracy is exactly analogous in practical life to what the scientific temper is in the intellectual life » (**Russel, 1926**)

- (15) L'attitude scientifique se caractérise en effet dit Russell par la conscience du caractère faillible des savoirs, par la conscience que la connaissance du réel ne peut être atteinte qu'à un certain degré :

« That is the scientific attitude of mind : Truth is ascertainable to a certain degree, but not wholly, and that only with difficulty »

- (16) En ce sens, Russell encourage l'éducation à développer l'autonomie de la pensée, à sortir des paradigmes dogmatiques et des courants de pensée unique :

« Education requires that we encourage independence, initiative, thinking for [oneself], and the realization that anybody may be mistaken »

- (17) La pensée russellienne emprunte beaucoup, à l'égale de Dewey, à la méthode scientifique ; elle se concentre sur la connaissance des faits, l'autonomie de la pensée, et le scepticisme systématique. Nous noterons par la suite que cette « autonomie de la pensée » trouve écho dans les prescriptions du troisième et quatrième cycle scolaire.

2.1.3 Ennis, Postman & Weingartner : lutter contre la manipulation et l'endoctrinement

- (18) Dans *Teaching as a Subversive Activity* (1969), Neil Postman et Charles Weingartner plaident pour une école qui développe l'esprit critique des élèves et les arme contre toutes les formes de manipulation, y compris publicitaires. Cette éducation doit passer par une analyse attentive du langage, le souci des faits objectifs, et le développement de l'esprit d'enquête. On note en ce sens une influence forte de la pensée daweyienne et russellienne. Ils opposent cette vision de l'école à celle d'une école où les élèves passeraient leur temps assis, à écouter un enseignant qu'ils doivent croire sur parole. L'éducation doit selon eux encourager le questionnement, la recherche, la discussion. Postman et Weingartner décrivent ainsi le portrait de l'élève formé à la méthode de l'enquête :

« Good learners, for the most part, are highly skilled in all the language behaviors that comprise what we call 'inquiry'. For example, they know how to ask meaningful questions; they are persistent in examining their own assumptions; they use definitions and metaphors as instruments for their thinking and are rarely trapped by their own language; they are apt to be cautious and precise in asking generalizations, and they engage continually in verifying what they believe; they are careful observers and seen to recognize that language tends to obscure differences and control perceptions. »

- (19) C'est donc dans ce contexte de *Guerre Froide*, de société de consommation en plein essor, de développement de l'industrie culturelle et des médias de masse que le *Critical Thinking* se structure comme un mouvement à la fois pédagogique et didactique, formulant les premières propositions pour enseigner l'esprit critique dans les classes. Parmi les figures éminentes du *Critical Thinking*, on citera Robert Ennis, le premier à avoir théorisé l'enseignement de la notion. Nous reviendrons par la suite sur ses travaux et l'importance de leurs apports théoriques.

- (20) Dans l'article *The Nature of Critical Thinking : An Outline of Critical Thinking Dispositions and Abilities*, Robert Ennis propose de définir la structure cognitive du penseur critique en dressant la liste des compétences qui le caractérisent, nous utiliserons principalement ce modèle par la suite :

« Ideal critical thinkers are disposed to

1. Care that their beliefs be true, and that their decisions be justified; that is, care to "get it right" to the extent possible; including to
 - (a) Seek alternative hypotheses, explanations, conclusions, plans, sources, etc.; and be open to them.
 - (b) Consider seriously other points of view than their own.
 - (c) Try to be well informed.
 - (d) Endorse a position to the extent that, but only to the extent that, it is justified by the information that is available.

- (e) Use their critical thinking abilities.
- 2. Care to understand and present a position honestly and clearly, theirs as well as others'; including to
 - (a) Discover and listen to others view and reasons.
 - (b) Be clear about the intended meaning of what is said, written, or otherwise communicated, seeking as much precision as the situation requires.
 - (c) Determine, and maintain focus on, the conclusion or question.
 - (d) Seek and offer reasons.
 - (e) Take into account the total situation.
 - (f) Be reflectively aware of their own basic beliefs.
- 3. Care about every person. (This one is an auxiliary, not constitutive, disposition. Although this concern for people is not constitutive, critical thinking can be dangerous without it.) Caring critical thinkers :
 - (a) avoid intimidating or confusing others with their critical thinking prowess, taking into account others' feelings and level of understanding.
 - (b) are concerned about others' welfare ».

(21) Concrètement, Ennis propose un modèle de pensée défini par le couplage de douze compétences qui doivent servir de base à un enseignement de la pensée critique. Pour Robert Ennis le penseur est celui qui sait :

- 1. « se concentrer sur une question
- 2. analyser des arguments
- 3. poser des questions de clarification et savoir y répondre
- 4. juger la crédibilité d'une source
- 5. observer et évaluer des comptes-rendus d'observation
- 6. déduire et évaluer des inférences déductives
- 7. induire et évaluer des inférences inductives
- 8. construire et évaluer des jugements de valeur
- 9. construire et évaluer des définitions
- 10. identifier des présupposés
- 11. construire une procédure de décision
- 12. discuter et agir avec les autres » (**Norris & Ennis, 1999**)

2.1.4 Prescriptions générales des systèmes éducatifs : l'influence du modèle Ennis

- (22) Dans les années ultérieures aux travaux d'Ennis, on retrouve dans la très grande majorité des manuels scolaires un enseignement de base de la pensée critique fondé sur le modèle de 1962. Nous prendrons pour exemple l'ouvrage *Critical Thinking An Introduction* d'Alec Fisher (2011), destiné à l'enseignement du secondaire. Il sera question d'énumérer les grands moments d'enseignement proposés par l'ouvrage et qui correspondent à la table des matières. Le tableau comparatif ci-dessous proposé souligne l'influence très nette du modèle Ennis dans l'enseignement de la pensée critique. Notons que les programmes français dont nous proposerons par la suite une étude s'inspirent également fortement des enseignements anglosaxons et de surcroît du modèle Ennis.

Moments d'enseignement	Correspondances avec le modèle Ennis
- (1) Critical thinking : what it is and how it can be improved	- Non spécifiable
- (2) Identifying reasons and conclusions : the language of reasoning	- Analyser des arguments
- (3) Understanding reasoning : different patterns of reasoning	- Observer et évaluer des comptes-rendus d'observation
- (4) Understanding reasoning : assumptions, context and a thinking map	- Observer et évaluer des comptes-rendus d'observation - Construire et évaluer des jugements de valeur
- (5) Clarifying and interpreting expressions and ideas	- Poser des questions de clarification et savoir y répondre
- (6) The acceptability of reasons, including their credibility	- Identifier des présupposés - Construire et évaluer des jugements de valeur
- (7) Judging the credibility of sources skillfully	- Juger la crédibilité d'une source
- (8) Evaluating inferences : deductive validity and other grounds	- Dédire et évaluer des inférences déductives
- (9) Evaluating inferences : assumptions and other relevant arguments	- Induire et évaluer des inférences inductives
- (10) Reasoning about causal explanations	- Analyser des arguments
- (11) Decision-making : options, consequences, values and risks	- Construire une procédure de décision
- (12) How to get reliable information from the internet.	- Juger la crédibilité d'une source

TABLE 1 – Influence du modèle Ennis dans *Critical Thinking An Introduction*

- (23) Nous reviendrons par la suite sur le parallèle entre ces moments d'enseignement et les correspondances notables avec le modèle Ennis, notamment lors de l'analyse de l'article *Former l'esprit critique des élèves* (Eduscol, 2018).

2.1.5 L'esprit critique : une carte heuristique

- (24) Pour conclure cette partie, nous présentons ici une carte heuristique supposée refléter le fonctionnement de la pensée critique selon le modèle d'Ennis ainsi que les grands courants de pensée qui, un niveau plus bas, ont servi à l'émergence du modèle : la pensée deweyenne, la pensée russellienne et les travaux de Postman & Weingartner.
- (25) Toutefois il n'est pas question de présenter cette carte comme un modèle immuable et exhaustif de la pensée critique ni de prétendre que les compétences qui y sont présentées sont au demeurant les seules acceptables pour évaluer l'esprit critique. Nous souhaitons présenter une synthèse des travaux historiques qui ont permis l'émergence d'un modèle de base qui par la suite nous servira de référence afin d'éviter certaines déviations : un écart avec les grands principes fondateurs, par exemple.

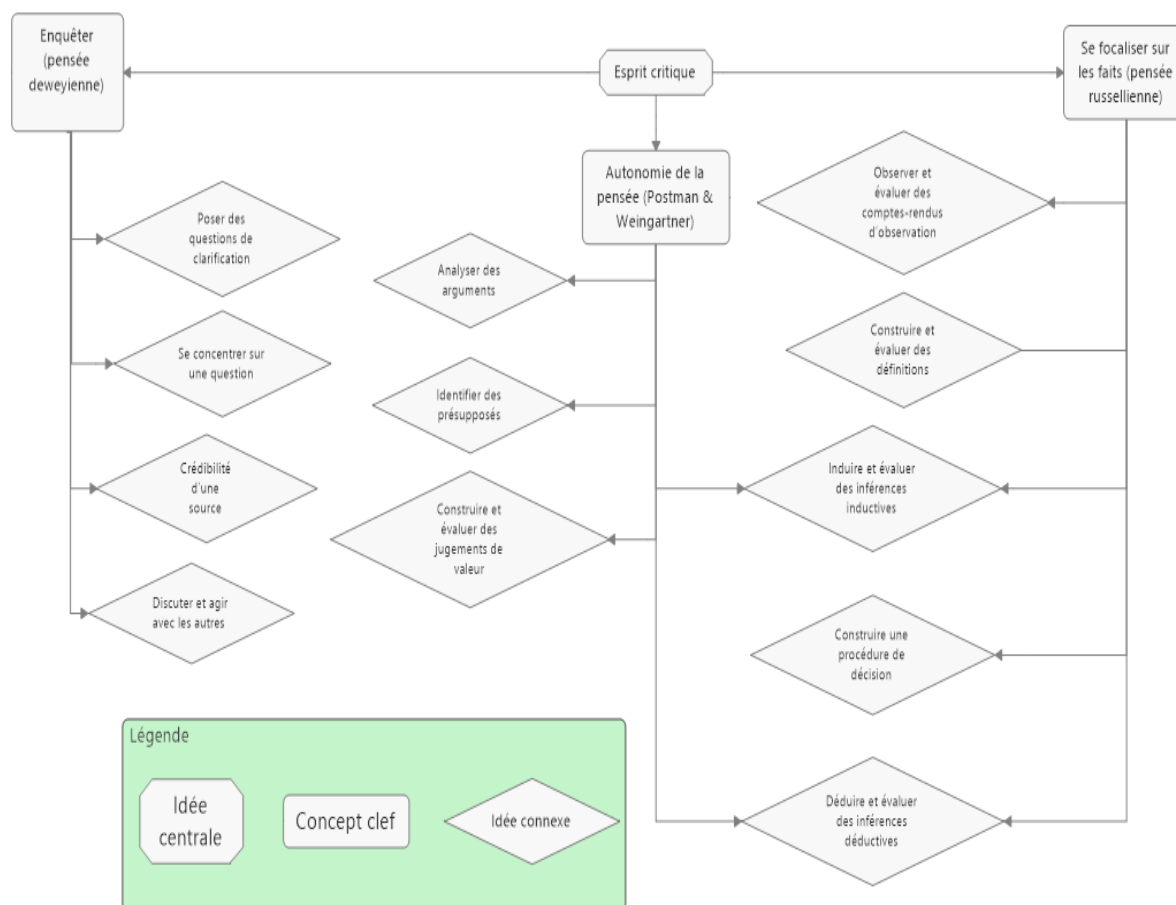


FIGURE 1 – Esprit critique : une proposition de carte heuristique

2.2 L'esprit critique dans les programmes : prescriptions, attendus et nécessités

- (26) Nous nous intéressons aux programmes officiels et à la place qui est consacrée à l'esprit critique et aux démarches sceptiques. Bien que, par la suite, nous envisagerons une étude attendant au troisième cycle, nous interrogeons les programmes officiels du second, troisième et quatrième cycle scolaire de manière à cerner les acquis présumés des élèves du second cycle ainsi que les attentes du quatrième cycle.
- (27) Il sera proposé une étude des programmes de 2015 (**Programmes pour les cycles 2 ; 3 ; 4, 2015**) ainsi que des bulletins officiels de l'éducation nationale du 26 Juillet 2018 de chaque cycle lorsque nécessaire. Nous tacherons dans un premier temps de classer et d'interpréter les extraits de référence puis en proposerons une analyse critique afin de mettre en perspective les intérêts de cette étude.
- (28) Enfin, nous reviendrons sur l'article *Former l'esprit critique des élèves* mis en ligne sur le site d'Eduscol le 10 janvier 2018 et qui propose un développement plus conséquent de la notion d'esprit critique dans les programmes.
- (29) En annexes, les tableaux 5 à 26 synthétisent les extraits des textes officiels faisant référence à l'esprit critique. Ils sont étudiés selon les objectifs et activités qu'ils sous-tendent *a priori* ainsi que le contexte officiel dans lequel ils sont cités. Nous proposons ici une synthèse cycle par cycle de ces tableaux.

2.2.1 Au cycle 2 : développer sa créativité, ses conceptions, et dialoguer

- (30) Au cycle 2 (voir Annexes tables 5 à 10) l'élève doit formuler et justifier ses choix, dans le contexte d'une activité il doit « non seulement la réaliser mais expliquer pourquoi il l'a réalisée de telle manière ». Ainsi les productions de classe doivent s'accompagner d'une activité rationnelle qui doit permettre de « mettre en doute, de critiquer ce qu'ils ont fait, mais aussi d'apprécier ce qui a été fait par autrui ». Au-delà des activités traditionnelles – calcul, lecture, écriture, dessin –, l'élève doit porter un regard critique sur son travail et le travail des autres élèves, il est amené à comparer et à se définir en tant qu'individu par rapport au groupe, en donnant son avis et en remplissant des rôles et des statuts différents selon les situations. Les activités de groupe deviennent des moments d'échanges et d'identification, un moyen « d'exprimer sa sensibilité et d'exercer son esprit critique tout en respectant les goûts et points de vue de chacun ». On note que l'autonomisation de la pensée apparaît comme un processus fortement ancré dans la formation globale de la personnalité des élèves. Cette personnalité se forme dans l'échange, le partage et l'identification aux autres.

- (31) L'enseignant doit accompagner cette primo-autonomisation de la pensée en se montrant « à l'écoute de chacun, il encourage l'autonomie, l'esprit critique et de coopération » ; il doit de même veiller « à éviter toute discrimination et toute dévalorisation entre élèves ». Au cycle 2 l'élève est également amené à élaborer et développer les « représentation du monde » qui l'entoure grâce à des activités d'expérimentation, de mémorisation, d'observation, d'exploration et de manipulation ; ces activités développent « l'esprit critique et la rigueur, le raisonnement, le gout de la recherche et l'habileté manuelle ».
- (32) Enfin, dans le cadre de l'enseignement « questionner le monde », les élèves sont amenés à acquérir une « conscience citoyenne » en apprenant le respect des engagements envers soi et autrui. En adoptant « une attitude raisonnée fondée sur la connaissance » et en « développant un comportement responsable » les élèves confrontent leurs perceptions à celles des autres et sont introduits aux « codes de communication et d'expression ». Ainsi, la bienveillance et la mutualisation du respect dans les échanges sont présentées comme des aides visant à « affûter l'esprit critique ».

2.2.2 Au cycle 3 : vers l'autonomie de la pensée

- (33) L'éducation aux médias et à l'information mise en place depuis le cycle 2 doit permettre de « familiariser les élèves avec une démarche de questionnement dans les différents champs du savoir ». S'il est question au cycle 2 d'identification par rapport à autrui, le cycle 3 (voir Annexes tables 11 à 17) met distinctement l'accent sur l'autonomisation de la pensée, qu'il encourage par le développement du sens de l'observation et de la pensée. Cette autonomisation de la pensée doit être consolidée par le renforcement de « la maîtrise du langage » et par « l'élargissement des repères culturels ». Ainsi le développement de la curiosité se trouve associé à « l'envie de communiquer », que ce soit par l'usage de la langue ou par le biais de la messagerie électronique. De même, l'élargissement des repères culturels est associé aux notions de relativité et d'altérité, en d'autres termes ce qui est visé, c'est sensibiliser l'élève à la divergence et la pluralité des points de vue.
- (34) L'éducation au goût, à la perception des émotions artistiques et à la musique doit permettre de développer des « capacités à percevoir des caractéristiques plus fines et des organisations plus complexes », à acquérir des « repères structurant la culture artistique ». L'autonomisation de la pensée prend également son sens par le rejet des émotions premières, la relativité des goûts et la variabilité des perceptions.
- (35) Le cycle 3 donne également suite au cycle 2 à propos de la construction des savoirs et des compétences par la « mise en œuvre de démarches scientifiques et technologiques variées et la découverte de l'histoire des sciences et des technologies ». Elle intègre toutefois deux nouvelles notions : l'opinion et la croyance. Ces deux notions doivent être distinctement comprises par l'élève et abordées par le biais de démarches et approches suffisamment diverses : observation, manipulation, expérimentation, simulation, documentation.

- (36) Enfin, le développement de « la curiosité, de la créativité, de la rigueur, de l'esprit critique, de l'habileté manuelle et expérimentale, de la mémorisation, de la collaboration pour mieux vivre ensemble et le goût d'apprendre » demeurent comme au cycle 2 des objectifs clairement énoncés.

2.2.3 Au cycle 4 : penser par soi-même et évaluer la fiabilité de l'information

- (37) Le cycle 4 (voir Annexes tables 18 à 26) est marqué par une autonomisation de la pensée qui se veut plus aboutie qu'au cycle 3, mais également par la maîtrise des outils relayant l'information. Les élèves « apprennent à devenir des usagers des médias et d'Internet conscients de leurs droits et devoirs et maîtrisant leur identité numérique, à identifier et évaluer », ils doivent faire usage de leurs acquis des cycles précédents pour adopter une position plus personnelle mais en même temps plus franche vis-à-vis de leur environnement. L'information doit faire l'objet d'une réorganisation critique, les élèves se confrontent à l'environnement médiatique et numérique.
- (38) L'élargissement culturel du cycle 3 fait place à une « culture littéraire qui nourrit les débats sur les grands questionnements » et l'enseignement moral et civique permet de « comprendre la diversité des sentiments d'appartenance et en quoi la laïcité préserve la liberté de conscience et l'égalité des citoyens ». Cet aspect intervient dans un contexte où les élèves commencent à développer « l'esprit critique et le goût de la controverse » qui devra par la suite caractériser l'enseignement des lycées. Des notions propres à la citoyenneté sont également intégrées plus distinctement : la « conscience historique », les « mémoires collectives », la « diversité des cultures et des croyances » apportent de nouveaux éléments de contexte aux débats sur les grands questionnements.
- (39) L'autonomie de la pensée est une nouvelle fois remise en perspective en enseignement du Français. Celui-ci doit permettre aux élèves un « usage correct et précis de la langue française » et développer « l'esprit critique et les qualités de jugement » qui sont nécessaires au lycée. L'élève est amené à enrichir toujours plus ses repères culturels, les enseignements en sciences de la vie et de la Terre doivent lui permettre de « se distancier d'une vision anthropocentrée du monde et de distinguer faits scientifiques et croyances ».
- (40) L'éducation musicale « apporte aux élèves les savoirs culturels et techniques nécessaires au développement de leurs capacités d'écoute et d'expression ». Ces savoirs prennent vie par la « mobilisation du corps dans le geste musicale », contribuant ainsi à l'équilibre physique et psychologique.

- (41) Enfin, le cycle 4 marque le passage à une « relation scientifique » au savoir, aux phénomènes naturels ou techniques. Cette posture scientifique, qui se veut être un prérequis indispensable aux enseignements scientifiques de lycée, est l'aboutissement d'attitudes et de capacités que les cycles 2, 3 et 4 ont tâché de développer chez l'élève : curiosité, ouverture d'esprit, esprit critique, exploitation positive des erreurs, observation, expérimentation et modélisation.

2.2.4 Bilan des prescriptions : de l'identification à autrui à la pensée autonome

- (42) L'évolution des prescriptions entre les cycles 2, 3 et 4 marque une volonté d'accompagner l'élève dans un processus de construction de sa personnalité morale et intellectuelle. Le cycle 2 met l'accent sur la confrontation constructive avec autrui, sur l'identification de soi par rapport aux autres, sur l'apprentissages des codes de communication et d'expression utiles à la bienséance et à la richesse des débats ; l'élève est invité à se montrer rationnel, à exercer son jugement, à écouter et partager. Le cycle 3 encourage l'autonomisation de la pensée, ce processus doit s'appuyer sur les acquis du cycle 2, sur l'éducation aux médias, l'enrichissement des repères culturels et à la mise en œuvre de démarches scientifiques et technologiques de plus en plus variées. Enfin le cycle 4 doit aboutir à une pensée autonome et une posture intellectuelle fortement marquée par la démarche scientifique, le rapport critique au savoir et à l'information ainsi qu'une capacité réelle à distinguer faits, croyance et opinion.

Tableau bilan page 24

Cycle 2		
Objectifs de fin de cycle	Activité(s)	Rôle de l'enseignant
<ul style="list-style-type: none"> - Se montrer rationnel - Mettre en doute, se montrer critique vis-à-vis de son travail et du travail d'autrui - Exercer son jugement - Eduquer aux codes de communication et d'expression - Formuler et justifier ses choix - Développer sa curiosité et sa créativité - Développer son habileté technique <p>Utiliser ses connaissances pour argumenter</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Calcul - Compréhension d'un texte - Appréciation d'une œuvre ou l'observation d'un phénomène naturel - Education aux métiers et à l'information - Débattre et argumenter rationnellement en émettant des conjectures et des réfutations simples - Résolutions de problèmes mathématiques - Pratiques artistiques - Réaliser des expériences simples (exploration, observation, manipulation, fabrication) - Enseignement du français Education physique et sportive 	<ul style="list-style-type: none"> - Se montrer exigeant et bienveillant et favoriser l'estime de soi et la confiance en soi des élèves - Adopter une attitude à la fois compréhensive et ferme - Se montrer à l'écoute de chacun, il encourage l'autonomie, l'esprit critique et de coopération - Il veille à éviter toute discrimination et toute dévalorisation entre élèves
Cycle 3		
Objectifs de fin de cycle	Activité(s)	Rôle de l'enseignant
<ul style="list-style-type: none"> - Développer le sens de l'observation, la curiosité, l'esprit critique et, de manière plus générale, l'autonomie de la pensée - Renforcer la maîtrise du langage. - Elargir ses repères culturels - Développer la notion de relatif, l'esprit critique, l'altérité - Acquérir des repères structurant sa culture artistique et apprendre à s'y référer - Faire la distinction entre opinion et croyance 	<ul style="list-style-type: none"> - Education aux médias et à l'information - Réflexion sur le fonctionnement de la langue - Contacts avec les écoles des pays ou des régions concernés - Exploitation des ressources offertes par la messagerie électronique - Exploitation de documents audiovisuels - Education musicale - Mise en œuvre de démarches scientifiques et technologiques variées - Découverte de l'histoire des sciences et des technologies - Analyse et production d'objets techniques 	Idem au cycle 2
Cycle 4		
Objectifs de fin de cycle	Activité(s)	Rôle de l'enseignant
<ul style="list-style-type: none"> - Devenir un usager des médias et d'Internet conscients de ses droits et devoirs et maîtrisant son identité numérique - Identifier et évaluer, en faisant preuve d'esprit critique, les sources d'information - Développer l'esprit critique et le goût de la vérité - Evaluer l'impact des découvertes et innovations sur notre vie, notre vision du monde et notre rapport à l'environnement - Faire un usage correct et précis de la langue française - Développer ses qualités de jugement qui sont nécessaires au lycée - Développement des capacités d'écoute et d'expression - Apprendre à comparer les sources d'informations - Se distancier d'une vision anthropocentrée du monde et distinguer faits scientifiques et croyances 	<ul style="list-style-type: none"> - Education aux médias et à l'information - Enseignement moral et civique - Développement de la culture scientifique - Développement de la culture littéraire - Observer les phénomènes naturels ou techniques, et le monde vivant en adoptant une posture scientifique - Utiliser ses connaissances pour expliciter, expliquer le document et exercer son esprit critique - Comparer des données numériques 	Idem au cycle 2

TABLE 2 – Evolution des prescriptions du cycle 2 à 4

2.3 l'esprit critique des élèves : retour sur un article d'Eduscol

- (43) Pour conclure cette première partie portant sur les apports historiques et les prescriptions actuelles, nous proposons l'analyse critique d'un article d'Eduscol de 2018 intitulé *Former l'esprit critique des élèves*. À la lumière de connaissances historiques et des prescriptions précédemment étudiées, il convient désormais de s'interroger sur la position adoptée par l'éducation nationale vis-à-vis de l'enseignement de l'esprit critique. De manière générale l'article se veut synthétiser les mesures prises et la politique éducative envisagée ; nous verrons entre autres que les programmes français en matière d'esprit critique sont relativement influencés par le modèle anglosaxon d'Ennis mais également qu'ils prennent des initiatives plus spécifiques en choisissant d'en développer certains aspects.

2.3.1 Modestie, lucidité, curiosité et écoute : des dispositions plus que des compétences

- (44) L'enseignement de l'esprit critique s'organise autour de 5 axes, eux même subdivisés en compétences. Des « dispositions » – curiosité, écoute, modestie, lucidité et autonomie – viennent compléter l'organisation des enseignements, ce qui est une spécificité du programme français au sens où les programmes anglosaxons se concentrent davantage sur l'acquisition de compétences. Afin de confronter plus directement l'organisation de cet enseignement avec les apports et les correspondances du modèle d'Ennis nous proposons une présentation de ces compétences et de ces dispositions par le tableau ⁶ suivant :

Axe d'enseignement	Compétences	Rapport au modèle Ennis	Dispositions
(1) S'informer	- Prendre le temps de s'informer - Comprendre avant de juger	Discuter et agir avec les autres Poser des questions de clarification	Écoute Curiosité
(2) Évaluer l'information	- En chercher la source - Comprendre qu'une connaissance est construite et comment elle se construit	Juger la crédibilité d'une source Identifier des présupposés Observer et évaluer des comptes-rendus Se concentrer sur une question	Curiosité Autonomie
(3) Distinguer faits et interprétation	- Différencier les faits de l'interprétation qui les relie et les explique	Construire et évaluer des définitions	Autonomie Lucidité
(4) Confronter les interprétations	- Prendre acte des débats entre les interprétations et de la nécessité du pluralisme en ne s'arrêtant pas à la première explication présentée	Construire une procédure de décision Dédire et évaluer des inférences déductives Induire et évaluer des inférences inductives	Lucidité Modestie
(5) Évaluer les interprétations	Distinguer / - les interprétations validées par l'expérience - les hypothèses - les opinions liées à nos croyances	Construire et évaluer des jugements de valeur Analyser des arguments	Modestie Écoute

TABLE 3 – L'esprit critique dans les programmes français, des compétences et des dispositions

6. Source : diagramme de l'article *Former l'esprit critique des élèves*, 2018.

- (45) On note ainsi qu'au-delà des compétences prescrites par le modèle Ennis, le programme français souhaite développer plus particulièrement des attitudes, des dispositions chez les élèves. Ces attitudes sont présentées comme des appuis légitimes au développement des compétences.
- (46) La *curiosité* doit être développée car elle « induit toutes les autres attitudes, elle seule peut faire prendre conscience de la multiplicité des informations (et donc de la nécessité de les trier) et de l'immensité des champs du savoir ». Elle est présentée comme nécessaire aux processus visant à s'informer et à évaluer l'information. L'éveil de la curiosité, au-delà de renvoyer « au rapport global de l'élève et de l'école, lieu de transmission et de valorisation du savoir », doit permettre d'optimiser les compétences des axes (1) et (2).
- (47) L'*autonomie* est une disposition qui se nourrit « de notre capacité à avoir du recul par rapport à l'information qui nous provient ». En ce sens, l'autonomie peut être également vue comme la capacité à suspendre son jugement. En effet, le jugement au sens large « ne doit intervenir qu'après un temps consacré à prendre connaissance des faits. La pratique de la suspension de jugement est d'autant plus importante que les questions sont sensibles et peuvent toucher de près les élèves ; elle nécessite un effort et permet de mettre à distance ses préjugés ». L'autonomie doit garantir « la critique des sources en histoire, la connaissance du raisonnement scientifique en sciences » mais également la distinction des « faits et des interprétations ». Elle appuie les compétences des axes (2) et (3).
- (48) La *lucidité* renvoie elle à une « attitude réflexive de chacun, sur ses connaissances et sur leur degré de certitude ». Elle fait écho à l'autonomie au sens où elle doit garantir « la nécessité de prendre le temps de s'informer et de ne pas précipiter son jugement ». De même, elle se nourrit de « la distinction entre les faits et les interprétations : tant que l'on n'a des faits qu'une connaissance très incomplète, on ne peut que faire des hypothèses ou émettre des jugements franchement erronés ». Cette lucidité doit garantir une progression prudente dans l'élaboration d'une interprétation « en acceptant le risque de l'erreur et en étant prêt à rectifier son interprétation lorsque l'on est mieux informé ». La lucidité peut conduire à s'abstenir d'avoir une opinion, de même que la confrontation des interprétations ne nous conduit pas toujours à conclure. Elle appuie les compétences des axes (3) et (4).
- (49) Cette notion d'abstinence d'opinion renvoie elle-même à la *modestie*. La confrontation des interprétations naît de la nécessité du débat. Ce débat existe dans tous les secteurs de la connaissance, y compris le secteur scientifique, il permet l'évolution des connaissances et s'intègre tout à fait avec leur histoire ; les débats sont décisifs pour le progrès des sciences et l'élaboration de théories toujours plus complètes et affinées, c'est pourquoi il faut veiller à ne pas suggérer « une interprétation qui se donne comme définitive et exclusive ». La modestie se veut l'écho d'un pluralisme nécessaire, l'un des objectifs du débat, qui est un outil essentiel de l'Enseignement Moral et Civique, montre que « dans beaucoup de questions essentielles, une pluralité d'opinions est envisageable et doit être respectée, en particulier dans le domaine des croyances qui sont par essence non vérifiables ».

». La modestie appuie les compétences des axes (4) et (5).

- (50) Enfin, il apparaît également nécessaire de développer « une attitude d'écoute », présentée comme « une composante importante de l'esprit critique ». L'autonomie et l'*écoute* ne doivent pas s'opposer mais se compléter : « quand bien même on cherche à penser de manière autonome, on ne pense jamais seul ». L'écoute ici prônée n'est « ni passive, ni naïve » : elle se veut l'écho d'une conduite attentive, informée, pragmatique, et « permettant une première évaluation des interprétations ». L'écoute est une attitude qui soutient l'effort collectif, elle appuie les compétences des axes (1) et (5).

2.3.2 Des outils d'auto-défense intellectuelle ?

- (51) Nous n'analyserons pas les « outils d'auto-défense intellectuelle » présentés par l'article. Ces outils sont en fait des mécanismes, sinon des réflexes cognitifs développés pour lutter contre les biais cognitifs, c'est-à-dire les premiers agents perturbateurs de nos réflexions. Nous reviendrons sur les biais cognitifs et les « outils d'auto-défense intellectuelle » lorsque nous discuterons des apports théoriques, notamment en sciences cognitives.

2.3.3 Apports historiques et prescriptions actuelles : deux cartes conceptuelles de cadrage

- (52) Nous souhaitons revenir sur l'intérêt et de la réflexion menée sur les apports historiques et sur le bilan des prescriptions actuelles. Soucieux de ne pas alimenter la prolifération incontrôlée des définitions de la pensée critique soulevée par Richard Paul, il semblait indispensable dans un premier mouvement de saisir convenablement les enjeux, objectifs, et origines des programmes français.
- (53) L'influence des grands courants de pensée (Dewey, Russel, Postman & Weingartner) conduisent à l'émergence d'un modèle d'enseignement très influent dans le monde anglo-saxon et dont nous retrouvons les grands axes dans nos propres programmes. Toutefois, comme nous l'avons vu au travers de l'analyse des prescriptions (voir tableau 2) et de l'article *Former l'esprit critique des élèves*, les programmes français possèdent leur propre niveau de lecture, leurs propres spécificités ; en particulier ils insistent – par rapport à leurs homologues anglosaxons – sur la nécessité de développer certaines attitudes, parallèlement aux compétences de référence.

(54) Dans ce travail nous nous intéresserons plus particulièrement aux programmes français, et par souci de précision il apparaissait impératif de définir rigoureusement les cadres heuristiques de la pensée critique. En ce sens il convenait pour cela :

➤ D'avoir connaissance des grandes lignes directrices de la pensée critique, initiées par des courants de pensée majeurs et de surcroît toujours d'actualité.

➤ De connaître l'origine des programmes, anglosaxons dans un premier temps, puis français dans un second.

➤ De lister, exhaustivement, les prescriptions des programmes français officiels en matière d'esprit critique, et d'en proposer une étude succincte.

➤ Enfin, proposer un cadre théorique de travail, de référence, et qui servira de base à une définition plus stricte du concept d'esprit critique. Nous proposons pour cela, et pour conclure cette première partie, les cartes conceptuelles ci-dessous.

(55) Dans la première carte, nous souhaitons construire la représentation mentale d'une pensée critique idéale selon le modèle anglosaxon ainsi que ses rapports avec les programmes français. Les concepts clefs y représentent les apports historiques majeurs et s'appuient sur la pensée deweyenne, sur la pensée russellienne, et sur l'autonomie de la pensée prescrite par Postman et Weingartner. Les idées connexes – représentées par des losanges – font référence aux douze compétences clefs du modèle Ennis. Enfin, les zones délimitant les idées connexes représentent l'organisation des 5 grands axes d'enseignement des programmes français. Ainsi, cette première carte nous permet de mettre en lien les apports historiques et les spécificités structurelles de programme français.

(56) La seconde carte enfin, propose la représentation mentale d'une pensée critique idéale selon les prescriptions des programmes français. Les concepts clefs y représentent toujours les apports historiques majeurs. Les idées connexes représentent les grands axes d'enseignement dont nous ne rappelons pas les compétences implicites. Enfin, les idées spécifiques représentent les aptitudes fondamentales qui nourrissent et se nourrissent des compétences nécessaires au développement de l'esprit critique et qui demeurent, par leur position, des distinctions notables des programmes français : la curiosité, l'autonomie, la modestie, l'écoute, et la lucidité.

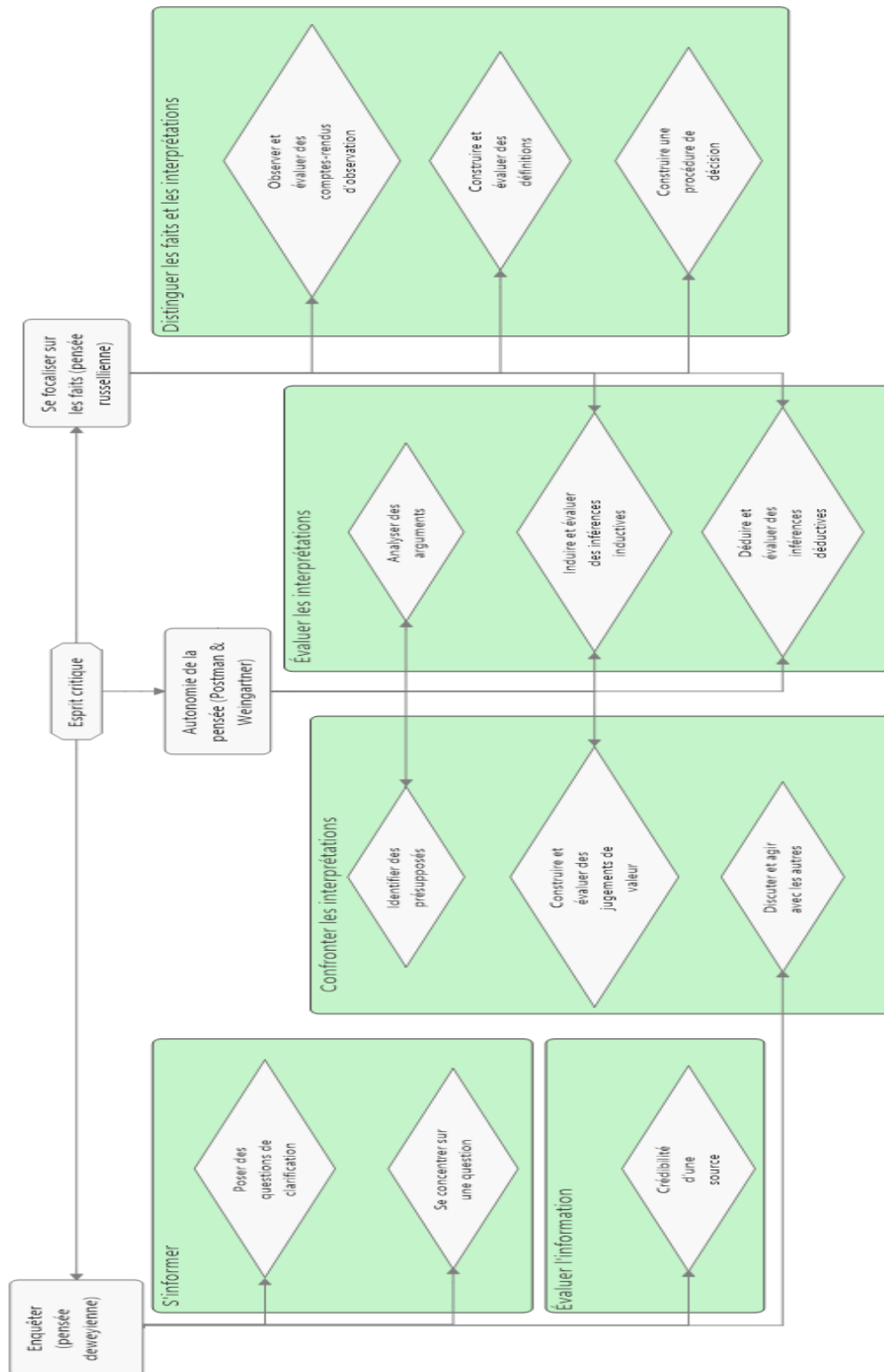


FIGURE 2 – Esprit critique : du modèle anglosaxon au modèle français

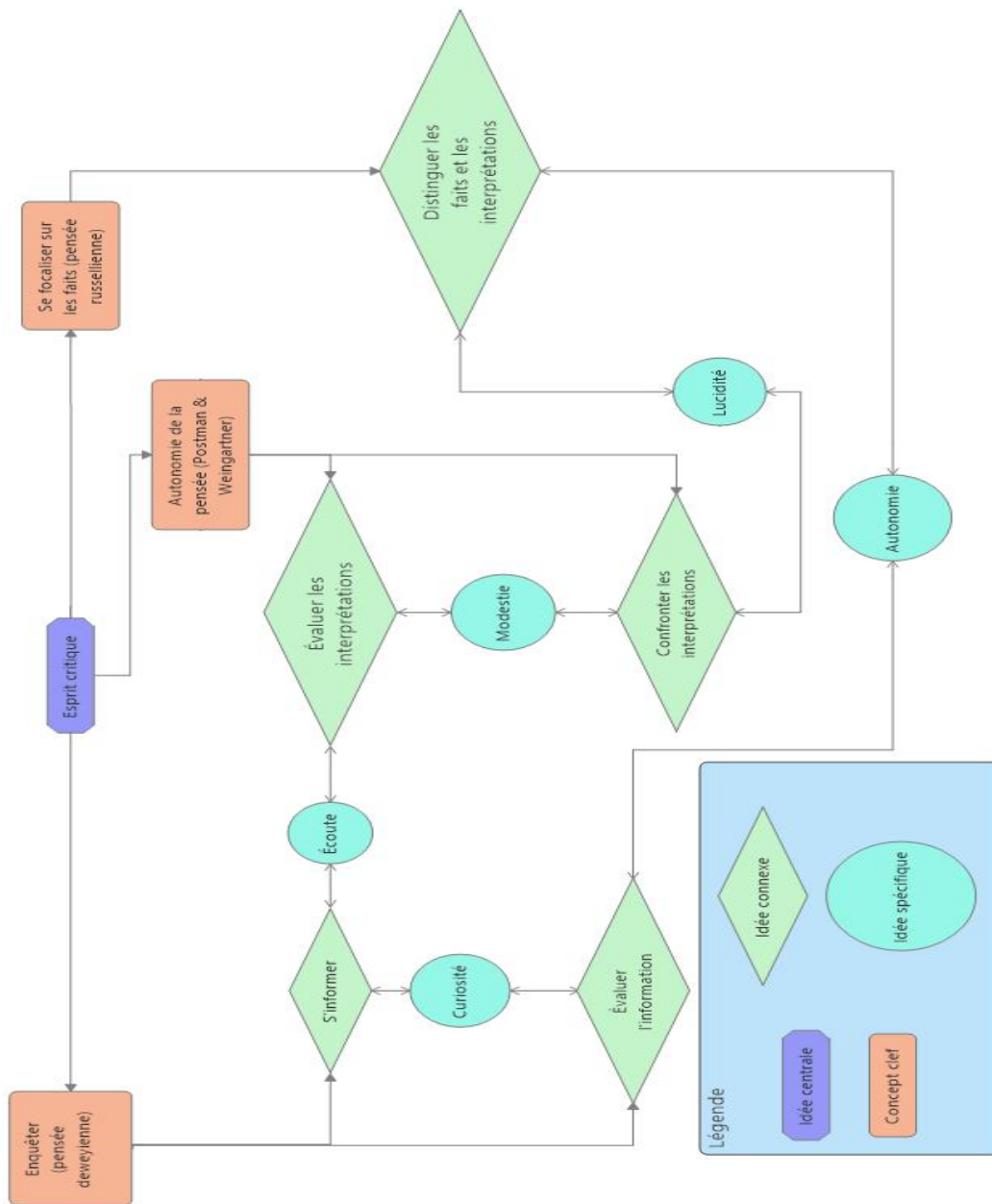


FIGURE 3 – Esprit critique : les spécificités du modèle français

2.4 Enseignements mathématiques au cycle 3

- (57) Afin de saisir convenablement les enjeux des enseignements de mathématiques au troisième cycle mais également de manière à proposer des situations d'apprentissage en adéquation avec les programmes officiels il convient ici de rappeler les objectifs essentiels de ces enseignements.

En référence au bulletin officiel numéro 25 du 21-6-2018 nous proposons ici un bilan des programmes d'enseignement mathématiques au troisième cycle, leur spécificité, leurs objectifs, et les prescriptions à l'égard du corps enseignant. Nous prenons le parti de ne pas proposer une description exhaustive et complète de ces programmes dont nous nous contenterons d'exposer les points les plus remarquables. Toutefois il conviendra par la suite, notamment dans la partie méthodologie, d'aborder certains points plus spécifiques comme, par exemple, les prescriptions attenantes aux « comparaisons de surfaces ».

2.4.1 Programme de mathématiques du cycle 3 : quelques généralités

- (58) Dans la continuité du cycle précédent le cycle 3 doit assurer la poursuite du développement des six compétences « majeures » des mathématiques : « chercher, modéliser, représenter, calculer, raisonner et communiquer ». La résolution de problème demeure au centre des programmes : « elle constitue le critère principal de la maîtrise des connaissances dans tous les domaines des mathématiques, mais elle est également le moyen d'en assurer une appropriation qui en garantit le sens ».

Cette centration sur le problème veille aussi à proposer aux élèves des exercices « pour apprendre à chercher qui ne soient pas directement reliés à la notion en cours d'étude, qui ne comportent pas forcément une seule solution, qui ne se résolvent pas uniquement avec une ou plusieurs opérations mais par un raisonnement et des recherches par tâtonnements ».

- (59) Concernant les activités géométriques, elles se distinguent par une part plus grande accordée « au raisonnement et à l'argumentation qui complètent la perception et l'usage des instruments ». Elles sont aussi une occasion de « fréquenter de nouvelles représentations de l'espace (patrons, perspectives, vues de face, de côté, de dessus, etc.) ». Les outils numériques sont progressivement introduits en « complément de l'usage du papier, du crayon et de la manipulation d'objets concrets », ce qui peut être l'occasion d'amener les élèves à utiliser différents supports de travail : papier et crayon, mais aussi logiciels de géométrie dynamique, d'initiation à la programmation ou logiciels de visualisation de cartes ou de plans.

Les grandeurs font l'objet « d'un enseignement structuré et explicite, une bonne connaissance des unités du système international de mesure étant visée » ; ceci va de pair avec l'introduction de notions nouvelles comme les nombres décimaux, la proportionnalité ou

l'étude de nouvelles grandeurs (aire, volume, angle notamment).

Enfin, un regard particulier est porté à la verbalisation, celle-ci doit reposer sur « une syntaxe et un lexique adapté ; elle est encouragée et valorisée en toute situation et accompagne le recours à l'écrit ».

2.4.2 Nombres et calculs

- (60) Au cycle 3 l'étude des grands nombres doit permettre d'enrichir « la compréhension de notre système de numération (numération orale et numération écrite) et de mobiliser ses propriétés lors de calculs », de même que les fractions puis les nombres décimaux doivent apparaître comme de « nouveaux nombres introduits pour pallier l'insuffisance des nombres entiers, notamment pour mesurer des longueurs, des aires et repérer des points sur une demi-droite graduée ».
- (61) Le calcul mental doit permettre de produire des « résultats utiles » dans différents contextes de la vie quotidienne, son enseignement donne la priorité à « l'exploration des nombres et des propriétés des opérations » : « Il s'agit d'amener les élèves à s'adapter en adoptant la procédure la plus efficace en fonction de leurs connaissances et des nombres en jeu ».
- (62) Au cycle 3, les problèmes d'arithmétiques permettent un enrichissement des opérations : « les procédures de traitement de ces problèmes, adaptées à leur structure, peuvent évoluer en fonction des nombres en jeu. L'organisation des calculs et leur réalisation contribuant aussi à la représentation des problèmes, il s'agit de développer simultanément chez les élèves des aptitudes de calcul et des aptitudes de résolution de problèmes arithmétiques ».

Les attendus de fin de cycle à propos des nombres et des calculs sont :

- Utiliser et représenter les grands nombres entiers, des fractions simples, les nombres décimaux.
- Calculer avec des nombres entiers et des nombres décimaux.
- Résoudre des problèmes en utilisant des fractions simples, les nombres décimaux et le calcul.

2.4.3 Grandeurs et mesures

- (63) Un enjeu fort du troisième cycle est l'enrichissement du concept de grandeur « en abordant la notion d'aire d'une surface ainsi que celle de périmètre en les distinguant clairement » ; de même les élèves approchent la notion d'angle et sont amenés à se familiariser « avec la notion de volume, en lien avec celle de contenance ».
- (64) La mesure des grandeurs au cycle 3 doit se résumer « à déterminer, après avoir choisi une unité, combien d'unités ou de fractionnements de cette unité sont contenus dans cette grandeur, pour lui associer un nombre ». Ces notions de grandeur et de mesure de la grandeur « se construisent dialectiquement, en résolvant des problèmes faisant appel à différents types de tâches (comparer, estimer, mesurer) ». De même, la proportionnalité doit être mise en évidence et « convoquée pour résoudre des problèmes dans différents contextes ».

Les attendus de fin de cycle à propos des grandeurs et des mesures sont :

- Comparer, estimer, mesurer des grandeurs géométriques avec des nombres entiers et des nombres décimaux : longueur (périmètre), aire, volume, angle.
- Utiliser le lexique, les unités, les instruments de mesure spécifiques de ces grandeurs.
- Résoudre des problèmes impliquant des grandeurs (géométriques, physiques, économiques) en utilisant des nombres entiers et des nombres décimaux.

2.4.4 Espace et géométrie

- (65) Le cycle 3 doit constituer une *étape importante* dans l'approche des concepts géométriques : « les activités permettent aux élèves de passer progressivement d'une géométrie où les objets (le carré, la droite, le cube, etc.) et leurs propriétés sont essentiellement contrôlées par la perception à une géométrie où le recours à des instruments devient déterminant, pour aller ensuite vers une géométrie dont la validation s'appuie sur le raisonnement et l'argumentation ». Cette notion de raisonnement et d'argument apparaît essentielle et en accord avec les objectifs de ce travail, c'est pourquoi nous reviendrons dessus par la suite.
- (66) De même, les situations faisant appel à « différents types de tâches (reconnaître, nommer, comparer, vérifier, décrire, reproduire, représenter, construire) portant sur des objets géométriques », sont privilégiées de manière de faire émerger « des concepts géométriques (caractérisations et propriétés des objets, relations entre les objets) et de les enrichir ». Enfin, les supports et les instruments mis à disposition des élèves, permettent « une évolution des procédures de traitement des problèmes et un enrichissement des connaissances ».

». En ce sens, les activités spatiales et géométriques sont mises en lien avec les deux autres thèmes : « résoudre dans un autre cadre des problèmes relevant de la proportionnalité ; utiliser en situation les grandeurs (géométriques) et leur mesure ». Ces moments constituent des situations idéales pour « une première initiation à la programmation notamment à travers la programmation de déplacements ou de construction de figures ».

Les attendus de fin de cycle à propos des grandeurs et des mesures sont :

➤ (se) repérer et (se) déplacer dans l'espace en utilisant ou en élaborant des représentations.

➤ reconnaître, nommer, décrire, reproduire, représenter, construire des figures et solides usuels.

➤ reconnaître et utiliser quelques relations géométriques (notions d'alignement, d'appartenance, de perpendicularité, de parallélisme, d'égalité de longueurs, d'égalité d'angle, de distance entre deux points, de symétrie, d'agrandissement et de réduction).

2.4.5 Croisements entre enseignements

(67) Enfin, au cycle 3 les élèves apprennent progressivement à « résoudre des problèmes portant sur des contextes et des données issus des autres disciplines ». Des supports de prises d'informations variés tels que des textes, des tableaux, des graphiques, des plans permettent de « travailler avec des données réelles issues de différentes disciplines (histoire et géographie, sciences et technologie, éducation physique et sportive, arts plastiques) ». Notons plus particulièrement que : « la lecture des données, les échanges oraux pour expliquer les démarches, et la production de réponses sous forme textuelle contribuent à travailler plusieurs composantes de la maîtrise de la langue dans le cadre des mathématiques ». Ceci constitue un point fondamental pour la suite de notre travail, nous y reviendrons.

(68) Finalement, les activités de reconnaissance et de construction de figures et d'objets géométriques peuvent également « s'appuyer sur des réalisations artistiques (peinture, sculpture, architecture, photographie, etc.) ».

Le bulletin officiel numéro 25 du 21-6-2018 ne fait pas ici mention des attendus de fin de cycle à propos des croisements entre enseignements.

3 Apports théoriques

- (69) Après avoir défini les cadres et les enjeux d'un enseignement de l'esprit critique à l'école, nous souhaitons désormais présenter les cadres théoriques de ce travail.

Afin de définir efficacement les cadres didactiques de référence, nous faisons le choix d'aborder dans un premier temps les apports des travaux en psychologie cognitive et notamment la question des biais cognitifs. En effet, il apparaît que les biais cognitifs, que nous traiterons comme des agents perturbateurs du jugement et de la rationalité, doivent nécessairement être le lien fort entre les apports théoriques didactiques et l'esprit critique.

- (70) Dans la partie *méthodologie* nous nous attacherons à développer une ingénierie didactique dont la finalité sera de permettre le travail de compétences propres à l'esprit critique dans une classe de mathématiques. Nous prenons toutefois le parti de miser sur la complétion des apports didactiques et psychologiques pour le développement de cette ingénierie. En ce sens, la connaissance des biais cognitifs apparaît non-seulement nécessaire, mais également fondamentale aux fondations de ce travail. Cette prégnance des apports de psychologie cognitive ne doit toutefois pas être vue comme prédominante sur les apports didactiques : il convient ici d'insister sur le fait que ce travail demeure par essence un travail de recherche en didactique que des travaux de psychologie cognitive viennent toutefois fortement enrichir et compléter.

Ainsi, nous procéderons dans cette partie comme suit : il sera tout d'abord abordé la nécessité d'une connaissance approfondie et clairement définie des biais cognitifs, ce que nous nommerons « agents perturbateurs » et qui serviront de passerelles entre un enseignement conventionnel des mathématiques et l'émergence d'une réflexion critique chez les élèves. Par la suite nous nous efforcerons de discuter des apports didactiques, plus particulièrement des travaux portant sur la didactique des mathématiques, de l'orchestration instrumentale, des théories socioconstructivistes, de la théorie des situations didactiques. Pour conclure et de manière à annoncer ce qui sera par la suite présenté dans la partie méthodologie, nous reviendrons sur les apports mathématiques, techniques, et sur la justification de nos choix à propos des paradoxes mathématiques et l'intrication entre ces objets, les apports didactiques, psychologiques, et les compétences spécifiques à l'esprit critique.

3.1 Apports et travaux en psychologie cognitive

- (71) Dans cette partie, nous nous concentrerons dans un premier temps sur les travaux de Kahneman, notamment le modèle Système 1/ Système 2 qu'il a théorisé en vue d'expliquer ce qu'il nomme « les deux vitesses de la pensée » ; ceci donnera par suite lieu à une introduction aux biais cognitifs. Les travaux de Kahneman étant particulièrement denses, nous prenons ici le parti de nous concentrer essentiellement sur les caractéristiques de son modèle et les concepts clefs qui seront par la suite nécessaires au développement de la méthodologie ; nous reviendrons notamment sur les notions d'*association biaisée*, d'*amorçage*, d'*effet de Halo*, d'*évaluation primaire* et d'*heuristique de jugement*.

3.1.1 Travaux de Daniel Kahneman : les deux vitesses de la pensée

- (72) Le concept de biais cognitif a été formulé au début des années 1970 par les psychologues Daniel Kahneman et Amos Tversky pour expliquer certaines tendances à prendre des décisions irrationnelles dans le domaine économique. Dans *Système 1/Système 2*, Daniel Kahneman propose un modèle dichotomique des schèmes cognitifs propres au traitement de l'information. Il nomme ce modèle « Système 1 / Système 2 » – abrégé par la suite « S1/S2 » – qu'il décrit ainsi :

« Le Système 1 fonctionne automatiquement et rapidement, avec peu ou pas d'effort et aucune sensation de contrôle délibéré. Le Système 2 accorde de l'attention aux activités mentales contraignantes qui le nécessitent, y compris des calculs complexes. Le fonctionnement du Système 2 est souvent associé à l'expérience subjective de l'action, du choix, et de la concentration. (...) Le Système 1 produit sans effort les impressions et les sentiments qui sont les sources principales des convictions explicites et des choix délibérés du Système 2. Les opérations automatiques du Système 1 engendrent des enchaînements d'idées étonnamment complexes, mais seul le Système 2, plus lent, peut élaborer des pensées en une série ordonnée d'étapes » (**Kahneman, 2012**).

- (73) Nous proposons quelques exemples d'activités automatiques attribuées au Système 1 et celles attribuées au Système 2 par Kahneman dans le tableau 4 ci-dessous.
- (74) Les capacités du Système 1 comprennent « des compétences innées » qui nous permettent instinctivement, rapidement, et efficacement de « percevoir le monde qui nous entoure, à reconnaître des objets, orienter notre attention, éviter les pertes (...) » (**Kahneman, 2012**). Le Système 1 a appris à associer certaines idées – quelle est la capitale de la France ? – et a par ailleurs acquis des compétences comme « la lecture et la compréhension des nuances dans des situations sociales ». Le système 1 est donc le système de l'intuition et des prises de décision immédiates : « vous ne pouvez pas vous empêcher de comprendre des phrases simples dans votre propre langue, ou de vous orienter vers un bruit fort et inattendu, pas plus que vous ne pouvez-vous empêcher de savoir que $2 + 2 = 4$ ou de penser à Paris quand on parle de la capitale de la France » (**Kahneman,**

Activités attribuées au S1	Activités attribuées au S2
Détecter qu'un objet est plus éloigné qu'un autre	Se préparer au top-départ d'une course
S'orienter vers la source d'un bruit soudain	Se concentrer sur la voix d'une personne particulière dans une salle comble et bruyante
Faire une grimace de dégoût face à une image horrible	Faire appel à sa mémoire pour identifier un son surprenant
Détecter de l'hostilité dans une voix	Marcher plus vite qu'il ne vous est naturel
Résoudre $2 + 2 = ?$	Compter le nombre de fois où la lettre A apparaît dans un texte
Comprendre des phrases simples	Vérifier la validité d'un argument logique complexe
Compléter la phrase une phrase standardisée (« du pain et... »)	Rechercher un visage familier dans une foule

TABLE 4 – Exemple d'activités attribuées au Système 1 et au Système 2 selon Kahneman

2012).

(75) Les fonctions diverses du Système 2 ont un trait commun : « toutes nécessitent de l'attention et sont interrompues si cette attention est attirée ailleurs » (**Kahneman, 2012**). Le Système 2 est en partie capable de modifier la façon de fonctionner du Système 1 en « programmant les fonctions normalement automatiques de l'attention et de la mémoire » : « vous pouvez demander à votre mémoire de trouver des capitales dont le nom commence par N ou des romans existentialistes français. Et quand vous louez une voiture à l'aéroport de Heathrow, la personne au comptoir ne manquera probablement pas de vous rappeler que l'on conduit à gauche en Angleterre » (**Kahneman, 2012**). Le système 2 est celui des actions qui ne nous apparaissent pas naturelles et immédiates, celles qui nécessitent de notre part un effort relatif mais continu.

(76) Selon Kahneman, le Système 1 fonctionne automatiquement là où le Système 2 est normalement installé dans un « confortable mode mineur qui n'implique qu'une fraction de ses capacités ». Le Système 1 émet constamment des suggestions pour le Système 2 – des impressions, des intuitions, des intentions et des sentiments – qui est lui plus « paresseux, dormant ». Cette répartition des tâches entre le Système 1 et le Système 2 est extrêmement efficace car elle minimise les efforts tout en optimisant les performances cognitives. Cet arrangement est la plupart du temps très efficace au sens où le Système 1 est tout à fait adapté à sa fonction : établir des modèles de situations familières acceptables. Kahneman note que le Système 1 « se trompe aussi rarement dans ses prédictions à court terme, et ses premières réactions aux défis sont rapides et d'ordinaire appropriées » (**Kahneman, 2012**).

3.1.2 Associations biaisées, amorçage et conclusions hâtives : les travers du S1/S2

(77) Kahneman propose dans ses travaux une appropriation des mécanismes à l'origine des associations d'idées par le modèle S1/S2. A la lecture de deux mots sémantiquement très différents par exemple – « banane » et « vomir » – Kahneman propose que le Système 1 d'un observateur va, automatiquement et inconsciemment, donner du sens à ce qu'il vient de lire en reliant les termes dans une logique causale : « Le Système 1 a traité la simple conjonction de deux mots comme des représentations de la réalité. L'organisme a réagi par une réplique atténuée d'une réaction à l'événement réel, et la réaction émotionnelle et le recul physique se sont inscrits dans votre interprétation de l'événement » (**Kahneman, 2012**). Ce mécanisme bien connu est celui de l'association des idées ; ce même mécanisme que l'on retrouve mis en œuvre dans le concept behavioriste de conditionnement étudié par Pavlov.

(78) Cette idée renvoie à la notion d'amorçage, ce que nous désignons par une classe de paradigmes expérimentaux qui, grâce à la présentation préalable d'un stimulus – l'amorce – influence le traitement d'un autre stimulus – la cible –. On parle d'effet d'amorçage quand par exemple la cible est reconnue plus rapidement par les personnes exposées à l'amorce que par celles non exposées à l'amorce. Kahneman illustre ce processus par l'exemple suivant :

« Si vous avez récemment vu ou entendu le mot MANGER, vous êtes temporairement plus à même de considérer le mot incomplet PA-N comme PAIN que comme PAON. L'inverse serait vrai si c'était OISEAU que vous aviez vu juste avant. C'est ce que l'on appelle l'effet d'amorçage : l'idée de MANGER amorce l'idée de PAIN, et OISEAU amorce PAON » (**Kahneman, 2012**). Notons que cette notion d'amorçage sera essentielle au développement de l'ingénierie didactique par la suite proposée.

(79) Kahneman formule l'hypothèse que ce recours systématique à l'association d'idées et propre au Système 1 est à l'origine d'une part non négligeable d'associations biaisées et de conclusions hâtives :

« Le Système 1 fournit les impressions qui se transforment souvent en convictions, et est la source des impulsions qui, souvent, deviennent vos choix et vos actes. Il offre une interprétation tacite de ce qui vous arrive et de ce qui se passe autour de vous, rattachant le présent au passé récent et à ce que vous attendez de l'avenir proche. Il recèle le modèle du monde qui détermine votre évaluation instantanée des événements, les jugeant normaux ou surprenants. Il est la source de vos jugements intuitifs, rapides et souvent précis. Et il fait presque tout cela sans que vous soyez activement conscient de ces agissements. Le Système 1 est par conséquent, comme nous allons le voir dans les chapitres suivants, à l'origine de bon nombre des erreurs systématiques dans vos intuitions » (**Kahneman, 2012**).

- (80) Parmi ces erreurs intuitives systématiques se trouvent les conclusions hâtives : un mécanisme cognitif efficace mais trompeur. Les conclusions hâtives s'avèrent efficaces si « elles sont correctes et que le coût d'une erreur occasionnelle n'est pas prohibitif, et si elles permettent d'économiser du temps et des efforts ». Cependant Il peut s'avérer risqué de tirer des conclusions hâtives dans une situation qui n'est pas familière, dont les enjeux sont élevés, et où on ne dispose pas d'assez de temps pour rassembler davantage d'informations. Kahneman note que c'est dans ces circonstances que « les erreurs intuitives sont probables, ce qui peut être évité par une intervention délibérée du Système 2 ».
- (81) Ainsi Kahneman considère ce mécanisme de mésinterprétation cognitive du Système 1 comme un perturbateur du jugement et de la rationalité : c'est ainsi le précurseur de ce que le psychologue nomme par la suite un biais cognitif. Il propose d'illustrer son propos par l'expérience immédiate suivante :

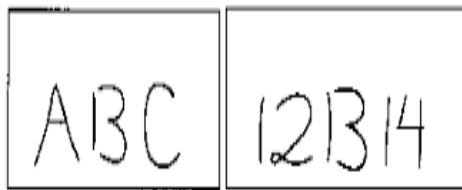


FIGURE 4 – Une expérience de mésinterprétation cognitive par Kahneman

Les deux éléments de la figure 4 ont la particularité d'être tous ambigus. Un observateur aura sûrement lu l'élément de gauche comme « A B C » et celui de droite comme « 12 13 14 ». Et pourtant les éléments centraux de ces éléments sont identiques, de telle manière que l'observateur aurait également pu lire : « A 13 C » ou « 12 B 14 ». La même forme peut être lue comme une lettre dans un contexte de lettres et comme un chiffre dans un contextes d'une énumération de chiffre : « l'ensemble du contexte permet de déterminer l'interprétation de chaque élément ».

3.1.3 Effet de halo de Thorndike et nécessité de croyance de Daniel Gilbert

- (82) Les apports du modèle S1/S2 de Kahneman trouvent échos dans deux travaux majeurs qui apportent une connaissance supplémentaire des biais cognitifs : il s'agit de l'effet de Halo théorisé par Thorndike en 1920 et du besoin de croire avant de comprendre suggéré par Daniel Gilbert en 1991.

Dans l'article *How Mental Systems Believe* publié dans *American Psychologist*, Daniel Gilbert développe une *théorie de la croyance et l'incroyance* et avance le fait qu'avant de comprendre une déclaration il faut commencer par la croire : « vous devez d'abord savoir ce que l'idée signifierait si elle était vraie. C'est seulement alors que vous pouvez décider ou non de ne pas la croire » (Kahneman, 2012).

(83) Kahneman attribue cette tentative première de croire comme une opération automatique du Système 1 qui implique l'élaboration de la meilleure interprétation possible de la situation. Gilbert soutient que, même une déclaration absurde « suscitera au départ une certaine conviction ». Pour le psychologue, le fait de ne pas croire est une opération du Système 2 : « quand le Système 2 est occupé ailleurs, nous sommes prêts à croire presque n'importe quoi ». Kahneman attribue une certaine crédulité au Système 1 qui a « tendance à croire ». C'est alors le Système 2 qui se charge de douter et de ne pas croire, toutefois « il lui arrive parfois d'être indisponible ». Cette conclusion semble selon Kahneman expliquer le fait qu'un observateur soit susceptible d'être influencés par des messages persuasifs mais vide de sens.

(84) L'effet de Halo théorisé par Thorndike apporte de même de la consistance au S1/S2. L'effet de Halo est la disposition à ce qu'un jugement positif (ou négatif) à propos d'une personne ou d'une collectivité ait tendance à rendre plus positives (ou négatives) les autres caractéristiques de cette personne ou communauté et ce même sans les connaître. Kahneman considère l'effet de Halo comme un mécanisme fondamental au Système 1 : « c'est entre autres ce qui fait que la représentation du monde développée par le Système 1 est plus simple et plus cohérente avec la réalité ».

En d'autres termes, il ressort pour Kahneman, de la combinaison de ces travaux, que « la combinaison d'un Système 1 en quête de cohérence et d'un Système 2 paresseux implique que le Système 2 approuvera beaucoup de convictions intuitives qui reflètent étroitement les impressions engendrées par le Système 1 ».

3.1.4 Évaluations primaires et fondements de l'approche de l'heuristique et des biais

(85) Nous souhaitons enfin, avant d'aborder le bilan des caractéristiques du Système 1 puis les biais cognitifs, apporter un éclairage sur ce que Kahneman nomme *évaluations primaires*, qui sont fondamentales à l'explicitation des biais et qui comme nous le verrons par la suite, trouverons un intérêt notable dans la combinaison des apports psychologiques et didactiques.

(86) Le Système 2 « reçoit les questions ou les produit » : en somme, il gère l'attention et la mémoire pour y répondre. Le Système 1 quant à lui, surveille constamment ce que l'environnement extérieur renvoie comme informations à un observateur, il « produit en continu des évaluations de divers aspects de la situation sans intention précise et presque sans effort », ce que Kahneman nomme des « évaluations primaires ». Ces évaluations primaires jouent un rôle premier dans le jugement intuitif car « elles se substituent facilement à des questions plus difficiles », ce qui est l'idée fondamentale derrière chaque biais cognitif.

Les évaluations primaires portent sur le degré de similarité et de représentativité, les relations de causalité ou encore les associations d'idées ou modèles disponibles : « elles sont effectuées même en l'absence d'une série de tâches spécifiques, bien que leurs résultats soient utilisés pour répondre à des tâches précises quand elles se présentent » (**Tverskyet, Kahneman, 1983**).

- (87) Pour Kahneman, ces évaluations primaires rendent le Système 1 parfaitement adapté à la réalisation immédiate de certaines tâches *a priori* complexes, comme l'estimation d'une moyenne. Il illustre son propos par l'expérience immédiate suivante :

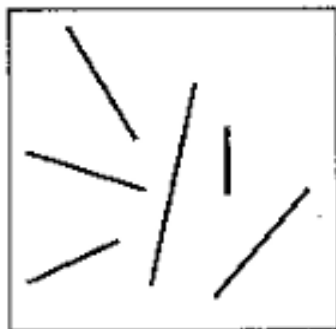


FIGURE 5 – Une expérience pour illustrer les limites du S1 par Kahneman

Il est demandé à un observateur dans un premier temps d'estimer la longueur moyenne des droites de la figure. Selon Kahneman « le Système 1 sait produire une estimation, automatiquement et sans effort, tout comme il enregistre la couleur des droites et le fait qu'elles ne sont pas parallèles ». Toutefois, s'il est maintenant demandé au même observateur « quelle est la longueur totale des droites de la figure 8? » le Système 1 n'a ici aucune suggestion à faire. Cette expérience illustre en fait l'importante limite du Système 1 : en effet celui-ci « représente les catégories par un prototype ou une série de modèles typiques, il se tire bien des moyennes, mais mal des sommes ». La taille de la catégorie et le nombre d'exemples qu'elle contient sont généralement ignorés dans les jugements dans ce que Kahneman nomme des *variables de type somme*.

- (88) Ce constat conduit Kahneman à définir ce qu'il nomme *heuristique* est qu'il décrit comme une procédure simple qui revêt à nouveau un caractère d'immédiateté et qui permet de trouver des réponses adéquates, bien que souvent imparfaites, à des questions difficiles :

« Voici une façon simple de décrire comment nous développons des opinions intuitives sur des sujets complexes. Quand on ne trouve pas rapidement une réponse satisfaisante à une question complexe, le Système 1 va trouver une question proche qui sera plus facile et y répondra. J'appelle substitution cette opération qui consiste à répondre à une question à la place d'une autre. J'adopte également par la suite les termes suivants : la question cible est la question posée, l'évaluation que vous avez l'intention d'effectuer pour y répondre ;

la question heuristique est la question plus simple à laquelle vous répondez à la place » (**Kahneman, 2012**).

- (89) Une expérience de Fritz Strack, Leonard Martin et Norbert Schwarz expliquée dans l'article *Priming and Communication : Social Determinants of Information Use in Judgments of Life Satisfaction* (**Strack, Martin et Schwarz, 1988**) fournit un exemple remarquable de ce phénomène de substitution. L'article propose l'expérience suivante :

Des étudiants allemands participent à une enquête pour laquelle ils sont invités à répondre aux deux questions suivantes et dans cet ordre précis :

➤ (1) Etes-vous heureux ces temps-ci ? ➤ (2) Combien de fois êtes-vous sorti le mois dernier ?

Les expérimentateurs s'intéressent ici à la corrélation entre les deux réponses ; la question en jeu est la suivante : « Les étudiants qui diraient être sortis plusieurs fois s'estimeraient-ils plus heureux que ceux qui n'avaient pas eu autant de rendez-vous ? ». Les résultats semblent suggérer que non, la corrélation entre les réponses étant proche de zéro, c'est-à-dire négligeable.

Un second groupe d'étudiants est alors invité à répondre aux mêmes questions. Toutefois, l'ordre des questions est cette fois inversé :

➤ (1) Combien de fois êtes-vous sorti le mois dernier ? ➤ (2) Etes-vous heureux ces temps-ci ?

Les résultats sont cette fois différents : l'analyse des réponses révèle un indice de corrélation de 0,66, ce qui dans le domaine des corrélations psychologiques est un résultat significativement fort.

Cette expérience suggère que les réponses fournies à la première question ont une influence concrète sur les réponses apportées aux prochaines questions. La question 1 fait ici office d'amorce : le Système 1 de l'enquête apporte une réponse formatée et apprêtée : les étudiants « avaient tous encore à l'esprit l'émotion suscitée par la question sur les rendez-vous quand on leur a posé celle, plus générale, sur leur bonheur (...). Ainsi, dans le second questionnaire, les étudiants ont substitué la question pour laquelle ils avaient une réponse toute prête à celle qu'on leur posait » (**Strack, Martin et Schwarz, 1988**).

- (90) Kahneman suggère en ce sens que toute question significative sur le plan émotionnel est susceptible d'altérer l'humeur et le jugement d'une personne : « l'état d'esprit du moment a un rôle écrasant quand les gens s'interrogent sur leurs émotions ». En d'autres termes, quand des émotions sont en jeu, les conclusions prennent davantage le pas sur la réflexion, c'est ce que le psychologue Paul Slovic nomme *heuristique de l'affect* : « quand les gens laissent ce qu'ils aiment ou détestent déterminer leurs convictions sur le monde

qui les entoure » (Slovic, 2004).

Il conviendra ainsi par la suite de retenir cette terminologie proposée Kahneman, notamment pour proposer une étude à priori du comportement des élèves en réponse aux pratiques que nous tenterons de faire vivre dans les classes de mathématiques. Ces notions d'amorçage, d'association d'idées, d'évaluation primaire, d'heuristique, de substitution et d'heuristique de l'affect seront par la suite essentielles pour comprendre le concept de biais cognitif développé par Kahneman et trouverons un écho plus spécifique dans le développement de la partie méthodologie.

3.1.5 Les caractéristiques du Système 1 : bilan

- (91) En nous appuyant des travaux de Kahneman, nous retiendrons ainsi pour la suite de ce travail *ces deux vitesses de la pensées* et plus particulièrement les caractéristiques attendantes au Système 1, celui-ci étant à l'origine des mésinterprétations, des raisonnements fallacieux, et des évaluations primaires. Nous proposons ici une synthèse exhaustive des caractéristiques du Système 1 telles qu'énoncée par Kahneman :

« Caractéristiques du Système 1 :

- Il produit des impressions, des sentiments et des inclinations qui, quand ils sont approuvés par le Système 2, deviennent des convictions, des attitudes et des intentions.
- Il fonctionne automatiquement et rapidement, presque sans effort, et aucun sentiment de contrôle délibéré.
- Il peut être programmé par le Système 2 pour mobiliser l'attention quand un schéma particulier est détecté.
- Il fournit des réactions et des intuitions compétentes après un entraînement spécifique.
- Il crée un schéma cohérent d'idées activées dans la mémoire associative.
- Il attache une sensation d'aisance cognitive à des illusions de vérité, des sentiments agréables et une vigilance réduite.
- Il distingue ce qui est surprenant de ce qui est normal.
- Il déduit et invente des causes et des intentions.
- Il néglige l'ambiguïté et supprime le doute.

- Il est biaisé pour croire et confirmer (travaux de Gilbert).
 - Il exagère la cohérence émotionnelle (effet de Halo).
 - Il se concentre sur les preuves existantes et ignore les preuves manquantes.
 - Il produit une série limitée d'évaluations primaires.
 - Il représente les séries par des normes et des prototypes.
 - Il établit des équivalences sur des échelles de mesure différentes (ex. : la taille et l'intensité).
 - Il calcule plus que nécessaire (décharge mentale).
 - Il substitue parfois une question facile à une autre plus difficile (heuristique).
 - Il est plus sensible aux changements qu'aux états (théorie de la perspective).
 - Il surestime les probabilités faibles
 - Il se montre de moins en moins sensible à la quantité (psychophysique).
 - Il réagit plus fortement aux pertes qu'aux gains (aversion à la perte).
 - Il encadre étroitement les problèmes de décision, en les isolant les uns des autres.»
- (Kahneman, 2012)**

3.1.6 Les biais cognitifs

- (92) Rappelons que l'objectif de cette partie est de centrer notre attention sur la compréhension de certains biais cognitifs : leurs causes, leurs conséquences. Cette appréhension des biais cognitifs doit être le lien fort avec la nécessité d'un usage de l'esprit critique. Nous chercherons par la suite à utiliser ces biais comme des vecteurs de mésinterprétation ou des marqueurs d'irrationalité. Nous souhaitons ici nous donner les outils nécessaires pour repérer les moments où la démarche cognitive de l'apprenant s'inscrit dans le registre de la croyance – le biais –, et les moments où celle-ci s'inscrit dans le registre de la rationalité. Le choix, l'usage et la connaissance de ces biais sera approfondi lors de l'analyse a priori de la partie méthodologie de ce travail. Nous nous contentons ici d'une présentation succincte des biais qui apparaissent les plus pertinents dans le cadre cette étude et des travaux qui les ont mis en évidence.

➤ Le biais d'ancrage :

- (93) Le biais d'ancrage est défini par Kahneman comme une heuristique ancrage-ajustement qui donne lieu à un effet d'ancrage, effet qui survient lui-même quand des gens considèrent une valeur particulière avant d'estimer une quantité inconnue. En d'autres termes le biais d'ancrage désigne la difficulté que l'on rencontre à se départir de sa première impression, de telle manière que les données initiales d'une situation ou d'un problème semblent s'imposer comme nécessaires et essentielles pour décrire ou résoudre un problème.

Dans un article de référence *Judgement under Uncertainty : Heuristics and Biases* publié en 1974 par Tversky et Kahneman, les deux psychologues y présentent une expérience illustrant ce biais : les sujets sont invités à tourner une roue de la fortune truquée. Ils reçoivent alors un pourcentage : soit 10 % soit 65 %. Par suite, ils doivent alors évaluer si le pourcentage reçu est inférieur ou supérieur à celui du nombre de pays africains représentés aux Nations Unies. Enfin, les participants doivent formuler une estimation de ce pourcentage.

Les résultats de l'expérience montrent que l'estimation est influencée par le pourcentage initialement fourni par la roue de la fortune, de telle manière qu'on remarque que les participants se sont basés sur celui-ci pour répondre : ce nombre a été l'ancre de leur estimation. L'estimation de ceux dont l'ancre était de 10 % tournait autour de 25 % tandis que l'estimation de ceux qui avaient reçu 65 % était aux alentours de 45 %.

Le biais d'ancrage apparaît en somme comme un mécanisme contraignant la réflexion d'un individu en la forçant à se focaliser sur une première information ou une première valeur de telle sorte qu'elle n'arrive plus, par la suite, à apprécier et prendre en considération les nouvelles informations, les nouvelles valeurs ou à envisager d'autres choix.

Notons en particulier qu'une étude de H. D. Smith conclut que ce biais d'ancrage est particulièrement prégnant chez les enfants amenés à manipuler des nombres, il conclut notamment d'une étude de 1999 :

« Results indicate that children in grades 4, 6, 8 and adults are affected by the order of numbers provided in an addition task. In addition, younger children display the tendency to over adjust, yielding higher estimates. In the second study, third and fifth grade participants and adults were provided anchors and estimated the number of jellybeans in a glass container. A main effect for condition is indicated, with lower anchors leading to lower estimates. Results of both studies are consistent with the an anchoring and adjustment explanation ».

➤ Le biais de confirmation :

- (94) Le biais de confirmation d'hypothèse est probablement en tête des biais qui nous sont les plus difficiles à percevoir et à admettre : celui-ci consiste à privilégier les informations confirmant nos idées préconçues, nos hypothèses, à accorder moins de poids aux hypothèses et informations jouant en défaveur de nos conceptions. Il se manifeste par l'attachement à une hypothèse et par une argumentation forte, répétitive, fallacieuse, qui vise à la confirmation de cette hypothèse. Un individu sous influence du biais de confirmation, au-delà de chercher par tous les moyens à confirmer son hypothèse, cherchera également à infirmer des hypothèses contradictoires à la sienne, ou à n'y prêter aucune considération. En somme, ce biais consiste à accorder plus de poids aux preuves qui confirment des croyances, contribuant donc à un excès de confiance dans celles-ci et à leur renforcement, et ce même devant des preuves qui les infirment.

L'expérience psychologique suivante a été dupliquée et amène à des résultats tout-à-fait similaires, elle illustre convenablement cette tendance naturelle à focaliser son attention sur ce qui vient confirmer nos convictions personnelles (**Lord, Ross & Lepper 1979, Oswald & Grosjean 2005**). Dans cette expériences, les participants à l'étude sont invités à lire deux rapports fictifs sur les effets de la peine de mort sur les taux de meurtre dans différents états américains. Les deux rapports présentent des conclusions contraires et des résultats contradictoires :

(1) Le premier rapport assure que les effets de la peine de mort sur le taux de meurtre sont positifs.

(2) Le second affirme que les effets de la peine de mort sur le taux de meurtre sont négatifs.

Au travers de chacun des rapports, les faiblesses de l'étude réalisée sont mises en évidence, de manière égale et malgré tout, les participants en viennent systématiquement à utiliser les travaux de manière à confirmer leurs opinions initiales, ne prêtant attention qu'aux résultats du travail qui les confirme. Au-delà même de ne considérer que le rapport qui abonde dans leur sens, il se trouve même que les résultats présentés dans le travail qui infirment leurs opinions sont généralement considérés comme faibles. Cette expérience est une illustration assez parlante de la manifestation du biais de confirmation chez les participants : cette tendance à ne prêter attention qu'aux données qui confirment une hypothèse de départ, en l'occurrence les opinions initiales des participants, et à ignorer les données qui la contredisent.

➤ Le biais de cadrage :

- (95) La notion de cadrage a été explorée notamment par Tversky et Kahneman (1981) et mise en évidence dans une expérience restée célèbre. Le biais de cadrage suppose que la manière de présenter un problème ou un sujet n'est pas sans conséquence sur le raisonnement qui en découle. Il désigne l'influence que peut avoir la formulation d'une question ou d'un

problème sur la réponse qui y est apportée.

Dans cette expérience, deux groupes de personnes sont soumis à l'étude de Tversky et Kahneman. Chacun des deux groupes doit prendre une décision à propos d'une maladie fictive qui pourrait causer la mort de 600 personnes touchées. Dans le premier groupe, deux solutions sont présentées aux sujets :

(A) La première solution permet de sauver 200 personnes de manière sûre.

(B) La seconde solution offre 33% de chances de sauver 600 personnes, toutefois il y a également un risque de 66% qu'elle ne sauve personne.

Dans le second groupe, les deux solutions sont également présentées, en revanche leurs formulations respectives sont modifiées :

(A) La première solution provoque la mort de 400 personnes de manière sûre.

(B) La seconde solution offre 33% de chances que personne ne meure, toutefois il y a également un risque de 66% que tout le monde meure.

Quel que soit le groupe étudié et quelle que soit la solution retenue, le nombre de survivants attendu est le même dans les deux options, soit 200 personnes. Or, bien que l'espérance mathématique soit la même dans les quatre cas et que les deux solutions soient équivalentes, la décision diffère selon la formulation. Dans le premier groupe, 72 % des sujets ont ainsi choisi l'option A, à cause du risque de ne sauver personne dans l'option B, et dans le second groupe, 78 % des sujets ont choisi l'option B, bien que les probabilités de survie soient strictement les mêmes dans les 4 cas : la formulation d'une question influence la réponse.

➤ Le biais de conformisme :

- (96) Le biais du conformisme correspond à l'adoption d'une attitude en accord avec ce qui est attendu d'un individu ou d'un groupe dans une situation donnée. L'individu se conformer, cherche à ne pas dévier de la norme admise, à agir de façon différente de ce qui est attendu. Autrement dit, le biais de conformisme est celui qui nous pousse à penser et agir comme les autres le font dans un contexte donné.

Au travers des relations qu'entretiennent la cible et la source, Kelman (1958) met en évidence trois formes de conformisme :

Le conformisme par complaisance émerge dans les relations de pouvoir où il est préférable pour l'individu de se conformer afin de préserver l'approbation du groupe. Il s'agit selon Kelman d'une influence superficielle où l'individu souhaite éviter de se faire remarquer en donnant une réponse qui va à l'encontre de l'avis général. Le rapport au pouvoir est

un paramètre particulièrement important pour ce type de conformisme.

Le conformisme par identification résulte du souhait de l'individu à vouloir entretenir des relations positives avec le groupe auquel il appartient : il cherche à se faire accepter. Dans ce cas de figure le changement d'attitude apparaît plus durable et peut s'exprimer même en dehors du groupe.

Enfin, le conformisme par intériorisation intervient lorsque la source de l'argument auquel l'individu est tenté de se conformer est hautement crédibilisé et considérée comme experte. Dans ce cas de figure, Kelman suggère que le sujet intériorise le message dans système de valeur, ce qui rend le changement d'attitude durable et conduit à une totale conversion à la norme.

L'expérience de Asch est un exemple bien connu d'illustration du biais de conformisme. En 1956, le psychologue invite une dizaine de jeunes participants (de 17 à 25 ans) à participer à un *test de vision* auquel avaient auparavant été soumis des sujets témoins qui n'eurent aucun mal à donner toujours la bonne réponse. 9 des 10 participants sont en réalité des complices de Asch, le dixième, est le *sujet naïf*, celui dont le comportement est analysé en réponse à celui des complices. Les complices et le sujet sont assis dans une pièce commune, il leur est demandé d'évaluer la longueur de plusieurs lignes tracées sur une série d'affiches. À gauche, une ligne modèle, et à droite, 3 autres lignes :



FIGURE 6 – Expérience de Asch

Chacun leur tour, les participants devaient alors dire à haute voix laquelle de ces 3 lignes sur la droite était égale à la ligne modèle de gauche. Au début de l'expérience – c'est-à-dire aux 6 premiers essais – les complices avaient pour consigne de donner les bonnes réponses, mais lors des 12 autres, de donner unanimement la même fausse réponse. *Le sujet naïf* devait également être l'avant-dernier à répondre. Les résultats de cette expérience ont montré que la plupart des sujets répondaient correctement sans influence extérieure. Toutefois, un nombre suffisamment significatif d'individus (37 % d'entre eux) finissait par se conformer aux mauvaises réponses soutenues à l'unanimité par les complices. Certains cas mentionnent également des sujets amenés à soutenir des réponses allant contre l'évidence et contre leur propre point de vue, allant par exemple jusqu'à affirmer que deux lignes avaient la même longueur alors que l'écart était très visible. Ce biais du conformisme nous apparaît fondamental pour étudier l'interaction entre les élèves d'un même groupe, mais également entre les groupes d'une même classe.

➤ L'effet boomerang :

- (97) L'effet boomerang a été mis en évidence expérimentalement par Kiesler, Mathog, Pool & Howenstine. Lorsque les tentatives de persuasion ont l'effet inverse de celui attendu on parle d'effet Boomerang : les croyances initiales sont renforcées face à des preuves pourtant contradictoires. En ce sens, l'effet boomerang s'inscrit dans le prolongement du biais de confirmation : des preuves rentrant frontalement en contradiction avec une hypothèse ne seront non seulement pas considérées, mais elles seront même réinterprétées pour confirmer l'hypothèse initiale. Une conjugaison avec l'effet boomerang s'observe le plus souvent chez les fervents défenseurs de la théorie du complot. Un parallèle peut également être tracé entre l'effet boomerang et la réactance psychologique. La réactance est un mécanisme de défense psychologique mis en œuvre par un individu qui tente de maintenir sa liberté d'action lorsqu'il la croit ôtée ou menacée (**Steindl, Jonas et Al, 2015. Brehm, 1966**). Cette réactance est d'autant plus forte que l'individu se sent poussé à croire ou faire quelque chose contre son grès.

Au cours de l'expérience de Kiesler, Mathog, Pool & Howenstine, des participantes sont invitées à signer une pétition en faveur d'une meilleure communication sur les moyens contraceptifs dans les lycées. Par la suite, elles sont alors exposées à brochure anti-contraception, et donc diamétralement opposée à la première pétition.

Les personnes exposées la brochures anti-contraception se sont majoritairement déclarées plus favorables à la mise en place d'une information sur le sujet que celles n'ayant pas reçu la brochure. La brochure anti-contraception, au lieu de produire un changement d'attitude, a semblerait-il renforcé les attitudes des récepteurs.

➤ L'effet de faux consensus :

- (98) L'effet de faux consensus est défini par Ross, Greene, et House (1977). Il peut être défini comme une tendance à surestimer le nombre d'individus d'un groupe qui partagent nos opinions, nos croyances, nos hypothèses ou qui plus simplement agissent et pensent comme nous. L'effet de faux consensus tend à nous faire croire que nos opinions sont beaucoup plus communes qu'elles ne le sont en réalité.

Dans une série de quatre études, Ross et ses collaborateurs ont supposé puis démontré que les individus ont tendance à surestimer la popularité de leurs propres croyances et préférences. Au travers de chacune de ces études, des *évaluateurs* étaient invités à prédire la popularité de leur opinion, sur un sujet donné, auprès d'autres participants nommés *acteurs*. Ces expériences ont par la suite révélé un *a priori* fort des individus *évaluateur* à surestimer leur degré d'accord avec les *acteurs*. De même, Ross fait état des prédictions extrêmes au sujet de la personnalité des *acteurs* qui ne partagent pas la préférence de l'*évaluateur*, une réponse alternative des *acteurs* étant alors perçue comme un signe distinctement négatif par les *évaluateurs*. Le biais de faux-consensus apparaît dans des groupes de discussion dans lesquels l'opinion collective est la même que celle des individus dans le groupe : par un phénomène de généralisation, les individus du groupe

en viennent alors à croire qu'une grande partie de la population partage ses opinions. De fait, lorsque les membres du groupe sont parvenus à un consensus interne, ils se trouvent rarement confrontés à un individu qui conteste ce consensus et ont donc tendance à croire toutes les croyances internes au groupe. En d'autres termes, il s'agit d'un déni des lois de probabilité couplé à une forme de biais égocentrique – s'attribuer plus de responsabilité par rapport aux résultats d'une action conjointe – ou l'individu part d'un constat personnel pour en tirer une règle générale qu'il suppose faire consensus au sein de son groupe.

3.2 Apports et travaux en didactique

- (99) Nous nous intéressons dans ce travail à deux modes de construction du savoir : un mode intrapersonnel, qui repose sur l'introspection de l'individu, et un mode interpersonnel, où le savoir a pour source les agissements et interactions entre les individus.

Ces deux niveaux de construction du savoir apparaissent fondamentaux lorsque l'on souhaite analyser et comprendre la vie d'une classe. La construction du savoir ne saurait en effet être réduite à un seul de ses modes : l'apprentissage via d'une interaction entre le sujet et son environnement (Piaget) mais également des interactions sociales entre le sujet et autrui (Vygotsky). Dès lors, nous postulons que l'apprentissage repose en partie sur la construction de schèmes et l'organisations d'invariants d'action. Ces schèmes peuvent être associés à des artefacts, qui deviennent alors instruments d'enseignement. Toutefois, nous souhaitons aussi ne pas négliger l'interaction entre les individus, ce qui, dans un souci de construction de l'esprit critique, nous apparaît fondamental : c'est en se confrontant aux croyances et aux conceptions d'autrui que nous pouvons aiguïser notre scepticisme.

Ce travail souhaite s'inscrire dans une démarche à la frontière des théories constructivistes et socio-constructivistes, en particulier les travaux de Piaget, Vygotsky, Doise et Mugny nous apparaissant fondamentaux. Nous souhaitons dès lors aborder la construction des savoirs relatifs à l'esprit critique sous deux aspects complémentaires :

➤ Le mode intrapersonnel, reposant sur les aptitudes de l'élève à s'investir dans une démarche d'introspection, à identifier ses sentiments, ses *a priori*, à analyser sa manière de penser, être capable de rétrospection sur ses comportements et ses émotions. Nous postulons que ce mode d'apprentissage repose en partie sur la construction de schèmes pouvant être associés à des artefacts qui deviennent alors instruments d'enseignement. Nous traiterons ce premier aspect en nous appuyant sur les travaux constructivistes de Piaget et la théorie des champs conceptuels de Gérard Vergnaud ainsi que les apports théoriques de la *genèse instrumentale* de Pierre Rabardel.

➤ Le mode interpersonnel, qui repose sur l'intelligence collective ou sociale et les bénéfices qu'elle apporte à l'individu. Elle amène l'élève à constater les différences de caractère, de nature, d'*a priori*, de conceptions, de comportements entre les individus et permet l'éveil de certaines aptitudes : l'empathie, la nécessité de coopération, la tolérance. Nous postulons que ce mode d'apprentissage s'appuie sur la confrontation entre les conceptions divergentes des élèves et les conflits socio-cognitifs. Nous tenterons une mise en perspective en nous appuyant sur les travaux de Brousseau et la théorie des situations didactiques, quelques éléments de la théorie socioculturelle de Vygotsky et conclurons par les travaux de Doise et Mugny.

3.2.1 Construction intrapersonnelle des savoirs

➤ Le schème piagétien, porte d'entrée vers l'autonomisation de la pensée :

(100) Comme nous avons pu le constater dans l'analyse des programmes du cycle 3, l'autonomie de la pensée est l'un des objectifs forts des apprentissages relatifs à l'esprit critique ; celle-ci suppose une connaissance aigüe de soit même : l'élève doit savoir faire preuve d'introspection, être capable d'identifier ses aprioris et ses préjugés, analyser sa manière de penser, mettre des mots sur ses comportements. Ces compétences supposent une construction tout à fait personnelle du savoir, l'élève construit et enrichi le système de pensée qui lui est propre et s'avance, de part cet enrichissement et cette connaissance approfondie de lui-même, vers l'autonomie de sa pensée : il élabore ainsi son propre système de valeurs, pouvant le réagencer, l'optimiser ou le parfaire à volonté. Suivant la théorie piagétienne de l'apprentissage, cela suppose l'apprentissage comme le résultat d'une interaction entre le sujet et son environnement. En ce sens, nous postulons que l'élève développe des schèmes – au sens piagétien du terme – en réponse aux raisonnements fallacieux, nous le nommerons par la suite *schème du scepticisme* : « Un schème est la structure ou l'organisation des actions telles qu'elles se transfèrent ou se généralisent lors de la répétition de cette action en des circonstances semblables ou analogues » (Piaget, 1966).

(101) Dans la théorie piagétienne de l'apprentissage, lorsque le sujet apprenant est confronté à des stimuli dans une situation donnée, il active certaines structures cognitives de manière à traiter ces stimuli en leur apportant une réponse qui, dans des situations similaires, a déjà fait ses preuves. Les travaux de Piaget tendent à décrire différents stades dans le développement cognitif de l'apprenant, les principaux étant : le stade sensori-moteur, le stade pré-opératoire, le stade des opérations concrètes et le stade des opérations formelles. Le développement de la connaissance chez l'apprenant s'appuie sur des actions sensori-motrices, des réflexes intellectuels qui sont intériorisées à travers l'accès à la fonction symbolique, c'est-à-dire à la capacité de représenter des actions ou des objets concrets par des symboles. Le passage du concret à sa représentation symbolique se construit alors progressivement au travers de différents stades caractérisés d'abord par la mise en œuvre d'opérations concrètes puis par celle d'opérations abstraites faisant appel à des représentations formelles. Au cycle 3, nous nous intéressons ainsi plus particulièrement au stade des opérations concrètes (7 à 12 ans) :

« A ce stade, l'enfant acquiert une mobilité croissante au niveau de ses structures mentales et de ses réflexions. Ses réflexions deviennent plus subtiles. Il peut désormais envisager d'autres points de vue que les siens (par exemple, il va comprendre qu'un chevalier du moyen-âge ne pouvait pas comprendre ce que signifie les mots *téléphone* ou *internet*). Il procède également à ce que Piaget nomme des "opérations mentales" (par exemple il peut faire une addition dans sa tête, ce qui suppose une capacité d'abstraction qu'un enfant de 4 ans ne pourrait pas avoir). Cependant, les raisonnements ont encore besoin d'un support concret. Il est plus facile, par exemple, d'utiliser des pièces ou des jetons pour comprendre le mécanisme de la multiplication même s'il peut apprendre la "cantine" des

tables de multiplication par cœur. Ce besoin de passer par un support concret, pratique et manipulable est important dans l'acquisition des apprentissages scolaires en primaire. » (Joly, 2019). Ainsi, le stade des opérations concrètes est celui qui portent directement sur les objets (Piaget, *L'épistémologie génétique*, p. 44).

- (102) De même, pour Piaget, l'apprentissage – c'est-à-dire le développement des schèmes opératoires – est le résultat d'un processus dynamique de recherche d'équilibre entre le sujet et son environnement, où l'apprenant passe d'une phase d'assimilation à une phase d'accommodation du savoir.

La phase d'assimilation correspond au processus par lequel une réalité extérieure est intégrée à un schème. Autrement dit, l'apprenant transforme les éléments provenant de son environnement pour pouvoir les incorporer à sa structure cognitive. La phase d'accommodation intervient lorsque l'objet ou la situation à l'épreuve de l'apprentissage résiste : l'accommodation entraîne alors une modification de la structure cognitive de l'individu de manière à permettre l'intégration des éléments faisant l'objet de l'apprentissage. Dans ce cas, c'est donc le sujet apprenant qui est transformé par son environnement.

- (103) Cette logique de construction du savoir nous apparaît intrapersonnelle en cela quelle se focalise sur le sujet et son rapport à un objet ou une situation d'apprentissage. Le rapport aux autres n'est pas central dans la théorie piagétienne de l'apprentissage : l'apprentissage consiste en une adaptation de nos schèmes de pensée à de nouvelles données du réel. La construction des savoirs dépend des structures cognitives préexistantes du sujet – l'assimilation – et des objets perçus dans l'environnement – accommodation –, l'autorégulation entre les structures cognitives existantes du sujet et la transformation de ces structures pour l'adaptation à des situations extérieures donne ainsi lieu à l'équilibration : là où l'assimilation consiste à interpréter les nouveaux événements à la lumière de schèmes de pensée préexistants, l'assimilation est synonyme d'intégration, d'intériorisation ou d'appropriation cognitive.

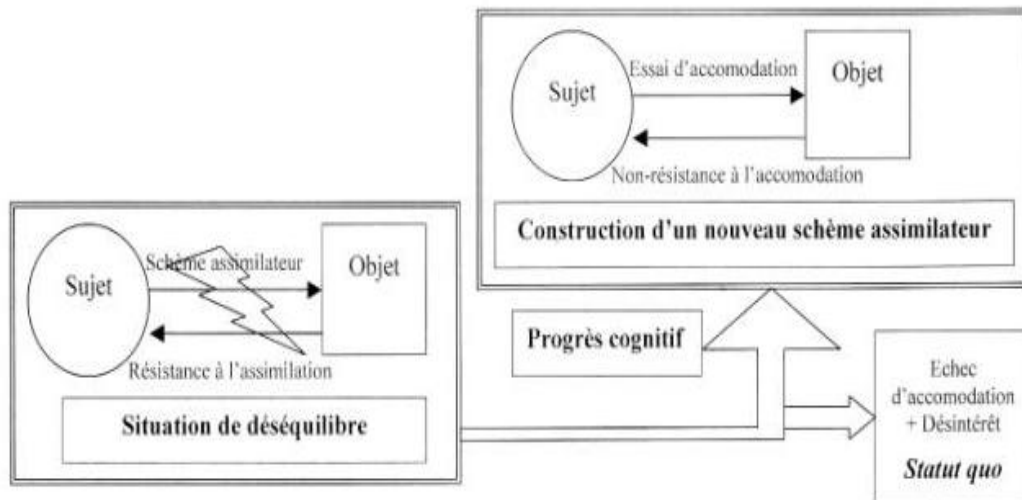


FIGURE 7 – Assimilation et accommodation, deux processus d'autonomisation de la pensée

- (104) Nous pouvons ainsi voir un schème comme une réponse personnelle apportée à une classe de situation : l'apprentissage est le résultat de l'articulation entre des structures mentales déjà présentes et l'expérience personnelle. Un schème se construit au niveau de l'individu, par son rapport au monde, par son expérience. Nous souhaitons dès lors approfondir cette notion de schème, centrale dans la théorie piagétienne de l'apprentissage. Pour cela, nous nous intéressons aux travaux de Gérard Vergnaud et à la théorie des champs conceptuelles, fortement influencée par les travaux de Piaget. En particulier, nous verrons que la notion de schème, qui également centrale dans la théorie de Vergnaud, est une notion clef pour appréhender au mieux l'appropriation intrapersonnelle des savoirs relatifs à l'esprit critique.

Notons par ailleurs que le stade des opérations concrètes, celui qui porte directement sur les objets, qui nécessite des supports concrets pour appuyer le raisonnement des élèves, est un point clef de ce travail. En effet, c'est une des raisons pour laquelle nous tâcherons par la suite de développer des supports de travail tangibles, et c'est également pour cette même raison que nous aborderons la théorie de la genèse instrumentale de Rabardel.

➤ Le schème du scepticisme : vers l'autonomie de la pensée :

- (105) La théorie des champs conceptuels est une « théorie cognitive, qui vise à fournir un cadre cohérent et quelques principes de base pour l'étude du développement et de l'apprentissage des compétences complexes, notamment de celles qui relèvent des sciences et des techniques » (Vergnaud, 1996, p. 197).

Vergnaud définit le développement cognitif comme celui d'un grand répertoire de schèmes affectant différents aspects de l'activité d'un individu. A travers ses expériences l'individu s'adapte à des situations et l'organisation d'une activité évolue en s'adaptant : les schèmes

sont construits et modifiés au travers du développement des formes d'organisation d'une activité (gestes, compétences, interactions, activités langagières, affectivité).

- (106) La notion centrale de schème est ici empruntée à Piaget : « À chaque instant, [...] l'action est déséquilibrée par les transformations qui surgissent dans le monde, extérieur ou intérieur, et chaque conduite nouvelle consiste non seulement à rétablir l'équilibre, mais encore à tendre vers un équilibre plus stable que celui de l'état antérieur à cette perturbation » (**Piaget, 1950**). Vergnaud définit en ce sens le schème comme une « organisation invariante de l'activité pour une classe de situations données » (**Vergnaud, 1998, p. 172**). Chez Vergnaud, les situations désignent l'ensemble des circonstances dans lesquelles se trouve une notion mathématique, on retrouve ainsi des classes de situations propres aux mathématiques : les structures additives, les structures multiplicatives, la logique des classes, l'algèbre. Le schème est alors l'articulation entre l'organisation des gestes, des formes langagières, des opérations de pensées et des interactions sociales qui permettent de traiter une classe de situations.

Bien que fortement corrélée avec un cadre mathématiques, la théorie des champs conceptuelle de Vergnaud propose un cadre théorique robuste pour la notion de schème, permettant un élargissement à d'autres domaines d'apprentissage. Le schème est ainsi défini par Vergnaud comme un ensemble de quatre composantes :

- Un/des objectifs clairement identifiables, éventuellement composés de sous-objectifs et impliquant des anticipations.
- Des règles d'action, qui prennent vie par la prise d'information et de contrôle, et dont la fonction est de générer la conduite pour arriver à l'objectif.
- Des invariants opératoires qui permettent de sélectionner l'information pertinente puis son traitement, les théorèmes en acte et concepts en acte.
 1. "Le concept de 'théorème en acte' désigne les propriétés des relations saisies et utilisées par le sujet en situation de résolution de problème, étant entendu que cela ne signifie pas qu'il est pour autant capable de les expliciter ou de les justifier" (**Vergnaud 1981 p.220**), ce sont des invariants de type « proposition » et sont tenus pour vrai dans le fonctionnement de l'activité.
 2. Les concepts en acte sont les invariants de type fonction propositionnelle : ils ne sont pas susceptibles d'être vrai ou faux mais constituent des briques élémentaires utiles à la construction des propositions. Ils sont tenus comme pertinents pour la prise d'informations.
- Des inférences en fonction des particularités de la situation rencontrée et qui s'effectuent à partir des informations captées.

- (107) Dans un article du C.R.E.N de 2007, Vergnaud présente ainsi l'exemple suivant pour illustrer le schème du dénombrement. Nous nous appuyons par la suite sur cet exemple pour définir par identification ce que nous nommerons schème du scepticisme :

« Un, deux, trois, quatre... quatre ! Dans le schème du dénombrement d'un enfant de 4 ou 5 ans, on peut identifier au moins deux concepts mathématiques implicites : celui de

correspondance biunivoque et celui de cardinal.

- (108) La correspondance biunivoque (il faut compter tous les objets, et ne pas compter deux fois le même) prend, dans l'activité de l'enfant, la forme d'une relation entre quatre catégories d'éléments : 1) les objets à dénombrer, 2) les gestes du bras, de la main et du doigt, 3) les gestes du regard, 4) les gestes de la parole. Si l'une de ces correspondances n'est pas biunivoque, si le regard ou la parole vont trop vite ou trop lentement par exemple, le dénombrement est raté. C'est ce qui arrive aux jeunes enfants, et à certains enfants handicapés qui ont du mal à distribuer dans le temps la succession de leurs gestes, et à coordonner les différents registres concernés, notamment celui du regard. Les règles qui engendrent l'activité au fur et à mesure concernent donc la prise d'information et le contrôle, pas seulement l'action.

Le cardinal : dans l'exemple ci-dessus, un signe observable de cette conceptualisation est la répétition du dernier mot-nombre : quatre... quatre! Certains enfants utilisent une autre modalité de l'énonciation, l'accentuation : un, deux, trois, QUATRE! On connaît les difficultés qu'ont certains enfants à cardinaliser : ils ne résument pas l'information recueillie sur la collection. En réponse à la question « combien ? » posée par leur interlocuteur, ils recommencent à compter tous les objets. Evidemment ils ne savent pas utiliser le cardinal pour opérer des additions. » (Vergnaud, 2007, p.11).

Fort de cet exemple, nous proposons une application de la théorie de Vergnaud dans ce travail en suggérant une réutilisation de la définition robuste de schème pour analyser le raisonnement d'un élève lorsque celui-ci exerce son esprit critique. Nous proposons par exemple ce que nous nommons « schème du scepticisme » :

Composantes / Schèmes	Schème du dénombrement	Schème du scepticisme
Objectifs	Evaluer la cardinalité d'un ensemble d'objets	Identifier le vrai du faux, la part de rationalité et la part de croyance, dans une théorie, une information, un avis.
Règles d'action	Lister, ordonner, trier.	Douter systématiquement, tester la réfutabilité d'une hypothèse
Théorème(s) en acte	La répétition du dernier mot-nombre indique la fin des actions de	« Une affirmation extraordinaire demande des preuves plus qu'ordinaires », Rasoir d'Ockham
Concept(s) en acte	Premier mot-nombre, dernier mot-nombre	Affirmation vraie ou fausse, source sûre, source douteuse
Inférences	Correspondance biunivoque, liens logiques.	Liens logiques, si, alors, donc.

FIGURE 8 – Un schème du scepticisme ?

- (109) A partir de la façon dont Vergnaud (1997) définit le concept de schème il est possible de réaliser une analyse du développement conceptuel consécutif à l'adaptation des individus aux nouvelles situations. Cela est nécessairement vrai en mathématiques, avec par exemple le schème du dénombrement, ou le schème de base de l'addition (**Vergnaud, 2007**). Dans le cas d'un échec, l'individu modifie le schème utilisé, ou le remplace par un schème plus performant. Au regard de ce cadre théorique, un élève qui se trompe est souvent un élève qui n'a pas convenablement exécuté un schème : soit l'utilisation du schème à la particularité de la situation à traiter (problème d'inférence) est inadéquate, soit le schème est inadapté à la situation à traiter (défaut de conceptualisation), soit le théorème-en-acte élaboré est faux. Or, bien que la théorie des champs conceptuels ait été élaborée pour « rendre compte du processus de conceptualisation des structures additives, multiplicatives, des relations nombre-espace, de l'algèbre » (**Brun, 1996, p. 198**), nous partons du postulat qu'elle est également tout-à-fait adaptée pour rendre compte des processus à l'œuvre lorsque l'esprit critique d'un individu s'exerce. Notons par ailleurs que ce postulat s'accorde a priori avec les objectifs de la théorie de Vergnaud qui « vise à fournir un cadre cohérent et quelques principes de base pour l'étude du développement et de l'apprentissage des compétences complexes, notamment de celles qui relèvent des sciences et des techniques » (**Vergnaud, 1996, p. 197**) et rappelons à ce titre que l'analyse épistémologique de la notion d'esprit critique nous avait conduit à la conclusion que celle-ci empruntait beaucoup à la démarche scientifique.

Dans la logique de sa problématique, Vergnaud propose une définition tripartite et « pragmatique » de concept :

- « Un concept est un triplet de trois ensembles : $C = (S, I, S)$
1. S : l'ensemble des situations qui donnent du sens au concept (la référence)
 2. I : l'ensemble des invariants opératoires sur lesquels repose l'opérationnalité des schèmes
 3. S : l'ensemble des formes langagières et symboliques qui permettent de représenter symboliquement le concept, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement. » (**Vergnaud, 1997**).

- (110) Lorsqu'un individu commence à maîtriser les dimensions d'un concept, celui-ci commence à faire sens pour lui, de sorte qu'un concept soit progressivement appris lorsque l'individu amplifie ses formes possibles de représentation et ses relations avec des situations diverses. Ainsi, les concepts ne font pas sens lorsqu'ils sont isolés, mais ils coexistent dans un réseau de concepts, ce que Vergnaud nomme champ conceptuel :

« Un champ conceptuel est à la fois un ensemble de situations et un ensemble de concepts ; ensemble de situations dont la maîtrise progressive appelle une variété de concepts, de schèmes et de représentations symboliques en étroite connexion ; ensemble de concepts qui contribuent à la maîtrise de ces situations » (**Vergnaud, 2007, p. 9**).

- (111) Toutefois, comme Moreira (2004) le rappelle, l'étude de certains champs conceptuels peut s'avérer longue et peut difficilement faire l'objet d'une recherche isolée ou même

d'un groupe de recherches isolées (p. 23), c'est pourquoi nous nous concentrerons dans ce travail sur classification des situations et l'identification des schèmes associés. Il convient de considérer que des aspects psychologiques précédemment abordés, comme les biais cognitifs, les représentations affectives, les leviers d'action du système 1 et 2, fonctionnent comme des règles d'action intervenant dans le processus de construction d'un schème ; ce qui de fait est directement lié au processus même de conceptualisation.

Nous souhaitons, par ces premières considérations théoriques :

1. Fixer le schème comme structure ou organisation des actions permettant une construction intrapersonnelle du savoir. Le cas échéant, ceci devra nous permettre de décrire les méthodes de résolution proposées par les apprenants lorsqu'ils seront confrontés au problème.
2. Proposer un schème de résolution attendu, que nous nommons *schème du scepticisme*, qui nous servira de modèle pour l'évaluation *a priori* et *a posteriori* des actions individuelles des élèves. En particulier, nous confronterons les objets, règles d'actions, théorèmes en acte, concepts en acte et inférences de l'élève, avec ce schème attendu.
3. Fixer les limites pédagogiques de notre expérimentation, notamment en prenant connaissance des besoins des apprenants au stade des opérations concrètes défini par Piaget. Comme ce stade est celui qui « portent directement sur les objets » (**Piaget, 1950**), nous nous focaliserons sur la nécessité d'appuyer le raisonnements des élèves par des supports concrets, pratiques et manipulables.
4. Etablir les différentes phases de traitement et d'intégration du savoir enseigné : une phase d'assimilation, durant laquelle l'apprenant transforme les éléments provenant de son environnement pour pouvoir les incorporer à sa structure cognitive, et une phase d'accommodation, qui intervient quant à elle lorsque l'objet ou la situation à l'épreuve de l'apprentissage résiste, dans ce cas elle entraîne alors une modification de la structure cognitive de l'individu.

➤ Schème d'utilisation et genèse instrumentale : des applications au stade des opérations concrètes

- (112) Comme nous l'avons signifié précédemment, le cycle 3 correspond *a priori* au stade des opérations concrètes, les élèves appartenant en principe à la tranche d'âges des 7-12 ans. Ce stade, au sens de Piaget, est celui qui porte directement sur les objets et nécessite des supports concrets, tangibles pour appuyer le raisonnement des élèves, c'est la raison pour laquelle nous tacherons de concevoir un instrument vecteur d'enseignement tangible dans notre méthodologie.

Pour définir la notion d'instrument, Rabardel (1995) part de la notion d'objet technique, d'orientation « techno-centrique » et propose ainsi la notion d'« artefact » comme terme « alternatif, neutre, permettant de penser différents types de relations du sujet à l'objet ou au système anthropotechnique » (**Rabardel, 1995**). L'artefact est donc tout objet technique ou symbolique ayant subi une transformation d'origine humaine.

(113) L'instrument quant à lui possède deux niveaux de définition. Au niveau élémentaire, un instrument est défini comme un artefact inscrit en situation dans un usage comme « moyen d'action d'un utilisateur » (**Rabardel, 1995**). Au niveau supérieur, l'instrument est une « entité mixte », qui tient à la fois du sujet et de l'artefact. Rabardel montre que l'instrument comprend, d'une part, un artefact matériel ou symbolique produit par l'utilisateur et d'autre part, un ou des schèmes d'utilisation associés qui résultent d'une construction propre du sujet. En d'autres termes, là où tout objet matériel et symbolique placé en dehors de son cadre d'utilisation peut être défini comme « artefact », l'instrument est le fruit d'une construction par l'individu et nécessite une élaboration par le sujet.

Ces deux dimensions de l'instrument – artefact et schème d'utilisation – sont complémentaires, associées dans « une relation d'indépendance relative » : un même schème peut s'appliquer à une multiplicité d'artefacts appartenant à la même classe, un artefact peut s'inscrire dans une multiplicité de schèmes d'utilisation qui vont lui attribuer des significations et des fonctions différentes. En ce sens, Rabardel fait mention de « palette de champ instrumental de l'artefact pour le sujet » (**Rabardel, 1995**), comprenant l'ensemble des schèmes d'utilisation de l'artefact ainsi que l'ensemble des objets sur lesquels il permet d'agir.

(114) La notion de schème d'utilisation est ici centrale et s'inscrit dans le prolongement des théories de Piaget et Vergnaud :

« Les schèmes liés à l'utilisation d'un artefact, que nous appelons schèmes d'utilisation concernent deux dimensions de l'activité :

- les activités premières, principales, orientées vers l'objet de l'activité, et pour lesquelles l'artefact est un moyen de réalisation.

- les activités relatives aux tâches "secondes", c'est-à-dire celles relatives à la gestion des caractéristiques et propriétés particulières de l'artefact. » (**Vergnaud, 1995**).

(115) Par la suite, Rabardel distingue trois niveaux de schèmes :

1. Les schèmes d'usage, qui renvoient à l'interaction du sujet avec l'artefact.
2. les schèmes d'action instrumentés, qui sont dirigés vers l'objet de l'activité et convoquent les schèmes d'usages pour atteindre les buts poursuivis.
3. Les schèmes d'action collective instrumentée, en référence à l'utilisation d'artefacts par plusieurs sujets, simultanément ou conjointement. Ces derniers selon Rabardel « devraient porter, d'une part, sur la spécification des types d'action ou d'activité, des types de résultats acceptables etc. lorsque le collectif partage un même instrument ou travaille avec une même classe d'instruments. Ils devraient porter, d'autre part, sur la coordination des actions individuelles et l'intégration de leurs résultats comme contribution à l'atteinte des buts communs » (**Rabardel, 1995**).

Piaget	Vergnaud	Rabardel
Les schèmes constituent les moyens du sujet à l'aide desquels il peut assimiler les situations et les objets auxquels il est confronté	Les schèmes sont des organisateurs de l'activité du sujet : pour une classe de situations données, l'organisation de la conduite est invariante mais pas la conduite elle-même	Plusieurs types de schèmes : les schèmes d'usage renvoient à l'interaction du sujet avec l'artefact ; les schèmes d'action instrumentés sont dirigés vers l'objet de l'activité et convoquent les schèmes d'usages pour atteindre les buts poursuivis ; enfin, les schèmes d'action collective instrumentée, en référence à l'utilisation d'artefacts par plusieurs sujets, simultanément ou conjointement.

FIGURE 9 – La notion de schème, évolution et complémentarité des définitions

- (116) Enfin, Rabardel propose également deux dimensions des schèmes : une dimension privée, propre à chaque individu – construction intrapersonnelle du savoir – et une dimension sociale – construction interpersonnelle du savoir –.

La singularité de la dimension privée des schèmes tient en « l'élaboration et l'histoire des schèmes pour chaque personne » (**Rabardel et Folcher, 2004**) : par exemple, des schèmes d'écriture manuelle rendent l'écriture spécifique à chacun d'entre nous.

La deuxième dimension tient quant à elle au fait que les schèmes, largement répandus dans un groupe social, s'élaborent au cours d'un processus où les individus ne sont pas isolés : les concepteurs des artefacts tout comme les autres utilisateurs contribuent à cette émergence des schèmes.

Au regard de ces différents travaux, nous proposons ainsi de caractériser le schème selon un ensemble de sept composantes :

- Un stade (au sens Piagétien) auquel le schème se forme : stade sensorimoteur (enfants de 0-2 ans), stade préopératoire (enfants de 2-7 ans), stade opérations concrètes (enfants de 7-11 ans), stade opérations formelles.
- Un (des) objectifs clairement identifiable(s) à atteindre pour l'apprenant. (Vergnaud)
- Des règles d'actions qui génèrent la conduite pour arriver à l'objectif. (Vergnaud)
- Des invariants opératoires (Théorèmes en acte, concept en acte) qui sélectionnent et traitent les informations pertinentes. (Vergnaud)
- Des inférences en fonction des particularités de la situation rencontrée. (Vergnaud)
- Un niveau (en particulier lorsque l'apprenant est engagé dans un apprentissage instrumenté), on en distinguera trois : les schèmes d'usage – interaction du sujet avec l'artefact –, les schèmes d'action instrumentés – dirigés vers l'objet de l'activité –, les schèmes d'action collective instrumentée – l'utilisation d'artefacts par plusieurs

sujets, simultanément ou conjointement –. (Rabardel)

- Une dimension : privée, dans ce cas l'élaboration et l'histoire du schèmes est propre à l'apprenant, ou sociale, dans cette dernière les concepteurs des artefacts et les utilisateurs contribuent à l'émergence du schème. (Rabardel)

(117) La notion de schème s'inscrit dans le processus que Rabardel nomme genèse instrumentale : au cours de ce processus, un même artefact peut, pour différents utilisateurs, se voir attribuer diverses fonctions « caractéristiques de l'élaboration d'instruments » (**Rabardel, 1995**) :

« Nous utiliserons le terme d'instrumentation, en accord avec l'usage qui apparaît dominant, pour désigner les aspects du processus de genèse instrumentale orientés vers le sujet lui-même. Nous réserverons celui d'instrumentalisation pour les processus dirigés vers l'artefact :

- Les processus d'instrumentalisation concernent l'émergence et l'évolution des composantes artefact de l'instrument : sélection, regroupement, production et institution de fonctions, détournements et catachrèses, attribution de propriétés, transformation de l'artefact (structure, fonctionnement etc.) qui prolongent les créations et réalisations d'artefacts dont les limites sont de ce fait difficiles à déterminer.

- Les processus d'instrumentation sont relatifs à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation et d'action instrumentée : leur constitution, leur fonctionnement, leur évolution par accommodation, coordination combinaison, inclusion et assimilation réciproque, l'assimilation d'artefacts nouveaux à des schèmes déjà constitués » (**Rabardel, 1995**).

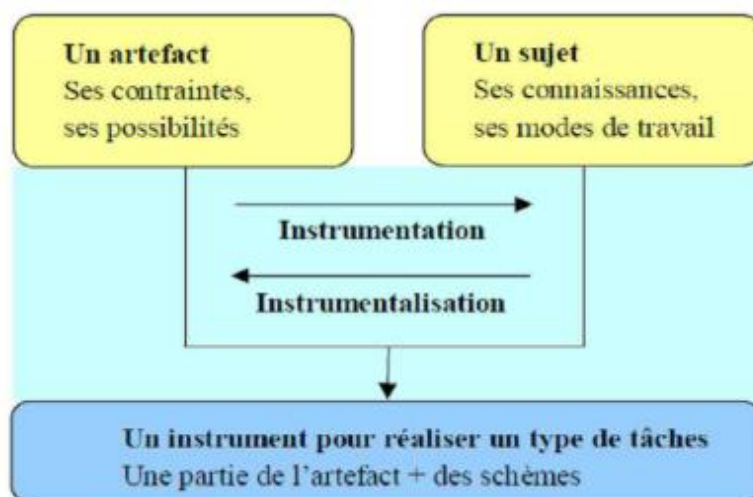


FIGURE 10 – Genèse instrumentale de Rabardel

- (118) Le concept de genèse instrumentale permet de saisir à la fois l'évolution des artefacts liée à l'activité de l'apprenant et l'émergence des schèmes d'utilisations comme participant d'un même processus et d'élaboration instrumentale. Ces apports théoriques nous apparaissent en ce sens fondamentaux pour saisir et analyser la construction du savoir chez les apprenants dans le cadre de notre expérience. L'approche instrumentale est un outil théorique efficace et souvent convoqué pour étudier et comprendre les apports des instruments dans les processus de l'enseignement et de l'apprentissage : Trouche (2005), Sokhna et Trouche (2007), Geynet et al. (2006), Pastré (2005), Rossana Falcade (2002), Haspekian, (2005). Tran Kien Minh (2012), Brandt-Pomares et Boilevin (2009), Fluckiger et Bruillard (2008). La pertinence de cette approche est motivée selon nous par le contexte technologique en évolution dans lequel la place de l'instrument devient, scolairement et socialement de plus en plus importante.
- (119) Toutefois, comme Minh (2011) le rappelle justement, les schèmes n'ont pas qu'une dimension privée, ils ont également une dimension sociale dans la mesure où leur émergence résulte en partie d'un processus collectif : « Les genèses instrumentales sont d'abord des processus individuels. Cependant, ces genèses ont également une dimension sociale, car les élèves développent des schèmes mentaux dans le contexte de la communauté de classe » (**Minh, 2011, p.26**). Cette dernière remarque nous conduit dès lors à nous intéresser à la construction collective du savoir, ce que nous proposons d'étudier par la suite au regard des travaux de Vygotsky, Doise et Mugny, et Brousseau.

3.2.2 Construction interpersonnelle des savoirs

➤ L'interaction sociale comme vecteur d'apprentissage :

- (120) L'approche socio-constructiviste de l'apprentissage porte sur l'importance de l'environnement social et culturel. Là où Piaget définit la connaissance comme une construction essentiellement fondée sur l'activité mentale de l'apprenant, Vygotsky note que la construction d'un savoir, bien que personnelle, peut également s'effectuer dans un cadre social :

« C'est par l'intermédiaire des autres, par l'intermédiaire de l'adulte que l'enfant s'engage dans ses activités. Absolument tout dans le comportement de l'enfant est fondu, enraciné dans le social. (...) Ainsi, les relations de l'enfant avec la réalité sont dès le début des relations sociales. Dans ce sens, on pourrait dire du nourrisson qu'il est un être social au plus haut degré » (**Vygotsky, 1982-1984, vol. IV, p. 281**).

- (121) Si pour Piaget les interactions avec l'environnement sont essentiellement physiques et symboliques, chez Vygotsky, elles deviennent relationnelles :

<u>Approche Piagétienne de l'apprentissage</u>	<u>Approche Vygotskienne de l'apprentissage</u>
L'acquisition est une construction.	L'acquisition est une appropriation. C'est la signification sociale des objets qui importe.
Le rôle du langage dans le développement de la connaissance est secondaire.	Le rôle du langage dans le développement de la connaissance est primordial.
Le développement précède l'apprentissage	L'apprentissage qui pilote le développement.
L'élève fait des expériences, en tire des résultats, les traite et se les approprie. (Pédagogie de la découverte).	Le médiateur intervient entre l'enfant et son environnement (Pédagogie de la médiation)

FIGURE 11 – Approche constructiviste et socio-constructiviste de l'apprentissage

- (122) Ce travail souhaite s'inscrire à la frontière entre ces deux approches. Si l'approche Piagétienne de l'apprentissage nous paraît fondamentale en ceci qu'elle permet de caractériser les processus intrapersonnels de construction du savoir, l'approche Vygotskienne, en définissant autrui comme un vecteur de culture – matériau sémiotique qui médiatise le processus cognitif – permet d'en caractériser les processus interpersonnels.

L'apprentissage à travers les interactions sociales est en ceci fondamentale qu'elle questionne la manière par laquelle l'apprenant, via les interactions avec les autres, acquiert les outils linguistiques, techniques et technologiques qui lui permettent de développer ses propres fonctions mentales. Notons par ailleurs que l'approche vygotskienne invite l'école à être plus qu'un simple lieu d'acquisition de connaissances : elle doit également être le lieu d'interactions privilégiées où l'apprenant acquiert les savoirs, savoirs-faire et savoirs-être propre à sa société : « L'éducation ne se limite pas seulement au fait d'influencer les processus du développement, mais elle restructure de manière fondamentale toutes les fonctions du comportement. » (**Vygotsky, 1982-1984, vol. I, p. 107**). Cette dernière approche répond idéalement aux objectifs de fin de cycle que nous avons mentionné précédemment : « Renforcer la maîtrise du langage », « Elargir ses repères culturels ». Rappelons à ce titre que l'étude des programmes du cycle 2 nous avait permis de conclure que l'autonomisation de la pensée apparaissait comme un processus fortement ancré dans la formation globale de la personnalité des élèves : cette personnalité se formant dans l'échange, le partage et l'identification aux autres. Et notons de même que les programmes du cycle 3 insistaient sur la nécessité de développer chez les élèves « la curiosité, de la créativité, de la rigueur, de l'esprit critique, de l'habileté manuelle et expérimentale, de la mémorisation, de la collaboration pour mieux vivre ensemble et le goût d'apprendre ».

(123) Pour mettre en avant le rôle des interactions sociales dans le mécanisme du développement cognitif, Vygotsky met au point le concept de « zone proximale de développement ». A ce titre, il distingue deux situations :

- celle où l'apprenant peut apprendre et accomplir seul certaines activités

- celle où l'apprenant peut apprendre et réaliser une activité avec l'appui d'un autre. Celle-ci détermine sa "capacité potentielle de développement".

(124) Vygotsky situe la « zone proximale de développement » (ZPD) à la frontière entre ces deux situations :



FIGURE 12 – Zone proximale de développement de Vygotsky

La ZPD est ainsi la zone où l'élève, à l'aide de ressources, est capable d'exécuter une tâche. Une tâche qui s'inscrit dans la ZPD permet de mobiliser plus efficacement l'élève, l'objectif à atteindre lui apparaissant d'avantage réaliste. Pour amener l'apprenant dans la ZPD, l'enseignant organise la différenciation des contenus, des structures, des processus et des productions pour éviter que les apprenants dont il est en charge se retrouvent soit en zone de rupture (tâche difficile, non-mobilisation de l'élève), soit en zone d'autonomie (tâche facile, apprentissage faible), ce qui nous renvoie au concept d'étaye proposé par Bruner. Vygotsky postule que la ZPD permet ainsi à l'élève de poursuivre le développement de ses compétences en mettant à profit ses connaissances antérieures, le soutien de l'enseignant et l'interaction avec ses pairs.

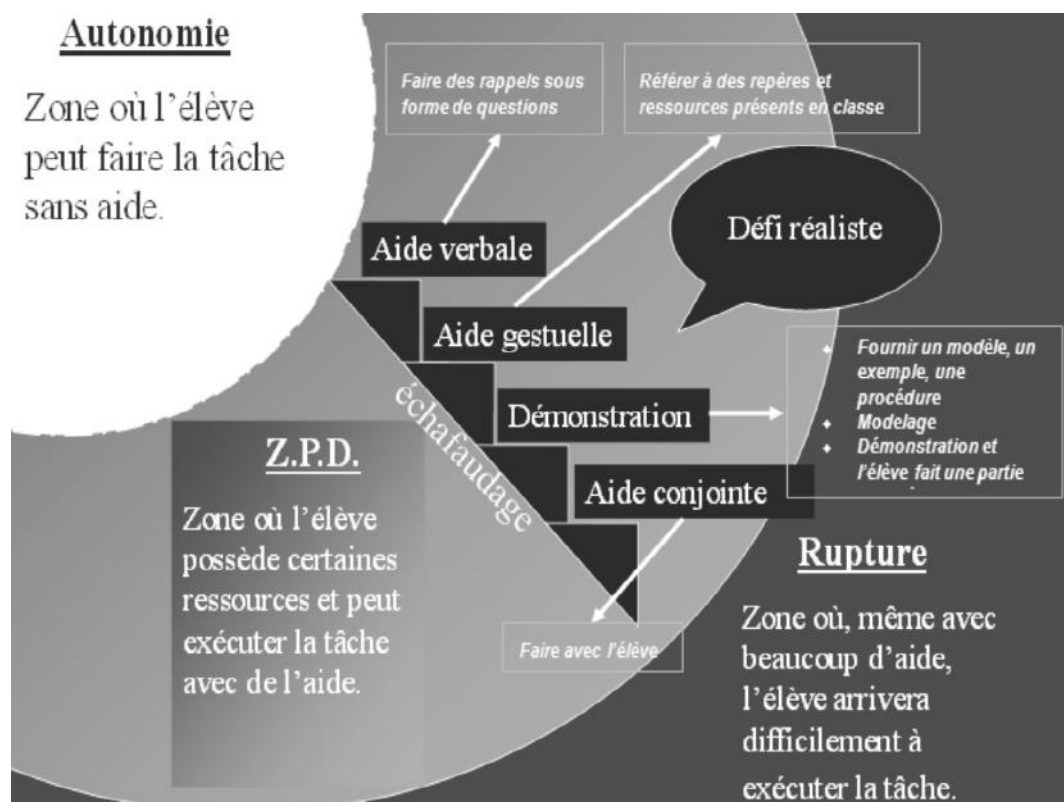


FIGURE 13 – Zone proximale de développement et étayage

➤ Etayage dans la zone de développement proximale, vers la théorie des situations didactiques :

- (125) Dans le schéma d'Orsolini et al. ci-dessus⁷, les différentes activités de l'échafaudage, à savoir l'aide verbale, l'aide gestuelle, la démonstration et l'aide conjointe s'apparente ainsi à l'étayage que Bruner définit comme : « l'ensemble des interactions d'assistance de l'adulte permettant à l'enfant d'apprendre à organiser ses conduites afin de pouvoir résoudre seul un problème qu'il ne savait pas résoudre au départ. » (**Bruner, 1983**). Bruner attribue ainsi à l'enseignant une position de médiateur des apprentissages et privilégie une pédagogie de la découverte guidée. La notion d'étayage permet de caractériser le type d'intervention pédagogique mise en œuvre au sein de la zone proximale de développement afin de guider l'apprenant vers son niveau de « développement potentiel ». De cette manière, Bruner distingue six fonctions de l'étayage caractérisant ce soutien de l'activité de l'apprenant par l'enseignant :

- L'enrôlement : susciter l'adhésion de l'apprenant aux exigences de la tâche.
- La réduction des degrés de liberté : simplifier la tâche en réduisant la difficulté du

7. Schéma tiré de la formation des personnes-ressources régionales pour les professionnels des commissions scolaires. (2006). Orsolini, L., Payette, D., Camirand, J. Martel, S., Fréchette, K., Provost, D. et Paquin, N. Schéma élaboré par le comité sur la différenciation pédagogique, Service des ressources éducatives, Commission scolaire des Affluents.

processus de résolution.

- Le maintien de l'orientation : faire en sorte que l'apprenant ne change pas d'objectif durant la résolution de la tâche et qu'il se focalise sur l'objectif initialement fixé.
- La signalisation des caractéristiques dominantes : faire prendre conscience à l'apprenant des écarts qui existent entre ce que qu'il réalise et ce qu'il voudrait réaliser.
- Le contrôle de la frustration : essayer de maintenir l'intérêt et la motivation de l'apprenant en utilisant divers moyens et en se prémunissant d'une trop grande dépendance.

(126) Ces « interactions d'assistance de l'adulte » ne sont pas sans rappeler la recontextualisation du savoir que doit produire l'enseignant dans la théorie des situations didactiques de Brousseau : « Le professeur doit d'autre part considérer les situations d'enseignement comme des milieux qu'il doit réguler - y compris sa propre action au sein des situations d'enseignement - par des actions, des connaissances et des savoirs spécifiques (...). Le professeur organise le milieu et lui délègue la responsabilité des acquisitions (...), cette organisation est dérivée essentiellement du savoir visé et de la connaissance des processus d'acquisition des élèves et non pas seulement modélisée des situations 'de référence' rencontrées dans l'institution cible, ou dans l'institution savante qui produit le savoir ». (**Brousseau, 1997**).

(127) La théorie des situations didactiques propose un cadre pour décrire, analyser et expliquer les phénomènes d'enseignement et d'apprentissage de manière rationnelle : les connaissances se construisent dans un processus dialectique action - formulation - validation.

Selon Brousseau la responsabilité du professeur est de créer les conditions permettant l'apprentissage par l'élève, tandis que l'élève est responsable de son propre apprentissage dans la situation, ce qui correspond à la dévolution : « L'élève acquiert ces connaissances par diverses formes d'adaptation aux contraintes de son environnement. En situation scolaire, l'enseignant organise et constitue un milieu, par exemple un problème, qui révèle plus ou moins clairement son intention d'enseigner un certain savoir à l'élève mais qui dissimule suffisamment ce savoir et la réponse attendue pour que l'élève ne puisse les obtenir que par une adaptation personnelle au problème proposé (...) La dévolution est l'acte par lequel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité d'une situation d'apprentissage didactique ou d'un problème et accepte lui-même les conséquences de ce transfert ». (**Brousseau, 1997, p.40-41**).

Le professeur organise le milieu afin d'offrir à l'apprenant la meilleure opportunité pour apprendre, ceci est lié au processus de recherche du contrat didactique : « La modification intentionnelle du 'récepteur' n'est pas une communication ni même une argumentation, mais une action. L'enseignant tente de fixer directement les états du système enseigné, au besoin sans passer par son jugement et son agrément. La légitimité de cette action tient à diverses conditions :

- Le savoir communiqué n'est pas une production ou une invention personnelle du pro-

fesseur. Celui-ci au contraire garantit sa conformité avec le savoir qui a cours dans une institution de référence. Il n'est pas arbitraire. Il a été repéré et déterminé, soit avec l'enseigné, soit avec un tiers responsable.

- Ce savoir n'est pas un simple enregistrement d'informations. Il lui correspond un champ dans lequel les capacités de réponses de l'élève ont été modifiées. L'existence de ces situations dans lesquelles le savoir appris révèle son efficacité permet à l'élève d'objectiver après coup l'assujettissement qu'il a accepté ou subi et de s'en libérer. C'est à dire d'oublier en fait les circonstances de l'apprentissage pour ne plus retenir que le savoir et les conditions de son usage (le milieu).

- L'action s'achève lorsque l'enseigné est supposé capable de prendre ses décisions par lui-même (en connaissance de cause) ». (**Brousseau, 1997, p.32**).

- (128) Le contrat didactique constitue ainsi l'ensemble des obligations réciproques et des « sanctions » que chaque partenaire de la situation didactique impose ou croit imposer, explicitement ou implicitement, aux autres, et celles qu'on lui impose ou qu'il croit qu'on lui impose, à propos de la connaissance en cause. Ce contrat est le résultat d'une « négociation » souvent implicite des modalités d'établissement des rapports entre un élève ou un groupe d'élèves, un certain milieu et un système éducatif.

Ce même « milieu » auquel fait référence la théorie des situations didactiques est par essence un système antagoniste à l'élève : il produit des rétroactions, c'est-à-dire des informations qui sont reçues par l'élève comme des sanctions, positives ou négatives, relatives à son action et qui lui permet d'ajuster cette action, d'accepter ou de rejeter une hypothèse, de choisir entre plusieurs solutions.

La théorie des situations comporte deux objectifs : « d'une part l'étude de la consistance des objets et de leurs propriétés (logiques, mathématiques, ergonomiques), nécessaires à la construction logique et à l'invention de situations, et d'autre part la confrontation scientifique (empirique ou expérimentale) de l'adaptation de ces modèles et de leurs caractéristiques avec la contingence » (**Brousseau, 1998**). Elle offre un cadre théorique robuste pour concevoir la situation d'apprentissage instrumentée que nous souhaitons élaborer pour notre expérience. En particulier, elle nous renseigne sur les modalités d'organisation de l'activité par l'enseignant et s'inscrit dans le prolongement des théories socio-constructiviste de Bruner et Vygotsky. En ce sens, la théorie des situations didactiques nous paraît fondamentale pour appréhender au mieux la passation du savoir de l'enseignant à l'apprenant, celle-ci s'inscrivant dans la construction interpersonnelle du savoir de l'apprenant. Toutefois, la théorie de Brousseau se focalise sur le rapport du professeur à l'élève sans nous renseigner davantage sur l'interaction entre l'apprenant et ses pairs, ce que Doise et Mugny proposent dans l'ouvrage « Le développement social de l'intelligence ».

➤ Le conflit socio-cognitif : l'interaction entre pairs comme source de développement cognitif

- (129) Les travaux de Doise et Mugny s'inscrivent dans le prolongement de ceux de Piaget et Vygotsky. Les interactions entre pairs y sont présentées comme source de développement cognitif lorsque celles-ci suscitent des « conflits sociocognitifs » (**Doise et Mugny, 1981**). Selon eux, l'interaction sociale est constructive en ce sens qu'elle introduit une confrontation entre des conceptions divergentes :

- Puisque chaque élève est confronté à des points de vue divergents, un premier déséquilibre interindividuel apparaît au sein du groupe. L'élève prend ainsi conscience de sa propre pensée par rapport à celle des autres.

- Cette prise de conscience provoque un second déséquilibre de nature intra-individuelle : l'apprenant est amené à reconsidérer, de façon biunivoque, ses propres représentations et celles des autres pour reconstruire un nouveau savoir.

- (130) Pour Doise et Mugny il semble nécessaire qu'un élève puisse « discerner en quoi sa position diffère de celle de son partenaire pour pouvoir profiter de sa participation à une interaction sociale menant à une nouvelle coordination des points de vue. Si coordination ne signifie pas annulation d'une centration⁸ existante, mais intégration dans une nouvelle régulation, il y a tout lieu de croire qu'une prise de conscience des différences entre sa propre centration et celle d'autrui est à la base d'une telle intégration. » (**Doise et Mugny, 1981, p.39**).

- (131) Les résultats des expériences de Doise et Mugny font par ailleurs apparaître que « le conflit socio-cognitif, lorsqu'il est porté jusqu'aux limites supportables pour l'enfant, provoque de grands progrès généralisables et stables. » (**Doise et Mugny, 1981, p.105**). De même, les auteurs notent que « lorsqu'une régulation purement relationnelle du conflit intervient (abandon de son opinion par un des partenaires), c'est au détriment d'un progrès cognitif. » (**Doise et Mugny, 1981, p.105**). Ils concluent alors, quant aux conditions dans lesquelles le conflit socio-cognitif peut être significatif :

- la réponse adéquate doit être construite par l'élève au cours de l'interaction : un climat favorable à l'échange et à la communication entre pairs est indispensable pour faire émerger des conflits socio-cognitifs. Un climat de confiance est essentiel pour favoriser l'apprentissage des élèves qui doivent prendre plaisir à coopérer. Un système de compétitions entre équipes peut être élaboré et s'avérer pertinent, toutefois toute forme de compétition à l'intérieur des sous-groupes est à éviter.

8. la centration correspond à l'effet produit par les « interactions immédiates entre éléments perçus simultanément lors d'une seule fixation du regard ».

- le conflit doit être suffisamment fort : la composition des groupes de pairs doit être particulièrement soignée : les groupes ayant d'importantes différences de statuts sont peu efficaces, les élèves de niveau statutaire « inférieurs » ayant des difficultés à s'exprimer face aux élèves de statut plus élevé. En revanche, les groupes aux niveaux de compétences nettement hétérogènes sont très efficaces : les élèves « moins sachants » apprenant des « plus sachants » et réciproquement les « plus sachants » apprenant par l'effort consenti pour expliquer aux « moins sachants ».

- l'enseignant doit maintenir l'élève dans ce conflit : les interactions entre apprenants doivent être intenses pour qu'il y ait une réelle régulation du conflit socio-cognitif et non pas seulement un accord de façade qui ne traduirait qu'une régulation relationnelle. L'enseignant doit insister sur les enjeux de la tâche à réaliser et créer les conditions (temps, espace, moyens matériels...) d'un véritable échange entre apprenants.

- la réponse de l'enfant doit être pertinente : la maîtrise des compétences de communication, d'argumentation, de formalisation semble être un prérequis nécessaire afin de tirer le meilleur profit des apprentissages coopératifs. Si ces compétences ne sont pas maîtrisées il peut être pertinent d'amener les élèves à tirer les leçons de leur expérience de travaux de sous-groupes à travers des temps de mises en commun.

(132) De fait, et pour conclure, nous justifions l'usage des travaux de Doise et Mugny par les points suivants :

- Le stade préopératoires et le stade des opérations concrètes est en partie caractérisé par l'égoïsme, autrement dit l'ignorance des points de vue d'autrui. Lorsque le dispositif d'enseignement crée une relation conflictuelle, il permet de faire émerger la nécessité de reconnaître explicitement la différence. Le conflit socio-cognitif, qui est une source de déséquilibre, à la fois social et cognitif, est en ce sens un outil de construction du savoir interpersonnel.

- « Autrui donne des indications qui peuvent être pertinentes pour l'élaboration d'un nouvel instrument cognitif. (...) il n'est pas indispensable qu'autrui donne une réponse correcte. (...) Il peut être suffisant qu'autrui présente une centration opposée à celle de l'enfant, qui peut alors, par composition de ces centrations, progresser. » (**Doise et Mugny, 1981, p.176**).

- « le conflit socio-cognitif augmente la probabilité que l'enfant soit actif, cognitivement » (**Doise et Mugny, 1981, p.176**) et cela s'applique non seulement sur un objet, mais également lorsque le propos porte sur des réponses divergentes.

Ces différents points nous permettent de postuler en faveur d'une ingénierie didactique remplissant les conditions nécessaires à l'émergence de conflits-cognitifs chez les élèves.

3.2.3 Bilan des apports théoriques didactiques

- (133) En bilan des différents apports théoriques, depuis Piaget jusqu'au travaux de Doise et Mugny, nous proposons la carte conceptuelle ci-dessous de manière à situer et synthétiser l'usage des différents travaux.

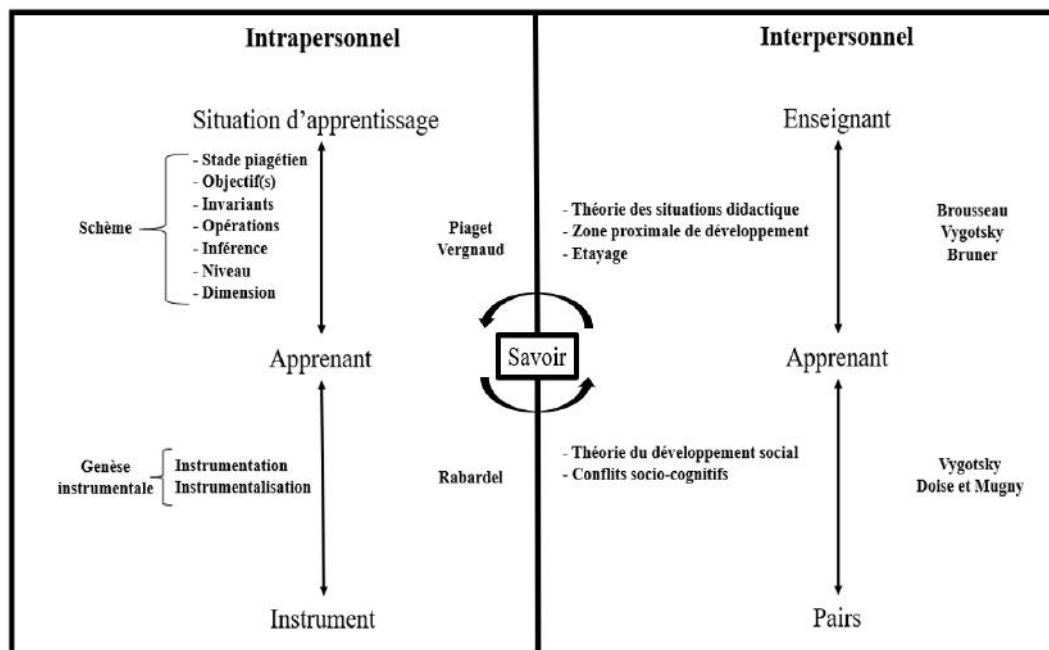


FIGURE 14 – Mouvements et constructions du savoir à l'interface intrapersonnelle-interpersonnelle

3.3 Apports mathématiques et techniques

- (134) Afin de compléter les apports théoriques en didactique et psychologie cognitive, nous souhaitons conclure cette partie en discutant de quelques apports théoriques et méthodologiques portant sur des instruments pédagogiques spécifiques, leur histoire, leur épistémologie et didactique, et leur application mathématique. Cette partie est nécessaire pour mieux appréhender la genèse du développement de l'ingénierie didactique qui sera abordée dans la partie méthodologique. En particulier, nous souhaitons revenir sur l'usage de deux types de ressources pédagogiques bien spécifiques : les puzzles, et plus notamment les tangrams, qui sont des formes particulières de puzzle, et les objets mathématiques paradoxaux, qui constituent tant une source de fascinations que de ressources pédagogiques à fort potentiel.

3.3.1 Le jeu

- (135) Le jeu est à la base de notre réflexion. Non pas le concept de jeu en lui-même, mais les mécanismes et les caractéristiques qui le définissent. Nous cherchons ici à établir le lien entre la théorie des situations didactiques de Brousseau et le potentiel ludique d'un objet mathématiques, nous inspirant largement de fait du puzzle de Brousseau. Questionner le potentiel ludique d'un objet, c'est se demander : comment orchestrer une situation d'enseignement, autour de cet objet, de manière à ce qu'il livre tout son potentiel didactique et pédagogique ? Quelles sont les conditions pour qu'une situation puisse être vécue comme a-didactique ?

Brousseau propose une réponse à ces questions :

« Il faut au minimum les conditions suivantes :

- L'élève peut envisager une réponse mais cette réponse initiale (procédure de base qui est relative aux savoirs et connaissances antérieurs) n'est pas celle que l'on veut enseigner : si la réponse était déjà connue, ce ne serait pas une situation d'apprentissage. Sans stratégie de base l'élève ne comprend pas le jeu, même si la consigne est claire.

- Cette procédure de base doit se révéler très vite insuffisante ou inefficace pour que l'élève soit contraint de faire des accommodations, des modifications de son système de connaissance. Il y a incertitude de l'élève quant aux décisions à prendre.

- La connaissance visée est a priori requise pour passer de la stratégie de base à la stratégie optimale. Il existe un "milieu pour la validation" : le milieu permet des rétroactions.

- L'élève peut recommencer.

L'apprentissage va consister à changer de stratégies et à changer les connaissances qui leur sont associées. (**Brousseau, 1988, p. 61**) »

- (136) La notion de « jeu » est bien prégnante dans la théorie de Brousseau, on la retrouve notamment dans « Le jeu de la course à n » (**Brousseau 1978**), « l'agrandissent du puzzle » (**Brousseau, 1987**) ou « Qui dira 20 ? » (**Brousseau, 1997**). Cette notion est fondamentale pour comprendre le cheminement qui nous conduit aux puzzles, puis aux tangrams, et finalement à l'activité que nous présenterons plus loin.

3.3.2 Compatibilité entre le jeu et l'apprentissage

(137) Roger Caillois (1958) propose la définition du jeu suivante :

« Le jeu doit être :

- libre : pour que le jeu garde toute sa dimension de plaisir, pour qu'il garde sa nature de divertissement attirant et joyeux, le joueur n'a à subir aucune obligation ni aucune contrainte quelles qu'elles soient ;

- séparé : il est limité dans le temps et dans l'espace, dont le début et l'achèvement ne sont pas imposés par quelqu'un d'extérieur ;

- incertain : l'issue n'est pas connue à l'avance ;

- improductif : ne créant ni biens, ni richesse, ni élément nouveau d'aucune sorte ;

- réglé : le joueur se donne des règles qui suspendent les lois ordinaires, il peut soit les emprunter (par exemple les règles de jeux de société), soit se les créer lui-même. En général, les règles cessent d'exister dès que le jeu prend fin.

- fictif : il se déconnecte de la réalité, en particulier dans le jeu enfantin. Il fonctionne dans un univers clos, fermé sur lui-même car l'enfant prend les éléments qui participent au jeu et ignore les autres. » (**Caillois, 1958**).

(138) Cette définition s'accorde avec la vision du jeu comme étant une activité libre et procurant un sentiment de plaisir. Cette définition, dans ces caractéristiques, s'oppose a priori à celles auxquelles doit répondre une situation d'apprentissage dans un contexte d'enseignement, notamment en mathématiques : les consignes, les données fournies, le contexte imposé s'opposent à la liberté d'action, le début et la fin de la séance d'apprentissage sont réglés par l'enseignant, l'issue de la séance est connue – au moins par l'enseignant –, elle est généralement productive – c'est du moins un de ses objectifs avoué – car elle cherche à apporter des éléments nouveaux aux élèves. Autrement dit, une situation d'apprentissage est, à plusieurs égards, ce que le jeu n'est pas : elle n'est ni totalement libre, ni incertaine, ni improductive, ni fictive.

En revanche, il existe bien des points de convergence entre ces deux définitions. Par exemple, selon Caillois, le jeu prend vie dans un univers clos, « séparé » (Caillois, 1958), et nous pouvons de fait tracer un parallèle avec les activités mathématiques, qui se déroulent dans un univers clos dont les règles sont imposées par les mathématiciens, par des axiomes, par postulats, par des théorèmes.

De même, « jouer » et « apprendre » s'opposent souvent sur le seul constat que jouer se fait sans effort, là où apprendre renvoie à l'idée que « sans effort il n'y a pas d'apprentissage » (**Caillois, 1958**). Toutefois, une des définitions du jeu est justement sa capacité à se focaliser sur une tâche à laquelle on consacre des efforts physiques et cognitifs : par l'imagination, par la manipulation, par l'effort même qui cherche à rendre l'activité ludique cohérente en elle-même.

Enfin, le jeu peut être réglé, au même titre qu'une séance d'apprentissage. On retrouve notamment cette notion de règle dans la classification des jeux proposée par Piaget, notamment aux niveaux des « jeux symboliques » et des « jeux à règles ». Dans le cas des jeux symboliques la règle élémentaire pourrait être « faire semblant », le « symbole remplace l'objet » (Piaget, 1950). À partir de 2 ans, l'enfant projette des schèmes symboliques sur des objets nouveaux, projette des schèmes d'imitation, assimile les objets entre eux. Cette classe de jeux révèle ainsi une règle implicite, la règle du « faire semblant ». Dans le cas des « jeux à règles », le parallèle est encore plus simple. Ces jeux, qui se forment principalement entre 7 et 11 ans suppose nécessairement des relations sociales ou inter-individuelles : « Les jeux à règles sont des jeux de combinaisons sensori-motrices ou intellectuelles avec compétition des individus (sans quoi la règle serait inutile) et réglés, soit par un code transmis de générations en générations, soit par accords momentanés » (Piaget, 1950).

Dès lors, si nous nous arrêtons sur ces parallèles entre jeu et situations d'apprentissages, c'est non seulement car ils nous permettent d'appréhender au mieux les caractéristiques des situations a-didactique théorisées par Brousseau, mais également d'approcher ce qui constitue l'essence même de l'ingénierie didactique envisagée : pour concevoir une situation d'apprentissage agréable et efficace, l'effort fourni par l'élève doit être perçu comme positif, de manière à renforcer le lien entre l'élève et le savoir.

3.3.3 Le tangram

- (139) Le puzzle se décline en deux versions : les puzzles classiques et les puzzles géométriques. Dans les puzzles classiques, les pièces sont conçues pour ne permettre qu'une seule configuration possible, la résolution du puzzle ne peut conduire qu'à une unique résultat acceptable, valide. Dans le cas des puzzles classiques, les variables didactiques sont donc le nombre de pièces et la similarité des pièces entre elles, chaque pièce étant porteuse d'un indice visuel permettant d'indiquer sa position. En revanche, les puzzles géométriques n'obéissent pas aux mêmes règles, plus particulièrement en ce qui concerne le tangram. Les bords sont droits et les pièces sont généralement de couleur unie, ce qui contraste avec l'irrégularité des pièces du puzzle classique et ne permet pas le prélèvement d'indice. De même, il n'existe aucune relation de voisinage entre les pièces et enfin, un tangram ne suppose pas nécessaire une et unique solution. De fait, la rotation des pièces, la multiplicité des assemblages, la similitude de forme des pièces entre elles, la possibilité de reproduire une pièce par assemblage de plusieurs autres, le manque de liens entre les pièces permet une liberté d'action et de production bien plus importante que dans le cas

du puzzle classique. Là où le puzzle classique nécessite de mettre en place des stratégies de résolution, le tangram permet une multiplicité des productions.

- (140) Dans sa version classique, le puzzle est conçu avec sept polygones réguliers : deux grands triangles, un triangle moyen, deux petits triangles, un carré et un parallélogramme. Ces polygones présentent trois types d'angles : des angles droits, des angles aigus de 45 degrés et des angles obtus de 135 degrés, notons au passage que ce dernier angle représente la somme d'un angle aigu de 45 degrés et d'un angle droit.

Les mesures des côtés mettent en évidence les rapports suivants lorsque l'on pose 2 comme unité pour la longueur du côté de l'angle droit du plus grand triangle :

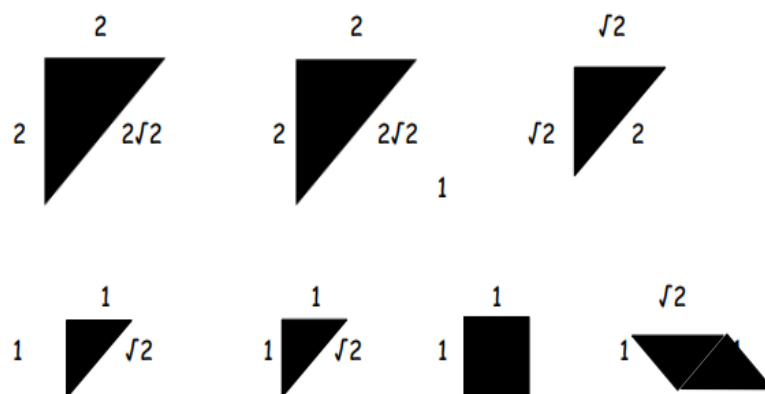


FIGURE 15 – Version classique du Tangram

L'objectif est de réaliser des figures à l'aide des 7 pièces qui constituent le tangram. Trois règles sont à respecter : une figure est toujours constituée de la totalité des sept polygones du jeu, les pièces doivent toutes être juxtaposées et les pièces ne peuvent pas être superposées. Avec des telles règles, on dénombre environ deux milles figures possibles.

- (141) Le jeu du tangram répond bien aux convergences entre les caractéristiques du jeu et celles d'une situation d'apprentissage :

1. Il prend vie dans un univers clos, « séparé » (**Caillois, 1958**), contraint par un nombre de pièces précis, qui plus est chaque pièce est unique et tous les tangrams possèdent les mêmes caractéristiques (même nombre de pièces, mêmes propriétés des pièces, deux mêmes figures peuvent être produites avec deux tangrams différents).
2. Il nécessite un effort cognitif, visant à la production d'une forme imaginée ou à la reproduction d'une forme dont on propose le modèle.
3. Il est réglé : le joueur doit produire des figures, une figure est toujours constituée de la totalité des sept polygones du jeu, les pièces doivent toutes être juxtaposées et les pièces ne peuvent pas être superposées.

- (142) Le tangram est donc *a priori* un outil intéressant pour concevoir des situations d'apprentissage a-didactiques : il partage des caractéristiques avec le jeu et la situation d'apprentissage formelle, il possède des applications géométriques, notamment en offrant à l'élève la manipulation de figures bien connues et possédant des propriétés remarquables (angles droits, angles aigus, angles obtus, pièces composables, proportionnalités entre les pièces). Enfin, le tangram semble s'accorder avec les objectifs du cycle 3 que nous rappelons sommairement : « nommer, comparer, reconnaître, décrire, des figures simples ou d'autres plus complexes, telles que : triangles et triangles particuliers (rectangle, isocèle, équilatéral), quadrilatères et quadrilatères particuliers (carré, rectangle, losange), cercle. Il (l'élève, ndlr) s'est entraîné à reproduire, représenter, construire des figures simples et des configurations planes plus élaborées, à réaliser ou à rédiger un programme de construction. Il a identifié des relations entre objets géométriques et des propriétés de ces objets en mettant en place un vocabulaire adéquat (polygone, côté, sommet, angle, segment, cercle, rayon, diamètre, milieu, médiatrice, hauteur, etc.). » (MEN, 2016).

3.3.4 Le potentiel ludique des paradoxes mathématiques

- (143) Comme il n'existe pas de définition consensus pour déterminer ce qu'est un paradoxe mathématiques, nous commencerons par une proposer une caractérisation et un exemple.

Le dictionnaire de l'Académie française désigne par paradoxe : « Proposition qui, énonçant son propre contraire, paraît à la fois vraie et fausse ; raisonnement dont la conclusion contredit les prémisses ou qui engendre deux conclusions contradictoires ». Dans ce travail, nous désignerons dès lors par paradoxe mathématiques tout objet à caractère géométrique, algébrique ou arithmétiques dont la manipulation peut amener au moins deux résultats contradictoires, le cas minimal étant de montrer qu'un résultat « vrai » peut également être « faux ».

De même, nous ne retiendrons pour ce travail que les paradoxes mathématiques dont la différence de résultats peut être expliquée rationnellement et dont l'in vraisemblance peut être réfutée par une démonstration mathématiques ou par investigation. L'objet support devra également être manufacturable et ainsi convertible en un objet tangible manipulable à souhait.

Ces mesures sont prises en faveur d'une démarche d'investigation. La réfutabilité du paradoxe est en particulier un élément clef en faveur de cette démarche : un objet semble fournir deux résultats contradictoires, toutefois, une investigation suffisamment poussée doit pouvoir permettre à l'observateur d'expliquer le paradoxe a priori de manière à la réfuter. Notons par ailleurs que la réfutabilité a été introduite par Karl Popper comme un concept épistémologique essentiel en cela qu'il permet d'établir une démarcation entre les théories scientifiques et celles qui ne le sont pas ; en ce sens, une affirmation, une hypothèse, est dite réfutable si sa forme logique est telle qu'il est possible de tester son éventuelle fausseté par une expérimentation.

Ainsi, les illusions d'optiques telles que les dérives périphériques (serpents tournants de Akiyoshi Kitaoka), les objets irréalisables (blivet, triangle de Penrose) et les expériences de pensées ne sont pas retenues, bien qu'elles possèdent des propriétés mathématiques et/ou un caractère paradoxal.

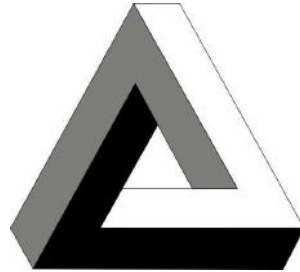


FIGURE 16 – Triangle de Penrose

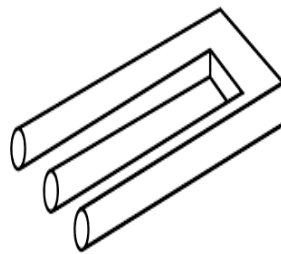


FIGURE 17 – Blivet

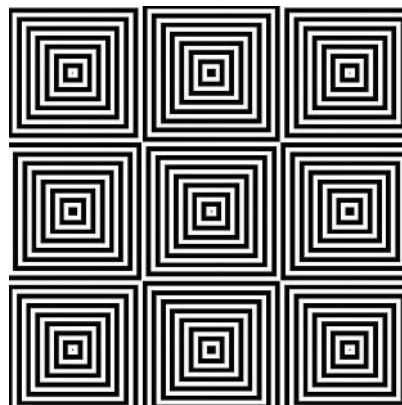


FIGURE 18 – Exemple de dérive périphérique

- (144) Le paradoxe de Langman (ou rectangle de Langman), est une variante du paradoxe de Curry. On le trouve également sous le nom de « paradoxe de Lewis Carroll » ou « paradoxe du carré manquant ». Ces variantes du paradoxe reposent en fait sur la même astuce, seule le contexte et la perspective du problème change. Nous présentons ici sa version la plus populaire :

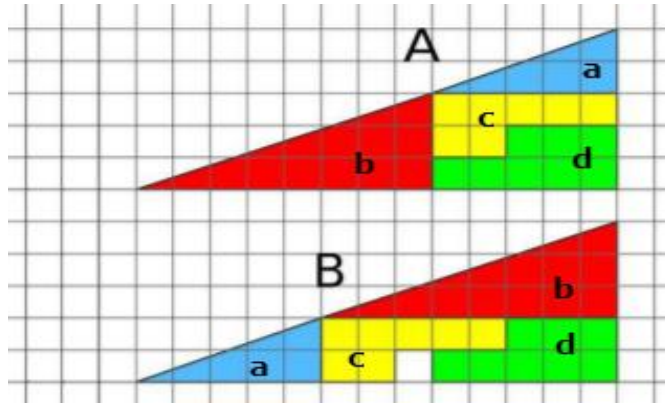


FIGURE 19 – Présentation du paradoxe du carré manquant

Dans sa position initiale (A), la figure composée par les quatre figures a, b, c et d forme un triangle plein d'une certaine surface. Lorsque les pièces a et b sont interverties par glissement (cette manipulation nécessite également le déplacement de la figure c), on obtient alors une seconde figure B, composée exactement des mêmes pièces. Toutefois, une différence notable apparaît entre la figure initiale A et la figure finale B : un espace est apparu, alors que paradoxalement, les deux figures semblent nécessairement être d'aires égales. Comment expliquer ce paradoxe ?

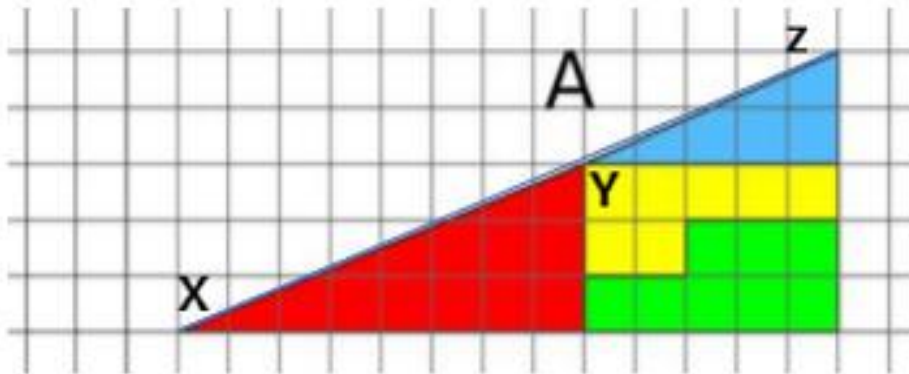


FIGURE 20 – Résolution du paradoxe de lewis carroll - 1

Ce résultat apparemment contradictoire possède en réalité un explication rationnelle assez triviale. Les points X, Y et Z, qui paraissent alignés, ne le sont en réalité pas : ce qui apparaît comme une droite est en fait une parabole.

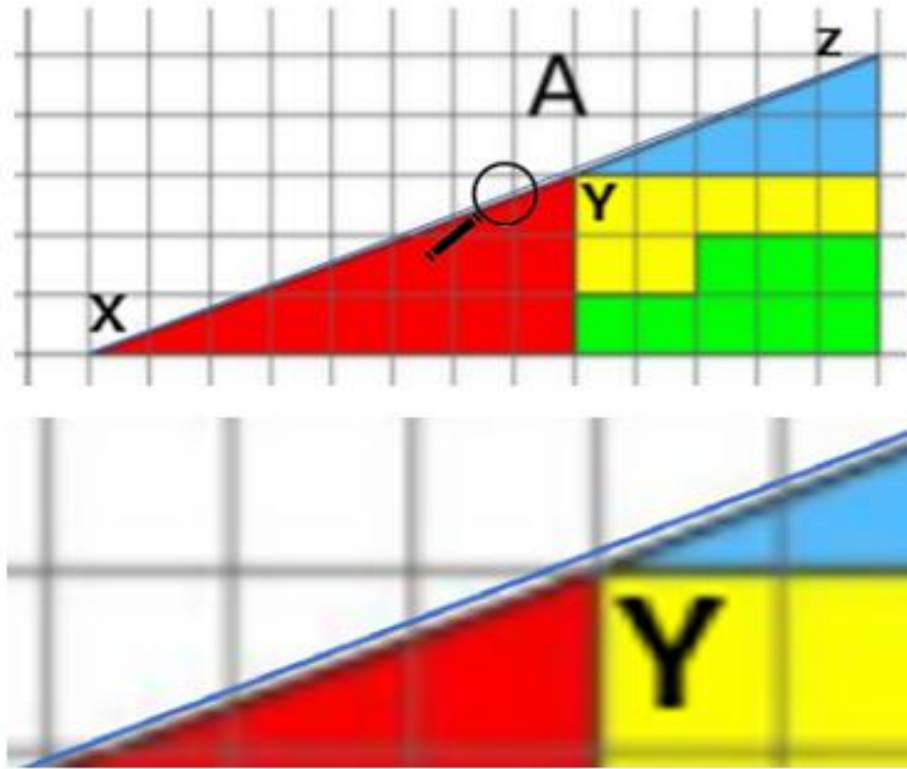


FIGURE 21 – Résolution du paradoxe de lewis carroll - 2

- (145) Lorsque l'on trace une droite D entre les points X et Z, on se rend bien compte que le point Y n'appartient pas à cette droite. L'espace entre la droite d et la courbe C possède la même aire que l'un des petits carreaux de la grille. C'est cette aire qui apparaît lors du déplacement des pièces. Dans la position B, les pièces bleue (a) et rouge (b) sont interverties. La courbe C, convexe dans la position A, devient alors concave. La surface entre la courbe C et la droite D se déplace alors sous la droite D, ce qui donne l'illusion d'un modification de la surface composée par les figures a, b, c et d.

L'énigme du carré manquant, au même titre que le tangram, répond bien aux convergences entre les caractéristiques du jeu et celle d'une situation d'apprentissage :

1. Elle prend vie dans un univers clos, « séparé » (**Caillois, 1958**), contraint par un nombre de pièces précis. Le déplacement des pièces peut être guidé ou contraint si l'activité est transposée numériquement, de fait cet univers peut apparaître plus fermé dans un espace numérique.
2. Il nécessite un effort cognitif, nécessitant un changement de perspective et/ou l'utilisation d'outils de mesure (règle) pour être résolu.

- (146) En revanche, n'étant initialement pas pensé comme un jeu, le paradoxe du carré manquant n'est pas réglé. Il peut l'être, mais les règles nécessitent d'être clairement posées à partir de la situation A. Par exemple, les outils utiles à sa résolution peuvent être autorisés ou non, le nombre de déplacements peu également être contraint (nombre d'aller-retours entre la position A et la position B)

Le paradoxe du carré est a priori un outil intéressant pour concevoir des situations d'apprentissage a-didactiques : il partage des caractéristiques avec le jeu et la situation d'apprentissage formelle et possède des applications géométriques, notamment en offrant à l'élève la manipulation de figures bien connues et possédant des propriétés remarquables (angles droits, angles aigus, angles obtus, pièces composables, proportionnalités entre les pièces), au même titre que le tangram il s'accorde par ailleurs également bien avec les objectifs du cycle 3 que nous avons rappelés.

En revanche, à la différence du tangram, cet exercice possède un aspect fascinant : les résultats contradictoires des deux situations appellent des réponses et poussent à la démarche d'investigation, à l'image d'un tour de magie que l'on ne parvient pas à comprendre et qui retient fortement notre attention.

3.3.5 Apports au projet

- (147) L'étude de ces deux objets mathématiques était nécessaire pour comprendre le cheminement qui nous a conduit à la méthodologie que nous exposerons par la suite. Sur la base des travaux de Brousseau, notamment la théorie des situations didactiques, nous en sommes venus à nous interroger sur la notion de jeu. Les conditions du jeu semblent toutefois, à plusieurs égards, diamétralement opposées à celles qui caractérisent une situation d'apprentissage. Toutefois, certains jeux, ou formes de jeux, ne sont pas incompatibles avec une situation d'apprentissage, notamment lorsque ceux-ci prennent vie dans un univers clos, sont régis par des règles et obligent à un effort cognitif, ce dernier rendant alors l'activité productive en termes de savoir. Pour répondre aux besoins spécifiques de ce travail, nous avons alors étudié deux activités spécifiques : le tangram et le paradoxe du carré manquant. Chacune de ses activités possède des points en commun et des spécificités intéressantes, en particulier toutes deux permettent de « jouer » avec des formes géométriques bien connues, d'approcher les notions d'alignement, d'association de formes, de segment, de droite, d'angle, de surface. Plus spécifiquement, nous avons vu que le tangram permettait une liberté de production (ou de reproduction) assez conséquente (environ deux milles formes dénombrées), et que le paradoxe des carrés manquants, par son aspect fascinant et intrigant, pouvait a priori impacter la motivation des apprenants et les pousser dans une démarche d'investigation.

Par la suite, nous nous attacherons à montrer en quoi ces premières considérations et les apports des travaux en psychologie cognitive et didactique étaient nécessaires à l'élaboration de notre méthodologie. En particulier, nous verrons que l'ingénierie didactique développée se trouve être au croisement de ces deux objets.

3.4 Questions de recherche

- (148) Plusieurs questions se sont imposées à nous, durant la rédaction de cette revue de littérature. Elles ont évolué, au rythme des enjeux et de nos ambitions : comment définir l'esprit critique ? Quelles compétences le mobilisent ? Comment ces compétences s'intègrent-elles dans le cadre des programmes scolaires au troisième cycle ? Comment exercer ces compétences ? Quel est le potentiel rationnel des élèves ? Leur niveau de maturité intellectuelle leur permet-il de prendre efficacement conscience des biais engendrés par le système 1 ? Quel savoir, quelles méthodes enseigner aux élèves ? Quelle ingénierie didactique mobiliser dans cet objectif ? Quelle articulation pour permettre une construction interpersonnelle et intrapersonnelle des savoirs ?

Et finalement, quels moyens mobiliser pour permettre l'émergence et le travail de l'esprit critique des élèves en classe de mathématiques ?

La méthodologie que nous exposons par la suite se donne pour objectif d'apporter une proposition de réponse à cette question.

4 Méthodologie et analyse *a priori*

- (149) Nous présentons ici la méthodologie de l'expérimentation. Une première partie présente le dispositif de manière générale, nous ne ferons dans cette partie aucun lien avec les apports théoriques précédemment cités, une description essentiellement matérialiste sera faite du dispositif : activité générale, outils, dispositifs, supports utilisés, profils et répartition des élèves, consignes, rôles des intervenants, types de données ciblées, échantillonnages, entretien avec l'enseignant et matériel utilisé pour la collecte des données. Par la suite, une seconde partie présentera les objectifs du dispositifs pédagogiques. En particulier nous exposerons l'analyse *a priori* de l'activité, les méthodes envisagées pour le traitement et l'analyse des données, en lien avec les apports théoriques précédemment cités.

4.1 Présentation générale du dispositif pédagogique

4.1.1 Activité, dispositifs et outils

- (150) Le cœur de l'expérimentation repose sur une activité de résolution de puzzles dont les pièces sont des figures géométriques bien connues : 2 quadrilatères quelconques et 2 triangles rectangles.

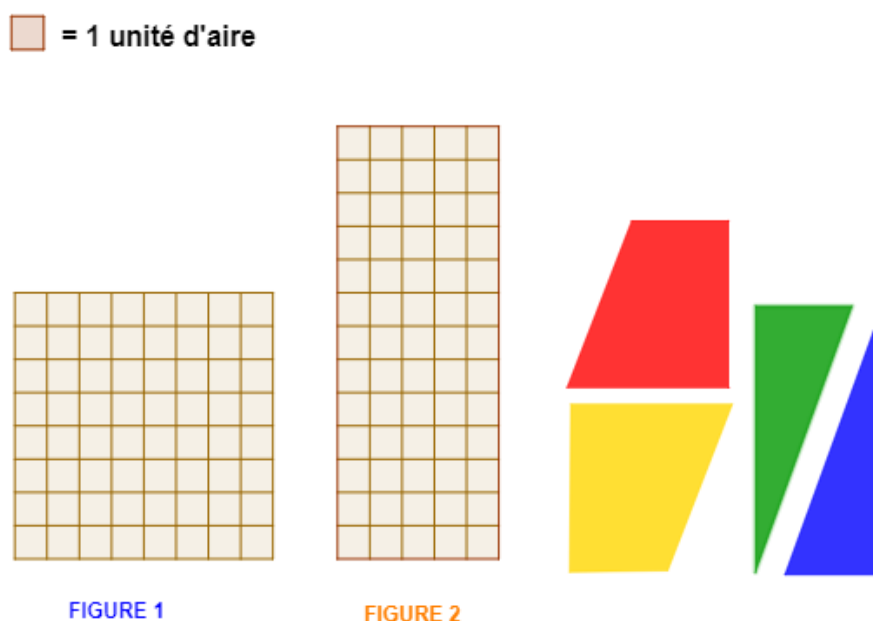



FIGURE 22 – Maquette des artefacts

L'ensemble de ces quatre pièces représente les figures amovibles. Deux autres figures bien connues viennent compléter l'activité, il s'agit de deux rectangles de dimensions différentes. Ces deux dernières figures ont la particularité d'être fixes et quadrillées, de sorte que leurs aires respectives puissent être exprimées en un nombre de petits carreaux. En agencant d'une certaine manière les figures amovibles sur la figure fixe de gauche, on remarque que celle-ci peut être recouverte par les figures colorées : l'aire de l'ensemble des 4 figures est exactement égale à celle de la figure de gauche.

 = 1 unité d'aire

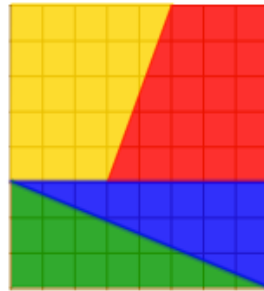


FIGURE 1

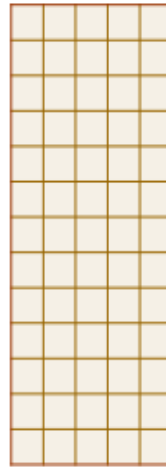


FIGURE 2

FIGURE 23 – Situation initiale de l'activité

En tentant la même manipulation sur la figure de droite, on remarque a priori un résultat similaire : l'aire de l'ensemble des 4 figures semble être exactement égale à celle de la figure fixe de gauche, ça n'est toutefois pas vrai. On remarque en fait des espaces entre les pièces, les quatre figures colorées ne recouvrent pas totalement la figure fixe droite. L'impression de recouvrement total est biaisée.

 = 1 unité d'aire

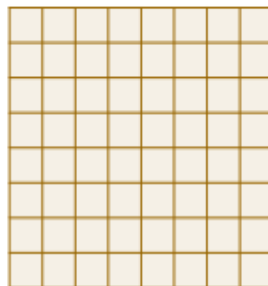



FIGURE 1



FIGURE 2

FIGURE 24 – Situation 2 de l'activité

Initialement, l'activité est ainsi présentée aux élèves :

 = 1 unité d'aire

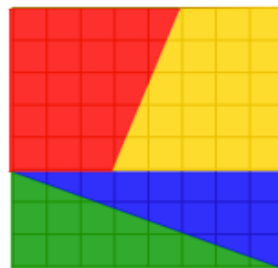


FIGURE 1

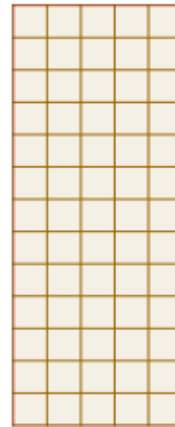


FIGURE 2

Clique sur une figure colorée pour la tourner

FIGURE 25 – La figure gauche est recouverte et l'on n'indique pas les dimensions des figures fixes.

On a donc :

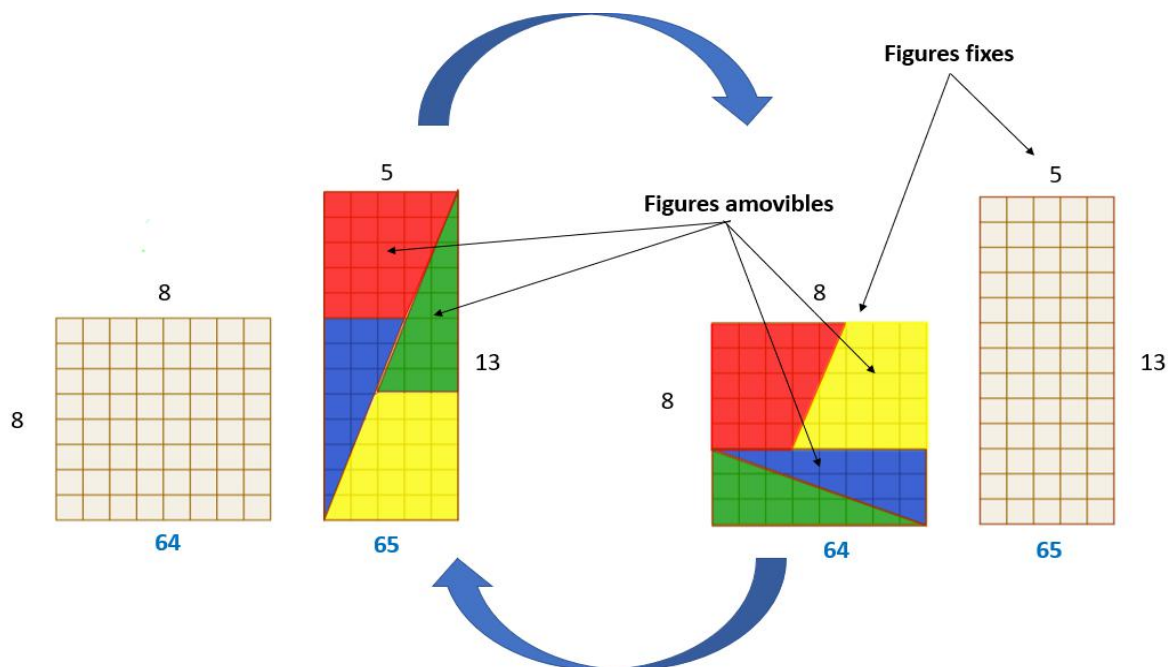


FIGURE 26 – Représentation experte du paradoxe.

Une feuille format A3 accompagne les pièces. Elle sert à guider les élèves et l'enseignant dans l'activité.

Question 1 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la **FIGURE 1** entièrement ?

Question 2 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la **FIGURE 2** entièrement ?

Question 3 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

Question 4 : De combien de petits carreaux est composée la **FIGURE 1** ?

Question 5 : De combien de petits carreaux est composée la **FIGURE 2** ?

Question 6 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse

Question 7 : Comparez les réponses de la **question 3 et 6** ? Que remarquez-vous ?

Question 8 : Proposez une méthode pour expliquer ce que vous avez remarqué.

FIGURE 27 – Feuille distribuée aux groupes pour l'activité

Trois outils sont mis à disposition des élèves : une feuille de brouillon, un crayon à papier, une règle graduée de 30 centimètres. Le dispositif expérimenté repose alors sur cette même activité déclinée en trois supports : un support numérique, un support tangible souple et un support tangible robuste. Le support numérique est réalisé sur Geogebra. Les pièces peuvent être manipulées librement, sans guidage ni feed-back. L'orientation des pièces se fait par clics consécutifs, chaque clic faisant pivoter les figures amovibles d'un quart de tour dans le sens horaire. Seules les figures colorées sont manipulables.

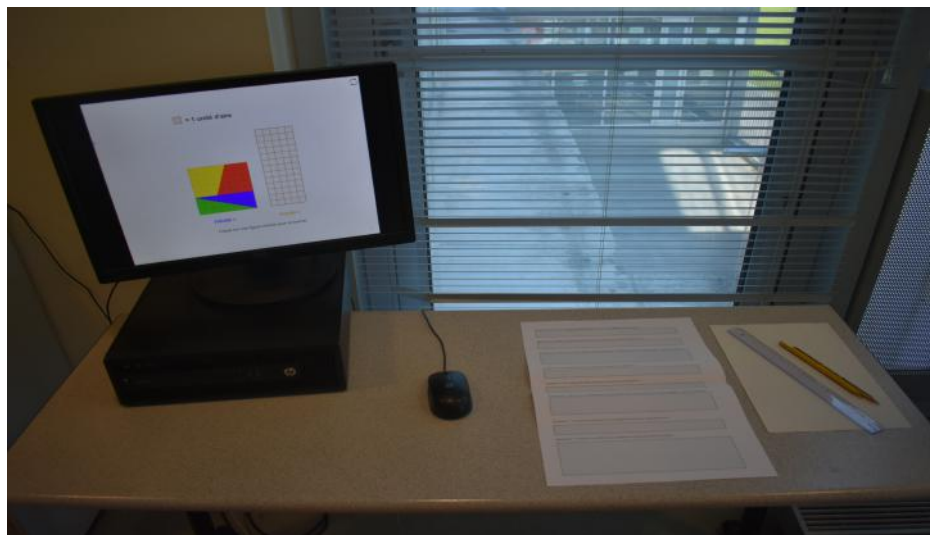


FIGURE 28 – Dispositif numérique

Le support tangible souple est composé de pièces en papier-plastifié. La précision des découpes est relativement bonne, c'est-à-dire suffisamment précise pour que les espaces entre les pièces colorées sur la figure 1 n'augmentent pas significativement. Les pièces colorées sont très peu épaisses, ce qui permet une superposition des figures.

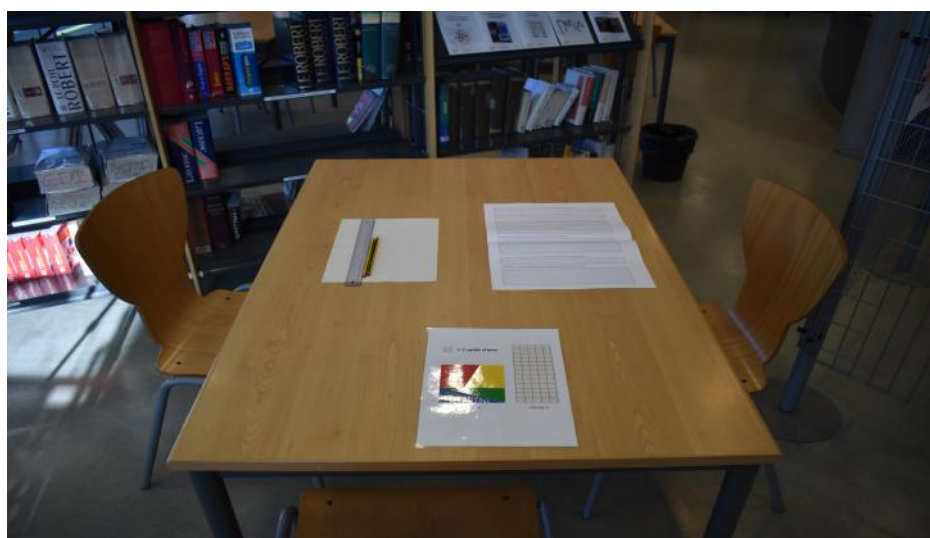


FIGURE 29 – Dispositif tangible souple

Enfin, le support tangible robuste est composé de pièces en plastique obtenues par découpe laser. La précision des découpes est optimale, c'est-à-dire que les espaces entre les pièces colorées sur les figures 1 sont exactement les mêmes que ceux qui peuvent être observés dans le dispositif numérique. Les pièces colorées sont suffisamment épaisses pour que leur superposition soit contre-intuitive.



FIGURE 30 – Dispositif tangible robuste

4.1.2 Profils et répartitions des élèves

- (151) L'expérimentation nécessite 9 élèves : 3 groupes de 3 élèves, à chaque groupe est attribué un dispositif. Un groupe travaille sur le même dispositif durant toute l'expérimentation. Il est demandé à l'enseignant de choisir les 9 élèves dans sa classe pour constituer un groupe hétérogène en termes de niveaux. Ce groupe doit également être suffisamment représentatif du niveau global de la classe. Les 9 élèves sont alors repartis en 3 sous-groupes. Il est demandé à l'enseignant de former ses sous-groupes selon ses convictions et ses appréhensions personnelles ; la consigne lui est donnée de former des groupes par affinité de dialogue, c'est-à-dire des groupes dans lesquels les élèves n'auront a priori aucune appréhension pour prendre la parole. Les sous-groupes sont ensuite repartis sur des îlots de travail. A chaque îlot est attribué un dispositif.

4.1.3 Intervenants et enseignants

- (152) Durant l'expérimentation, l'enseignant est le principal organisateur de la séance. Il délivre les consignes, répond aux questions, navigue d'îlot en îlot et oriente le travail des élèves selon ses propres appréhensions. Les consignes qui lui sont données sont de laisser un maximum d'indépendance aux groupes de travail, de répondre à toutes les questions,

et d'orienter le travail des groupes de sorte à ce que chacun arrive à la dernière question de la feuille dans le temps imparti. L'enseignant doit insister sur les enjeux de la tâche à réaliser et créer les conditions (temps, espace, moyens matériels. . .) d'un véritable échange entre apprenants

- (153) L'expérimentateur n'intervient pas, ou peu. Il intervient pour répondre aux éventuelles questions additionnelles de l'enseignant, par exemple : « est-ce qu'ils sont autorisés à gommer leurs réponses ? » ; « est-ce que je leur laisse plus de temps ? » ; « est-ce que je dois désigner un porte-parole dans chaque groupe pour la mise en commun ? ». L'expérimentateur peut également intervenir pour répondre aux questions d'un groupe d'élèves si l'enseignant est déjà occupé avec un second groupe. Dans ce cas, la réponse apportée par l'expérimentateur aux élèves reste le plus neutre possible, c'est-à-dire suffisamment claire pour permettre aux élèves de continuer d'avancer dans l'activité, mais également suffisamment vague pour ne pas biaiser l'expérimentation. Autrement dit, l'expérimentateur doit s'efforcer à jouer le rôle de l'enseignant.

4.1.4 Temps et consignes

- (154) L'expérimentation est ainsi menée :

Un entretien préalable entre l'expérimentateur et l'enseignant a lieu, quelques jours avant la séance organisée en classe. Durant cet entretien, l'enseignant est confronté, comme un élève, à l'activité sur son support numérique. Il est ici important de noter que les enseignants confrontés au paradoxe mis en relief par l'activité n'ont pas su l'expliquer spontanément, nous reviendrons par la suite sur ce constat. Suite à la confrontation de l'enseignant avec le paradoxe, l'objectif de l'étude lui est ainsi présentée : « Constituer des groupes de travail au sein desquels les élèves échangeront pour tenter d'expliquer les raisons de ce qu'ils observent. Un temps de mise en commun entre les groupes sera également mis en place en fin de séance. Durant ce moment de mise en commun, les groupes présenteront leurs résultats et expliqueront aux autres groupes leur méthodes pour expliquer leurs observations. Les groupes échangeront alors pour tenter d'expliquer les raisons de ce qu'ils observent ». L'enseignant fournit également un portrait de sa classe selon ses propres critères : niveau, profils des élèves, difficultés de gestion de la classe. . . Il lui est également demandé de donner son avis sur le niveau de langage des questions de la feuille qui est distribuée aux élèves et d'estimer si le temps imparti sera suffisant pour aller jusqu'au bout de l'activité. L'enseignant reçoit pour consigne de ne pas aborder un exercice similaire à l'activité en classe avant l'expérimentation. Il peut en revanche proposer à sa classe de revoir les notions suivantes si elles lui paraissent importantes :

1. Estimer la mesure d'une aire
2. Unités usuelles d'aire et leurs relations
3. Addition, multiplication
4. Dénombrement

5. Formule de l'aire des figures bien connues (carré, rectangle, triangles particuliers)
6. Proportionnalité
7. Reconnaître, nommer, comparer, vérifier, décrire, reproduire, représenter, construire différentes figures géométriques
8. (Se) repérer et (se) déplacer dans l'espace en utilisant ou en élaborant des représentations
9. Notions d'alignement et d'appartenance
10. Perpendicularité, parallélisme
11. Segment de droite
12. Distance entre deux points, entre un point et une droite

(155) Quelques jours suivants l'entretien entre l'expérimentateur et l'enseignant, l'expérience est menée en classe. Les élèves sont repartis sur des ilots suffisamment éloignés. L'activité nécessite a priori une heure, ce temps est évalué entre la délivrance des consignes par l'enseignant aux groupes et la fin de la phase de mise en commun. A la fin de la mise en commun, la phase expérimentale s'arrête. Si le temps le permet, d'autres paradoxes mathématiques sont présentés aux élèves. Un bilan a posteriori est effectué avec l'enseignant et l'objectif final du dispositif lui est présenté.



FIGURE 31 – Dispositif technique de l'expérimentation

4.1.5 Collecte des données : types et matériel

(156) Nous nous intéressons dans cette étude à quatre types de données :

1. Les propos des élèves, obtenus durant les phases de concertation dans les sous-groupes et durant la phase de mise en commun entre les sous-groupes. Ces propos regroupent les échanges entre les élèves et les échanges entre les élèves et l'enseignants.
2. Les réponses apportées par les groupes aux questions de la feuille A3 distribuées avec l'activité. Une expérimentation en classe donne donc accès à trois feuilles de réponses, chaque feuille couvrant un type de dispositif (numérique, tangible souple, tangible robuste).

3. Les manipulations des figures par les élèves, c'est-à-dire l'activité des mains des élèves.
4. Les portraits donnés par l'enseignant du groupe principal, puis des sous-groupes.

Les données du type 1 sont collectées par captation à l'aide d'une caméra. Les données de type 2 sont collectées par ramassage des feuilles. Les données de type 3 par photographies. Les données de type 4 par la collecte de notes durant l'entretien. Pour cette expérimentation, 2 caméras, 1 appareil photographique et 1 magnétophone numérique ont été assignées à la collecte des données. Le magnétophone numérique faisant office de troisième caméra pour le dispositif numérique.

4.1.6 Traitement des données

- (157) L'expérimentation a eu lieu dans deux classes, dans deux établissements différents. Pour chacune de ces expérimentations, nous traiterons les données ainsi :

- (1) Nous rappellerons les propos de l'enseignant pour caractériser sa classe.
- (2) Pour chaque sous-groupe, nous exposerons ensuite :
 - a. Les propos de l'enseignant pour caractériser le sous-groupe
 - b. Nous analyserons les moments forts des discussions entre les élèves du sous-groupe et avec l'enseignant :
 - i. Au début de l'activité (Question 1 à 3)
 - ii. Au milieu de l'activité (Question 4 à 6)
 - iii. En fin d'activité (Question 7 et mise en commun)
 - c. L'analyse des réponses aux questions de la feuille A3
 - d. L'analyse de l'activité gestuelle des élèves

4.2 Analyse a priori

4.2.1 Objectifs spécifiques de la séance

- (158) L'activité, quelque soit sa déclinaison – numérique, tangible robuste, tangible souple – a deux objectifs, elle vise :

Collectivement : l'émergence de débats entre les élèves, à l'intérieur des sous-groupes et entre les sous-groupes. Ces débats doivent être des moments d'échanges et de confrontations d'arguments entre les élèves.

Individuellement : permettre aux élèves de développer des réflexes introspectifs et leur permettre de favoriser les arguments rationnels au dépend des arguments fallacieux.

4.2.2 Compétences visées

1. Enquêter
 - Poser des questions de clarification
 - Se concentrer sur une question
 - Discuter et agir avec les autres
2. Autonomie de la penser
 - Analyser les arguments d'autrui
 - Induire et évaluer des inférences déductives (prémices de la démonstration)
 - Évaluer et confronter les interprétations d'autrui
3. Se focaliser sur les faits
 - Observer et évaluer des observations
 - Construire et évaluer des définitions
 - Construire une procédure de décision

4.2.3 Justification de l'activité – Aspects psychologiques

- (159) En recouvrant la première figure, nous cherchons à créer un stimulus visuel qui doit amorcer une idée spécifique : « la figure 1 peut-être parfaitement recouverte ». Et c'est en effet le cas, l'assemblage des pièces colorées permet un recouvrement parfait de la figure 1. De cette manière, on amorce chez l'élève l'idée de *recouvrement parfait*. On peut alors supposer que lorsqu'il parviendra à recouvrir la figure 2, l'idée de recouvrement parfait – encore prégnante, car amorcée – devrait biaiser son raisonnement et le pousser à croire que la figure 2 est également parfaitement recouverte, ce qui n'est pourtant pas la cas. De même, cette disposition initiale rend la première question triviale, on peut s'attendre à ce qu'aucun élève ne soit confronté à une difficulté à ce stade de l'activité : la réponse est en effet donnée. Cet accès à la facilité est également souhaité, de manière à créer une première impression très positive de l'activité chez l'élève : on s'attend à ce que l'activité, qui peut être déconcertante par son originalité, lui apparaisse réalisable et accessible dès la première question. En d'autres termes, on cherche à créer une bonne première impression de l'activité de façon à ce que celle-ci soit par essence perçue comme positive, c'est une sorte d'effet de Halo : une caractéristique jugée positive à propos de l'activité aura tendance à rendre plus positives les autres caractéristiques de cette activité.

 = 1 unité d'aire

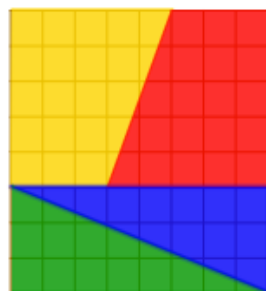


FIGURE 1

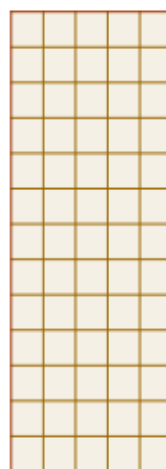


FIGURE 2

FIGURE 32 – Situation initiale de l'activité

- (160) Cette situation initiale devrait *a priori*, grâce à la question 2, conduire l'élève à la résolution du puzzle de la figure 2, puis à la conclusion que les 4 figures colorées peuvent parfaitement recouvrir les 2 figures fixes. La situation 2 (le puzzle de la figure 2 est résolu) doit nous permettre de réaliser un effet d'ancrage, c'est-à-dire une difficulté, par la suite, à se départir de sa première impression, de telle manière que les données initiales de la situation semblent s'imposer comme nécessaires et essentielles pour décrire ou résoudre un problème. On s'attend, par cet effet d'ancrage, à ce que les élèves en viennent naturellement à penser que les figures 1 et 2 possèdent la même surface, et qu'il ne peut en être autrement.
- (161) Jusqu'à la question 3, c'est-à-dire pendant la première phase de l'activité, nous cherchons donc à biaiser le raisonnement des élèves. On s'attend donc, durant cette phase, à ce que les arguments des élèves appartiennent principalement au registre de la croyance.

La seconde phase – question 4 à 6 –, est une phase de déconstruction progressive de ces croyances : l'objectif des questions est de guider les élèves dans leur réflexion, leur permettre de se poser les bonnes questions. Cette phase doit permettre une réelle prise de conscience, on s'attend à ce que les élèves montrent des signes d'incompréhension, de nervosité, d'agacement, cherchent à s'accrocher à leurs croyances initiales. Autrement dit, si la phase 1 peut-être associée à une phase de mise en confiance pour l'élève, la phase 2 doit créer une sensation d'inconfort relativement forte chez les apprenants. C'est également durant cette phase qu'on peut s'attendre à ce que les échanges argumentatifs soient les plus vivants notamment avec l'émergence :

➤ De biais de confirmation : par exemple, un élève qui maintiendrait coûte que coûte que les figures 1 et 2 possèdent des aires égales. Ce comportement pourrait apparaître en réactance à la sensation inconfortable d'incompréhension face au paradoxe ; en ne sachant pas expliquer le paradoxe, on peut s'attendre à ce que l'élève cherche à se maintenir dans ses certitudes, quitte à ne retenir que des arguments en faveur de sa croyance.

➤ De biais de conformisme : par exemple, un élève qui choisirait d'adopter la position des deux autres membres du groupes par facilité, et également parce qu'il est plus confortable de ne pas rentrer dans une confrontation d'idées.

➤ D'effet Boomerang : presque opposable à un élève conformiste, on peut imaginer un élève qui choisirait de ne pas abandonner ses idées et même d'essayer de convaincre les autres membres de son groupe d'y adhérer. Dans ce cas, on peut alors imaginer que ses tentatives de persuasion créent l'effet inverse, c'est-à-dire que les autres membres du groupe choisissent volontairement de ne pas tenir compte de ses remarques, par réactance.

➤ De biais de faux consensus : qui est un cas quelque peu similaire au biais du conformisme. Dans ce cas, on peut par exemple s'attendre à ce qu'un élève, réellement persuadé de la véracité de ses idées, parte du principe qu'il est naturellement impossible que les deux autres membres de son groupe puissent penser différemment, en faisant ainsi, il surestime le nombre de personnes qui partagent ses opinions.

➤ De biais de cadrage : pour rappel, le biais de cadrage suppose que la manière de présenter un problème ou un sujet n'est pas sans conséquence sur le raisonnement qui en découle ; il désigne l'influence que peut avoir la formulation d'une question ou d'un problème sur la réponse qui y est apportée. D'une part, c'est ce qui est recherché dans les premières questions de l'activité, et on peut donc s'attendre à un foisonnement de biais de cadrage chez les élèves. Mais, d'une autre part, on peut également s'attendre à ce que des élèves cherchent à formuler des questions, aux autres membres de leurs groupes, de manière à ce que ceux-ci produisent naturellement des réponses allant dans leur sens. Ces questions peuvent par exemple être : « Tu ne vois donc pas ? », « C'est évident non ? », « Tu es sûr(e) d'avoir bien compté ? » etc... En d'autres termes, ce sont des questions qui visent à semer les doutes chez les membres du groupe qui ne partagent pas l'opinion de l'élève.

4.2.4 Justification de l'activité – Aspects didactique

➤ Construction intrapersonnelle du savoir :

- (162) La tranche d'âge des élèves visés correspond au stade piagétien des opérations concrètes (7 à 12 ans). A ce stade, les raisonnements ont encore besoin d'un support concret. Il est par exemple plus facile d'utiliser des pièces ou des jetons pour comprendre le mécanisme de la multiplication même s'il peut apprendre la « cantine » des tables de multiplication

par cœur. Ce besoin de passer par un support concret, pratique et manipulable est important dans l'acquisition des apprentissages scolaires en primaire. » (Joly, 2019). Ainsi, le stade des opérations concrètes est celui qui portent directement sur les objets (Piaget, L'épistémologie génétique, p. 44), c'est la raison pour laquelle nous avons également choisi de décliner l'activité par des supports tangibles.

Pour Piaget, l'apprentissage est également le résultat d'un processus dynamique de recherche d'équilibre entre le sujet et son environnement, où l'apprenant passe d'une phase d'assimilation à une phase d'accommodation du savoir. La phase d'assimilation, durant laquelle l'apprenant transforme les éléments provenant de son environnement, correspond ici à la phase 1 de notre expérimentation : l'élève manipule, agit sur les figures, il construit et tire des constats très pragmatiques de ses constructions. En revanche, durant la phase 2, la phase de déconstruction, l'objet ou la situation à l'épreuve de l'apprentissage résiste : c'est la phase d'accommodation, qui doit entraîner une modification de la structure cognitive de l'élève de manière à permettre l'intégration des éléments faisant l'objet de son apprentissage.

Dans le prolongement de cette vision Piagétienne de l'apprentissage, rappelons par ailleurs que nous cherchons ici à amener l'élève à construire un « schème du scepticisme », sur les critères structurel du schème de Vergnaud, pour rappel :

Composantes / Schèmes	Schème du dénombrement	Schème du scepticisme
Objectifs	Evaluer la cardinalité d'un ensemble d'objets	Identifier le vrai du faux, la part de rationalité et la part de croyance, dans une théorie, une information, un avis.
Règles d'action	Lister, ordonner, trier.	Douter systématiquement, tester la réfutabilité d'une hypothèse
Théorème(s) en acte	La répétition du dernier mot-nombre indique la fin des actions de	« Une affirmation extraordinaire demande des preuves plus qu'ordinaires », Rasoir d'Ockham
Concept(s) en acte	Premier mot-nombre, dernier mot-nombre	Affirmation vraie ou fausse, source sûre, source douteuse
Inférences	Correspondance biunivoque, liens logiques.	Liens logiques, si, alors, donc.

FIGURE 33 – Schème du scepticisme

- (163) Nous proposons ce schème, a priori « efficace », qui semble adapté pour répondre à une large classe de situations problèmes nécessitant l'usage de compétences propres à l'esprit critique, et proposons qu'il serve par la suite de modèle pour à l'évaluation a posteriori des actions individuelles des élèves. En particulier, nous confronterons les objets, règles d'actions, théorèmes en acte, concept en acte et inférences de l'élève, avec ce schème attendu.

Comme nous l'avons signifié précédemment, le cycle 3 correspond a priori au stade des opérations concrètes, les élèves appartenant en principe à la tranche d'âges des 7-12 ans. Ce stade, au sens de Piaget, est celui qui porte directement sur les objets et nécessite des supports concrets, tangibles pour appuyer le raisonnement des élèves, c'est la raison pour laquelle nous avons décliné cette activité à l'aide de supports tangibles. Or, la notion de schème s'inscrit dans le processus que Rabardel nomme genèse instrumentale : au cours de ce processus, un même artefact peut, pour différents utilisateurs, se voir attribuer diverses fonctions caractéristiques de l'élaboration d'instruments. Nous avons ici cherché à construire la phase 1 comme phase d'instrumentalisation, au sens de Rabardel, c'est-à-dire la phase de sélection, regroupement, production et institution de fonctions, détournements et catachrèses, attribution de propriétés, et transformation de l'artefact (structure, fonctionnement etc). La phase 1 est en effet la phase propice à l'appropriation des différents artefacts de l'activité par les élèves. De même, nous avons ici cherché à construire la phase 2 comme une phase d'instrumentation, c'est-à-dire propice à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation et d'action instrumentée. C'est en effet durant cette phase de déconstruction de la croyance des élèves que nous cherchons à faire émerger une prise de conscience devant conduire à une réévaluation du schème d'apprentissage de l'élève – vers le schème du scepticisme –.

➤ Construction interpersonnelle du savoir :

- (164) Si l'approche piagétienne de l'apprentissage nous paraît fondamentale en ceci qu'elle permet de caractériser les processus intrapersonnels de construction du savoir, l'approche Vygotskienne, en définissant autrui comme un vecteur de culture – matériau sémiotique qui médiatise le processus cognitif – permet d'en caractériser les processus interpersonnels. De plus, l'étude des programmes du cycle 2 nous avait permis de conclure que l'autonomisation de la pensée apparaissait comme un processus fortement ancré dans la formation globale de la personnalité des élèves : cette personnalité se formant dans l'échange, le partage et l'identification aux autres. Suivant les théories de Vygotsky, nous avons cherché à développer une activité permettant de placer l'élève dans une zone proximale de développement, c'est-à-dire suffisamment compliquée pour que les apprenants ait besoin du professeur ou d'échanger avec les autres membres de leur sous-groupe pour parvenir à une procédure de diffusion, mais également suffisamment simple pour que l'élève puisse agir avec une certaine autonomie : l'objectif de l'activité doit paraître réaliste.

Dans cette logique, nous avons également souhaité organiser et penser des questions suffisamment claires et suffisamment simples pour permettre un étayage (ne nécessitant pas ici une intervention trop fréquente de l'enseignant) suffisant de l'activité. En ce sens, nous avons cherché à produire des questions permettant :

1. L'enrôlement de l'élève, en suscitant l'adhésion de l'apprenant aux exigences de la tâche, c'est notamment l'objectif des premières questions
2. La réduction des degrés de liberté : simplifier la tâche en réduisant la difficulté du processus de résolution, c'est notamment l'objectif de la multiplication des questions courtes et simples.

3. Le maintien de l'orientation : faire en sorte que l'apprenant ne change pas d'objectif durant la résolution de la tâche et qu'il se focalise sur l'objectif initialement fixé, ce que nous cherchons à faire en orientant chaque question intermédiaire vers le même objectif final, qui est de permettre aux élèves de répondre à la question 8 et de comprendre le paradoxe.
4. La signalisation des caractéristiques dominantes : faire prendre conscience à l'apprenant des écarts qui existent entre ce que qu'il réalise et ce qu'il voudrait réaliser, c'est l'objectif des phases 1 et 2, respectivement de construction et de déconstruction des croyances.
5. Le contrôle de la frustration : essayer de maintenir l'intérêt et la motivation de l'apprenant en utilisant divers moyens et en se prémunissant d'une trop grande dépendance, ce que nous cherchons à faire en maintenant des questions les plus simples possibles.

(165) Cette organisation du milieu fait écho à la théorie des situations didactiques de Brousseau, dont nous avons également souhaité nous inspirer afin d'organiser la dévolution. En particulier, dans le contexte de cet activité, nous avons souhaité organiser un milieu d'apprentissage tel qu'il concède suffisamment de rétroactions à l'élève pour lui permettre d'avancer de manière autonome dans l'activité. La phase 2 doit permettre notamment ces rétroactions, par déconstruction des croyances de l'élève. Nous avons ici cherché à penser une activité qui révèle plus ou moins clairement l'intention d'enseigner un certain savoir à l'élève mais qui dissimule suffisamment ce savoir et la réponse attendue pour que l'élève ne puisse les obtenir que par une adaptation personnelle au problème proposé. Cette adaptation prend vie durant les phases de construction et de déconstruction de ses croyances.

Enfin, nous avons cherché, en nous inspirant des travaux de Doise et Mugny, à élaborer une activité suscitant des interactions entre les pairs et pouvant permettre l'émergence de conflits sociocognitifs. Rappelons que le stade préopératoires et le stade des opérations concrètes sont en partie caractérisés par l'égoïsme, autrement dit l'ignorance des points de vue d'autrui. Lorsque le dispositif d'enseignement crée une relation conflictuelle, il permet de faire émerger la nécessité de reconnaître explicitement la différence. Le conflit socio-cognitif, qui est une source de déséquilibre, à la fois social et cognitif, est en ce sens un outil de construction du savoir interpersonnel. De cette manière, pour répondre au cadre structurel suggéré par Doise et Mugny :

1. Il a été demandé aux enseignants de former des sous-groupes d'affinité, pour tenter d'établir un climat favorable à l'échange et à la communication entre les élèves.
2. Il a également été demandé aux enseignants que le niveau des groupes soit suffisamment hétérogène. Rappelons, au regard des travaux de Doise et Mugny, que les groupes aux niveaux de compétences nettement hétérogènes sont jugés plus efficaces : les élèves « moins sachants » apprenant des « plus sachants » et réciproquement les « plus sachants » apprenant par l'effort consenti pour expliquer aux « moins sachants ».

3. Enfin, l'enseignant a reçu pour consigne d'insister sur les enjeux de la tâche à réaliser et créer les conditions (temps, espace, moyens matériels...) d'un véritable échange entre apprenants.
4. Enfin, un temps de mise en commun à été pensé pour répondre aux besoins attenants à la maîtrise des compétences de communication, d'argumentation, de formalisation.

4.3 Déroulement attendu : différentes phases et durées

Première phase, présentation des consignes par le professeur, quelques minutes.

Seconde phase, question 1 à 3 : 5 à 10 minutes.

Troisième phase, question 4 à 6 : 5 à 10 minutes.

Quatrième phase, question 7 et 8 : 10 à 15 minutes.

Cinquième phase, mise en commun entre les groupes, 15 minutes.

4.3.1 Réponses et procédures attendues

Réponse la plus probable

Autre réponse possible

Question 1 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 1 entièrement ?

Oui, on peut.

Question 2 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 2 entièrement ?

Oui, on peut.

Question 3 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

La figure 1 a la même aire que la figure 2 car les figures colorées recouvrent entièrement la figure 1 et elles recouvrent entièrement la figure 2.

Question 4 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 1 ?

La figure 1 est composée de 64 petites carreaux.

Question 5 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 2 ?

La figure 1 est composée de 65 petites carreaux.

La figure 2 est composée de 64 petits carreaux car les figures 1 et 2 ont la même aire.

Question 6 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse

La figure 1 est plus petite que la figure 2 car la figure 1 est composée de 64 petits carreaux contre 65 pour la figure 2.

La figure 1 a la même aire que la figure 2 car les figures colorées recouvrent entièrement la figure 1 et elles recouvrent entièrement la figure 2.

Question 7 : Comparez les réponses de la question 3 et 6 ? Que remarquez-vous ?

Finalement les figures 1 et 2 n'ont pas la même aire.

Ce sont les mêmes réponses.

Question 8 : Proposez une méthode pour expliquer ce que vous avez remarqué.

Lorsque l'on recouvre la figure 2, on remarque des espaces entre les figures colorées. Comme il manque un petit carreau entre la figure 1 et la figure 2, on pense que la surface totale de ces espaces représente la dimension d'un petit carreau.

On ne remarque rien.

4.3.2 Difficultés prévisibles et aides éventuelles

- (166) De manière générale : il est possible que les élèves ne voient pas le paradoxe. Dans ce cas, on peut s'attendre à ce que les différents jeux d'argumentations, entre les élèves d'un

sous-groupe et entre les sous-groupes, ne naissent pas. On peut également s'attendre à ce que des élèves aient des difficultés de calculs, notamment pour évaluer l'aire des figures en carreaux (méconnaissance de la multiplication, de la formule de l'aire, de l'addition...).

Pour l'activité numérique, il peut s'agir de difficultés techniques imputables au numérique : résistances aux manipulations des élèves, guidage trop fort, difficultés à effectuer des zooms sur la figure.

Pour l'activité tangible souple, il peut s'agir de difficultés engendrées par le matériau : il peut se plier facilement et a tendance à coller au doigt. De plus, les pièces sont très fines, on peut supposer que les élèves soient tentés de les superposer.

A priori, l'activité tangible robuste n'engendre pas de difficultés spécifiques.

4.3.3 Activité numérique

- (167) Elle est plus guidée que les deux autres : lorsqu'une pièce colorée touche le bord d'une figure fixe, elle est aimantée au(x) bord(s), chaque pièce ne peut se retrouver que dans 4 positions. Les bords des pièces sont parfaitement droits, ce qui rend l'illusion optimale. Les élèves ont la possibilité de zoomer sur l'activité, ce qui, contrairement aux deux autres formes de l'activité, peut permettre de faire apparaître bien plus clairement les espaces. C'est, a priori, la version de l'activité la plus adaptée pour répondre au travail des compétences visées.

4.3.4 Activité tangible souple

- (168) De par la fragilité des pièces, les difficultés de manipulation qu'elle peut engendrer (pièces qui peuvent rester collées aux doigts), et du fait que le découpage des pièces soit nettement moins précis que pour les activités « numérique » et « robuste », on s'attend a priori à ce que cette version de l'activité soit la moins adaptée pour répondre au travail des compétences visées.

4.3.5 Activité tangible robuste

- (169) Cette déclinaison de l'activité apparaît comme intermédiaire entre l'activité « souple » et l'activité « numérique » : la découpe des pièces est très précise, leur superposition est contre-intuitive, l'activité est toutefois moins guidée que l'activité « numérique » et permet des manipulations plus importantes. En revanche les espaces sont plus difficilement visibles du fait que les pièces s'associent parfaitement. Contrairement à l'activité «

souple », les pièces sont faciles à manipuler, elles ne sont pas pliables et ne collent pas aux doigts. Elle semble a priori bien adaptée au travail des compétences visées.

5 Résultats et analyse a posteriori

5.1 Légende

Début d'activité : questions 1 à 3

Milieu d'activité : questions 4 à 6

Fin d'activité : question 7 à 8

Autonomie des élèves :

Totale autonomie : le professeur n'intervient jamais, les élèves ne sollicitent pas son intervention, l'activité se suffit à elle seule.

Autonomie forte : les élèves sollicitent parfois le professeur. Les interventions du professeur sont relativement courtes.

Autonomie faible : les élèves sollicitent souvent le professeur. Les interventions du professeur sont assez longues.

Autonomie nulle : les élèves ne parviennent pas à avancer dans l'activité sans l'appui de l'enseignant, les tâches sont difficiles et les explications du professeur paraissent laborieuses pour les élèves.

Echanges élève-élève :

Optimaux : Les échanges sont nombreux, l'argumentation est riche et tous les élèves y participent. De plus, les échanges demeurent courtois et productifs.

Assez productifs : les échanges sont nombreux spécifiquement entre certains élèves, l'argumentation est assez riche et permet la production d'idées.

Faiblement productifs : les échanges sont peu nombreux et difficiles, l'argumentation est pauvre et permet rarement la production d'idées.

Très pauvres : les échanges sont presque inexistants, les élèves ne parviennent pas à s'investir dans l'activité et l'argumentation est presque inexistante.

Echanges élèves-enseignant :

Optimaux : le professeur intervient essentiellement pour modérer le débat et les échanges entre les élèves, il n'intervient jamais, ou très rarement sur des questions techniques (calcul d'une aire, notation d'alignement, aide à la résolution des puzzles etc...).

Assez productifs : le professeur intervient pour modérer le débat et les échanges entre les élèves, mais également sur des questions plus techniques.

Faiblement productifs : le professeur intervient essentiellement sur des questions techniques.

Très pauvres : Le professeur ne parvient pas à faire naître les échanges entre les élèves, il consacre beaucoup de temps aux explications techniques.

Gestuelle des élèves :

Très importante : tous les élèves du groupe participent à l'activité de manière, les manipulations sont très nombreuses et le plus souvent collectives.

Importante : tous, ou une majorité des élèves du groupe participent à l'activité, les manipulations sont fréquentes et parfois collectives.

Faible : Certains élèves participent à l'activité, les manipulations sont peu fréquentes et rarement collectives.

Nulle : Les élèves ont de grandes difficultés à s'investir dans l'activité, les manipulations sont très rares et jamais collectives.

Réponses des élèves aux questions de la feuille (Attention, certains groupes ont exprimé leurs réponses à l'oral, voir les verbatims) :

Très bonnes : les réponses correspondent en grande partie aux réponses attendues dans l'analyse a priori.

Bonnes : les réponses correspondent souvent aux réponses attendues dans l'analyse a priori.

Faibles : les réponses correspondent rarement aux réponses attendues dans l'analyse, les élèves n'ont pas répondu à certaines questions.

Incomplètes : la plupart des réponses sont difficiles à interpréter, les élèves n'ont pas répondu à certaines questions.

5.2 Résultats

Expérimentation N°	Type de support pour l'activité		
1	Tangible robuste		
Description générale de la classe (Par l'enseignant)	Dans cette classe, le niveau des élèves est qualifié de « bas », voir « très bas ». L'enseignant fait également mention d'élèves en situation d'échec scolaire. La classe comprend des élèves dysphasiques, dyspraxiques et dyslexiques. Le collège est situé en zone d'éducation prioritaire.		
Description du sous-groupe (Par l'enseignant)	« Un élève faible » ; « Un élève moyen » ; « Un élève bon »		
Autonomie des élèves	Début d'activité Autonomie faible	Milieu d'activité Autonomie faible	Fin d'activité Autonomie faible
Echanges élève-élève	Début d'activité Faiblement productifs	Milieu d'activité Faiblement productifs	Fin d'activité Faiblement productifs
Echanges élèves-enseignant	Début d'activité Faiblement productifs	Milieu d'activité Faiblement productifs	Fin d'activité Très pauvres
Analyse de la gestuelle	Début de l'activité Faible	Milieu de l'activité Faible	Fin de l'activité Faible
Analyse des réponses	Début de l'activité Bonnes	Milieu de l'activité Bonnes	Fin de l'activité Incomplètes
Résolution du paradoxe	NON		
Notes	Ce groupe est celui qui semble avoir été le moins efficace. Les élèves ne sont jamais réellement parvenus à s'investir dans l'activité, autant individuellement que collectivement. Les échanges étaient pauvres et le plus souvent unilatéraux. Ce groupe n'est également pas parvenu à constater le paradoxe et l'enseignant n'est pas parvenu à les remobiliser dans l'activité.		

FIGURE 34 – Expérience 1, activité "tangible robuste"

Expérimentation N°	Type de support pour l'activité		
1	Tangible souple		
Description générale de la classe (Par l'enseignant)	Dans cette classe, le niveau des élèves est qualifié de « bas », voir « très bas ». L'enseignant fait également mention d'élèves en situation d'échec scolaire. La classe comprend également des élèves dysphasiques, dyspraxiques et dyslexiques. Le collège est situé en zone d'éducation prioritaire.		
Description du sous-groupe (Par l'enseignant)	« Un élève moyen, perturbateur » ; « Un élève moyen » ; « Un élève bon »		
Autonomie des élèves	Début d'activité Autonomie forte	Milieu d'activité Autonomie forte	Fin d'activité Autonomie forte
Echanges élève-élève	Début d'activité Assez productifs	Milieu d'activité Optimaux	Fin d'activité Optimaux
Echanges élèves-enseignant	Début d'activité Optimaux	Milieu d'activité Optimaux	Fin d'activité Optimaux
Analyse de la gestuelle	Début de l'activité Faible	Milieu de l'activité Importante	Fin de l'activité Très importante
Analyse des réponses	Début de l'activité Très bonnes	Milieu de l'activité Très bonnes	Fin de l'activité Très bonnes
Résolution du paradoxe	OUI		
Notes	Ce groupe est celui qui semble avoir été le plus efficace. Les élèves se sont beaucoup investis du début à la fin de l'activité, leurs échanges ont permis de construire une procédure de décision collective. De plus, ce groupe a été très autonome, ils ont également su gérer les conflits sans intervention de l'enseignant. Enfin, l'explication apportée au paradoxe est remarquablement claire et juste.		

FIGURE 35 – Expérience 1, activité "tangible souple"

Expérimentation N°	Type de support pour l'activité		
1	Numérique		
Description générale de la classe (Par l'enseignant)	Dans cette classe, le niveau des élèves est qualifié de « bas », voir « très bas ». L'enseignant fait également mention d'élèves en situation d'échec scolaire. La classe comprend également des élèves dysphasiques, dyspraxiques et dyslexiques. Le collège est situé en zone d'éducation prioritaire.		
Description du sous-groupe (Par l'enseignant)	« Un élève fortement dyslexique » ; « Un élève moyen » ; « Un élève bon »		
Autonomie des élèves	Début d'activité Autonomie forte	Milieu d'activité Autonomie forte	Fin d'activité Autonomie forte
Echanges élève-élève	Début d'activité Assez productifs	Milieu d'activité Assez productifs	Fin d'activité Faiblement productifs
Echanges élèves-enseignant	Début d'activité Assez productifs	Milieu d'activité Assez productifs	Fin d'activité Assez productifs
Analyse de la gestuelle	Début de l'activité Faible	Milieu de l'activité Importante	Fin de l'activité Faible
Analyse des réponses	Début de l'activité Très bonnes	Milieu de l'activité Très bonnes	Fin de l'activité Très bonnes
Résolution du paradoxe	OUI		
Notes	Le partage de la souris a parfois été une source de conflit au sein du groupe.		

FIGURE 36 – Expérience 1, activité "numérique"

Expérimentation N°	Type de support pour l'activité		
2	Tangible robuste		
Description générale de la classe (Par l'enseignant)	Dans cette classe, le niveau des élèves est qualifié d'« hétérogène ». L'enseignant ne signale pas d'élève en situation d'échec scolaire, le niveau est globalement « acceptable », il signale toutefois le cas d'un élève dysphasique.		
Description du sous-groupe (Par l'enseignant)	« Un élève faible, dysphasique » ; « Un élève moyen » ; « Un élève bon »		
Autonomie des élèves	Début d'activité Autonomie forte	Milieu d'activité Autonomie forte	Fin d'activité Autonomie faible
Echanges élève-élève	Début d'activité Faiblement productifs	Milieu d'activité Faiblement productifs	Fin d'activité Faiblement productifs
Echanges élèves-enseignant	Début d'activité Faiblement productifs	Milieu d'activité Faiblement productifs	Fin d'activité Faiblement productifs
Analyse de la gestuelle	Début de l'activité Faible	Milieu de l'activité Importante	Fin de l'activité Faible
Analyse des réponses	Début de l'activité Bonnes	Milieu de l'activité Très bonnes	Fin de l'activité Bonnes
Résolution du paradoxe	OUI		
Notes	Les élèves ont eu, globalement, des difficultés à s'investir dans l'activité. Les échanges étaient déséquilibrés et les élèves assez dissipés par moment. La dernière intervention du professeur a été totalement déterminante pour les aider à résoudre le paradoxe.		

FIGURE 37 – Expérience 2, activité "tangible robuste"

Expérimentation N°	Type de support pour l'activité		
2	Tangible souple		
Description générale de la classe (Par l'enseignant)	Dans cette classe, le niveau des élèves est qualifié d'« hétérogène ». L'enseignant ne signale pas d'élève en situation d'échec scolaire, le niveau est globalement « acceptable », il signale toutefois le cas d'un élève dysphasique.		
Description du sous-groupe (Par l'enseignant)	« Deux élèves bons (+) » ; « Un élève moyen (+-) » ; « Un élève assez faible (+ - -) »		
Autonomie des élèves	Début d'activité Totale autonomie	Milieu d'activité Autonomie forte	Fin d'activité Autonomie forte
Echanges élève-élève	Début d'activité Assez productifs	Milieu d'activité Assez productifs	Fin d'activité Assez productifs
Echanges élèves-enseignant	Début d'activité Assez productifs	Milieu d'activité Assez productifs	Fin d'activité Assez productifs
Analyse de la gestuelle	Début de l'activité Faible	Milieu de l'activité Importante	Fin de l'activité Importante
Analyse des réponses	Début de l'activité Bonnes	Milieu de l'activité Très bonnes	Fin de l'activité Incomplètes
Résolution du paradoxe	OUI		
Notes	Les élèves n'ont probablement pas eu le temps de noter leurs réponses aux question 7 et 8, ils ont toutefois apporté une explication claire à la résolution du paradoxe oralement. Un quatrième élève a été rajouté par l'enseignant, cet élève souhaitait participer à l'activité.		

FIGURE 38 – Expérience 2, activité "tangible souple"

Expérimentation N°	Type de support pour l'activité		
2	Numérique		
Description générale de la classe (Par l'enseignant)	Dans cette classe, le niveau des élèves est qualifié d'« hétérogène ». L'enseignant ne signale pas d'élève en situation d'échec scolaire, le niveau est globalement « acceptable », il signale toutefois le cas d'un élève dysphasique.		
Description du sous-groupe (Par l'enseignant)	« Un élève moyen (+ -) » ; « Un élève bon (+) » ; « Un élève très bon (++ -) »		
Autonomie des élèves	Début d'activité Autonomie forte	Milieu d'activité Autonomie forte	Fin d'activité Autonomie forte
Echanges élève-élève	Début d'activité Faiblement productifs	Milieu d'activité Assez productifs	Fin d'activité Assez productifs
Echanges élèves-enseignant	Début d'activité Faiblement productifs	Milieu d'activité Faiblement productifs	Fin d'activité Faiblement productifs
Analyse de la gestuelle	Début de l'activité Faible	Milieu de l'activité Importante	Fin de l'activité Importante
Analyse des réponses	Début de l'activité Très bonnes	Milieu de l'activité Très bonnes	Fin de l'activité Faibles
Résolution du paradoxe	NON		
Notes	L'ordinateur qui servait à l'activité est tombé en panne durant l'expérimentation. Les élèves ont dû continuer l'activité sur l'ordinateur du professeur. L'un des élèves a réussi à déformer l'un des figures colorées, ce qui n'aurait pas dû arriver. Deux élèves ont adopté une attitude frustrée durant les manipulations.		

FIGURE 39 – Expérience 2, activité "numérique"

5.2.1 Pertinences des résultats

- (170) Au regard de l'analyse des réponses apportées par les élèves aux questions de la feuille, on constate que les résultats attendus dans l'analyse a priori correspondent souvent aux résultats de l'analyse a posteriori. Les mécanismes psychologiques, qui visaient à biaiser les attitudes et les réflexions des élèves pour la résolution de l'activité semblent avoir relativement bien fonctionné. La totalité des groupes ont par exemple pensé, dans un premier temps, que la figure 2 était parfaitement recouvrable par les figures colorées, au même titre que la figure 1. De même, 2 des 6 groupes ont pensé, au regard des réponses à la question 3, que les figures 1 et 2 possédaient la même aire, sans même chercher à dénombrer les carreaux de chacune.
- (171) A l'exception des 2 ateliers « robustes », on note également que l'activité semble avoir permis une production relativement importantes d'échanges entre les élèves, ce qui était l'un de ses principaux objectifs. Toutefois, ces échanges ne sont que rarement optimaux et les arguments des élèves sont peu recherchés. Cependant, ce niveau d'argumentation est également à relativiser au regard leur âge et leurs compétences académiques. Notons

que, dans les deux expériences, l'activité « tangible souple » se démarque nettement des deux autres : les échanges des deux groupes ont été particulièrement productifs et ont permis à chaque fois d'arriver à une explication rationnelle et correcte du paradoxe.

- (172) L'analyse de la gestuelle des élèves nous permet également de constater que c'est l'activité tangible souple qui semble avoir incité le plus les apprenants aux manipulations et aux actions collectives :

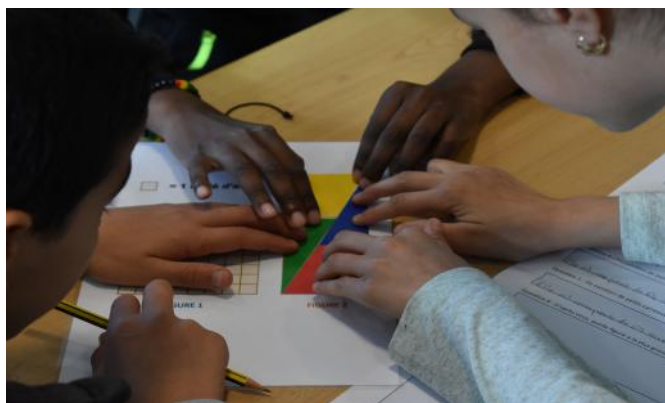


FIGURE 40 – Expérience 1 – Atelier tangible souple – Fin d'activité



FIGURE 41 – Expérience 2 – Atelier tangible souple – Milieu d'activité

- (173) Ce résultat peut s'expliquer par les difficultés supplémentaires de manipulations engendrées par le matériau, nécessitant des gestes plus précis et plus nombreux.

Enfin, notons que le paradoxe a été résolu par 4 des 6 groupes, dont deux groupes ayant participé à l'activité « souple ». Comme l'objectif des activités était d'accompagner les élèves à la compréhension et à la résolution collective du paradoxe, il semble que ce résultat soit significativement fort.

5.2.2 Signification des résultats

- (174) Contrairement à ce qui était attendu et suggéré dans l'analyse a priori, l'activité papier semble avoir été la plus efficace pour atteindre les objectifs fixés : c'est dans cette activité que les échanges entre élèves ont été les plus productifs, que les réponses des élèves correspondaient le plus aux effets recherchés et que les apprenants ont travaillé le plus efficacement en autonomie. Les échanges élèves-enseignants ont également apporté des résultats satisfaisants, en plaçant l'enseignant dans un rôle de médiateur du débat. L'analyse de la gestuelle des élèves dans le groupe tend également à montrer que l'activité permet une incitation à la participation assez forte : dans les deux groupes, les élèves ont tous participé à l'activité et ont systématiquement cherché à produire des décisions collectives. Enfin, dans les deux expérimentations l'activité souple a permis aux élèves de comprendre par eux-mêmes le paradoxe et d'en apporter une explication claire et rationnelle au terme de la séquence et ce malgré le fait qu'ils aient pu être tenté par des arguments tenant au registre de la croyance.
- (175) De même, contrairement à ce qui été attendu, l'activité numérique n'a pas rencontré le succès escompté. L'utilisation de la souris comme seul outil permettant la manipulation des figures semble avoir engendré une frustration chez les élèves des groupes tests. A contrario des activités « souple » et « robuste », les élèves ne pouvaient qu'effectuer des manipulations tour à tour, ce qui n'a pas permis de conduire les apprenants à des manipulations collectives. Notons toutefois que les élèves qui ne manipulaient pas la souris cherchaient à exprimer leurs intentions gestuelles par la parole, en donnant des indications à l'élève manipulant : les échanges entre les élèves dans ces groupes numériques ont donc été assez productifs. De même, certaines manipulations semblent avoir engendré une frustration, voir un stress chez les élèves. Par exemple, pour effectuer le déplacement des pièces, les élèves devaient cliquer sur la pièce, maintenant le bouton gauche de la souris appuyé durant le déplacement, et relâcher le bouton lorsque la pièce se trouvait à l'endroit souhaité. Toutefois, la plupart du temps, le relâchement du bouton entraînait également le pivotement de la pièce, entraînant en fin de l'activité un frustration si importante que certains élèves en venaient à se désintéresser des manipulations.

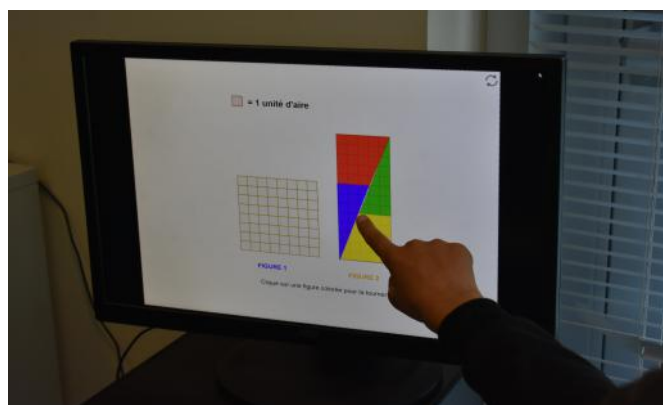


FIGURE 42 – Expérience 1 – Atelier Numérique. Un élève non-manipulant montre l'espace entre les figures aux autres élèves du groupe.

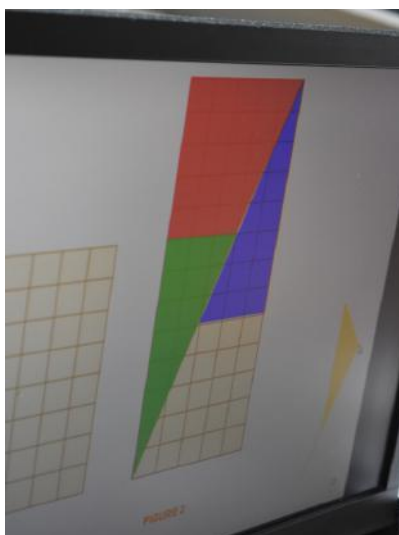


FIGURE 43 – Expérience 2 – Atelier numérique. Un élève est parvenu à déformer une figure colorée, supposée indéformable.

- (176) Enfin, l'activité tangible « robuste » a produit les résultats les moins significatifs, ne permettant dans aucun des groupes l'émergence d'échanges suffisamment productifs entre les élèves et avec l'enseignant. Les élèves ont eu de réelles difficultés à s'impliquer dans l'activité, à produire des procédures de décision collectives, à manipuler les figures, à travailler de manière autonome. Dans l'expérience 2, l'intervention du professeur a été décisive pour permettre aux élèves de comprendre le paradoxe, sans cette intervention il est fortement probable que les élèves n'auraient pas plus avancé dans l'activité avant la mise en commun. Il semblerait également que, à contrario des autres groupes, les élèves ne soient pas parvenus à prendre conscience de l'existence d'un paradoxe. Dans l'expérience 1, les élèves n'ont pas pris conscience de l'étrangeté de pouvoir – en apparence –, recouvrir la figure 2 avec les figures colorées, même après avoir répondu correctement aux questions 4, 5 et 6.

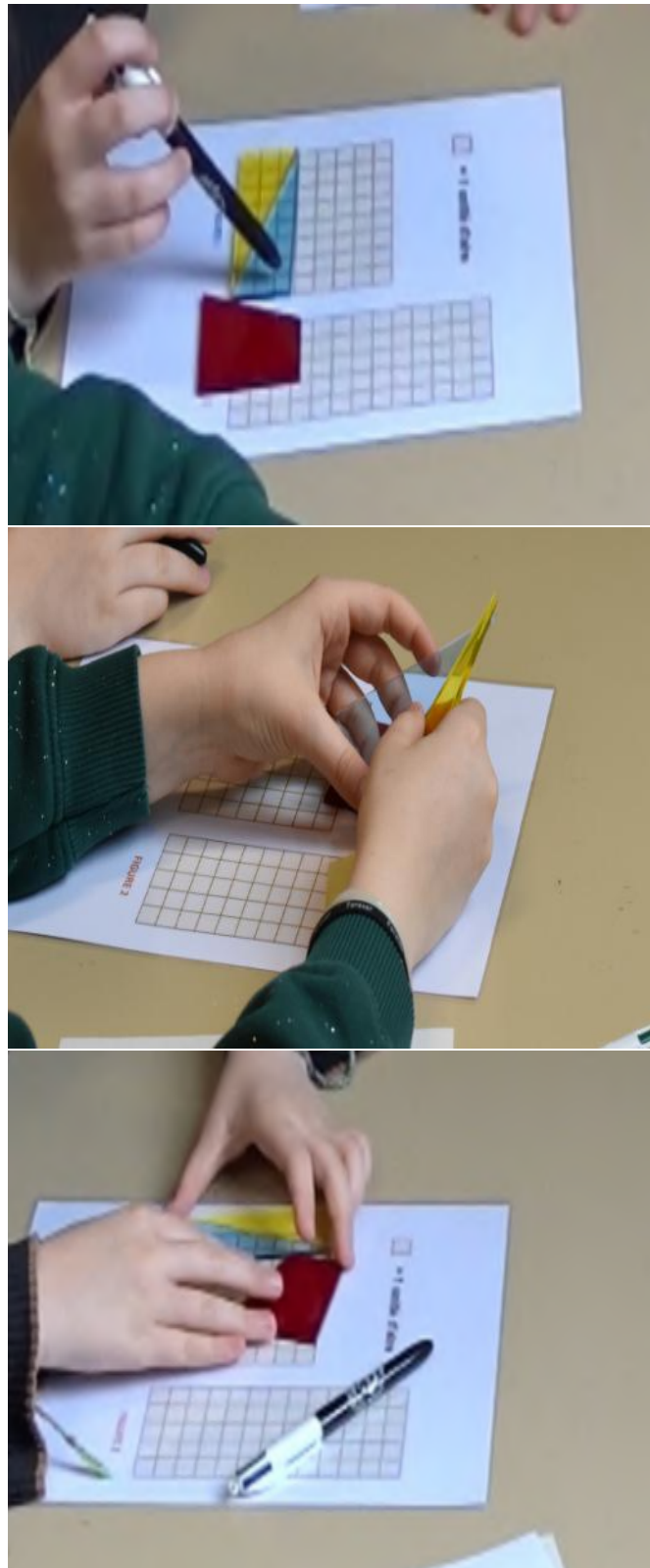


FIGURE 44 – Expérience 2 – Atelier robuste. Les manipulations sont rarement collectives.



FIGURE 45 – Expérience 2 – Mise en commun au TBI. Les élèves de l'activité « souple » expliquent le paradoxe.



FIGURE 46 – Expérience 2 – Mise en commun au TBI. Le professeur organise les échanges intergroupes.

5.2.3 Portée des résultats

- (177) Le résultat le plus surprenant concerne le nombre de groupe parvenus à expliquer avec justesse le paradoxe : 4 groupes sur 6 y sont parvenus. Rappelons cependant que le groupe de l'activité robuste de l'expérience 2 a bénéficié d'une aide assez forte et déterminante de la part du professeur, pour cette raison nous supposons ici que 3 groupes sont réellement parvenus à trouver l'explication du paradoxe de manière autonome. Ce résultat demeure toutefois relativement significatif et surprenant : le temps imparti pour apporter une explication experte au paradoxe était assez court (45 minutes au plus) et l'on pouvait s'attendre à ce que le niveau de compétence nécessaire à sa résolution soit trop élevé pour des élèves de CM2 et 6ème. Bien que l'activité devait conduire les élèves à s'interroger sur l'étrangeté de ce qu'ils expérimentaient, aucun indice suffisamment important n'a été mis à leur disposition pour leur permettre de comprendre que la somme des aires des espaces représentait l'aire du carreau manquant. L'analyse a priori suggérait que les élèves auraient probablement tendance à se focaliser sur leurs croyances initiales et à rester isolés dans leurs biais cognitifs, toutefois la moitié des groupes est parvenue à surmonter ces obstacles cognitifs et à élaborer une explication non seulement rationnelle, mais parfaitement claire et compréhensible. Anecdotiquement, durant l'entretien préalable organisé en amont des expérimentations avec les enseignants, aucun des professeurs n'est parvenu à apporter l'explication attendue. Il semblerait donc, au regard de ces résultats là en particulier, que le potentiel rationnel des élèves ait été sous-estimé. Ceci questionne donc le véritable potentiel sceptique des élèves : on peut se demander si la manière dont l'activité a été pensée n'a pas trop facilement encouragé de tels résultats ? Toutefois, on peut également se demander si ces élèves ne possédaient pas, initialement, déjà des compétences suffisamment avancées pour produire un raisonnement rationnel ?

5.2.4 Portabilité des résultats

- (178) La première expérience a été menée dans un collège placé en zone d'éducation prioritaire, la seconde expérience, dans un collège plus conventionnel. Dans la première classe, le niveau des élèves est qualifié de « bas », voir « très bas ». L'enseignant mentionne également des élèves en situation d'échec scolaire. La classe comprend des élèves dysphasiques, dyspraxiques et dyslexiques. Dans la seconde classe, le niveau des élèves est qualifié d'hétérogène. L'enseignant ne signale pas d'élève en situation d'échec scolaire, le niveau est globalement « bon », « acceptable », il signale toutefois le cas d'un élève dysphasique. Dans les deux expériences, nous avons obtenu des résultats relativement similaires pour les activités « tangible robuste », de même que pour les activités « tangible souple » et « numérique ». De fait, il semblerait que les potentialités des différentes activités aient été exploitées de manière similaire dans les deux classes. Toutefois, l'expérimentation ne nous permet pas de nous avancer plus sur la portabilité de l'activité.

5.3 Discussion

- (179) Notre hypothèse initiale suggérait que les élèves confrontés au paradoxe ne possédaient pas les compétences nécessaires pour produire une procédure de résolution efficace et rationnelle : ces résultats montrent toutefois que la plupart des groupes ont su surmonter les biais cognitifs qui auraient pu les maintenir dans une démarche intellectuellement fallacieuse, irrationnelle.

En effet, si la plupart des groupes ont, comme l'analyse a priori le suggérait, été biaisés au début de l'activité, au moins la moitié d'entre eux ont su comprendre l'origine du paradoxe et en proposer une explication satisfaisante, voir experte. En particulier, nous notons que les groupes qui se sont vus attribué l'activité « tangible souple » sont parvenus à des résultats tout-à-fait significatifs.

Ces résultats semblent indiquer que le potentiel rationnel des élèves a été sous-estimé, la moitié des groupes a en effet été capable : de produire des échanges constructifs, d'élaborer des stratégies de résolution en faisant intervenir des notions clefs des programmes scolaires, de travailler de manière autonome et mobiliser des compétences propres à un bon esprit critique, au moins une de ces compétence a été mobilisée dans chacun des groupes :

- Poser des questions de clarifications
 - o Expérience 1 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
 - o Expérience 2 : tous les groupes
- Se concentrer sur une question
 - o Expérience 1 : tous les groupes
 - o Expérience 2 : tous les groupes
- Discuter et agir avec les autres
 - o Expérience 1 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
 - o Expérience 2 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
- Analyser les arguments d'autrui
 - o Expérience 1 : **groupe tangible souple**
 - o Expérience 2 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
- Chercher à produire une démonstration
 - o Expérience 1 : **groupe tangible souple**
 - o Expérience 2 : **groupe tangible souple**
- Evaluer et confronter les interprétations d'autrui
 - o Expérience 1 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
 - o Expérience 2 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
- Se focaliser sur les faits
 - o Expérience 1 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
 - o Expérience 2 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
- Evaluer les observations
 - o Expérience 1 : **groupe tangible souple**, groupe numérique
 - o Expérience 2 : Tous les groupes
- Construire une procédure de décision
 - o Expérience 1 : **groupe tangible souple**
 - o Expérience 2 : **groupe tangible souple**

Sans équivoque, il apparaît que les groupes tangibles souples ont été les plus à même de mobiliser les compétences attendues. Notre hypothèse est que les difficultés de manipulation engendrées par l'activité ont nécessité une plus grande collaboration, une plus grande communication entre les élèves. Or, du point de vue des théories socio-constructivistes, il est possible que cette collaboration, beaucoup plus importante que chez les autres groupes, ait permis une mobilisation plus importante de ces compétences.

(180) Concernant l'activité elle-même, nos objectifs étaient multiples :

- Amener les élèves à croire des faits irrationnels.
- Puis leur permettre de prendre conscience de cette irrationalité.
- Enfin, leur permettre de construire, d'eux-mêmes, une démarche intellectuelle rationnelle, devant conduire dans le meilleur des cas à la compréhension du paradoxe.

Ces objectifs répondent en fait aux étapes d'une démarche sceptique classique, permettant le passage d'une croyance à une conception rationnelle. L'analyse des réponses des élèves semblent indiquer une adéquation forte avec ces objectifs : au moins 4 des 6 groupes ont suivi cet enchainement d'étapes, et 3 d'entre eux ont même réussi à expliquer le paradoxe. Les réponses des élèves montrent une corrélation forte avec l'analyse a priori.

De plus, les mécanismes psychologiques souhaités semblent avoir fonctionné, au regard des extraits des verbatims suivants :

Expérience 1 – Groupe tangible souple – Extrait 1 :

E1 : « Mais...pourquoi ça a recouvert les deux ? »

E3 : « J'ai pas compris pourquoi ça recouvre... »

E1 : « J'en ai marre... », S'agite sur sa chaise.

Début de la prise de conscience.

E3 : « Refait ! refait ! »

E2 : « Attends ! attends ! »

Expérience 1 – Groupe tangible souple – Extrait 2 :

E3 : « Recommencez ! »

E2 : **Recouvre la figure 1.** « Oui, bon, ça recouvre bien ».

E1, E2, E3 : Se rapprochent et se mettent à travailler ensemble, puis recouvrent la figure 2.

E1 : « Mais c'est pas logique ! »

Prise de conscience forte.

E2, E3 : **S'appliquent à agencer les pièces avec précision.**

E1 : **Au professeur :** « Mais le problème c'est qu'on l'a fait et...après il manque un carreau ! »

E2, E3 : **recouvrent la figure 2.**

E1 : « C'est pas logique ! » Se prend la tête.

Prise de conscience forte.

Expérience 1 – Groupe tangible souple – Extrait 3 :

E1 : **Relis la question 3.** « Comment on peut répondre... ? »

E2 : **Reforme la figure 2, s'applique.**

E1 : « Oh ! Je te jure ! C'est pas logique ! »

E3 : « Mais si c'est logique... »

Biais de confirmation, l'élève cherche à se maintenir dans sa zone de confort.

E1 : « Non ! Parce qu'il manque un carreau ! »

E2 : « Bah il est plus grand... »

Idem

E1 : « Non il a disparu ! ». **Puis passe à la question 4.** « 64 ! ».

E2 : « Oui. La figure 1, 64 ! »

E3 : « La carreau... Il a disparu. »

Idem

E1 : « C'est bizarre... Vous êtes sûrs qu'on a bien compté ? »

E3 : « Oui... 8x8...64 ! »

Expérience 1 – Groupe tangible souple – Extrait 3 :

E1 : « Oui ! Oui c'est vrai ».

E1, E2 : Travaillent ensemble et cherchent un nouvel agencement des pièces.

E1 : « Pffff... ».

E3 : Se met à travailler avec E1 et E2.

E1 : « Mais ça marche pas sinon, c'est pas logique ! ».

E3 : « Mais vous ne savez pas compter ! »

Ici l'élève insinue que l'élève ne peut venir que des autres, c'est un argument typique d'un biais de confirmation.

E1 : « Mais peut-être qu'elle est de la même taille...mais encore plus petite ! Pffff... »

E2 : « Mais ça recouvre tout... »

E1, à E2 : « Mais toi déjà de base tu es pas logique donc ... ».

Idem

E1, au professeur : « Mais il manque un carreau là ! »

Expérience 1 – Groupe tangible souple – Extrait 4

E2 : « Non ! Il y a des petits espaces ! »

E1 : « Mais on s'en moque des petits espaces ! » → Biais de confirmation, cherche à occulter les autres faits.

Ici l'élève cherche à occulter les faits en faveur de sa propre hypothèse, c'est significatif d'un biais de confirmation.

E2 : « Mais non on s'en moque pas parce que ça peut faire un petit carreau ! »

E3 : « Ah ouais ! »

E1 : « Mais non ! Je vous dis qu'on s'en moque des espaces ! »

Idem, on pourrait également interpréter cette réponse comme un marqueur de réactance par effet boomerang : plus les autres élèves du groupe cherchent à le convaincre, plus l'élève se braque.

E2 : « Non ! Pas du tout ! Avec tous les petits espaces ça peut faire un carreau ! »

Expérience 2 – Groupe numérique – Extrait 1

E1 : « Voilà ! Laisse celle-là comme ça ! »

E2 : « Voilà ! »

E3 : « Tourne ! Tourne ! »

Les élèves parviennent rapidement à résoudre le puzzle de la figure 2.

E2 : « Voilà ! Parfait ! »

E1 : « Je note ! ». Puis elle lit la question 3.

Les élèves se mettent rapidement d'accord et pensent que les figures 1 et 2 ont la même aire.

E2 : « Moi je dis qu'elles sont toutes égales ! »

E1 : « Oui c'est forcément les mêmes puisque les deux... on arrive à tout rentrer ! »

Ici, les élèves pensent naturellement que les figures 1 et 2 ont la même aire, le biais de cadrage souhaité semble donc fonctionner.

Expérience 2 – Groupe numérique – Extrait 2

E1 : « Donc 8×5 ça fait 50 ».

E2 : « Elle a raison ça fait 65... »

E3 : « Mais c'est pas logique alors ? »

Début de la prise de conscience

E2 : « Mais si c'est logique ! »

L'élève sort de sa zone de confort, réactance.

E1 : « Oui ça, ça fait 64 ! »

E2 : « ça dépend juste de leurs positions ! »

E1 : « Et là ça fait 13×5 : 10×5 ça fait 5. 3×5 ça fait 15, et les deux ça fait 65 ! »

E3 : « Euh... oui ! Je sais. Mais... 8×8 ça fait... 64 ! »

E2 : « Mais c'est pas possible de faire les mêmes là ! C'est pas logique »

Finalement E2 commence également à prendre conscience.

Expérience 2 – Groupe tangible souple – Extrait 1 :

Les élèves commencent à dénombrer les carreaux de la figure 2.

E3 : « 13x5... plus...non c'est bon, 65 ! »

Tous les élèves approuvent.

E2 : « Mais c'est pas logique ! »

Début de la prise de conscience.

E1 : « Mais si ! »

E2 : « Mais non ! »

Réactance.

Expérience 2 – Groupe tangible souple – Extrait 2 :

E3 : « Tu ne t'es pas trompée en mesurant... ? »

E3 sous-entend que l'erreur peut venir de son camarade, biais de confirmation.

E2 : « Non, je ne me suis pas trompé. Là c'est 1,2 et là c'est 1 »

E4 : « C'est pour ça qu'ils nous ont donné la règle »

E3 : « Mais...attends... »

E2 : « Arrête de me contredire »

E2 est poussée par les autres élèves en dehors de sa zone de confort, ils mettent en doute sa démarche.

E3 : « Mais j'essaie de trouver la réponse, ok ? On a pas trouvé !

E2 : « Mais si on a trouvé... ». S'agace.

Idem.

E3 : « Mais laisse-moi ! »

E2 : « Ecoute, de la façon dont on positionne les pièces ça ne va pas prendre la même place de carreaux ! Regarde »

E2 cherche à confirmer son hypothèse initiale par une croyance : selon la position d'une figure, celle-ci n'aura pas la même aire, ça n'a évidemment pas de sens.

(181) L'activité, en particulier sa déclinaison « souple » semble répondre convenablement aux effets recherchés en permettant la mobilisation, sinon l'émergence de compétences essentielles à la pratique de l'esprit critique. En revanche, il est difficile de se prononcer quant au fait que la moitié des groupes soient parvenus à fournir une explication rationnelle au paradoxe, mais nous pouvons émettre deux hypothèses :

- Soit l'activité a grandement facilité, par des indices trop forts, le travail des élèves.
- Soit le potentiel rationnel des élèves de cet échantillon était initialement déjà assez important.

5.3.1 Faits marquants

- (182) Un groupe s'est particulièrement démarqué des autres en termes d'efficacité et de productivité. Il s'agit, pour l'expérimentation 1, du groupe « tangible souple ». Les élèves de ce groupe ont fait preuve d'une remarquable maturité de discernement, de réflexion, et ont montré des capacités de travail collaboratif tout-à-fait au-delà de ce qui était attendu dans l'analyse a priori. On observe dans leurs échanges, des moments de partage, de validation par les pairs, de partage des observations, de contre-argumentation construites. De plus, les élèves de ce groupe ont su faire preuve d'écoute, de respect, et parfois même d'humour, ce qui a permis des échanges non seulement très productifs, mais également emprunts d'une courtoisie remarquable.
- (183) A contrario, un groupe s'est démarqué des autres par le peu de contenu et de résultats qu'il a produit. Il s'agit, pour l'expérimentation 1, du groupe « tangible robuste ». Le groupe n'est jamais parvenu à réellement s'impliquer dans l'activité et aucun des élèves n'a relevé le paradoxe : de bout en bout, il ne leur est pas apparu absurde que les figures colorées puissent recouvrir les figures fixes 1 et 2. A l'opposé du groupe « souple » de l'expérimentation 1, les élèves de ce groupe ont peu, voir très peu échangé, chaque élève restant par ailleurs focalisé sa propre vision de l'activité.

5.3.2 Cause et conséquence des résultats

- (184) L'activité tangible souple semble avoir produit les résultats les plus prometteurs. On suppose ici plusieurs choses :
- Les difficultés engendrées par les manipulations ont motivé une collaboration plus importante entre les élèves, ceci a eu pour effet une mobilisation plus efficace des compétences précédemment citées.
 - Le dispositif a permis une dévolution efficace de l'activité.
 - Les effets recherchés, devant conduire les élèves à développer une démarche sceptique, ont suffisamment bien fonctionné dans les deux groupes. Il se peut que les espaces, seuls véritables indices devant conduire à l'explication du paradoxe, étaient suffisamment perceptibles pour permettre aux élèves de comprendre par eux-mêmes l'origine de l'énigme, mais également suffisamment dissimulés pour permettre d'engendrer un biais de cadre en début d'activité.
- (185) L'activité numérique aurait probablement pu produire des résultats similaires à l'activité tangible souple, toutefois :
- La souris, seul outil permettant la manipulation des figures, n'a pas permis aux élèves

de développer une stratégie collaborative aussi forte que dans l'activité tangible souple.

➤ Les difficultés techniques ont eu tendance à engendrer une frustration, voir un stress chez les élèves manipulant. Ce stress a participé à un désintérêt progressif de certains élèves pour l'activité.

➤ La plupart des élèves n'ont pas eu le réflexe attendu de zoomer sur l'appliquette numérique pour mieux observer les espaces. De plus, le fait de zoomer a parfois engendré des difficultés techniques supplémentaires, nécessitant l'intervention de l'enseignant.

(186) L'activité tangible robuste a produit des résultats trop peu satisfaisant, difficilement comparables aux deux autres types d'activité :

➤ Il est possible que le biais de cadrage soit plus important. Comme les pièces sont plus épaisses et leur découpe quasiment parfaite, rendant les espaces d'autant moins perceptibles. Dans le cas où le biais de cadrage recherché serait vraiment trop fort, il est possible que les élèves ne parviennent pas à voir le paradoxe.

➤ Les pièces, plus faciles à manipuler, n'ont pas engendré suffisamment de difficultés pour mobiliser la collaboration des élèves. Ce manque de collaboration a pu causer un manque d'échanges entre les élèves, ne permettant pas l'émergence d'une procédure de résolution collective et le travail des compétences ciblées.

➤ Les élèves choisis pour travailler sur cette activité se trouvaient être, par coïncidence dans les deux expérimentations, les deux groupes les moins fonctionnels et possédant le moins d'affinité de travail.

5.3.3 Suggestion pour des expérimentations futures

(187) Les deux expérimentations ont souffert d'avaries techniques assez handicapantes pour la collection des données. Lors de la première expérimentation, la caméra devant capter les échanges et les manipulations du groupe numérique est tombée en panne. Les résultats produits plus haut sont le résultat de l'analyse de la feuille de réponse rendue par ce groupe, les photographies des manipulations, l'enregistrement de la mise en commun finale et l'observation visuelle du groupe.

Lors de la seconde expérimentation, l'ordinateur servant de support à l'appliquette a été temporairement déconnecté d'internet, ce qui a coupé les élèves dans leur travail, bien qu'un ordinateur de remplacement ait été trouvé très rapidement grâce à l'aide précieuse de l'enseignant.

On peut s'interroger sur la pertinence et la suffisance de 2 expérimentations. Bien qu'il apparaisse a priori que les analyses des 6 groupes d'élèves puissent nous permettre d'ap-

porter des conclusions relativement robustes à ce travail, il est indéniable que l'expérimentation devrait être reproduite et répétée dans un nombre plus important de classes. Notons par ailleurs qu'il aurait été intéressant d'expérimenter le dispositif dans une classe de CM1 de manière à couvrir complètement le cycle 3.

En ce sens, si a priori le dispositif semble adapté pour répondre aux objectifs visés, il convient de souligner que les conditions d'expérimentation doivent être revues, qualitativement parlant, à la hausse :

- D'une part par l'utilisation d'un matériel de captation plus fiable.
- D'autre part en élargissant la taille de l'échantillon expérimenté.

6 Conclusion

- (188) Nous cherchions, dans ce travail, à répondre à plusieurs questions : comment définir l'esprit critique ? Quelles compétences le mobilisent ? Comment ces compétences s'intègrent-elles dans le cadre des programmes scolaires au troisième cycle ? Comment exercer ces compétences ? Quel est le potentiel rationnel des élèves ? Leur niveau de maturité intellectuelle leur permet-il de prendre efficacement conscience des biais engendrés par le système 1 ? Quel savoir, quelles méthodes enseigner aux élèves ? Quelle ingénierie didactique mobiliser dans cet objectif ? Quelle articulation pour permettre une construction interpersonnelle et intrapersonnelle des savoirs ? Et finalement, quels moyens mobiliser pour permettre l'émergence et le travail de l'esprit critique des élèves en classe de mathématiques ?

Le concept d'esprit critique possède une histoire, une épistémologie complexe et une polysémie qui nécessitait une première analyse historique. Il ressort de cette analyse, qu'une définition plus actuelle de l'esprit critique, pourrait s'apparenter à la convergence de courants de pensée sceptique possédant des points communs, mais également des spécificités : ce sont ces spécificités qui permettent le déploiement de méthodes, de compétences sceptiques fortes. Le modèle de Norris & Ennis, en particulier, semble construit sur trois courants de pensée majeurs, trouvant leurs sources dans les écrits de Russel, de Dewey et de Postman et Weingartner. La notion d'esprit critique possède donc une définition plurielle. Cette définition, nous l'avons vu, est susceptible d'évoluer selon les spécificités des programmes Français. Les grands courants de pensée (Dewey, Russel, Postman & Weingartner) conduisent à l'émergence d'un modèle d'enseignement très influent dans le monde anglosaxon et dont nous retrouvons les grands axes dans nos propres programmes. Toutefois, comme nous l'avons vu au travers de l'analyse des prescriptions (voir tableau 2) et de l'article *Former l'esprit critique des élèves*, les programmes français possèdent leur propre niveau de lecture, leurs propres spécificités ; en particulier ils insistent – par rapport à leurs homologues anglosaxons – sur la nécessité de développer certaines attitudes, parallèlement aux compétences de référence.

- (189) Or, cette définition de l'esprit critique, en termes de compétences, suggérerait la nécessité de s'intéresser aux mécanismes psychologiques à l'œuvre chez les élèves. C'est pourquoi ce travail emprunte aussi bien à des théories de psychologies cognitive, qu'aux théories didactiques : elles sont complémentaires, interdépendantes et indissociables. Là où la psychologie cognitive nous permet de produire l'activité, la didactique nous permet de l'orchestrer, de l'organiser, de lui donner vie.

Les apports théoriques en psychologie cognitive, notamment par les travaux de Kahneman sur le modèle « Système 1 / Système 2 », nous ont conduit à considérer les biais cognitifs comme des outils, des vecteurs d'irrationnalité permettant d'exercer les compétences ciblées. La connaissance de ces biais, notamment du biais de cadrage, nous a permis d'élaborer une activité devant conduire les élèves à des raisonnements fallacieux : ce que les résultats semblent montrer. En effet, nous observons une forte correspondance entre les réponses et attitudes des élèves attendues et décrites dans l'analyse a priori, et ce qu'il s'est réellement passé. De plus, l'analyse des verbatims semblent montrer l'émergence de biais à l'intérieur même du discours des élèves : effet boomerang, biais de conformisme – notamment durant les phases de mise en commun –, biais de confirmation et biais de faux consensus. En ce sens, il semblerait que les apports théoriques de psychologie mobilisés aient permis d'obtenir les effets recherchés.

- (190) Notons par ailleurs, que les compétences ciblées ont permis à la moitié des groupes tests de l'échantillon de parvenir à des résultats satisfaisants. Ceci interroge le potentiel rationnel des élèves. Les travaux de Kahneman, dont la majorité des expérimentations portaient sur des individus adultes, semble indiquer qu'une maturité intellectuelle relativement forte est nécessaire pour mobiliser, de façon spontanée, ces compétences. Or, certains groupes ont fait preuve d'une étonnante maturité intellectuelle, malgré des échanges parfois décousus, la moitié d'entre eux sont parvenus à produire une procédure de décision satisfaisante et adéquate. En particulier, il apparaît que les groupes les plus productifs sont également ceux ayant le plus échangé.

Toutefois, l'apparente réussite des expérimentations ne saurait se résumer à la seule mobilisation des apports de travaux de Kahneman. L'orchestration instrumentale de l'activité, son déroulement, ses différents moments, son intégration dans une contexte scolaire, avec pour objectif : au plus l'acquisition d'un savoir et au moins le travail de compétences cibles, a nécessité le déploiement d'une méthodologie didactique.

- (191) Les travaux de Piaget, en nous indiquant que la tranche d'âge des élèves visés correspondait au stade des opérations concrètes, nous a incité à concevoir des activités tangibles, appuyées par des supports concrets. Ils nous ont également permis d'organiser l'activité selon une phase d'assimilation et une phase d'accommodation. Nous avons également cherché à construire la phase 1 (questions 1 à 3) comme phase d'instrumentalisation, au sens de Rabardel, c'est-à-dire la phase de sélection, regroupement, production et institution de fonctions, détournements et catachrèses, attribution de propriétés, et transformation de l'artefact. La phase 1 en ce sens la phase propice à l'appropriation des différents artefacts de l'activité par les élèves. De même, nous avons ici cherché à

construire la phase 2 (question 4 à 6) comme une phase d'instrumentation, c'est-à-dire propice à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation et d'action instrumentée.

Par ailleurs, suivant les théories de Vygotsky, nous avons cherché à développer une activité permettant de placer l'élève dans une zone proximale de développement, c'est-à-dire suffisamment compliquée pour que les apprenants aient besoin du professeur ou d'échanger avec les autres membres de leur sous-groupe pour parvenir à une procédure de diffusion, mais également suffisamment simple pour que l'élève puisse agir avec une certaine autonomie. De même, nous avons souhaité organiser un milieu d'apprentissage tel qu'il produise suffisamment de rétroactions vers l'élève pour lui permettre d'avancer de manière autonome dans l'activité. La phase 2, par exemple, devait notamment permettre ces rétroactions, par déconstruction des croyances de l'élève. Nous avons ici cherché à penser une activité qui révèle plus ou moins clairement l'intention d'enseigner un certain savoir à l'élève mais qui dissimule suffisamment ce savoir et la réponse attendue pour que l'élève ne puisse les obtenir que par une adaptation personnelle au problème proposé. Enfin, en nous inspirant des travaux de Doise et Mugny, nous avons cherché à élaborer une activité suscitant des interactions entre les pairs et pouvant permettre l'émergence de conflits sociocognitifs.

- (192) C'est de l'articulation entre ces différents travaux, entre ces différentes formes de travail et d'acquisition du savoir, que l'activité a pu naître et vivre.

Toutefois, les résultats précédemment exposés ne sauraient être suffisamment représentatifs pour tirer des conclusions générales sur l'efficacité du dispositif. Si l'activité expérimentée semblent avoir produit des résultats significatifs et permettant la mobilisation des compétences ciblées, elle n'en demeure pas moins une proposition d'ingénierie didactique perfectible. Il conviendrait notamment de valider les faits qui nous incitent à penser que la version « tangible souple de l'activité » est bien la plus adaptée aux effets recherchés.

De plus, certaines questions demeurent en suspens : la variante « tangible robuste » n'a eu un impact que très limité sur les élèves, est-ce une coïncidence ou un fait concret ? Doit-on considérer, au regard des résultats, que les élèves possédaient déjà les compétences nécessaires à la compréhension des paradoxes ? Ou bien que l'activité était finalement trop évidente pour des élèves du cycle 3 ? Devrait-on expérimenter le dispositif à des cycles différents ?

En conclusion, cette étude nous pousse à croire que le déploiement d'activités propices au travail de l'esprit critique en classe de mathématiques au cycle 3 est a priori envisageable. Toutefois, et au regard des résultats, une question devrait au préalable faire l'objet d'un travail de recherche approfondi : quels moyens déployer pour évaluer le potentiel rationnel des élèves ? Et, le cas échéant, avons-nous, à tort, sous-estimé ce potentiel ?

Références Bibliographiques

American Psychologist, Vol 46(2), Feb 1991, 107-119

Asch, S.E. (1951). Effects of group pressure upon the modification and distortion of judgments. In H. Guetzkow (ed.) Groups, leadership and men. Pittsburgh, PA : Carnegie Press.

Brehm, S. S., & Brehm, J. W. (1981). Psychological Reactance : A Theory of Freedom and Control. Academic Press.

Brehm, J. W. (1966). A theory of psychological reactance. Academic Press.

Brandt-Pomares, P., & Boilevin, J. M. (2009). "Didactique des sciences physiques, didactique de la technologie, et usage des TICE". Journal of e-Learning and Knowledge Society-English Version, 4(2).

Brousseau, G. (1998). Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques.

Brousseau, G. (1997). Cours donné lors de l'attribution à Guy Brousseau du titre de Docteur Honoris Causa de l'Université de Montréal.

Bruner, J. (1983). Le développement de l'enfant. Savoir-faire, savoir dire. PUF, coll. "Psychologie d'aujourd'hui", 1983

Caillons, R. (1958). Les Jeux et les Hommes.

Dewey, J. (1910). How we think.

Dictionnaire de l'académie française neuvième édition.

Ennis, R. (2011). The Nature of Critical Thinking : An Outline of Critical Thinking Dispositions and Abilities. University of Illinois Last Revised, Mai, 2011.

Ennis, R. (1962). A concept of critical thinking.

Falcade, R. (2003). Instruments de médiation sémiotique dans Cabri pour la notion de fonction. In Lagrange J.B. & al. (eds). Reims, Repéré à l'URL : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/edutice-00001328/document>

Fluckiger, C., & Bruillard, E. (2008). "TIC : analyse de certains obstacles à la mobilisa-

tion des compétences issues des pratiques personnelles dans les activités scolaires". Présenté à Conférences aux 2èmes journées de l'Orme, CRDP de l'académie d'Aix-Marseille.

Gardner, H. (1993). Histoire de la révolution cognitive. La nouvelle science de l'esprit.

Geynet, Y., Conruyt, N., et Gravier-Bonnet, N., (2003). Création collaborative d'une base terminologique via Internet : Application à la communauté de recherche sur les hydriques. Université de La Réunion.

Haspekian, M. (2005). Intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des mathématiques, étude du cas des tableurs. Université Paris-Diderot - Paris VII. Consulté à l'adresse <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011388>

Herbert C. Kelman, D. (1958). Compliance, Identification, and Internalization : Three Processes of Attitude Change. *Journal of Conflict Resolution*, Vol 2, pp51-60

Joly, V. Développement cognitif de l'enfant : les stades chez J.Piaget. Repéré à l'adresse : <http://psy-enfant.fr/stade-developpement-jean-piaget/>

Kahneman, D (2012). *Système1 / Système2 : Les deux vitesses de la pensée*, Paris, Flammarion, coll. « Essais », 2012, 545 p. (ISBN 9782081211476).

Kiesler, C.A. Mathog, R., Pool, P., & Howenstine, R. (1971). Commitment and the boomerang effect : A field study. In C.A. Kiesler (Ed) *The psychology of commitment : Experiments linking behaviour to belief*. New York : Academic Press.

Lord, C., Ross, L. & Lepper, M. (1979). Biased assimilation and attitude polarization : The effects of prior theories on subsequently considered evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*. 37 : 11, 2098-2109

Minh, T. K. (2012). Les fonctions dans un environnement numérique d'apprentissage : étude des apprentissages des élèves sur deux ans. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 12(3), 233-258

Minh, T-K. (2011). Apprentissage des fonctions au lycée avec un environnement logiciel : situations d'apprentissage et genèse instrumentale des élèves, Thèse.

Moreira, M.A. (2004). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área. Porto Alegre : Instituto de Física da UFRGS. 107p

Norris, S. & Ennis, R. (1989). *Evaluating critical thinking*, éd. Critical Thinking Press and Software cf. Sharon Bailin, "The problem with Percy : Epistemology, understanding and critical thinking", in *Informal Logic*, 19 (23), 1999, p. 161-170.

Oswald, M. & Grosjean, S. (2005). Confirmation Bias. in Cognitive Illusions. Pohl, R. Hove : Psychology Press, 79- 96.

Piaget, J. (1950). L'épistémologie génétique.

Postman, N & Weingartener, C. (1969). Teaching as a Subversive Activity.

Rabardel, P., & Pastré, P. (2005). Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement, Toulouse : octarès.

Rabardel, P. (1995). Les hommes & les technologies : approche cognitive des instruments contemporains. Armand Colin, pp.239, 1995.

Rapport « Europeans, Science and Technology », Special Eurobarometer, 2005. Enquête menée dans le cadre de la promotion par l'Espace européen de la recherche de l'éducation scientifique au sein de l'union européenne.

Ross, L. (1977). The false consensus effect : An egocentric bias in social perception and attribution processes, Journal of Experimental Social Psychology, vol. 13, num 3.

Rostand, J. (1958). Science fausse et fausses sciences. Gallimard.

Russel, B. (1926). On Education.

Slovic, P. Finucane, M. Peters, E. MacGregor, D. (2004). Risk as Analysis and Risk as Feelings : Some Thoughts about Affect, Reason, Risk, and Rationality.

Smith, H.D. (1999). Use of the anchoring and adjustment heuristic by children », Current Psychology : A Journal for Diverse Perspectives on Diverse Psychological Issues, vol.18, vol.3, 1999, p.294-300.

Sokhna, M. et Trouche, L. (2007). Accompagnement continu des professeurs de mathématiques en difficultés : quel dispositif et quelles ressources ?

Steindl, C., Jonas, E., Sittenthaler, S., Traut-Mattausch, E., & Greenberg, J. (2015). Understanding psychological reactance [archive]. Zeitschrift für Psychologie, 223(4), 205–214.

Strack, F. Martin, L. Schwarz, N. (1988). Priming and Communication : Social Determinants of Information Use in Judgments of Life Satisfaction. European Journal of Social Psychology 18, 1988, p. 429-442.

Thorndike, E. L. (1920). A constant error on psychological ratings. Journal of Applied Psychology, 4, 25-29.

Tversky, A. Kahneman, D. (1983). Extensional Versus Intuitive Reasoning : The Conjunction Fallacy in Probability Judgment », *Psychological Review* 90, 1983, p. 293-315.

Tversky, A. Kahneman, D. The Framing of Decisions and the Psychology of Choice, *Science*, 211, pp. 453-458, 1981.

Tversky, A. (1974). Judgement under Uncertainty : Heuristics and Biases, *Science*, sep.27, 1974

Trouche, L. (2005). Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques. In *Actes de l'université d'été de Saint-Flour. Le calcul sous toutes ses formes*.

Vygotsky, L. Ivan Ivic, *Perspectives : revue trimestrielle d'éducation comparée* (Paris, UNESCO : Bureau international d'éducation), vol. XXIV, num 3/4, 1994 (91/92), p. 793-820. UNESCO : Bureau international d'éducation, 2000.

Annexes

Extrait		
<p>Les élèves, dans le contexte d'une activité, savent non seulement la réaliser mais expliquer pourquoi ils l'ont réalisée de telle manière. Ils apprennent à justifier leurs réponses et leurs démarches en utilisant le registre de la raison, de façon spécifique aux enseignements : on ne justifie pas de la même manière le résultat d'un calcul, la compréhension d'un texte, l'appréciation d'une œuvre ou l'observation d'un phénomène naturel. Peu à peu, cette activité rationnelle permet aux élèves de mettre en doute, de critiquer ce qu'ils ont fait, mais aussi d'apprécier ce qui a été fait par autrui. L'éducation aux métiers et à l'information permet de préparer l'exercice du jugement et de développer l'esprit critique.</p>		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Formuler et justifier ses choix - Se montrer rationnel - Mettre en doute et critiquer ses résultats et les résultats d'autrui - Exercer son jugement 	<ul style="list-style-type: none"> - Education aux métiers - Education à l'information 	<p>Les spécificités du cycle des apprentissages fondamentaux(PO2015⁹)</p>

TABLE 5 – Cycle 2 - Extrait 1

Extrait		
Ces enseignements nourrissent les goûts et les capacités expressives, fixent les règles et les exigences d'une production individuelle ou collective, éduquent aux codes de communication et d'expression, aident à acquérir le respect de soi et des autres, affûtent l' esprit critique . Ils permettent aux élèves de donner leur avis, d'identifier et de remplir des rôles et des statuts différents dans les situations proposées ; ils s'accompagnent de l'apprentissage d'un lexique où les notions de droits et de devoirs, de protection, de liberté, de justice, de respect et de laïcité sont définies et construites. Débattre, argumenter rationnellement, émettre des conjectures et des réfutations simples, s'interroger sur les objets de la connaissance, commencer à résoudre des problèmes notamment en mathématiques en formulant et en justifiant ses choix développent le jugement et la confiance en soi.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Eduquer aux codes de communication - Apprendre à prendre la parole, prendre position - Se montrer rationnel - S'interroger et émettre des hypothèses 	<ul style="list-style-type: none"> - Travail de groupe - Débat en classe - Résolution de problème 	Formation de la personne et du citoyen(PO2015)

TABLE 6 – Cycle 2 - Extrait 2

Extrait		
Elles supposent une école à la fois exigeante et bienveillante qui favorise l'estime de soi et la confiance en soi des élèves, conditions indispensables à la formation globale de leur personnalité. Cet enseignement requiert de l'enseignant une attitude à la fois compréhensive et ferme. À l'écoute de chacun, il encourage l'autonomie, l' esprit critique et de coopération. Il veille à éviter toute discrimination et toute dévalorisation entre élèves.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Eduquer aux codes de communication - Apprendre à prendre la parole, prendre position - Mettre en doute et critiquer ses résultats et les résultats d'autrui 	- Non spécifiable(s)	Enseignement moral et civique(PO2015)

TABLE 7 – Cycle 2 - Extrait 3

Extrait		
Exprimer sa sensibilité et exercer son esprit critique tout en respectant les goûts et points de vue de chacun.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Apprendre à prendre la parole, prendre position - Eduquer aux codes de communication 	- Non spécifiable(s)	Arts(PO2015)

TABLE 8 – Cycle 2 - Extrait 4

Extrait		
La démarche, mise en valeur par la pratique de l'observation, de l'expérimentation et de la mémorisation, développe l' esprit critique et la rigueur, le raisonnement, le goût de la recherche et l'habileté manuelle, ainsi que la curiosité et la créativité. Des expériences simples (exploration, observation, manipulation, fabrication) faites par tous les élèves permettent le dialogue entre eux, l'élaboration de leur représentation du monde qui les entoure, l'acquisition de premières connaissances scientifiques et d'habiletés techniques.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - S'interroger et émettre des hypothèses - Développer la démarche expérimentale - Développer sa curiosité et sa créativité - Dialoguer avec les autres 	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser des expériences simples - Réaliser des activités manuelles et techniques 	Questionner le monde du vivant, de la matière et des objets(PO2015)

TABLE 9 – Cycle 2 - Extrait 5

Extrait		
<p>Dans le cadre de l'enseignement « Questionner le monde », les élèves commencent à acquérir une conscience citoyenne en apprenant le respect des engagements envers soi et autrui, en adoptant une attitude raisonnée fondée sur la connaissance, en développant un comportement responsable vis-à-vis de l'environnement et de la santé. L'expression de leurs sentiments et de leurs émotions, leur régulation, la confrontation de leurs perceptions à celles des autres s'appuient également sur l'ensemble des activités artistiques, sur l'enseignement du français et de l'éducation physique et sportive. Ces enseignements nourrissent les goûts et les capacités expressives, fixent les règles et les exigences d'une production individuelle ou collective, éduquent aux codes de communication et d'expression, aident à acquérir le respect de soi et des autres, affûtent l'esprit critique.</p>		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Eduquer aux codes de communication et à la bienséance - Se montrer rationnel - Mettre en doute et critiquer ses résultats et les résultats d'autrui 	<ul style="list-style-type: none"> - Enseignement du français - Education physique et sportive 	La formation de la personne et du citoyen (BO2018 ¹⁰)

TABLE 10 – Cycle 2 - Extrait 6

Extrait		
<p>L'éducation aux médias et à l'information mise en place depuis le cycle 2 permet de familiariser les élèves avec une démarche de questionnement dans les différents champs du savoir. Ils sont conduits à développer le sens de l'observation, la curiosité, l'esprit critique et, de manière plus générale, l'autonomie de la pensée. Pour la classe de 6ème, les professeurs peuvent consulter la partie « Éducation aux médias et à l'information » du programme de cycle 4.</p>		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - S'interroger et émettre des hypothèses - Penser par soi-même - Développer la démarche expérimentale 	<ul style="list-style-type: none"> - Education à l'information - Education scientifique 	Les spécificités du cycle de consolidation (PO2015)

TABLE 11 – Cycle 3 - Extrait 1

Extrait		
Un début de réflexion sur le fonctionnement de la langue permet aux élèves d'acquérir une certaine autonomie dans la réception et dans la production et renforce la maîtrise du langage. Indissociable de l'apprentissage de la langue, l'élargissement des repères culturels favorise la prise de conscience de certaines différences, développe curiosité et envie de communiquer. Les contacts avec les écoles des pays ou des régions concernés, les ressources offertes par la messagerie électronique, l'exploitation de documents audiovisuels contribuent à découvrir des espaces de plus en plus larges et de plus en plus lointains et à développer le sens du relatif, l' esprit critique , l'altérité.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Penser par soi-même - Dialoguer avec les autres - Développer sa curiosité et sa sensibilité - S'ouvrir à d'autres cultures 	<ul style="list-style-type: none"> - Pratiques des langues vivantes - Voyages scolaires - Activités culturelles 	Langues vivantes (PO2015)

TABLE 12 – Cycle 3 - Extrait 2

Extrait		
Par le travail de la perception, celui de l'écoute de la musique, les élèves développent leurs capacités à percevoir des caractéristiques plus fines et des organisations plus complexes de la musique ; ils apprennent à identifier des relations, des ressemblances et des différences entre plusieurs œuvres ; ils acquièrent des repères structurant leur culture artistique et apprennent à s'y référer ; ils découvrent peu à peu que le goût est une notion relative et, dépassant progressivement leur seule immédiate émotion, développent leur esprit critique en exprimant des avis personnels.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Développer sa curiosité et sa créativité - S'ouvrir à d'autres cultures - Penser par soi-même - Dépasser ses émotions immédiates 	<ul style="list-style-type: none"> - Pratiques musicales (instrumentale) - Culture musicale 	Éducation musicale (PO2015)

TABLE 13 – Cycle 3 - Extrait 3

Extrait		
Développer sa sensibilité, son esprit critique et s'enrichir de la diversité des goûts personnels et des esthétiques.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - S'ouvrir à d'autres cultures - Développer sa curiosité et sa sensibilité 	- Culture musicale	Éducation musicale (PO2015)

TABLE 14 – Cycle 3 - Extrait 4

Extrait		
Cet enseignement requiert de l'enseignant une attitude à la fois compréhensive et ferme. À l'écoute de chacun, il encourage l'autonomie, l' esprit critique et de coopération. Il veille à éviter toute discrimination et toute dévalorisation entre élèves.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Penser par soi-même - Eduquer aux codes de communication et à la bienséance 	- Non spécifiable(s)	Enseignement moral et civique (PO2015)

TABLE 15 – Cycle 3 - Extrait 5

Extrait		
La construction de savoirs et de compétences, par la mise en œuvre de démarches scientifiques et technologiques variées et la découverte de l'histoire des sciences et des technologies, introduit la distinction entre ce qui relève de la science et de la technologie, et ce qui relève d'une opinion ou d'une croyance. La diversité des démarches et des approches (observation, manipulation, expérimentation, simulation, documentation...) développe simultanément la curiosité, la créativité, la rigueur, l'esprit critique, l'habileté manuelle et expérimentale, la mémorisation, la collaboration pour mieux vivre ensemble et le goût d'apprendre.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Développer sa curiosité et sa créativité - Développer la démarche expérimentale - Distinction entre savoir, opinion et croyance - Mettre en doute et critiquer ses résultats et les résultats d'autrui 	<ul style="list-style-type: none"> - Education scientifique - Réaliser des expériences simples - Réaliser des activités manuelles et techniques 	Sciences et technologie (PO2015)

TABLE 16 – Cycle 3 - Extrait 6

Extrait		
À partir de la diversité des familles de matériaux, de leurs caractéristiques physico-chimiques, et de leurs impacts sur l'environnement, les élèves exercent un esprit critique dans des choix lors de l'analyse et de la production d'objets techniques.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Formuler et justifier ses choix - Développer la démarche expérimentale 	<ul style="list-style-type: none"> - Choisir et produire des objets techniques 	Identifier les principales familles de matériaux (PO2015)

TABLE 17 – Cycle 3 - Extrait 7

Extrait		
Dans une société marquée par l'abondance des informations, les élèves apprennent à devenir des usagers des médias et d'Internet conscients de leurs droits et devoirs et maîtrisant leur identité numérique, à identifier et évaluer, en faisant preuve d'esprit critique, les sources d'information à travers la connaissance plus approfondie d'un univers médiatique et documentaire en constante évolution.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les sources d'information et évaluer leur fiabilité - S'adapter à l'évolution rapide de l'information 	<ul style="list-style-type: none"> - Education aux médias 	Les spécificités du cycle des approfondissements (PO2015)

TABLE 18 – Cycle 4 - Extrait 1

Extrait		
L'enseignement moral et civique permet de comprendre la diversité des sentiments d'appartenance et en quoi la laïcité préserve la liberté de conscience et l'égalité des citoyens. La culture littéraire nourrit les débats sur les grands questionnements. Les mathématiques et la culture scientifique et technique aident à développer l'esprit critique et le goût de la vérité ; celle-ci permet d'évaluer l'impact des découvertes et innovations sur notre vie, notre vision du monde et notre rapport à l'environnement. L'éducation aux médias et à l'information oblige à questionner les enjeux démocratiques liés à l'information journalistique et aux réseaux sociaux.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les sources d'information et évaluer leur fiabilité - S'adapter à l'évolution rapide de l'information - Penser par soi-même - Développer sa curiosité et sa créativité 	<ul style="list-style-type: none"> - Culture littéraire - Education aux médias - Education scientifique - Cours de mathématiques 	Contributions essentielles des différents enseignements au socle commun (PO2015)

TABLE 19 – Cycle 4 - Extrait 2

Extrait		
Au cycle 4, les élèves commencent à développer l'esprit critique et le goût de la controverse qui caractérisera ensuite l'enseignement des lycées. Ils développent une conscience historique par le travail des traces du passé, des mémoires collectives et individuelles et des œuvres qu'elles ont produites. Ils commencent à les mettre en relation avec la société où ils vivent et dont ils doivent sentir l'élargissement aux mondes lointains et à la diversité des cultures et des croyances. Ils commencent à nourrir leurs propres travaux de citations qu'ils s'approprient ou détournent pour produire de nouvelles significations.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Penser par soi-même - Développer sa curiosité et sa créativité - S'ouvrir à d'autres cultures 	- Non spécifiable(s)	Les représentations du monde et l'activité humaine (PO2015)

TABLE 20 – Cycle 4 - Extrait 3

Extrait		
L'enseignement du français en cycle 4 constitue une étape supplémentaire et importante dans la construction d'une pensée autonome appuyée sur un usage correct et précis de la langue française, le développement de l'esprit critique et de qualités de jugement qui sont nécessaires au lycée.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
- Penser par soi-même - Développer la qualité de ses énonciations	- Non spécifiable(s)	Les enseignements Français (PO2015)

TABLE 21 – Cycle 4 - Extrait 4

Extrait		
Prenant en compte la sensibilité et le plaisir de faire de la musique comme d'en écouter, elle apporte aux élèves les savoirs culturels et techniques nécessaires au développement de leurs capacités d'écoute et d'expression. Par la mobilisation du corps dans le geste musical, elle contribue à l'équilibre physique et psychologique. Éduquant la perception et l'esprit critique sur les environnements sonores et musicaux, elle participe à la prévention des risques auditifs et au bon usage de l'appareil vocal.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
- Développer ses capacités d'écoute - Développer la qualité de ses énonciations - Lier le geste à la parole	- Production instrumentée de musique	Éducation musicale (PO2015)

TABLE 22 – Cycle 4 - Extrait 5

Extrait		
Elles supposent une école à la fois exigeante et bienveillante qui favorise l'estime de soi et la confiance en soi des élèves, conditions indispensables à la formation globale de leur personnalité. Cet enseignement requiert de l'enseignant une attitude à la fois compréhensive et ferme. À l'écoute de chacun, il encourage l'autonomie, l'esprit critique et de coopération. Il veille à éviter toute discrimination et toute dévalorisation entre élèves.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
- Penser par soi-même - Eduquer aux codes de communication et à la bienséance	- Non spécifiable(s)	Enseignement moral et civique (PO2015)

TABLE 23 – Cycle 4 - Extrait 6

Extrait		
Exercer son esprit critique sur les données numériques, en apprenant à les comparer à celles qu'on peut tirer de documents de divers types.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Effectuer des recoupements entre les sources d'information - Multiplier les sources d'information 	- Activités numériques	S'informer dans le monde du numérique (PO2015)

TABLE 24 – Cycle 4 - Extrait 7

Extrait		
Utiliser ses connaissances pour expliciter, expliquer le document et exercer son esprit critique.		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Penser par soi-même - Evaluer la fiabilité d'une source d'information. 	- Non spécifiable(s)	Analyser et comprendre un document (PO2015)

TABLE 25 – Cycle 4 - Extrait 8

Extrait		
<p>Au cours du cycle 4, il s'agit, en sciences de la vie et de la Terre, de permettre aux jeunes de se distancier d'une vision anthropocentrée du monde et de distinguer faits scientifiques et croyances, pour entrer dans une relation scientifique avec les phénomènes naturels ou techniques, et le monde vivant. Cette posture scientifique est faite d'attitudes (curiosité, ouverture d'esprit, esprit critique, exploitation positive des erreurs...) et de capacités (observer, expérimenter, modéliser, ...).</p>		
Objectif(s)	Activité(s)	Contexte
<ul style="list-style-type: none"> - Distinction entre savoir, opinion et croyance - Développer sa curiosité et sa créativité <p>Mettre en doute et critiquer ses résultats et les résultats d'autrui</p>	- Non spécifiable(s)	Sciences de la vie et de la Terre (PO2015)

TABLE 26 – Cycle 4 - Extrait 9

Compétences travaillées	Domaines du socle
Chercher <ul style="list-style-type: none"> prélever et organiser les informations nécessaires à la résolution de problèmes à partir de supports variés : textes, tableaux, diagrammes, graphiques, dessins, schémas, etc ; s’engager dans une démarche, observer, questionner, manipuler, expérimenter, émettre des hypothèses, en mobilisant des outils ou des procédures mathématiques déjà rencontrées, en élaborant un raisonnement adapté à une situation nouvelle ; tester, essayer plusieurs pistes de résolution. 	2, 4
Modéliser <ul style="list-style-type: none"> utiliser les mathématiques pour résoudre quelques problèmes issus de situations de la vie quotidienne ; reconnaître et distinguer des problèmes relevant de situations additives, multiplicatives, de proportionnalité ; reconnaître des situations réelles pouvant être modélisées par des relations géométriques (alignement, parallélisme, perpendicularité, symétrie) ; utiliser des propriétés géométriques pour reconnaître des objets. 	1, 2, 4
Représenter <ul style="list-style-type: none"> utiliser des outils pour représenter un problème : dessins, schémas, diagrammes, graphiques, écritures avec parenthésages, etc. ; produire et utiliser diverses représentations des fractions simples et des nombres décimaux ; analyser une figure plane sous différents aspects (surface, contour de celle-ci, lignes et points) ; reconnaître et utiliser des premiers éléments de codages d’une figure plane ou d’un solide ; utiliser et produire des représentations de solides et de situations spatiales. 	1, 5
Raisonner <ul style="list-style-type: none"> résoudre des problèmes nécessitant l’organisation de données multiples ou la construction d’une démarche qui combine des étapes de raisonnement ; en géométrie, passer progressivement de la perception au contrôle par les instruments pour amorcer des raisonnements s’appuyant uniquement sur des propriétés des figures et sur des relations entre objets ; progresser collectivement dans une investigation en sachant prendre en compte le point de vue d’autrui ; justifier ses affirmations et rechercher la validité des informations dont on dispose. 	2, 3, 4
Calculer <ul style="list-style-type: none"> calculer avec des nombres décimaux et des fractions simples de manière exacte ou approchée, en utilisant des stratégies ou des techniques appropriées (mentalement, en ligne, ou en posant les opérations) ; contrôler la vraisemblance de ses résultats ; utiliser une calculatrice pour trouver ou vérifier un résultat. 	4
Communiquer <ul style="list-style-type: none"> utiliser progressivement un vocabulaire adéquat et/ou des notations adaptées pour décrire une situation, exposer une argumentation ; expliquer sa démarche ou son raisonnement, comprendre les explications d’un autre et argumenter dans l’échange. 	1, 3

FIGURE 47 – Compétences travaillées en Mathématiques au Cycle 3

Sirine - Mehdi - Elyes (élève de gauche) → très dyslexique / produit peu à l'écrit
(bon élève) (élève moyen) Informaticien
A l'ave à l'oral.

Question 1 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 1 entièrement ?

On peut recouvrir la FIGURE 1 avec les 4 figures colorées.

Question 2 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 2 entièrement ?

On peut recouvrir la FIGURE 2 avec les 4 figures colorées.

Question 3 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

Elles sont égales car les 4 figures rentrent dans les 2.

Question 4 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 1 ?

Elle est composée de 64 petit carreaux.

Question 5 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 2 ?

Elle est composée de 64 petit carreaux.

Question 6 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse

~~Elles sont égales car les 4 figures rentrent dans les 2.~~

Elles sont pas égales car la FIGURE 2 est plus grande.

Question 7 : Comparez les réponses de la question 3 et 6 ? Que remarquez-vous ?

Dans la réponse 3 les figures sont égales mais dans la 6 elles sont pas égales.

Question 8 : Proposez une méthode pour expliquer ce que vous avez remarqué.

Il y a des trous entre les figures colorées.

FIGURE 48 – Expérience 1 : groupe "numérique"

HASNI
ESRA
(élève faible)

Thon Guerschom
(élève fort)

(élève moyen)
Swann
Mertani

Question 1 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 1 entièrement ?

Non, nous pouvons recouvrir la ~~Figure~~ Figure 1.

Question 2 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 2 entièrement ?

La Figure 2 est entièrement recouverte.

Question 3 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

La Figure 1 est plus grande que la Figure 2 car la Figure 1 qui fait $8 \times 8 = 64$ et la Figure 2 qui fait $13 \times 5 = 65$.

Question 4 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 1 ?

La Figure 1 est composée de 64 carreaux.

Question 5 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 2 ?

La Figure 2 est composée de 65 carreaux.

Question 6 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

La Figure 2 a plus d'air que la Figure 1.

Question 7 : Comparez les réponses de la question 3 et 6 ? Que remarquez-vous ?

Dans la question 3 on a fait le calcul de la Figure 1 et la Figure 2 et dans la question 6 on a dit que la Figure 2 a plus d'air que la Figure 1.

Question 8 : Proposez une méthode pour expliquer ce que vous avez remarqué.

On a calculé la Figure 1 et la Figure 2, ensuite on a calculé pour l'air de la Figure 1 et la Figure 2 donc la Figure 2 a plus d'air que la Figure 1.

FIGURE 49 – Expérience 1 : groupe "robuste"

Houdhoufa - El Yassin - Selenbal
 (particuliers) (élève moyen) (bon élève)
 La nouveauté est

Question 1 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 1 entièrement ?

Oui

Question 2 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 2 entièrement ?

si non

Question 3 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

La 2 est la plus grande car elle contient 65 carreaux et l'autre 64.

Question 4 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 1 ?

Elle est composée de 64 carreaux

Question 5 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 2 ?

Elle est composée de 65 carreaux

Question 6 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse

La 2 est la plus grande car
 sur le côté il manque un petit bout et ce petit bout doit être égale à 1 carreau

Question 7 : Comparez les réponses de la question 3 et 6 ? Que remarquez-vous ?

on remarque que elle ne sont pas les mêmes

Question 8 : Proposez une méthode pour expliquer ce que vous avez remarqué.

on a remarqué que la figure 2 il reste un petit bout sur 1 des côté
 et on pense que ce petit bout est égale à 1 carreaux et.

~~on a remarqué que sur la figure 2 il reste un petit bout sur 1 des côté~~

FIGURE 50 – Expérience 1 : groupe "souple"

Blanche, Eugénie (Rigide) Jacques (dysphonique)

Question 1 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 1 entièrement ?

Oui

Question 2 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 2 entièrement ?

Non parce qu'il y a des écarts

Question 3 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

la figure 2 est la plus grande quand on multiplie la largeur et la longueur on trouve 65 alors que la figure 1 n'en fait que 64.

Question 4 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 1 ?

elle figure 1 est composée de 64 petits carreaux.

Question 5 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 2 ?

la figure 2 est composée de 65 petits carreaux

Question 6 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse

la figure 1 est plus petite que la figure 2 parce que la figure 1 fait 64 carreaux et la figure 2 fait 65 carreaux.

Question 7 : Comparez les réponses de la question 3 et 5 ? Que remarquez-vous ?

elles sont pareilles.

Question 8 : Proposez une méthode pour expliquer ce que vous avez remarqué.

On a vu qu'on pouvait les figures de combien sur la figure 2 il y a des écarts qui correspondent à un carreau et pour vérifier on a calculé l'aire des figures de carreaux qui faisaient toutes en tout 64 carreaux alors que la figure 2 en fait 65.

FIGURE 51 – Expérience 2 : groupe "robuste"

Kenny, Basile, Léonie (Ordi)

Question 1 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 1 entièrement ?

Oui, on peut la recouvrir entièrement.

Question 2 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 2 entièrement ?

Oui, on peut la recouvrir entièrement.

Question 3 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

Elles sont égales car les figures colorées rentrent entièrement dans les deux figures.

Question 4 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 1 ?

La Figure 1 a 64 petits carreaux.

Question 5 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 2 ?

La Figure 2 a 65 petits carreaux.

Question 6 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

La Figure qui a la plus grande aire est la 2 car elle a ~~un~~ petit carreau de plus que la figure 1.

Question 7 : Comparez les réponses de la question 3 et 6 ? Que remarquez-vous ?

On avait, on croyait qu'ils avaient la même taille car tout les formes de couleurs entrèrent dans la deux, mais la figure 2 a un carreau de plus.

Question 8 : Proposez une méthode pour expliquer ce que vous avez remarqué.

FIGURE 52 – Expérience 2 : groupe "numérique"

Nour, Louise, Adrien, Lory (Souple)

Question 1 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 1 entièrement ?

Al'aide des 4 figures colorées on peut recouvrir la figure 1.

Question 2 : A l'aide des 4 figures colorées, peut-on recouvrir la FIGURE 2 entièrement ?

Oui, on peut recouvrir entièrement la figure 2.

Question 3 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse.

La figure 2 a la plus grande aire (65c) et la plus petite est la figure 1 (64c). Ces figures ne sont pas égales.

Question 4 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 1 ?

Elle est composée de 64 carreaux.

Question 5 : De combien de petits carreaux est composée la FIGURE 2 ?

Elle est composée de 65 carreaux.

Question 6 : D'après vous, quelle figure a la plus grande aire ? La plus petite ? Sont-elles égales ? Justifier la réponse

La figure 2 a la plus grande aire (65c) et la plus petite est la figure 1 (64c).

Question 7 : Comparez les réponses de la question 3 et 6 ? Que remarquez-vous ?

Question 8 : Proposez une méthode pour expliquer ce que vous avez remarqué.

FIGURE 53 – Expérience 2 : groupe "souple"