



HAL
open science

Des objets pour apprendre - Articulation entre dynamiques d'appropriation en situation d'apprentissage et développement

Sandra Nogry

► **To cite this version:**

Sandra Nogry. Des objets pour apprendre - Articulation entre dynamiques d'appropriation en situation d'apprentissage et développement. Education. Université Paris 8 – Vincennes-Saint-Denis, 2021. tel-03419822

HAL Id: tel-03419822

<https://hal.science/tel-03419822>

Submitted on 8 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Paris 8 – Vincennes-Saint-Denis

Des objets pour apprendre

Articulation entre dynamiques d'appropriation en situation
d'apprentissage et développement

Document présenté en vue de l'habilitation à diriger des recherches

Par

Sandra Nogry

Université Paris 8 – 9 novembre 2020

Membres du jury :

Emmanuel Sander, Professeur en psychologie, Université Paris 8, Université de Genève

Georges-Louis Baron, Professeur émérite en sciences de l'éducation, Université de Paris

Françoise Decortis, Professeure en ergonomie, Université Paris 8

Lucie Mottier-Lopez, Professeure ordinaire, Université de Genève

André Tricot, Professeur en psychologie, Université Montpellier 3

Rémy Versace, Professeur en psychologie, Université Lyon 2

Remerciements

Tout d'abord je remercie Emmanuel Sander, responsable de notre équipe de recherche au sein du laboratoire Paragraphe, puis garant de cette habilitation ; tout au long de mon parcours, il m'a fait confiance, soutenue dans mes différentes initiatives, puis accompagnée lors ce long processus d'écriture.

Je tiens également à remercier Georges-Louis Baron, Françoise Decortis, Lucie Mottier-Lopez, André Tricot et Rémi Versace pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de participer à ce jury. Je me réjouis de la perspective de pouvoir dialoguer ensemble sur mes objets de recherche.

Je dois beaucoup aux chercheurs qui m'ont initiée aux approches situées de la cognition et aux théories de l'activité. Merci à Christian Brassac et Nicolas Grégori, qui m'ont accueillies chaleureusement dans leur équipe, aux membres du laboratoire Costech (UTC), ainsi qu'à Pierre Rabardel, Françoise Decortis et à l'équipe C3U, avec qui j'ai pu appréhender toute la complexité de l'analyse de l'activité et collaborer sur différents projets.

Mes sincères remerciements vont également à *Pierre Vermersch*. Au sein de son groupe de recherche sur l'explicitation, j'ai découvert et exploré les potentialités de l'étude de l'expérience vécue *en première personne* dans un environnement chaleureux et bienveillant. Ces explorations ont donné lieu à des discussions passionnantes au sein de ce groupe de recherche, notamment avec Frederic Borde et Eric Maillard, que je remercie vivement pour leurs réflexions érudites et leur énergie partagée.

Mes recherches, réalisées au sein du laboratoire Paragraphe, sous la direction bienveillante d'Imad Saleh, sont également le fruit de nombreuses collaborations avec les collègues de l'équipe CRAC, les membres des projets auxquels j'ai participé - notamment Cédric Fluckiger, Laetitia Boulc'h, Olivier Grugier, Gilles Dieumegard, Nicolas Perrin (projet micro-sparkle) – ainsi que les membres de l'association OLPC France - Bastien Guerry, Pierre Varly, Lionel Laské. Je remercie vivement l'ensemble des collègues et étudiants avec qui j'ai collaboré pour ces échanges stimulants qui ont contribué à ouvrir de nouveaux possibles.

Mes pensées vont tout particulièrement vers *François Villemonteix*, collègue et ami trop tôt disparu.

Mes remerciements vont aussi aux chercheurs et amis, présent tout au long de ce parcours : Anne Bationo-Tillon, Sabine Guéraud, Magali Ollagnier-Beldame, Christophe Coupé, Eric Sanchez, Yannick Lémonie. Ces 20 dernières années, nos dialogues ont grandement contribué à forger ma pensée.

Merci à Agnes, Cécile, Marie et Juliette, qui m'ont accompagnée, chacune à leur manière, dans ce long processus d'écriture.

Je remercie enfin ma famille et les ami(e)s rencontré(e)s tout au long de ces années pour leur présence confiante, soutenante ou source d'émulation.

| | |
|--|------------|
| Introduction | 7 |
| Partie 1 : Constitutivité technique de la cognition, développement et apprentissage | 11 |
| Chapitre 1 : Caractère anthropologiquement constitutif de la technique | 11 |
| 1. Fondements de cette approche | 11 |
| 2. La technique, constitutive de la cognition..... | 16 |
| Chapitre 2 : Développement du sujet et appropriation de la technique..... | 23 |
| 1. Appropriation du point de vue de la psychologie historico-culturelle..... | 24 |
| 2. Quelle articulation entre appropriation et développement ? | 29 |
| Partie 2 : Rôle des analogies dans les apprentissages scolaires, vers une approche située | 43 |
| Chapitre 1. Analogie et apprentissages en situation de résolution de problème | 45 |
| Recherches princeps sur la résolution de problème par analogie..... | 45 |
| Quelles sont les conditions qui facilitent l'apprentissage par analogie ? | 49 |
| Limites des études réalisées..... | 56 |
| Chapitre 2. L'analogie <i>au cœur</i> des apprentissages scolaires | 59 |
| L'analogie : un mécanisme organisateur de la pensée | 60 |
| Analogie : un mécanisme central dans le développement conceptuel | 61 |
| Analogie et apprentissages scolaires | 62 |
| Vers une démarche d'ingénierie pédagogique..... | 70 |
| Discussion..... | 74 |
| Chapitre 3. Penser l'apprentissage dans une perspective située..... | 77 |
| Qu'entend-on par apprentissage situé ?..... | 77 |
| Rôle des inscriptions dans la construction de représentation abstraite..... | 80 |
| Repenser le transfert | 85 |
| Les apprentissages scolaires : un processus d'enculturation ? | 88 |
| Implications méthodologiques | 91 |
| Chapitre 4. Penser l'analogie dans une perspective située..... | 93 |
| Quelles utilisations des analogies à l'école en cours de mathématiques ? | 94 |
| Etude micro-génétique d'une séquence d'apprentissage de l'arithmétique..... | 101 |
| Discussion..... | 115 |
| Chapitre 5. Abstraction située et apprentissage de l'informatique à l'école primaire | 119 |
| Présentation des séquences de robotiques éducatives proposés par les enseignantes | 121 |
| En CP, une schématisation du trajet nécessaire à la conceptualisation | 123 |
| En CE1, une multiplicité d'artefacts mis à disposition | 127 |

| | |
|---|------------|
| Discussion | 130 |
| Chapitre 6. Synthèse de la partie 2..... | 133 |
| Des analogies utilisées au quotidien dans la classe | 133 |
| Analogie, apprentissage et développement conceptuel | 135 |
| Partie 3 : Appropriation des technologies en éducation | 141 |
| Chapitre 1. De la conception d'EIAH à l'étude des usages et de l'appropriation des TIC en classe . | 143 |
| 3. Le projet AMBRE | 143 |
| 4. Processus de conception, un dialogue entre sciences cognitives et informatique ?..... | 146 |
| 5. Evaluation de l'EIAH AMBRE-Add..... | 149 |
| 6. Vers une étude de l'activité instrumentée | 152 |
| Chapitre 2. Appropriation des technologies de l'information et de la communication pour l'éducation | 155 |
| 1. Appropriation des Technologies de l'information et de la communication | 155 |
| 2. Appropriation des TIC dans le champ de l'éducation | 160 |
| Chapitre 3. Appropriation d'une classe mobile à l'école primaire | 165 |
| 1. Etude du processus d'appropriation d'une classe mobile par les enseignants à l'école primaire en France | 166 |
| 2. Usages et appropriation de la classe mobile par les enseignants dans les programmes suivis en Afrique francophone..... | 177 |
| 3. Discussion | 185 |
| Chapitre 4. Usages et appropriation des ordinateurs portables en classe par les enfants..... | 189 |
| 1. Usages et appropriation des XO en classe par les enfants, source de développement ? | 190 |
| 2. Appropriation des TIC par les enfants équipés de XO dans un village insulaire à Madagascar | 196 |
| En résumé..... | 202 |
| Perspectives | 203 |
| Ancrage matériel du développement conceptuel | 203 |
| Etude de l'articulation entre appropriation des technologies par les enfants et développement . | 205 |
| Etude des micro-genèses expérientielles..... | 209 |
| Bibliographie | 213 |

Introduction

Dans cette habilitation à diriger des recherches, nous défendrons la thèse selon laquelle la cognition humaine est triplement ancrée : elle est ancrée dans le passé à travers l'analogie, dans la matière à travers le corps éprouvé, et dans la technique à travers l'appropriation des objets techniques. Ce troisième ancrage dans la technique, s'il a été thématiqué en philosophie et en sciences cognitives, est de notre point de vue encore trop peu investigué dans le champ de la psychologie du développement et des apprentissages ; de ce fait il constituera le fil rouge de cette habilitation à diriger des recherches.

Le caractère anthropologiquement constitutif de la technique (Stiegler, 1994 ; Havelange et al., 2003), c'est-à-dire la dépendance de la définition de l'homme à un moment donné relativement à un état de la technique, a été mis en exergue à l'échelle de l'évolution humaine par Leroi-Gourhan (1964). Comment ce constat prend-il sens à l'échelle du développement humain ? A l'heure où les techniques et les technologies de différentes natures sont omniprésentes dans notre environnement, *comment influent-elles sur le développement humain, la cognition et l'apprentissage ? En quoi sont-elles constitutives de la cognition et du développement ?* Telles sont les questions qui m'ont animées durant ma formation en sciences cognitives et qui ont orienté les différents axes de recherches développés ensuite.

Cet intérêt pour les technologies, le développement et l'apprentissage m'a d'abord poussée à faire une thèse en sciences cognitives portant sur la conception de technologie support aux apprentissages. Les recherches réalisées durant ma thèse (Nogry, 2005) se sont inscrites dans le cadre du projet Ambre dont l'objectif était de concevoir un environnement informatique fondé sur le raisonnement par analogie pour soutenir l'apprentissage de la résolution de problèmes arithmétiques. Dans ce projet, mes travaux ont d'abord porté sur l'étude des conditions qui favorisent la mise en œuvre d'un raisonnement par analogie en résolution de problèmes ; le rôle du « format de présentation » des informations et de la nature des représentations externes s'est avéré essentiel. Ces études ont permis d'orienter les choix de conception de l'EIAH AMBRE-add avant de l'évaluer. A une période durant laquelle l'évaluation était principalement centrée sur l'utilisabilité du dispositif et sur son impact sur l'apprentissage, cette recherche a mis en exergue l'importance d'analyser l'activité instrumentée des élèves en situation en mobilisant les théories de l'activité.

Les théories de l'activité (Kaptelinin & Nardi, 2006) et la cognition située (Aydede, 2008) accordent une place plus centrale à l'environnement matériel et aux fonctions de médiations supportées par les objets techniques dans l'étude de la cognition et de l'activité humaine. Elles proposent des cadres théoriques et des méthodes permettant de comprendre comment les objets techniques que nous concevons et que nous utilisons affectent nos façons de percevoir, de mémoriser, de raisonner, d'apprendre, d'agir, voire de se constituer en tant que sujet (Steiner, 2010). L'étude de ces approches au cours d'un post-doctorat dans l'équipe CODISANT (laboratoire LAPSYLOR) avec Christian Brassac (Brassac, 2006) m'a conduite à adopter une approche située de la cognition et des apprentissages et à choisir pour unité d'analyse l'activité instrumentée (Rabardel, 1995).

Suite à mon rattachement à l'Institut de Formation des enseignants de l'académie de Versailles, mes recherches ont porté sur les apprentissages scolaires à l'école primaire dans une perspective située. Dans la continuité des recherches amorcées durant la thèse, deux axes de recherches se sont dessinés :

- un premier axe portant sur l'étude du rôle l'analogie dans le développement conceptuel dans une perspective située, en vue de rendre compte de l'ancrage matériel de ce processus,
- un second axe portant sur l'appropriation des technologies de l'information et de la communication par les enfants à l'école primaire en vue d'appréhender la dialectique entre appropriation de ces technologies et développement de l'enfant.

Mes recherches sur le rôle de l'analogie dans le développement conceptuel ont été amorcées au sein de l'équipe « compréhension raisonnement et acquisition de connaissances » (laboratoire Paragraphe) dirigée par Emmanuel Sander. L'équipe a réalisé un grand nombre de recherches visant à mettre en évidence le rôle l'analogie, mécanisme par lequel *une situation nouvelle peut être interprétée dans les termes d'une situation passée*, comme mécanisme au coeur du développement conceptuel. Nous avons ainsi contribué à l'étude du rôle des analogies dans le développement des connaissances en arithmétique (projet ANR COEFF (*Content Effect*)). L'étude des analogies dans une perspective située m'a par ailleurs conduite à étudier les analogies produites en situation d'apprentissage : *quelles sont les usages des analogies au quotidien en classe à l'école primaire ? Quel est l'ancrage matériel de ces analogies ?* Pour répondre à cette seconde question, il s'agit d'étudier *quelles sont les fonctions assurées par les artefacts (à la fois matériels et symboliques) utilisés en classe lors de l'élaboration des analogies et comment ceux-ci contribuent / sont constitutifs du développement conceptuel*.

Cette approche située du développement conceptuel pose par ailleurs différentes questions méthodologiques que nous avons travaillé au sein du projet Micro-Sparkle (*Microgenetic Second Person Approach for Research on Knowledge and Learning*) porté par Gilles Dieumegard (Université de Montpellier) et financé par le labex ASLAN. L'objectif du projet était d'élaborer des méthodes d'analyse micro-génétique du développement conceptuel fondées sur l'expérience vécue du sujet documentée en seconde personne.

Le second axe de recherche portant sur les usages et l'appropriation des TIC à l'école élémentaire. Pour aborder cette question par ailleurs étudiée en sciences de l'éducation, nous avons mobilisé les cadres théories et méthodologies de l'ergonomie adaptées à l'étude de l'activité des enfants (Rabardel, 1995 ; Decortis, 2015). Le projet de recherche PICRI UOPO mené en collaboration avec Françoise Decortis (laboratoire Paragraphe, université Paris 8) visait à étudier l'appropriation par les enfants d'ordinateurs portables conçus pour eux. En parallèle, nous avons mené différentes recherches sur les usages et l'appropriation des tablettes en classe, qui faisaient alors leur entrée dans les classes, en collaboration avec François Villemonteix (Laboratoire EMA, Université Cergy-Pontoise) et le laboratoire EDA (Université Paris-Sorbonne). Ces différentes recherches visaient à *caractériser le processus d'appropriation de ces objets techniques par les enseignants et les enfants dans différents environnements culturels*, en interrogeant la relation entre *appropriation de ces techniques et développement des sujets*.

Ce document vise à la fois à rendre compte de ma trajectoire de recherche ces vingt dernières années et à défendre la thèse selon laquelle la cognition humaine est triplement ancrée - dans le passé à travers l'analogie, dans la matière à travers le corps éprouvé, et dans la technique à travers l'usage des objets techniques et des gestes associés – en mettant en exergue le les ancrages matériels de l'apprentissage et du développement à travers différentes études conduites auprès d'enfants.

La première partie de ce document présente une synthèse des recherches mettant en exergue le caractère anthropologiquement constitutif de la technique et plus spécifiquement la co-constitution de la technique et de la cognition. Après une revue des études en sciences cognitives sur ce sujet,

souvent réalisées auprès d'adultes, il s'agira d'interroger l'articulation entre caractère constitutif de la technique sur la cognition et développement. Ceci nous amènera à présenter une synthèse des recherches sur l'appropriation des techniques, en vue d'interroger la dialectique entre appropriation et développement.

La seconde partie présente les études correspondant à notre premier axe de recherche, portant sur le rôle de l'analogie dans le développement conceptuel dans une perspective située. Dans cette partie, les différentes recherches conduites depuis ma thèse sur l'analogie sont retracées en rendant compte de l'évolution des cadres théoriques et méthodes nécessaires à l'adoption d'une perspective située (chapitres 1 à 3). Les chapitres suivants présentent nos recherches sur les usages des analogies en situation quotidienne, leur rôle dans le développement conceptuel, et leur ancrage matériel. Le chapitre 4 porte sur des situations d'apprentissage de l'arithmétique (projet COEFF) ; le chapitre 5 porte sur des études conduites dans des situations d'apprentissage de l'informatique à l'école primaire (projet ANR DALIE). Le dernier chapitre synthétise nos contributions à ce champ de recherche et présente différentes pistes à approfondir.

La troisième partie porte sur notre second axe de recherche, il présente les différentes études conduites sur l'usage et l'appropriation des technologies en éducation. Le chapitre 1 porte sur les recherches conduites durant la thèse sur la conception d'environnement pour l'apprentissage, ainsi que sur les raisons qui m'ont amenée à étudier l'appropriation de ces technologies. Le chapitre 2 présente une synthèse des recherches sur l'appropriation des technologies en éducation. Le chapitre 3 introduit les projets de recherche sur lesquels nous avons travaillé et décrit les différentes études réalisées sur l'appropriation des classes mobiles par les enseignants à l'école primaire, ceci dans différents environnements matériels et culturels. Le chapitre 4 aborde plus spécifiquement l'appropriation des technologies par les enfants dans différents contextes, et interroge la contribution de ces technologies au développement de leur autonomie et de leur créativité. Le chapitre 5 résume nos contributions à ce champ de recherche et présente différentes perspectives qui s'ouvrent dans le contexte actuel.

La dernière partie reviendra sur la thèse proposée, et présentera différents axes de recherches à développer.

Partie 1 : Constitutivité technique de la cognition, développement et apprentissage

Le caractère anthropologiquement constitutif de la technique (Stiegler, 1994 ; Havelange et al., 2003) - c'est-à-dire le fait que l'évolution de l'espèce humaine est indissociable de l'évolution de la technique, qu'ils se co-constituent - a été mis en évidence à l'échelle de l'évolution humaine notamment par Leroi-Gourhan (1964). Comment ce constat prend-il sens à l'échelle du développement humain ?

La technique (objets techniques et procédés associés) a souvent été considérée comme simple moyen à disposition d'un sujet pour atteindre des finalités déjà planifiées. Pourtant, l'anthropologie des techniques et l'étude des cultures matérielles mettent en évidence la façon dont la technique est constitutive du rapport aux autres et au monde, et contribue au processus de subjectivation entendu comme la capacité de l'homme à se constituer en tant que sujet (Warnier, 1999 ; Julien & Rosselin, 2009).

Avec l'usage de plus en plus répandu des technologies « cognitives », les sciences cognitives ont également été amenées à penser les relations entre technique et cognition. Il s'agit de comprendre comment les objets techniques que nous concevons et que nous utilisons affectent nos façons de percevoir, de mémoriser, de raisonner, d'apprendre, voire de se constituer en tant qu'individu/ que sujet capable d'agir et d'entrer en relation avec autrui (Steiner, 2010).

La mise en évidence du caractère constitutif de la technique sur la cognition et le développement passe également par une analyse de son rôle au cours du développement de l'enfant puis tout au long de la vie. Nous aborderons ce dernier point en présentant les processus d'appropriation des techniques tels qu'ils sont pensés dans différentes approches et en interrogeant la dialectique entre appropriation et développement.

Chapitre 1 : Caractère anthropologiquement constitutif de la technique

Envisager le caractère anthropologiquement constitutif de la technique consiste à comprendre comment l'être humain et la technique se constituent mutuellement, et, dans le champ des sciences cognitives, à *penser ensemble, dans leurs relations de constitution mutuelle, technologie et cognition* (Steiner, 2010, p. 8).

Dans un dossier thématique intitulé « *Philosophie, technologie et cognition* », Steiner (2010) propose une présentation détaillée de la généalogie de cette thèse et des perspectives qu'elle ouvre ; nous reprenons dans cette section les principaux éléments qu'il introduit.

1. Fondements de cette approche

La thèse de la « *Technique comme Anthropologiquement Constitutive/Constituante* » (Havelange, Lenay & Stewart, 2003) a notamment été développée à l'Université Technologique de Compiègne, au sein de l'équipe de recherche « *Connaissance, Organisation et Systèmes Techniques* » (COSTECH). Elle se fonde sur les recherches en paléanthropologie de Leroi Gourhan (1964), sur la

pensée de Stiegler (1994) développée dans « la technique et le temps » et sur la conception de la technique proposée par Simondon (1989 ; 2005).

Cette thèse s'ancre d'abord dans une analyse du rôle de la technique dans la phylogenèse. Selon Leroi-Gourhan, l'évolution de l'espèce humaine est indissociable de l'évolution de la technique. Partant du constat que la bipédie n'avait pas été la conséquence d'une augmentation du volume du cerveau mais l'avait précédée, il a considéré les implications possibles de l'adoption d'une station verticale :

« C'est ainsi que "l'homme commence avec les pieds", car "la station verticale ... fait du développement du cerveau humain autre chose qu'une augmentation de volume. La relation de la face et de la main reste aussi étroite dans le développement cérébral qu'antérieurement : outil pour la main et langage pour la face sont deux pôles d'un même dispositif". (Leroi-Gourhan, 1964 ; cité par Havelange et al., 2003)

Il caractérise l'hominisation par le passage à la station verticale, la libération de la main, la manipulation d'outils qui prolonge la main et l'apparition du langage. L'évolution de l'espèce humaine est ainsi caractérisée par un processus d'« extériorisation des organes corporels de la motricité et de la sensation » grâce à la technique (Havelange et al., 2003) : aux dents et aux griffes se substituent des outils qui assurent non seulement les mêmes fonctions, mais offrent également de nouvelles possibilités de percevoir et d'agir et soutiennent le développement d'un répertoire étendu de gestes. La technique devient prothèse qui médiatise les relations entre le biologique, le social et le culturel. Ainsi, les changements structuraux (morphologie, taille du cerveau) et comportementaux qui ont eu lieu au cours de la phylogenèse sont concomitants de l'évolution des techniques.

Stiegler (1994) prolonge la thèse proposée par Leroi Gourhan (1964) en postulant que ce processus d'extériorisation des organes corporels donne lieu à une intériorisation ; il souligne que « *l'intériorité (l'homme), ici, n'est rien hors de son extériorisation techno-logique (par l'outil et par le symbole) [...] L'intérieur est constitué par l'extérieur, qui le précède* » (Stiegler, 1994, p.184 cité par Steiner, 2010, p. 18). Il s'agit alors d'un mouvement de *co-constitution*.

Au cours de l'évolution l'utilisation d'outils introduit également la possibilité d'une transmission de l'intelligence technique d'une génération à l'autre que Stiegler conceptualise comme une épiphylogenèse : « *la conservation, l'accumulation et la sédimentation des expériences individuelles par l'inscription et l'organisation de la matière inorganique, devenant dès lors matière inorganique organisée* » (Steiner, 2010, p. 18) ; l'évolution des techniques supporte ainsi une extériorisation de la mémoire qui rend possible le développement de la pensée.

Ainsi, comme le résume Warnier (1999) :

« La phylogénèse n'est pas un processus aboutissant à l'affranchissement de la pensée par rapport à l'environnement matériel [...] au contraire l'hominisation se joue dans une dialectique de plus en plus serrée entre les conduites motrices, la culture matérielle et les élaborations psychiques » (Warnier, 1999, p. 37)

Définitions de la technique

La technique, du grec *technè*, remonte au verbe *teuchô*, dont le sens principal est « charpenter », « fabriquer », « produire », « construire ». Ce terme désigne usuellement l'ensemble des procédés propres à une activité, mobilisés dans la réalisation d'actions possibles, permettant d'obtenir un résultat (sources : Littré, TLFI). Au sens aristotélicien, techné est défini comme « *une connaissance concrète qui dirige l'action* »¹. On parle de techniques de chasse et d'élevage, de techniques artistiques,

¹ Gadamer, 1974, cité par Julien et Rosselin, 2009

de techniques industrielles, de techniques médicales, de techniques de calcul, de techniques de communication, etc.

Marcel Mauss (1948/2004) définit les techniques comme « *un groupe de mouvements, d'actes, généralement et en majorité manuels, organisés et traditionnels, concourant à obtenir un but connu comme physique ou chimique ou organique* ». Cette définition souligne que la technique relève avant tout de la maîtrise de gestes, de savoir-faire, de la constitution de schèmes d'action orientés vers une finalité. Il distingue ainsi les techniques du corps des techniques instrumentales, qui mobilisent des objets techniques.

Par extension la technique inclut à la fois les procédés mis en œuvre pour réaliser une action et les objets techniques mobilisés dans ce but.

« L'usage et la production des objets techniques requièrent la maîtrise d'une technique de la part de l'usager, résultant d'un apprentissage, mais aussi d'une tradition et d'une transmission. Si l'outil, par exemple, confère un pouvoir faire à son usager, ce pouvoir faire ne peut s'exercer qu'à partir d'un savoir-faire, déjà technique, et consistant notamment dans l'usage normé de l'outil au sein d'un réseau de techniques et d'objets techniques » (Steiner, 2010, p. 10).

Ces procédés et ces objets techniques sont bien souvent inscrits dans une tradition ou dans des pratiques instituées, et font l'objet d'une transmission ; ils sont vecteurs de normes historiquement, culturellement et socialement constituées, qui préexistent à l'action finalisée et contraignent cette action. La matérialité des objets impose également ses propres contraintes. Comme le démontre Simondon (1989) dans *Du mode d'existence des objets techniques*, les objets techniques ne sont pas une *matière brute inorganisée mise en forme* localement en fonction d'un objectif visé, mais des objets issus d'un processus d'*invention* - distinct de l'utilisation - qui s'inscrivent dans des *lignées techniques*, et qui *s'individuent* en tendant vers une *concrétisation* suivant une dynamique qui leur est propre en relation avec leur milieu associé (Simondon, 1989).

Ainsi la technique n'est pas seulement constituée par l'être humain comme un ensemble de moyens à mettre en œuvre pour atteindre des buts pré-établis. Elle est à la fois capacitante et contraignante : elle offre de nouvelles possibilités d'actions tout en imposant des contraintes de nature matérielles, sociales et culturelles, ce qui contribue à faire évoluer les buts pré-définis et à en faire émerger de nouveaux au cours de l'activité (Havelange et al., 2003 ; Steiner, 2010). La technique est constitutive de l'être humain. Il s'agit dès lors d'étudier comment sujets et objets se co-construisent, comment ils se façonnent, se transforment l'un l'autre.

L'objet technique constitutif / constituant de l'être humain

L'objet technique : extension du corps pensant et agissant

Selon Leroi-Gourhan (1964) et Stiegler (1994), l'homme est *un être de prothèses*, entendues non comme substitution d'un organe défaillant ou absent mais comme supports nécessaires au développement de l'esprit de par son incomplétude originale.

Dès lors il s'agit d'étudier le couplage entre l'individu et les objets techniques. Deux modes de relation à l'objet peuvent être distingués (Lenay, 2002) : l'objet en tant que *saisi*, et en tant que *lâché/déposé* ;

Déposées, je perçois les lunettes placées devant moi comme un objet technique éventuellement saisissable dans le cadre de la réalisation de mes projets d'action. *Saisies*, je ne perçois plus mes lunettes, mais je *perçois par* mes lunettes.

Déposé, l'objet technique peut être vu, manipulé, partagé, transmis, réparé, transformé, « *Il existe alors avant tout sur un mode constitué* » (Steiner, 2010, p. 15).

Saisi, l'objet participe à la réalisation de l'action et fait corps avec le sujet. Il est incorporé et devient « *transparent* » ; il est ressenti comme *extension* du corps pensant et agissant (Havelange et al., 2003), parfois jusqu'à sortir du focus attentionnel et à se faire oublier. Ainsi, l'aveugle perçoit le monde au bout de la canne ; le conducteur perçoit la texture de la route avec les roues (Merleau-Ponty, 1945, p.167).

Ce qui caractérise le rapport du sujet aux objets, c'est le va et vient entre ces deux modes, la capacité de couplage et de découplage, d'incorporation et d'excorporation dans les conduites sensori-motrices (Julien et Rosselin, 2009).

Cette capacité de couplage avec un objet technique joue *un rôle constituant* pour nos capacités d'action, de raisonnement ou encore de perception (Steiner, 2010). Saisi, l'objet technique façonne le *monde propre* de l'acteur. La multiplicité des objets techniques existants fait littéralement *exploser le champ des possibles*, devenus prothèses ils donnent lieu à des *mondes propres entièrement nouveaux* (Havelange et al., 2003). Nous reviendrons sur ce point ensuite.

L'objet technique : inscription constitutive de la pensée et de la production de connaissances

Steigler (1996) définit par ailleurs la prothèse comme « ce qui est posé là-devant » (pro-thèse) : résultat du processus d'extériorisation, elle constitue alors l'inscription matérielle de l'expérience et de la connaissance humaine dans des gestes et dans des supports matériels ; elle conditionne l'élaboration de connaissances nouvelles.

Husserl (1936), dans une réflexion sur l'élaboration des connaissances en géométrie, soutenait déjà que l'inscription graphique est *une condition de possibilité* de l'élaboration *d'idéalités géométrique*. Ainsi comme le souligne Steiner (2010) se référant à ce texte d'Husserl :

« l'écriture est en réalité la possibilité de constitution de toute idéalité géométrique. Elle n'est pas un simple instrument de consignation, d'enregistrement, de transmission, de communication ou d'expression de l'idéalité oralement matérialisée, ou la mémoire d'un régime d'idéalités déjà constituées. La spatialisation et l'itérabilité qu'elle rend possible en font la condition de possibilité de l'élaboration, de l'imagination, de la justification, de la transmission et donc de la progression de ce corps d'idéalités partageable par le nous de la communauté scientifique. Dans sa permanence et dans sa nécessité, l'idéalité est impossible sans son inscription graphique. » (Steiner, 2010, p. 21)

Cette extériorisation de la raison dans les techniques et l'écriture est indispensable à la constitution des connaissances scientifiques et à leur transmission (Havelange, 2010).

Cette affirmation fondée sur une approche phénoménologique a été étayée par une analyse historique de l'invention de l'écriture et une étude anthropologique des écarts entre sociétés orales et sociétés maîtrisant l'écriture (Goody, 1979, 2007). L'étude des implications de l'introduction de l'écriture - définies comme une technologie de l'intellect - et de différentes formes de graphismes (listes, tableaux, systèmes d'écriture, systèmes de symboles) conduit J. Goody à soutenir que leur usage est associé à une nouvelle forme de rationalité, la raison graphique.

En soustrayant le discours au flux temporel de l'oralité et aux circonstances dans lesquelles il est produit, l'écriture le déploie sous nos yeux, le spatialise et en fait un objet de réflexion, de critique, de partage. Cette matérialisation du discours ou de la pensée permet ainsi de trier des informations, de réorganiser les éléments en présence et d'établir des comparaisons, des catégorisations, des abstractions. Elle facilite l'activité réflexive : avec l'écriture l'homme peut s'éloigner de sa propre création, la commenter et même la corriger.

D'après Goody (2007), les multiples propriétés de l'écriture ont été à la source de modifications sociétales profondes. Son introduction a notamment conduit à une modification des styles de communication et des formes de mémorisation (en supportant l'accumulation de connaissances) ; elle a par ailleurs fait évoluer les conceptions du temps, et a favorisé le développement de la pensée logique et des sciences.

Les fonctions assurées par l'écriture et différentes formes d'inscription dans la mémorisation, l'organisation de l'action individuelle et collective ou encore la production de connaissances scientifiques ont également suscité l'intérêt des sociologues (Latour, 1993 ; Lahire, 1998 ; Vinck, 2009).

Entre extension du corps et inscription, appréhender la technique dans sa matérialité

L'objet technique appréhendé comme inscription de l'expérience et de la connaissance pourrait conduire à considérer les objets uniquement comme des systèmes de signes (Baudrillard, 1968), des représentations.

Cette approche fait abstraction d'une dimension essentielle de l'objet technique, sa matérialité. Warnier (1999), spécialiste des cultures matérielles, souligne l'importance de cette matérialité en référence au tableau de Magritte, *la pipe*. Comme l'indique le texte, « ceci n'est pas une pipe » ; la représentation n'est pas l'objet lui-même, susceptible d'être rempli de tabac, allumé, qui produit de la fumée, sources de sensations associées. De même la représentation visuelle d'un vélo, aussi réaliste soit-elle, ne permet pas de se déplacer.

L'objet se caractérise par sa matière, sa forme, l'organisation de ses différents composants, le milieu qui lui est associé, dimensions constitutives des propriétés qui sont les siennes (labilité/durabilité, tangibilité, résistance, etc.) et des fonctions qu'il assure. Dans cette perspective, la nature des supports d'inscription (tablettes d'argile, papyrus, toile, feuille de papier, cahier, ardoise, environnement numérique, etc.) leur confère des propriétés distinctes. Chacun de ses supports est associé à des modes de couplage spécifiques et offre des possibilités d'actions, de manipulation et de conservation qui lui sont propres.

Aussi, selon Warnier (1999), étudier le caractère constitutif de la technique - la façon dont celle-ci transforme l'individu, façonne ses modes de penser, d'agir - consiste en une étude du rapport entre l'objet comme signe et l'objet comme médiateur des conduites motrices, appréhendé dans sa matérialité.

Latour (1993) adopte cette démarche afin d'étudier les inscriptions utilisées par les chercheurs dans leur activité de production de connaissances scientifiques. Il apparaît que ces inscriptions ne se réduisent pas à de l'information ; elles sont aussi des entités matérielles plus ou moins contraignantes à produire, à conserver et à utiliser.

Il met notamment en évidence l'usage par les chercheurs d'un ensemble d'objets techniques qui, associés à des conduites motrices, matérialisent le passage de la chose (échantillons) au signe (code couleur/code numérique/ carte/diagramme). Chacun de ces objets supporte des transformations, des

transmutations, des traductions. Ainsi, pour le pédologue étudiant les caractéristiques du sol dans une forêt brésilienne à l'aide de pédocomparateur, de supports de classement, d'un code Munsell perforé, etc., la terre devient cube de carton, permettant une réorganisation spatiale / temporelle des échantillons, la couleur devient chiffre, la texture devient mot, et ainsi de suite jusqu'à la réalisation d'un diagramme synthétique. A chaque étape le chercheur procède à une réduction - il perd en *localité*, en matérialité, en complexité – et à une standardisation, il gagne en lisibilité, en compatibilité, en *universalité*. « *Les phénomènes s'étendent tout le long de la chaîne réversible où ils perdent à chaque étape certaines propriétés pour en gagner d'autres* » (Latour, 1993, p. 217- 2018) qui les rendent compatibles avec les normes en vigueur dans la discipline (Figure 1).

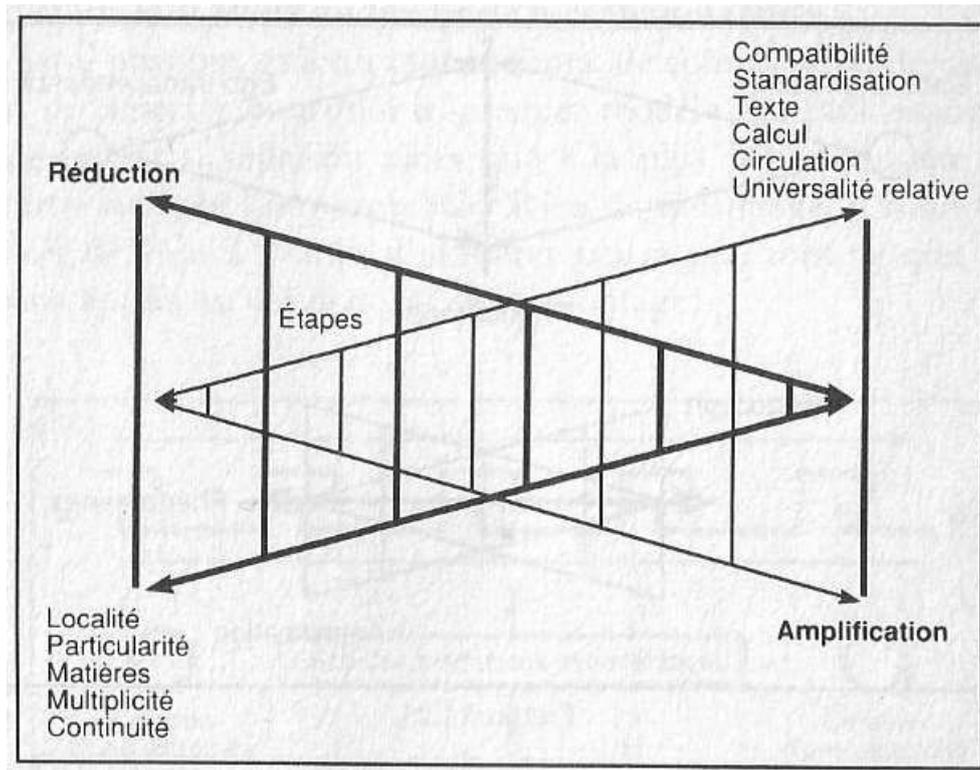


Figure 1. Double mouvement de réduction et d'amplification au l'œuvre au cours de la recherche (Latour, 1993 ; p. 217)

Les objets techniques et inscriptions utilisés par ces chercheurs constituent autant d'objets intermédiaires intervenant dans la structuration des activités de recherche individuelles et collectives comme dans la production et la circulation des savoirs (Vinck 2009).

2. La technique, constitutive de la cognition

Les sciences cognitives se sont constituées dans les années 1950 en référence aux innovations techniques (Dupuy, 1999), l'ordinateur étant une métaphore pour penser la cognition. L'esprit est alors assimilé à une machine logique, un système de traitement de l'information ; les actions sont le résultat de traitements séquentiels opérés sur les représentations mentales construites à partir des stimulations reçues.

Depuis, des conceptions alternatives à ce modèle computationnel accordant une autre place à la technique ont été proposés. Irriguée par les réflexions philosophiques du pragmatisme et de la phénoménologie (Gallagher, 2009 pour une synthèse), la cognition située (Robbins & Ayede, 2009) rend compte de l'inscription corporelle de l'esprit et de son ancrage dans l'environnement matériel et

social de l'individu. Ce champ ne renvoie pas à une conception unifiée de la cognition mais à de multiples théories, parfois regroupées sous le terme 4E cognition (Enactive, Embodied, Embedded, Extended cognition).

Enaction

La thèse de la « *Technique comme Anthropologiquement Constitutive/Constituante* » (Havelange, et al., 2003) s'inscrit dans la théorie de l'Enaction (Varela, Thomson & Rosch, 1993) qui appréhende la cognition comme « *l'avènement conjoint d'un monde et d'un esprit à partir de l'histoire des diverses actions qu'accomplit un être dans le monde* » (Varela et al., 1993, p.35). Dans leur ouvrage intitulé *l'inscription corporelle de l'esprit*, Varela et al. (1993) défendent une conception incarnée de la cognition : *une cognition ancrée dans le corps et émergente de ses interactions (son incarnation) avec le monde extérieur* (voir Shapiro, 2014 ; Versace, Brouillet et Barret, 2018 pour une synthèse des différentes approches de la cognition incarnée).

L'un des principes fondamentaux de l'énaction est l'autopoïèse (Maturana & Varela, 1980) : la capacité pour un organisme vivant de maintenir sa propre organisation dans ses interactions avec l'environnement. Lors de ce couplage asymétrique, l'organisation de l'organisme (l'acteur) se construit et se modifie pour compenser les perturbations provoquées par ses interactions avec l'environnement. A travers ce couplage l'acteur définit simultanément un *corps propre* et un *monde propre* (*Umwelt*) à partir des éléments de l'environnement signifiants pour lui.

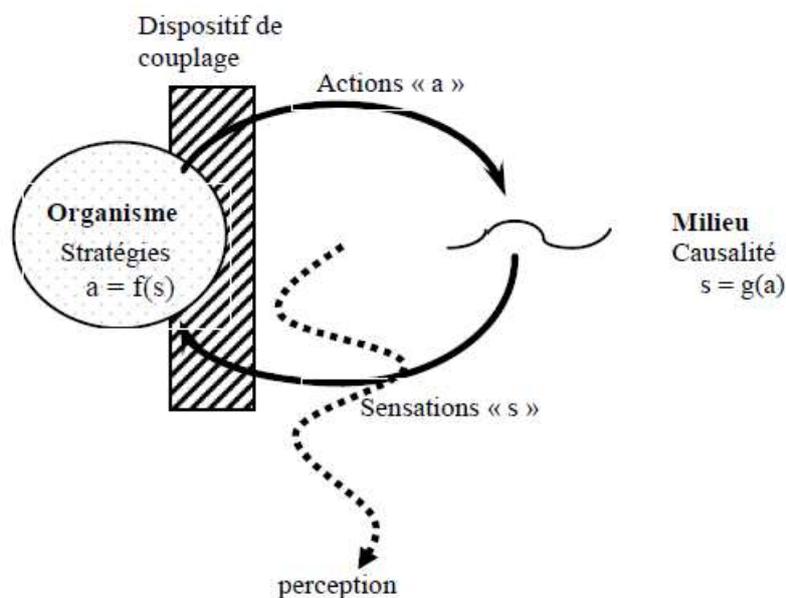


Figure 2. schéma représentant le couplage sensori-moteur. Le système de perception prothésisée est un dispositif de couplage qui modifie le corps propre en définissant les répertoires d'actions et de sensations accessibles au sujet. Via le milieu, les actions « a » causent les sensations « s » : $s = g(a)$; et l'organisme définit la stratégie qui détermine ses actions en fonction des sensations reçues : $a = f(s)$ (source : Lenay, 2006)

Ainsi l'énaction oppose au modèle computationnel de la cognition un modèle cyclique (Figure 2) : les traitements séquentiels deviennent boucles sensori-motrices caractérisées par le fait que les actions produisent des effets en retour sur les sensations. Autrement dit, l'action n'est pas un simple produit du traitement de l'information, elle est constitutive de l'expérience perceptive (Havelange et al.,

2003) ; le contenu perceptif est produit (énecté) par une activité perceptive concrète (Lenay, 2006 ; Gapenne, 2010). Ainsi, O'Regan et Noé (2001) ont montré que la vision est une activité exploratoire ; les mouvements de l'œil et du corps provoquent des changements sensoriels associés à l'émergence de contingences sensori-motrices qui permettent de reconnaître l'objet présenté. L'expérience perceptive est également modulée par des contraintes sur l'action (des contraintes biomécaniques, l'état physiologique, ou le coût énergétique associé à l'action à réaliser) ou par l'utilisation d'outils (Proffitt, 2006). Percevoir c'est donc agir sur le monde et appréhender les conséquences de ses actions, effectives ou possibles, sur ses sensations.

Comme le montrent les recherches sur les dispositifs de suppléance perceptive (Lenay, 2006 ; Gapenne, 2010) ; la saisie d'un bâton permettant d'attendre un objet modifie par exemple la perception des distances (Witt, Proffitt & Epstein, 2005). Le couplage avec l'environnement se voit ainsi transformé quand un objet technique est saisi. Nous y reviendrons ultérieurement.

Cognition située (embeddiment)

Une autre approche de la cognition située est davantage inspirée de l'anthropologie (Lave, 1988 ; Suchman, 1987). Il s'agit d'étudier la cognition (traitement de l'information, résolution de problème, prise de décision) en situation quotidienne ou professionnelle à travers des études ethnographiques. Cette approche considère la cognition comme inscrite, intégrée à la situation dans laquelle l'activité se déroule : les processus cognitifs associés à une activité sont indissociables de leur environnement matériel et social (*embedded in the world*). Ainsi, Suchmann (1989) montre que l'action de sportifs n'est pas l'exécution d'un plan d'action initialement défini mais une modification de leur cours d'action à chaque instant en fonction d'interactions dynamiques avec l'environnement matériel et social.

D'autres études portent sur la résolution de problème dans des situations quotidiennes. Lave (1988) met en évidence l'écart entre les stratégies de résolution utilisées sur papier et celles mobilisées au quotidien dans lesquelles l'environnement matériel prend une place plus importante. Cet écart a ensuite été démontré dans d'autres études ethnographiques telles qu'une recherche réalisée auprès d'infirmières en pédiatrie en Angleterre (Hoyle, Noss & Pozzi, 2001). Les infirmières participantes maîtrisent parfaitement la formule de calcul de proportionnalité nécessaire à l'adaptation des doses de médicament au poids des enfants, les utilisent dans des problèmes « papier-crayon » mais pas en situation. Durant leur service, elles mobilisent des heuristiques spécifiques à chaque médicament et mode de conditionnement, correspondant à des pratiques sociales partagées. Dans ces différentes recherches, les caractéristiques matérielles de l'environnement et des objets manipulés (taille, forme, contenance, apparence, etc.) ont une place cruciale dans les stratégies de résolution de problème mises en œuvre.

Par ailleurs, même dans des problèmes classiquement étudiés, la plupart des personnes ne se limitent pas à une activité mentale de résolution, mais écrivent, dessinent ou manipulent des objets. Différentes recherches dans le champ de la cognition incarnée ont démontré l'importance des gestes (Goldin-Meadow, 2015 ; Novack & Goldin-Meadow, 2015), du mouvement, et de la manipulation d'objets dans les apprentissages scolaires (cf. numéro spécial coordonné par Tricot & Sweller, 2015). Pour autant, comme le soulignent Bara & Tricot (2017), « *Ce n'est pas la manipulation en soi qui est importante mais plutôt les possibilités de manipulation que les objets proposés permettent ainsi que le sens qu'on peut leur donner* ». Afin de mettre en exergue les fonctions et possibilités offertes par des objets et inscriptions manipulés, Kirsh et collaborateurs ont réalisé des études expérimentales en

proposant des problèmes ludiques (voir Kirsh, 2009 pour une synthèse). Ils ont montré que pour réussir à résoudre ces problèmes, il peut être plus rapide et plus efficace d'agir sur les objets présents (lettres, formes) que de construire systématiquement une représentation mentale des différentes alternatives possibles (Kish & Maglio, 1995 ; Maglio et al., 1999) (Figure 3). Par exemple, au scrabble les joueurs ayant la possibilité de déplacer les lettres génèrent plus de mots et des mots « plus distants » de l'ordre initial présenté que des joueurs n'y étant pas autorisé (Maglio et al., 1999). Si les inscriptions et objets manipulés réduisent la charge cognitive imposée par la tâche (Barab et Tricot, 2017), ils permettent également de réduire la complexité du problème, de rendre explicites certaines propriétés ou relations et d'en masquer d'autres (Kirsh, 2009). Ils rendent aussi possibles la réalisation d'actions épistémiques² qui enrichissent les connaissances du sujet sur l'objet ou sur les différentes alternatives (Figure 3) ; ils sont ainsi des indices et des formes d'étagage qui guident la résolution (Kirsh, 2009).

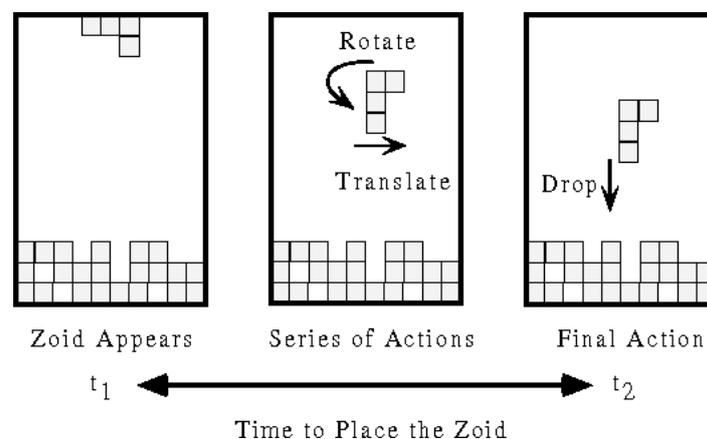


Figure 3. Le jeu tetris a pour but de remplir les cases vides dans les couches inférieures pour compléter les lignes. En vue d'identifier l'orientation la plus adéquate de la pièce, plutôt que de construire différentes représentations mentales des alternatives, les joueurs experts font de nombreuses rotations de la même pièce pour tester les différentes configurations possibles et vérifier l'intérêt d'éventuels déplacements (Kish & Maglio, 1995).

Ces objets utilisés pour penser constituent un ensemble de ressources, de contraintes, d'indices pour résoudre le problème et matérialisent les différentes transformations possibles sans avoir besoin d'en construire systématiquement une représentation mentale.

Cognition étendue (extended cognition)

En soutenant que la résolution du problème est un processus situé *partiellement dans l'esprit, partiellement dans le monde* (« *partly in the mind, partly in the world* »), Kirsh, (2009, p. 279), adopte une perspective *externaliste* (Clark, 1996). Celle-ci est notamment étayée par les analyses de l'activité de navigation ou de pilotage proposées par Hutchins (1995a ; 1995b). Selon cet auteur, le traitement de l'information effectué en situation ne se réduit pas à l'activité mentale d'un individu pris isolément, mais est un processus distribué entre les individus et les artefacts socio-techniques présents. Ainsi l'analyse de la navigation d'un navire militaire montre que les différents traitements de l'information nécessaires à cette activité (perception, construction de représentations de la situation, production d'inférences, mémorisation, prise de décision) sont assurés par des individus différents manipulant des inscriptions (nombres, symboles, cartes, etc.) ; celles-ci constituent l'environnement matériel que les navigateurs partagent et produisent les uns pour les autres. Par ailleurs, l'analyse du traitement de l'information dans un cockpit d'avion - par exemple pour mémoriser sa vitesse lors de la descente -

² "physical actions that make mental computation easier" (Kirsh–Maglio 1994: 513)

met en évidence les différents instruments mobilisés (tableaux, cartes de vitesse, différents indicateurs de vitesse) et les actes réalisés respectivement par l'un ou l'autre des membres de l'équipage (procédures de vérification croisés, réglage des instruments) qui concourent à cette mémorisation (Hutchins, 1995b). Elle montre ainsi que la vitesse de l'avion n'est pas mémorisée par les pilotes eux-mêmes, mais par différents instruments et représentations externes présents dans le cockpit et manipulés par les pilotes.

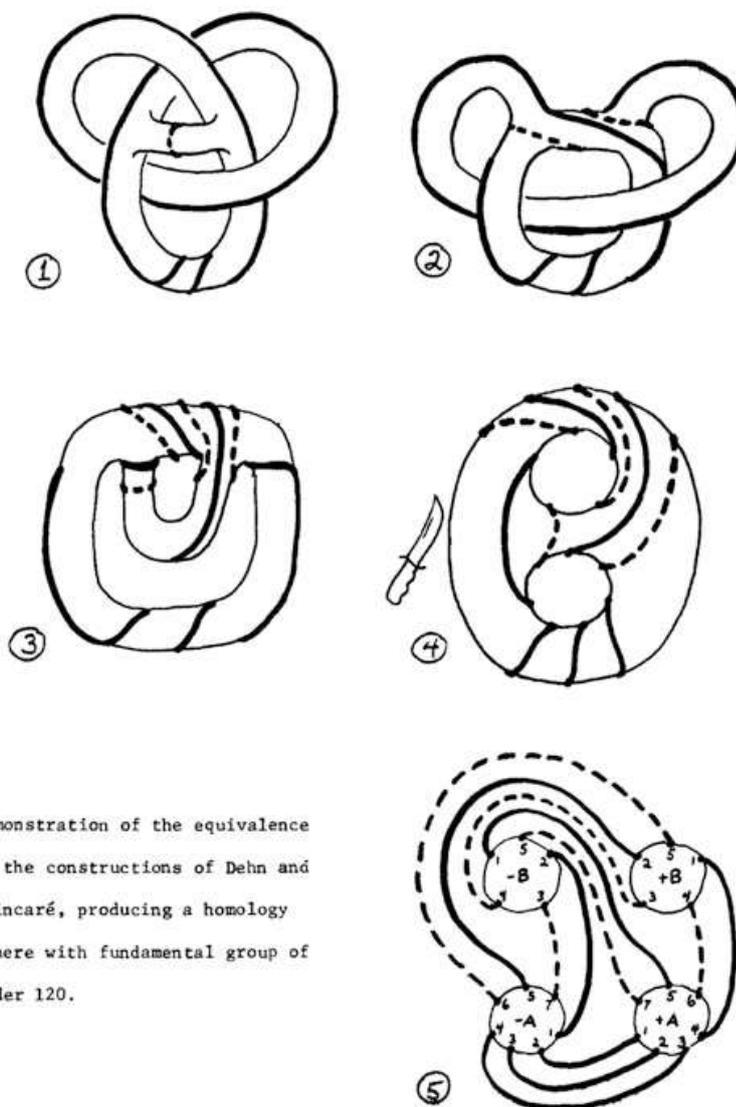
Ainsi, selon cet auteur (Hutchins, 2005), les objets techniques constituent des ancres matérielles (*material anchor*), des structures matérielles stables sur lesquelles peuvent être projetées des structures conceptuelles complexes.

Il est à noter que dans ces différentes recherches, les situations étudiées - des pratiques quotidiennes ou professionnelles – semblent éloignées des tâches, usuellement proposées pour étudier le fonctionnement cognitif, souvent plus abstraites. Pourtant, comme le souligne Giardino (2017) même des objets abstraits tels que les signes mathématiques sont manipulés comme des objets concrets :

« Selon ces théories standard, les mathématiques s'occupent d'objets abstraits décrits par des signes mais qui n'ont aucune propriété en commun avec les objets ordinaires ; cela signifie qu'on peut distinguer nettement la connaissance abstraite de nos connaissances qui résultent de nos rencontres avec le monde concret. En revanche, les approches qui s'intéressent aux mathématiques en tant qu'« embodied » remettent en cause une telle distinction : [...] on peut montrer que même en travaillant avec des objets abstraits les êtres humains exploitent certaines compétences et capacités qu'ils utilisent typiquement dans leurs interactions avec les objets concrets »

L'étude des pratiques des chercheurs en mathématiques montre que si les inscriptions (figures, diagrammes, symboles) représentent des systèmes de signes et leurs relations elles sont également des artefacts qui rendent possibles des actions épistémiques. Ainsi, comme le montre l'analyse d'une preuve mathématique (Figure 4), raisonner sur des diagrammes consiste à les manipuler, à appréhender leur dynamique en réalisant des actions sur eux à travers des gestes, ou encore à construire de nouveaux diagrammes pour donner forme aux transformations possibles (De Tiofoli & Giardino, 2015). Chez les experts, ces manipulations mettent en jeu l'imagination.

The argument is contained in the series of pictures[...] Starting with Dehn's example, we drill out a tube from the trefoil's exterior and add it to the $S^1 \times D^2$, making the latter into a handlebody of genus two which is to be attached to the outer part of (1) by the characteristic curves shown. The isotopic deformation (1) - (4) shows that this outer part is also a handlebody. (Since the deformation is done equivariantly with respect to 180° rotation about the vertical, the back of the figure looks exactly like the front). Again the solid and the dashed curves of (4) are directions for sewing a handlebody onto the handlebody on the outside of the surface pictured. Cutting this surface open and flattening with the the inside toward us gives us the pictures (5) in the plane (plus a point at ∞). Moving the point at infinity to be in the hole labelled +A gives us exactly the Heegaard diagram of Poincaré's example.



Demonstration of the equivalence of the constructions of Dehn and Poincaré, producing a homology sphere with fundamental group of order 120.

Figure 4. Rolfsen's proof (Rolfsen 1976, cité par De Tofoli & Giardino, 2015)

Ces inscriptions sont également des représentations facilement reproductibles, évaluables et partageables au sein de la communauté scientifique en vue d'établir la validité de la preuve.

Ainsi, même sur des objets abstraits, on raisonne d'abord à partir de dispositifs et d'inscriptions externes. Les inscriptions ne sont pas seulement des systèmes de signes utiles pour favoriser la production d'inférences, elles sont constitutives de l'élaboration des preuves et théories mathématiques (De Tiofoli & Giardino, 2015 ; Giardino, 2016 ; 2017).

Ces différentes recherches étayent l'approche externaliste suivant laquelle la cognition ne se limite pas à une activité mentale localisée à l'intérieur des frontières intracrâniennes mais consiste en un couplage du sujet avec des ressources externes (inscriptions, objets techniques, langage) qui sont autant des ressources cognitives au même titre que les ressources dites internes ; « *elles sont donc des parties constitutives du système cognitif, dès lors distribué ou étendu, qui accomplit la tâche [cognitive] en question.* » (Steiner, 2010, p. 24)

Chapitre 2 : Développement du sujet et appropriation de la technique

« Un individu seul, ça n'existe pas, parce qu'il est toujours pris dans un réseau de dépendances et d'interdépendances avec d'autres hommes et avec de multiples artefacts, savoirs et dispositions qui sont eux-mêmes les produits, plus ou moins sophistiqués, d'une multitude d'actes de coopérations interhumaines »

(Lahire, 2019, p. 1162)

Selon les recherches en anthropologie et en sciences cognitives précédemment présentées, les conduites motrices sur des objets techniques sont *constitutives* de notre perception, de nos capacités d'action, de raisonnement, et contribuent à la construction de connaissances abstraites nouvelles (Steiner, 2010). Par ailleurs, Selon Julien, Rosselin et Warnier (2009), elles façonnent les sujets : l'expérience individuelle ne se déploie pas de la même manière selon les propriétés des objets utilisés et les pratiques associées, la matière - a fortiori le corps- nous singularise et certains objets contribuent à la constance de l'identité individuelle.

Cette dernière affirmation nous amène à interroger le rôle de la technique dans la dynamique d'individuation et le développement du sujet.

Comment la capacité à utiliser des objets et des outils se développe-t-elle ? Et quelles sont les fonctions de ses objets et outils au cours du développement de l'enfant ?

L'importance de l'action sur l'objet dans le développement de l'intelligence du jeune enfant a été mis en exergue par Piaget (1936 ; 1937). Selon cette théorie constructiviste, l'objet/la représentation que s'en fait l'enfant se construit progressivement (Piaget, 1937). Dans une première étape de développement, l'objet est indifférencié, il n'est que le prolongement du mouvement ; puis s'opère une dissociation progressive de l'action propre et de l'objet ; dans le même temps les réflexes laissent place à des coordinations sensori-motrices, des schèmes. Dans l'étape suivante, lorsque l'objet est le point d'intersection de plusieurs schèmes, il est progressivement « *extériorisé* », le bébé l'observe, le manipule, manifeste des conduites d'exploration, construit des relations entre les différents objets présents ; il développe également des conduites intentionnelles, et se met à anticiper les conséquences de ses actions ; puis les objets se détachent progressivement de l'activité propre de l'enfant ; « *La coordination de schèmes aboutit à la constitution d'un univers spatio-temporel intelligible et doué de permanence* » (Piaget, 1937 ; p. 78).

Néanmoins, comme le souligne Vérillon (1988, cité par Rabardel, 1995), dans la théorie piagetienne les objets manipulés et leurs spécificités ne sont pas conceptualisés pour eux-mêmes, ils constituent plutôt des opportunités pour l'enfant de développer une conceptualisation de l'objet, de l'espace, du temps, et de découvrir des lois naturelles.

Depuis, si les stades de développement proposés par cette théorie ont été discutés - certaines capacités apparaissant plus précocement que Piaget ne l'avait envisagé - des études « *microgénétiques* » ont montré que l'activité motrice des jeunes enfants est à la fois la source et le produit du développement (voir par exemple Sheya & Smith, 2010 pour une synthèse). Les actions du bébé sur l'environnement conduisent à la création de coordinations sensori-motrices ; Celles-ci contribuent à la découverte des régularités de leur environnement, des propriétés des objets manipulés ou encore à la distinction des objets dans l'espace. L'action participe également à l'émergence des buts au cours de l'activité du bébé (par exemple explorer son environnement sans but puis se mettre à chercher à saisir un objet qu'il a touché). Par la suite, elle participe à la constitution

des premières connaissances abstraites. Les enfants ont par exemple tendance à utiliser l'espace pour regrouper des objets de différentes natures. Selon Sheya & Smith (2010a, b) en déplaçant les objets, le jeune enfant transforme ce qu'il en perçoit et, se faisant, crée des régularités ensuite perçues comme des catégories abstraites (couleurs, formes, etc.).

D'autres recherches portent plus spécifiquement sur l'utilisation d'instruments / d'outils par l'enfant. Tout d'abord, comme le souligne Bullinger (2013), le corps du bébé est son premier instrument. Durant sa première année, il apprend à faire sien son organisme et à faire de son corps un moyen d'expression et d'action sur son milieu. Puis, progressivement, dans le prolongement des capacités de manipulation qu'il développe, il apprend à utiliser les objets comme instrument pour agir sur un autre objet (tirer un objet pour ramener vers soi un objet distant, utiliser une cuillère, un crayon, etc.) Comme le montrent Lockman et collaborateurs (Lockman, 2000 ; Kahrs & Lockman, 2014 ; Kahrs, Jung & Lockman, 2014), cette utilisation d'outil se développe dans un processus continu à partir des coordinations sensori-motrices déjà constituées : par exemple le geste de percussion devient progressivement martelage associé à la préhension de l'outil correspondant. L'outil devient alors une extension de ces boucles sensori-motrices.

Durant cette période, l'environnement socio-culturel, l'observation et l'imitation jouent un rôle important dans l'appropriation des outils (Tomasello et al., 1993 ; Rogoff, 2003) ; l'imitation favorise l'apprentissage de leur manipulation (Fagard & Lockman, 2010 ; Fagard et al., 2016). Ainsi, vers 3 ans, l'enfant devient capable de reproduire sélectivement les actions qui conduisent à l'effet désiré (Want & Harris, 2001).

Les objets sont également très présents dans les jeux du jeune enfant. Selon Piaget, ces jeux symboliques participent à la construction de la fonction sémiotique (distinction signifiant-signifié), ce faisant, ces objets sont considérés comme des signes sans tenir compte de leur matérialité. Or les propriétés perceptibles de ces objets (forme, texture, etc.) constituent des affordances qui orientent la façon dont ils peuvent être utilisés (Gibson, 1979/2014). Ainsi, comme le souligne Szokolszky (2006), dans ces jeux, le sens est projeté sur les objets en fonction des actions qu'ils permettent d'exécuter et de la pratique dans laquelle ils sont impliqués. Cette activité exprime donc la capacité des enfants à créer une situation imaginaire dans laquelle des fonctions et des rôles sont attribués aux objets qui, d'un côté sont ancrés au substrat matériel, de l'autre le transcende (Rizzo, 2015).

Cette conception est plus en accord avec une approche vygotskienne du jeu chez l'enfant. Les approches historico-culturelles et socio-culturelles de la psychologie ont davantage théorisé la fonction des instruments dans le développement. Dans cette section nous présentons les apports de ces théories sur l'appropriation des techniques et outils culturels, avant d'aborder la dialectique entre appropriation développement telle qu'elle est conceptualisée dans différentes approches.

1. Appropriation du point de vue de la psychologie historico-culturelle

La psychologie historico-culturelle, fondée par Lev Vygotski, souligne la façon dont le développement de la pensée est façonné par l'utilisation d'outils culturels. Elle est fondée sur l'idée que le langage, les inscriptions, les outils sont historiquement et culturellement constitués et assurent un rôle central dans le développement des fonctions cognitives (voir Kaptelinin & Nardi, 2006 pour une revue). Plusieurs principes fondamentaux introduits par Lev Vygotski sous-tendent cette approche :

Le principe d'unité de la conscience et de l'activité affirme l'existence d'une interconnexion entre l'activité interne du sujet (pensée, conscience, représentations...), son contexte (social et naturel) et son activité externe (l'activité avec des objets matériels et sémiotiques).

La genèse sociale de la pensée renvoie au principe selon lequel la pensée est structurée par le langage. Les différentes fonctions mentales se développent d'abord dans des situations d'interaction sociales avant d'être intériorisées :

« Toute fonction chez l'enfant entre en scène deux fois, sur deux plans, d'abord sur le plan social, puis psychologique, d'abord entre individus comme catégorie interpsychique, puis au-dedans de l'enfant comme catégorie intrapsychique. » (Vygotski, Pensée et langage, 1934/1985)

Le concept de **médiation** est également au cœur de l'approche développée par Vygotsky. L'être humain a conçu un grand nombre d'artefacts pour assurer une médiation avec le monde qui l'entoure et avec lui-même. Ces médiations peuvent être assurées par des objets techniques, des artefacts, mais aussi par des instruments psychologiques constitués par des signes tels que le langage ou des inscriptions (notation algébrique, schémas, plan etc.), à la fois artefacts physiques et systèmes symboliques. Selon Vygotsky, l'outil est dirigé vers l'activité extérieure pour transformer l'environnement, tandis que le signe est orienté vers les autres et vers soi-même ; il est ainsi dirigé vers l'activité intérieure, permettant la maîtrise du comportement et la transformation du sujet (Vygotski, 1934/1985). La médiation entre sujet et objet de l'activité lors de la réalisation d'une tâche peut être assurée dans un premier temps par un outil externe (outil inscription, langage) avant d'être progressivement intériorisée par le sujet.

Ainsi, le langage comme outil de communication entre l'adulte et l'enfant peut devenir langage intérieur permettant à l'enfant de réguler sa propre conduite. Une fois l'outil intériorisé, l'outil externe n'est plus nécessaire pour réaliser la tâche. Ce processus d'intériorisation est une redistribution des composantes externes et internes de la médiation. Il participe au développement des fonctions mentales supérieures. Comme le résume Schneuwly (1987, p. 15) *« le développement des capacités humaines doit être vue comme un mouvement allant de l'extérieur vers l'intérieur, comme menant de l'interpsychique à l'intrapsychique »*.

Une extériorisation de l'activité mentale peut par ailleurs avoir lieu lorsqu'une action internalisée doit être « réparée » ou pour favoriser la collaboration. Ainsi, selon Vygotski l'appropriation est envisagée comme un processus d'intériorisation des signes, et en particulier des mots, nécessaire à l'extériorisation de la pensée ; *« le développement psychologique n'est internalisation des instruments sociaux que parce qu'il est en même temps externalisation de la pensée personnelle vivante. »* (Clot (1999/2002, p. 193).

Leontiev a ensuite étendu l'approche historico-culturelle en mettant en avant l'importance des outils (objets techniques) dans l'activité des sujets et dans le développement de la pensée ; historiquement et culturellement constitués et transmis de génération en génération, ils sont le véhicule de l'expérience humaine. Selon Leontiev, ils sont une incarnation des concepts fondés sur les expériences passées de ceux qui les ont conçus et contribuent également au développement intellectuel. Leontiev introduit par ailleurs la notion d'organe fonctionnel caractérisée par une combinaison des ressources internes et externes ; il s'agit d'artefacts conçus comme étant une partie du sujet plutôt qu'extérieur

à lui. Dans cette perspective, en faisant sien les artefacts, ceux-ci deviennent propriété constitutive de son être.

Dans, cette approche, le développement est conçu comme un processus d'appropriation d'expériences sociales préexistantes cristallisées sous la forme d'outils et de signes (organes fonctionnels / inscriptions).

Approche socio-culturelle du développement et appropriation

La question de l'appropriation des outils culturels par les enfants et les adolescents a ultérieurement été traitée par Rogoff (2003 ; 2008). Celle-ci envisage le développement comme un processus de transformation de la personne à travers la participation active à des pratiques culturelles au sein de communautés. Ses recherches sur le développement de l'enfant dans différents environnements culturels participent à remettre en cause la conception d'un développement universel et uniforme tel que Piaget l'avait théorisé. Elles montrent au contraire que les capacités des enfants même très jeunes dépendent des pratiques culturelles auxquelles ils sont associés ; dans certains groupes, ceux-ci apprennent dès leur deuxième année à manipuler de nombreux outils communément utilisés par les adultes et sont initiés aux techniques associées (Rogoff, 2003).

Dans cette perspective, l'étude du développement de l'enfant consiste à documenter sa participation à des pratiques au sein des communautés auxquelles il appartient, ceci dans différents emplans temporels (micro-génétiq, ontogénétiq, historico-culturel).

Ainsi, en se fondant sur les théories de Vygotski et Dewey (1916), elle souligne l'importance de la participation à une activité collective dans ce processus d'appropriation :

The social environment ... is truly educative in its effects in the degree in which an individual shares or participates in some conjoint activity. By doing his share in the associated activity, the individual appropriates the purpose which actuates it, becomes familiar with its methods and subject matters, acquires needed skill, and is saturated with its emotional spirit, (Dewey, 1916, p. 26)

Rogoff (2008) introduit le concept d''appropriation par la participation qu'elle définit comme

« the personal process by which, through engagement in an activity, individuals change and handle a later situation in ways prepared by their own participation in the previous situation. This is a process of becoming, rather than acquisition. »

En participant à une activité, chacun apporte sa propre contribution par ses actions ou par la compréhension des actions ou propos des autres, ce qui contribue à le changer et à préparer son engagement dans des actions futures. Cette conception dynamique de l'appropriation se distingue du processus d'internalisation d'une connaissance culturellement constituée (Vygotski, 1985) ; il ne s'agit pas d'intégrer des connaissances ou des compétences préalablement établies, mais de participer à une activité collective qui permettra de réaliser l'activité plus aisément. *L'appropriation est un processus de transformation : par sa participation active l'individu modifie la situation, et se transforme lui-même.*

Une appropriation sans intériorisation ?

Outre les recherches de Rogoff, plusieurs chercheurs contemporains tels que Wertsch (1999) ou Clot (1999/2002) remettent également en question le fait que l'appropriation soit un processus d'intériorisation. Clot (1999/2002) souligne ainsi que l'appropriation n'est pas seulement une intériorisation des instruments socialement partagés, mais aussi une réorientation de ces instruments vers les mobiles qui orientent l'activité vitale du sujet. Cet argument est particulièrement développé

dans les écrits M. Bakhtine, linguiste soviétique contemporain de Vygostki, qui envisage l'appropriation (*privoenie* en Russe) comme l'acte de prendre les mots des autres pour les faire siens et les soumettre à ses propres intentions :

“the word in language is half someone else’s. It becomes “one’s own” only when the speaker populated it with his own intention, his own accent, when he appropriates the word, adapting it to his own semantic and expressive intention. Prior to this moment of appropriation, the word does not exist in a neutral and impersonal language (it is not out of a dictionary that the speaker gets his words!), but rather it exists in other people’s mouth, in other people contexts, serving other people’s intentions: it is from here that one must take the word and make it one’s own. And not all word for just anyone submit equally easily to this appropriation, to this seizure and transformation into private property: many word stubbornly resist, other remain alien, sound foreign in the mouth of the one who appropriated them and who now speaks them; they cannot be assimilated into his context and fall out of it; it is as if they put themselves in quotation marks against the will of the speaker. Language is not neutral medium that passes freely and easily into the private property of the speaker’s intentions; it is populated – overpopulated – with the intentions of others. Appropriating it, forcing it to submit to one’s own intentions and accents, is a difficult and complicated process” (Bakhtine, 1981; p. 293-294)

Selon Bakhtine, les mots ne sont pas neutres, ce sont des “outils” culturellement et socialement constitués par des dialectes mais aussi selon les professions, les genres, les générations ; ils sont associés à des genres de discours spécifiques et sont choisis en fonction de la situation d'énonciation. Dans cette perspective, le discours d'une personne est constitué des mots des autres, repris et adaptés en fonction de ses intentions. Ceci ne se fait pas sans difficulté. Les mots, associés à différents genres de discours, sont déjà porteurs de signification qu'il n'est pas toujours facile de faire évoluer. Dans cette pluralité de signification, le sujet doit s'imposer pour « *faire entendre sa voix* » (Clot, 1999, p. 199).

Ainsi pour Bakhtine, l'appropriation renvoie à la réorientation des mots des autres vers ses propres intentions, offrant ainsi la possibilité de « *transfigurer le donné en créé* » (Clot, 1999). L'appropriation devient ainsi un processus créatif.

L'appropriation d'outils culturels selon Wertsch

La conception de l'appropriation proposée par Bakhtine a inspiré les travaux de Wertsch sur l'appropriation d'outils culturels. Inscrites dans le courant de la psychologie socio-culturelle ; ces recherches portent sur la relation entre l'action humaine et le contexte dans laquelle elle s'inscrit en choisissant comme unité d'analyse *l'action médiatisée*, définie dans les termes *d'une tension irréductible entre les outils culturels et les agents actifs* (Wertsch, 1998, p. 180) : l'action humaine est médiatisée par des outils culturels porteurs d'une dimension historique, culturelle et sociale qui rattache la pensée de l'individu à la société dans laquelle il vit. Le développement de compétences est concomitant à l'utilisation de ces outils culturels.

Dans *Mind and action* (1998), Wertsch développe la question de l'appropriation des outils culturels. Il envisage d'abord l'appropriation du point de vue de Bakhtine : *prendre quelque chose qui appartient aux autres pour le faire sien et le soumettre à ses propres intentions*. Dans cette perspective, Wertsch distingue l'appropriation d'un outil culturel de sa maîtrise : il ne s'agit pas seulement de savoir

comment utiliser efficacement cet outil culturel en situation, il s'agit également de le faire sien, de le mobiliser en l'adaptant à ses propres intentions.

Wertsch s'appuie également sur les propos de Bakhtine (1981) selon lesquels tous les mots ne se soumettent pas aussi facilement à ce processus d'appropriation : les discours qui font autorité (dogmes religieux, vérités scientifiques) n'autorisent pas ou peu de modifications de leur structure sémantique mais imposent une adhésion, suscitent une résistance... ou un rejet. Il poursuit cette réflexion sur les rapports de pouvoir matérialisés par/rattachés aux outils culturels et précise que ceux-ci ont une histoire, viennent de quelqu'un, et qu'ils ne sont pas neutres de toute relation de pouvoir et d'autorité. Certains groupes sont obligés d'utiliser des outils culturels venant des autres groupes. Les conventions qui leur sont attachées peuvent être perçues comme des entraves à l'appropriation et à l'action ; mais elles peuvent aussi faire l'objet de contournements, par exemple par la mise en oeuvre de tactiques spécifiques, de bricolages, de « braconnages » comme le montre De Certeau (1990) dans *l'invention du quotidien*. Une forme de contournement mise en évidence par Wertsch (1998) consiste à maîtriser parfaitement un outil culturel, à le mobiliser lorsque les circonstances le demandent, sans pour autant partager les normes et les valeurs qui lui sont associées ; la personne ne lui accorde alors pas de légitimité et refuse de le faire sien. Il s'agit d'une maîtrise sans appropriation.

Cette distinction entre maîtrise et appropriation fait apparaître des dimensions propres à l'appropriation : dans cette perspective, outre les intentions, les normes, les valeurs associées à l'outil culturel et leur adéquation avec celles de la personne, avec son identité propre, tiennent une place importante dans ce processus. Polman (2006) prolonge cette analyse de l'adéquation entre outil culturel et identité de l'acteur : dans l'étude qu'il conduit auprès d'apprenants inscrits dans un « *afterschool club* », l'appropriation d'outils culturels est caractérisée par une inflexion de la trajectoire identitaire des acteurs.

Wertsch distingue par ailleurs l'appropriation de l'intériorisation. De son point de vue faire sien un outil culturel n'implique pas nécessairement « *d'importer* » un outil culturel du plan externe vers le plan interne : « *what is striking in this regard is that many, and perhaps most, forms of mediated action never « progress » toward being carried out on an internal plan* » (p. 50). De nombreuses formes d'actions médiatisées peuvent être effectuées de façon externe sans être reconstituées sur un plan interne. Il adopte là une perspective *externaliste* (Clarke, 1997). Ainsi, pour l'auteur, il est possible de développer sa capacité d'agir en s'appropriant de nouveaux outils culturels sans que cela implique nécessairement une intériorisation de cet outil.

Wertsch (1998) en vient ensuite à aborder le processus d'appropriation. À travers différents exemples, il constate qu'appropriation et résistances associées peuvent prendre forme dans des intervalles de temps très courts. Ce constat l'amène à remettre en question le caractère volontaire et permanent de l'appropriation et à en conclure que l'appropriation est sujet à un ensemble complexe de processus micro-dynamiques situés.

« *appropriation oftentimes is almost done to –rather than by – the agent. Instead of involving willful assent, a cultural tool often affects mediated action in way the agent neither envisions nor desires. And instead of being an act carried out by an agent and resulting in permanent ownership of a cultural tool, appropriation is often subject to a complex set of microdynamic processes.* » (p. 176)

Ainsi, Wertsch met en évidence différentes caractéristiques des outils culturels et de leur appropriation. *Les outils culturels ne sont pas neutres, ils sont historiquement, culturellement et*

socialement constitués ; ils sont porteurs des intentions des concepteurs, matérialisent leurs normes, leurs valeurs et sont rattachés à des conventions.

Faire sien ces outils culturels consiste non seulement à les maîtriser mais aussi à leur attribuer ses propres intentions et à les intégrer dans un environnement socio-culturel souvent différent de ce pour quoi ils ont été proposés. Ceci pose la question de l'adéquation des normes, valeurs, portées par l'outil culturel à celles de l'utilisateur. Cette appropriation peut être source de tensions voir de résistances et occasionner des détournements de différentes natures.

L'appropriation conduit à une transformation des outils culturels, les utilisateurs y laissent leur empreinte. Elle est aussi source d'une transformation de l'individu ; l'utilisation de cet outil culturel le conduit à développer de nouvelles compétences. Néanmoins cet outil culturel n'est pas nécessairement intériorisé.

L'appropriation est un ensemble complexe de processus micro-dynamiques situés qui peuvent conduire à faire sien un outil de façon plus ou moins pérenne. Il importe alors de mettre en évidence la micro-genèse de ce processus d'appropriation en documentant ses conditions d'émergence et son évolution dans différents emports temporels. L'approche instrumentale propose un cadre théorique adéquat pour penser ces micro-genèses.

2. Quelle articulation entre appropriation et développement ?

L'approche instrumentale

L'approche instrumentale (Rabardel, 1995) propose un cadre conceptuel permettant de penser les transformations des outils culturels et des sujets au cours de l'appropriation dans une perspective développementale. Fondée sur les théories de l'activité et les travaux de l'école piagetienne, cette approche réinterroge la relation des hommes aux outils culturels en revisitant les concepts de médiation et d'instrument psychologique introduits par Vygotski et Leontiev.

L'unité d'analyse de cette approche est l'activité instrumentée ancrée dans une situation singulière (Bationo-Tillon et Rabardel, 2015) ; elle comporte trois pôles principaux : le sujet, l'objet de l'activité, et l'instrument qui assure différentes fonctions de médiation orientées vers l'objet de l'activité, les autres sujets ou vers soi-même (Figure 5).

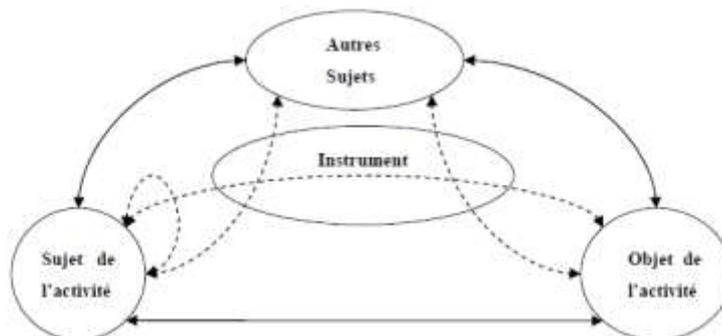


Figure 5. Modèle quadripolaire des situations d'activité instrumentée (d'après Rabardel, 1995)

Ainsi, les instruments mobilisés peuvent être associés à l'activité située dans une situation singulière, ou constituer l'une des dimensions invariantes de classes de situation (situations ayant des caractéristiques voisines (Vergnaud, 1991)) ou familles d'activité (classes de situation ayant la même

finalité). Plusieurs instruments mobilisés dans la même activité forment un système d'instrument (Rabardel & Bourmaud, 2003, 2005, Bourmaud, 2007).

L'instrument, une entité mixte

L'instrument est une entité mixte qui comprend une composante matérielle ou symbolique, l'artéfact, et une composante psychologique, le schème. Celui-ci est un ensemble structuré des caractéristiques généralisables de l'action (Rabardel, 1995, p. 79), une unité fonctionnelle responsable du guidage de l'action. Vergaud (1990) définit le schème comme une organisation invariante de la conduite pour une classe de situation donnée composé :

- des anticipations du but à atteindre et des effets à attendre,
- des règles d'action de type si-alors permettant de générer des séquences d'action
- des invariants opératoires qui pilotent la reconnaissance par le sujet des éléments pertinents de la situation
- des inférences qui permettent d'élaborer les anticipations et les règles d'action à partir des informations sur la situation.

Plus récemment, Trouche (2002) souligne le caractère à la fois conceptuel, opératoire et incarné du schème : « *Le schème étant ce qui relie le geste à la pensée* » (Trouche, 2002, p. 195).

Genèses instrumentales

L'instrument est constitué dans un double mouvement de transformation du sujet et de l'artéfact, dénommé genèse instrumentale (Rabardel, 1995, Bationo-Tillon et Rabardel, 2015), caractérisé par les processus d'instrumentalisation et d'instrumentation :

L'instrumentalisation renvoie au mouvement d'ajustement de l'artéfact au sujet. Celui-ci lui attribue de nouvelles propriétés en agissant sur sa structure et sur son fonctionnement. Il peut également sélectionner un sous ensemble de fonctionnalités, ou « détourner » les fonctions initialement prévues de l'artéfact (catachrèse).

L'instrumentation renvoie à la façon dont le sujet s'adapte, et développe de nouvelles formes d'action, de nouveaux schèmes. Il peut assimiler la situation nouvelle à une situation connue et mettre en œuvre un schème existant - étendant ainsi la classe de situation à laquelle il est associé – ou accommoder les schèmes disponibles par fragmentation, réorganisation, recompositions.

L'instrument ainsi constitué peut être provisoire, ou permanent et devenir un moyen disponible pour les actions futures.

Les instruments sont bien souvent inscrits historiquement, culturellement et socialement. D'une part les artefacts cristallisent l'évolution des techniques et des usages (Kaptelinin & Nardi, 2006) et d'autre part les schèmes sont généralement produits, transmis et « *partagés au sein de collectivités, communautés, groupes sociaux à la fois comme ressources communes à l'organisation de l'action de chacun, mais aussi comme ressources pour comprendre et interpréter l'action de l'autre* » (Rabardel, 2005, p. 257, cité par Cuvelier, 2016). Ils sont chargés pour le sujet d'une multiplicité de sens, de valeurs fonctionnelles et subjectives héritées de l'histoire sociale des artefacts et des schèmes mais aussi constituées au sein de l'activité du sujet dans les multiples situations traversées (Rabardel, 2005).

Développement du sujet et appropriation

Les genèses instrumentales s'inscrivent dans des temporalités longues. Elles participent de la dimension constructive de l'activité. Orientée vers l'élaboration de ressources pour l'activité future du sujet, l'activité constructive contribue au développement de son pouvoir d'agir (Rabardel, 2005). Selon cette approche « *l'appropriation des outils culturels, des usages et le développement des instruments et des individus* » est l'unité d'analyse des activités constructives (Folcher & Rabardel, 2004, p.254).

La conception du développement qui sous-tend cette approche est « horizontale » : le développement a une finalité, une direction mais n'est pas linéaire ; il peut être appréhendé comme un déplacement dans le champ des possibles qui se révèlent durant l'action (Béguin, 2012). Cette conception repose sur un modèle du sujet capable, *un sujet qui agit, qui transforme le réel et se transforme lui-même et "dispose d'un ensemble de ressources qui sont constitutives de ses capacités d'agir et de son pouvoir d'agir"* (Rabardel, 2005). Ainsi, durant l'activité constructive se constituent un ensemble de ressources internes et externes : des instruments, des schèmes, mais aussi des représentations fonctionnelles associées, des conceptualisations, des compétences, des capacités fonctionnelles du corps, des transformations de l'environnement matériel du sujet, etc. (Folcher et Rabardel, 2004 ; Samurçay & Rabardel, 2004).

L'activité constructive est « *enracinée* » dans l'activité productive, c'est par la mise en œuvre des instruments et ressources pour agir en situation que se déploie le pouvoir d'agir et que les genèses instrumentales peuvent avoir lieu. Mais l'activité constructive est également « *détachement* » de l'activité productive : à partir de l'activité singulière dans de multiples situations, des invariants sont construits et orientent l'activité future (Rabardel, 2005) par exemple durant des épisodes d'analyse réflexive de l'activité passée.

L'activité constructive comporte également une dimension sociale. Le développement du sujet tient compte de l'histoire des communautés, collectivités et groupes sociaux dans lequel le sujet s'inscrit ; ceux-ci participent à l'élaboration de ressources pour l'action et de gestes, des règles, de normes, de références partagées propres à l'organisation des collectifs (Cuvelier et Caroly, 2009 ; Cuvelier, 2016). Ainsi, comme le souligne Cuvelier (2016) :

« L'appropriation peut être envisagée non seulement comme "un mouvement de création producteur de nouveau pour soi-même" (Rabardel, 2005, p. 262), mais aussi potentiellement comme un mouvement de création avec les autres et pour les autres, pour les collectifs auxquels le sujet appartient. La nouveauté créée au cours de l'activité constructive instrumentée, peut en effet "être partagé[e], diffusé[e], recyclé[e] au-delà de son espace de création, de validité et de pertinence initiale »

Dans le prolongement des concepts de genèse instrumentale et d'activité constructive, Pastré (2005, 2012) introduit le concept de genèse identitaire afin de souligner la continuité temporelle inhérente à l'activité humaine. Dans cette perspective inspirée de Ricoeur, le développement est envisagé comme une construction de soi, « *l'appropriation de l'ensemble des événements vécus pour leur donner du sens pour soi* » (Pastré, 2012, p. 118) fondée sur une mise en récit par le sujet à partir des traces d'expériences passées.

L'approche instrumentale a été le plus souvent mobilisée dans des contextes de développement professionnel. Dans le cadre du programme « *ergonomie orienté enfant* » (Decortis, 2015), elle a été adaptée à l'étude de l'activité des enfants en vue de concevoir pour leur développement. Un ensemble d'études auprès d'enfants et d'adolescents réalisées dans des situations d'apprentissages formelles (classes) et informelles (par exemple des musées) (Decortis, 2015 ; Lahoual, Bationo-Tillon & Decortis, 2015 ; Lahoual, 2017 ; Bationo-Tillon & Decortis, 2016 ; Bationo-Tillon, 2017 ; Gourlet, 2018) ont mis en évidence les différents mécanismes de construction et de ré-élaboration de l'expérience de l'enfant au cours de l'activité, ainsi que les instruments qui y participent et les genèses instrumentales associées. Elles soulignent également l'importance pour le développement du sujet de tisser une

continuité entre les différentes expériences vécues grâce à des instruments transitionnels (Bationo & Rabardel 2015). Ces différentes recherches contribuent à repenser l'articulation entre développement du sujet et activité constructive. Documenter le développement consiste à analyser les transformations qui s'opèrent non seulement à l'échelle de l'activité constructive (genèse instrumentale, constitution/réorganisation de ressources pour agir) mais aussi à l'échelle de l'expérience du sujet en situation (genèse expérientielle), ainsi qu'à l'échelle de son identité (genèse identitaire) (Bationo-Tillon, 2017).

Ainsi, l'approche instrumentale propose une conceptualisation de l'appropriation sur le plan des instruments. L'appropriation des objets techniques et des outils culturels correspond aux genèses instrumentales qui ont lieu au cours de l'activité du sujet ; Elles contribuent à la constitution de ressources internes et externe pour agir en fonction de ses finalités. Ce processus, historiquement, culturellement et socialement situé, s'inscrit à la fois dans des temporalités brèves - la durée de l'activité productive du sujet ou d'une série d'activités qui se succèdent - et dans une temporalité plus longue, l'activité constructive. Dans cet empan temporel long, le développement passe également par une appropriation des événements passés à travers différentes activités telle que l'activité narrative, visant à tisser des liens entre les différentes expériences vécues.

Une conception énaactive de l'appropriation

Le programme de recherche cours d'action élaboré par Theureau (2004 ; 2006) propose une approche originale de l'appropriation. Fondé sur le paradigme de l'énaaction (Varela, 1989) enrichi en vue de comprendre le rôle de la technique et de la culture dans l'activité humaine, ce paradigme a pour unité d'analyse l'activité, qui permet de rendre compte du caractère à la fois individuel, social et culturel de l'action et de sa dynamique signifiante.

Après avoir présenté les hypothèses fondant ce programme nous décrivons les spécificités de cette approche de l'appropriation, articulée en 3 grands pôles, nommés appropriation 1,2,3 ou appropriation, incorporation et In-culturation, puis ses implications pour l'apprentissage et le développement.

Le programme cours d'action

Le programme cours d'action est fondé sur la théorie de l'énaaction (Varela et al., 1993). L'un des principes fondamentaux de l'énaaction est l'autopoïèse : la capacité pour un organisme vivant de maintenir sa propre organisation dans ses interactions avec l'environnement. Lors du couplage de l'organisme (l'acteur) avec son environnement, son organisation se construit et se modifie à chaque instant pour compenser les perturbations provoquées par ses interactions avec l'environnement. A travers ce couplage asymétrique l'acteur définit simultanément un *corps propre* et un *monde propre (Umwelt)* à partir des éléments de l'environnement qui sont signifiants pour lui. Autrement dit, contrairement aux théories de l'activité, dans ce programme sujet et objet de l'activité ne sont pas définis à priori mais se constituent dans le flux des interactions entre l'acteur et son environnement. Pour restituer la dynamique de ce processus, il est nécessaire de considérer l'histoire des transformations du système et de son environnement qui se co-déterminent.

Ce couplage est associé à une compréhension partielle par l'acteur de son activité. La conscience préreflexive constitue la part de l'activité dont l'acteur fait l'expérience, c'est-à-dire ce qu'il est capable de montrer, raconter, commenter à tout instant. Il s'agit de la part consciente de ses actions, mais

aussi de ses impulsions, sentiments ou idéations. Ces données permettent de connaître l'activité d'un acteur « de l'intérieur ».

En se fondant sur la sémiotique de Pierce, ce programme de recherche définit par ailleurs l'activité comme un cours d'action, un flux composé d'unités de signification élémentaires constituées de trois composantes : une composante spécifiant l'engagement de l'acteur dans la situation, une composante perceptive ou mnémonique et une composante de mobilisation ou de construction de connaissance (Theureau et Jeffroy, 1994). Ce cours d'action est un passage permanent de l'indéterminé au déterminé : à partir des multiples possibilités offertes dans l'instant, certaines d'entre elles font l'objet d'une actualisation sous forme d'accomplissements situés associée à généralisation ; celle-ci contribue à constituer les possibles à l'instant suivant (Durand, Ria, et Veyrunes, 2010, p. 22).

Appropriation 1, 2, 3

Dans un texte écrit à l'occasion d'une journée d'étude sur l'appropriation, Theureau, (2011) s'appuie sur un ensemble d'études conduites dans le programme de recherche cours d'action pour caractériser ce qu'est l'appropriation dans une perspective énaïve. Il distingue trois formes d'appropriation.

L'Appropriation 1 est définie comme l'intégration d'éléments de l'environnement au *monde propre* de l'acteur, le monde propre étant défini comme :

« l'ensemble des ancrages possibles de perturbations de l'acteur (dans le vocabulaire du cadre théorique sémio-logique, ces perturbations, lorsqu'elles donnent lieu à conscience pré-réflexive, sont appelées des "Representamen", à la fois intéressants pour l'acteur qui les perçoit et lui permettant de trancher entre des anticipations alternatives). » (Theureau, 2011, p. 7)

Cette première conception correspond au principe de l'énaïve décrit plus haut. Le *monde propre* d'un acteur est la somme de ses expériences issues des couplages sensori-moteurs lui permettant d'appréhender le monde, de lui donner du sens. Les particularités du monde propre ainsi énaïvé dépendent des « supports » de ce couplage sensori-moteur (récepteurs sensoriels, dispositifs de suppléance sensorielle, autres technologies ou dispositifs) (Havelange, Stewart, Lenay, 1999)³. Autrement dit, l'appropriation 1 correspond à l'actualisation par l'acteur de son monde propre en y intégrant les éléments de l'environnement qui sont signifiants pour lui en fonction des technologies qu'il mobilise. Cette appropriation n'est pas pérenne : selon l'engagement de l'acteur et selon les circonstances, un objet identique peut, ou non, être intégré dans son monde propre (objet saisi/déposé). Cette forme d'appropriation permet de prendre en considération les transformations de l'objet, de l'outil ou du dispositif effectuées par les acteurs.

³ Pour illustrer ce propos prenons l'exemple d'une activité de déplacement. Les éléments de l'environnement signifiants pour un acteur ne seront pas de même nature suivant la technologie qu'il utilise (par exemple un cycliste portera une attention particulière aux mouvements des piétons à proximité des voies cyclables pour anticiper sa trajectoire) : ses perceptions et ses possibilités d'actions sont conditionnées par la technologie ce qui modifie la nature du couplage avec son environnement et les significations qu'il constitue.

L'**Appropriation 2** ou **incorporation** correspond à l'intégration d'éléments de l'environnement au *corps propre* de l'acteur ; elle est définie par l'auteur de la façon suivante :

« intégration, partielle ou totale, d'un objet, d'un outil ou d'un dispositif au corps propre de l'acteur, accompagnée (toujours) d'une individuation de son usage et (éventuellement) de transformations plus ou moins importantes de cet objet, de cet outil ou de ce dispositif lui-même. [...] À travers son appropriation 2, l'objet, l'outil ou le dispositif devient transparent pour l'acteur. »
(p. 7)

Cette idée s'inscrit dans le prolongement des réflexions de Merleau-Ponty (1945) sur le *corps propre* : corps vécu par le sujet, habité par une conscience, vivant, moteur, et expressif, par opposition au corps appréhendé comme matière inerte ; « *le corps propre est à la fois "moi" et "mien"* » (Dupond, 2001) ; à la fois « voyant-vu », « touchant-touché », le corps propre est présence au monde.

L'outil ou le dispositif devient extension du corps de l'acteur. Cette conception de l'appropriation est celle supportée par les études de Lenay (2006) ou Gapenne (2010) sur l'intégration de dispositifs de suppléance perceptive au *corps propre* de l'acteur (Figure 6).

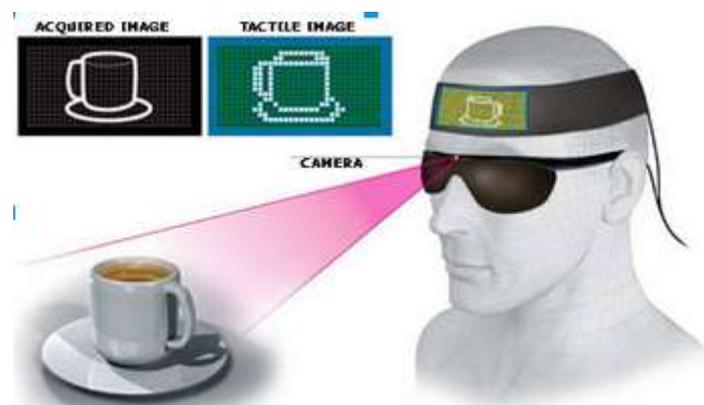


Figure 6. Exemple de dispositif de suppléance perceptive : l'image captée par la caméra est reconstituée sous la forme d'une matrice tactile composée de pixels de points qui stimulent la peau

Ces chercheurs partent du constat suivant : si chez les animaux les dispositifs de couplage sensori-moteur sont les organes sensoriels et moteurs de l'animal, l'être humain a la capacité d'inventer des dispositifs techniques qui étendent ces fonctions biologiques et assurent cette fonction de couplage. Les objets techniques sont conceptualisés comme une « extériorisation » des organes de la motricité et de la sensation. Ceux-ci deviennent efficaces à partir du moment où ils sont intégrés dans la boucle dynamique de la perception-action (Havelange, Lenay & Stewart, 2003). Il modifie les répertoires d'actions et de sensations qui sont accessibles à l'acteur, ainsi que les relations de causalité entre les sensations qu'il reçoit et les actions qu'il effectue ; il contribue ainsi à la constitution d'une nouvelle expérience vécue (Lenay, 2006).

Dans ces conditions, l'objet technique devient une *extension* du corps-propre. ; du point de vue de l'acteur, la limite entre « intérieur » et « extérieur » ne correspond plus nécessairement à la peau qui sépare l'organisme de son environnement mais est modifiée au cours de l'activité suivant les médiations mobilisées pour percevoir et agir. (Lenay, 2006). Par exemple, une personne aveugle utilisant une canne perçoit les interactions non dans le creux de sa main mais au bout de la canne, où se situe l'interaction avec son environnement.

Cette intégration de l'objet ou du dispositif technique au corps-propre n'est pas instantanée. L'acteur fait d'abord l'expérience des sensations procurées par le dispositif lui-même avant de l'intégrer en vue d'explorer son environnement. Ainsi, l'analyse de l'utilisation d'un dispositif de suppléance perceptive (Figure 6) met en évidence différentes étapes d'appropriation du dispositif (Auvray et al., 2005) :

- Le contact : dans un premier temps l'acteur découvre de nouvelles régularités sensori-motrices (relations entre stimulations produites par le dispositif (sons / stimulations tactiles) et ses propres mouvements)
- Attribution distale : l'acteur comprend que ces sensations nouvelles correspondent à des objets situés dans l'espace perceptuel explorable à l'aide du dispositif
- Maîtrise de l'espace distal : variation des points de vue à l'aide du dispositif permettant d'établir des distinctions dans l'environnement et de localiser des objets
- Localisation distale : impression d'être immergé dans l'espace perceptuel
- Expérience distale : constitution collective de sens, associé à des émotions et des valeurs partagées qui caractérisent l'expérience vécue.

Ainsi, progressivement, en étant intégré au corps propre, le dispositif technique « disparaît » de la conscience pré-réflexive de l'acteur, il devient transparent et contribue à constituer l'expérience qu'a l'acteur de son environnement (par exemple les lunettes ne sont plus perçues pendant l'activité de lecture).

S'appuyant sur les principes développés dans ces recherches, Theureau (2011) étend ce concept d'incorporation à d'autres dispositifs techniques utilisés au quotidien ou en situation de travail à partir d'études conduites dans le champ de l'ergonomie. Il donne l'exemple du conducteur qui fait corps avec sa voiture de telle sorte qu'il perçoit à travers elle les aspérités de la chaussée et y adapte sa conduite. Dans le champ professionnel, il fait référence aux gestes des opérateurs sur des chaînes de production, caractéristiques de la façon dont ils incorporent leurs outils de travail.

A travers ces exemples il précise les propriétés de cette forme d'appropriation par incorporation : C'est une forme d'individualisation à travers laquelle les acteurs développent leur propre style (style de conduite, style gestuel pour les opérateurs). Elle est possiblement associée à des aménagements, des modifications minimales de l'outil ou du dispositif (réglage du rétroviseur par le conducteur, aménagement du poste de travail). Le processus d'appropriation peut comporter une dimension collective, le soutien du collectif ou de l'instructeur étant souvent nécessaire pour persévérer dans l'apprentissage de nouveaux gestes professionnels. Il échappe pour une grande part à la conscience réflexive.

L'appropriation 3 ou In-culturation est l'intégration d'un outil ou d'un dispositif à la *culture propre* de l'acteur. Elle est définie ainsi :

« intégration, partielle ou totale, d'un objet, d'un outil ou d'un dispositif à la culture propre de l'acteur, accompagnée (toujours) d'une individuation de son usage et (éventuellement) de transformations plus ou moins importantes de cet objet, de cet outil ou de ce dispositif lui-même » (Theureau p. 11).

La *Culture propre* est définie comme « le système des savoirs symboliques préalables de l'acteur » (Theureau p. 11). Ce système comprend les différentes formes symboliques : langage, gestes et inscription (formalismes, icônes symboliques, etc.) propres à l'acteur ou partagés avec d'autres.

Ce troisième type d'appropriation est mise en évidence à travers l'analyse de l'activité d'un chef d'orchestre s'appropriant une partition en vue d'un prochain concert. Dans cette situation, l'appropriation de la partition consiste à l'*adapter* en y ajoutant des annotations, et à *élaborer son usage* en précisant les gestes de direction d'orchestre qui seront mis en œuvre durant le concert.

L'appropriation de la partition est individuante. Elle s'inscrit dans la durée, elle a lieu durant des séances de travail individuelle et se prolonge pendant les différentes répétitions avec l'orchestre ; elle s'inscrit dans le prolongement d'autres activités. Ceci nécessite d'étudier le cours d'action relatif à une pratique sur des périodes longues.

Elle se fonde sur son savoir et sa maîtrise des formes symboliques construites lors de sa formation, à travers son expérience professionnelle et lors de la fréquentation du compositeur et mobilise un ensemble de documents (partitions déjà annotées, plan de l'orchestre, etc.). Les formes symboliques mobilisées sont pour partie collectives (conventions partagées dans la profession entre chefs d'orchestre et avec les musiciens) et pour partie personnelles (annotations personnelles évoluant au cours du temps). Cette culture propre hérite des activités passées et spécifie des possibles futurs.

L'auteur conclut en précisant que ces trois formes d'appropriation sont non pas des catégories mutuellement exclusives mais trois pôles ordonnés et cumulatifs : « *l'intégration à la culture propre repose sur une certaine intégration au corps propre et au monde propre ; l'intégration au corps propre repose sur une certaine intégration au monde propre.* » (Theureau, p.27). Mais l'intégration au monde propre d'un acteur s'accompagne également d'une intégration minimale à son corps propre, du fait du lien indissociable entre perception et action. Il est également important de noter que le "poids" relatif de chacun de ces pôles de l'appropriation n'est pas forcément équivalent en fonction des pratiques et des objets (symboliques et matériels) concernés par l'appropriation.

Il invite également à repenser l'articulation entre appropriation, apprentissage et développement en relation avec le corps, les situations et les cultures.

Appropriation et développement et apprentissage dans la perspective du programme cours d'action

Comment l'articulation entre appropriation, apprentissage et le développement est-elle envisagée dans le programme de recherche cours d'action ? Le programme de recherche technologique pour l'éducation et la formation des adultes développé par Marc Durand et ses collaborateurs (Durand 2008) approfondit cette question.

Dans ce programme l'apprentissage-développement est appréhendé comme un ensemble de transformations qui ont lieu au cours de l'activité, sous-tendues par des processus de sémiotisation et d'appropriation-individuation.

Le processus de sémiotisation, inspiré de la théorie des signes proposée par Pierce, correspond au fait qu'instant après instant, dans le flux de l'expérience, l'acteur attribue une signification à certains éléments sources de perturbation dans la situation : à partir des multiples possibilités offertes dans l'instant, certaines sont actualisées sous forme d'actions situées et associées à une généralisation sous forme de types ; celle-ci contribue à constituer les possibles à l'instant suivant (Durand, Ria, et Veyrunes, 2010). Autrement dit, dans cette approche, la construction de connaissances pour/dans l'action a lieu au cours de l'activité et prend la forme de types pour l'action qui se construisent et s'actualisent. Lorsque certaines situations se répètent ou sont particulièrement pertinentes et significatives certaines occurrences sont typicalisées (Rosch, 1978, 1999; Theureau, 2004, 2006) et

deviennent des types, « *Ce processus de typicalisation consiste en l'extension de la signification d'une occurrence, qui prend une valeur d'ancrage pour les expériences passées, présentes et futures.* » (Durand, 2008). Ce processus correspond à la recherche de ressemblance entre la situation vécue et les expériences préalables regroupées selon leur similitude sur la base d'un *gradient de typicalité*, c'est-à-dire de leur *distance* par rapport à des exemplaires prototypiques (Poizat, Salini, Durand, 2013). Lorsqu'ils sont actualisés au cours de l'activité, ces types peuvent être renforcés ou affaiblis, de nouveaux types peuvent également être créés. Ces types sont constitutifs de la culture individuelle et collective. Les processus de sémiotisation est source de transformations ici et maintenant dont il est difficile de prévoir la pérennité à moyen ou à long terme. Selon Durand (2008), les situations d'apprentissage proposées permettent de faire l'expérience de nouveaux couplages et typicalisation conduisant à long terme à une transformation du « *répertoire d'actions* » de l'acteur ou de ses « *dispositions à agir* », c'est-à-dire de ses propensions à agir avec régularité et stabilité dans des circonstances déterminées.

Par ailleurs, les processus d'appropriation-individuation adviennent lors du couplage asymétrique entre l'acteur et son environnement, source de transformations permanentes de l'acteur et de son rapport à son environnement :

« [ce couplage] asymétrique change à chaque instant en fonction de sa propre dynamique et des perturbations de l'environnement, ce qui alimente des processus complémentaires d'individuation, ou d'émergence du moi et d'appropriation ou d'émergence du monde agi et compris (Simondon 1989/2007 ; Varela, 1996) ». (Durand, Ria, et Veyrunes, 2010, p. 22)

Ainsi, le processus d'appropriation, comme incorporation et émergence d'un monde propre, s'accompagne de transformations de l'activité et d'un développement de l'acteur à travers d'un processus d'individuation (Poizat et Goudeaux, 2016).

Comme le souligne Stiegler, l'individuation (Simondon, 1989, 2005) renvoie au processus de formation de l'individu considéré comme « *à la fois un (unité, totalité), et unique (unicité, singularité).* » :

« L'individuation humaine est la formation, à la fois biologique, psychologique et sociale, de l'individu toujours inachevé. L'individuation humaine est triple, c'est une individuation à trois brins, car elle est toujours à la fois psychique (« je »), collective (« nous ») et technique (ce milieu qui relie le « je » au « nous », milieu concret et effectif, supporté par des mnémotechniques) »⁴ (Stiegler, 1994 ; Barthelemy, 2005).

Ainsi, selon Simondon, l'être humain est constamment face à une dynamique psycho-socio-technique métastable (Stiegler, 1994), la transformation de l'activité devant être comprise comme une triple individuation : toujours à la fois individuelle, collective et technique. Ces transformations, non réversibles, font émerger des formes équilibrées et stabilisées, mais néanmoins transitoires et porteuses de transformations futures. Dans cette perspective, ce n'est pas un sujet à l'identité stable est bien définie qui se constitue, mais un individu en devenir, se transformant continuellement en fonction des situations qu'il traverse et des interactions avec son environnement :

« En conséquence, on peut dire que les êtres vivants sont simultanément en devenir du fait de la constante transformation qui les caractérise, et avec une réserve de devenir au sens où ils

⁴ <http://arsindustrialis.org/individuation>

sont incomplets et chargés de potentiels en attente d'actualisation : ce que Simondon qualifie de pré-individuel » (Poizat et Goudeaux, 2016).

Le programme proposé par Marc Durand et collaborateurs vise à concevoir des situations de formation. Selon Poizat et Goudeaux (2016) il existe une relation forte entre appropriation et expérience mimétique : « *présence simultanée d'un engagement productif et d'éléments expérientiels de l'ordre de la duplicité, de la feinte, de la métaphore, du décalage, qui portent aux franges de l'inutilité* » (p. xx). Les métaphores jouent un rôle important dans les situations de formation proposées en ce qu'elles permettent de comprendre ce qui est perçu comme vague et imprévisible, en se fondant sur les significations de situations déjà vécues. Elles offrent un ancrage expérientiel permettant d'anticiper l'avenir et de préfigurer les actions à effectuer (Poizat, Salini, Durand, 2013).

Mise en perspective de ces deux approches

Les cadres théoriques inspirés de la psychologie historico-culturelle (approche socio-culturelle, théorie de l'activité, cognition située) et de l'énaction sont à même d'offrir des concepts et méthodes pour penser la dialectique entre développement/individuation et appropriation des techniques. Sur ce dernier point, cette revue de littérature met en exergue trois acceptations du concept d'appropriation :

- Un processus d'internalisation d'un outil culturel existant,
- Une transformation d'un outil culturel existant en fonction des intentions du sujet,
- Un processus durant lequel l'individu transforme le réel (matériel, social, symbolique) et se transforme lui-même.

Nous adoptons cette troisième acception, en référence à l'approche instrumentale et au programme cours d'action. Dans ces 2 approches, l'appropriation est envisagée comme un processus continu ancré dans l'activité située. Comme le souligne Cuvelier (2016), c'est un mouvement créateur :

« L'appropriation de l'artefact ne peut donc pas être réduite à l'acquisition de connaissances sur un objet, ni à la transmission de savoir-faire ; ces apprentissages sont bien sûr nécessaires, mais ils ne suffisent pas. Le mouvement d'appropriation ne doit pas être seulement regardé comme un mouvement par lequel le sujet fait sien du déjà constitué extérieur, du "patrimoine" (Rabardel, 2005). C'est avant tout un mouvement de construction, de création ou de "re-création" c'est-à-dire un mouvement "producteur de nouveau" (Béguin, 2012). »

Ces deux approches (approche instrumentale, programme cours d'action) proposent néanmoins des réponses différentes quant à la nature des processus en jeu et des régularités qui émergent de ce processus d'appropriation (Tableau 1).

Tableau 1. mise en perspective de l'approche instrumentale et de l'approche cours d'action sur la question de l'appropriation

| | Approche instrumentale | Cours d'action |
|---|--|---|
| postulats | L'homme est un sujet capable | Primat de l'intrinsèque |
| | Distinction sujet – objet pré-existante à l'activité | L'homme est un acteur qui s'individue progressivement (devient unique et singulier) |
| | Médiation instrumentale | émergence d'un monde propre à travers le couplage entre l'acteur et son environnement |
| Processus en jeu dans l'appropriation | Genèses instrumentales : instrumentation/ instrumentalisation | Couplage organisme-environnement « immédiat » ou médié |
| Processus qui sous-tend le développement/développement t- apprentissage | Genèses instrumentales, Genèse identitaire : liens entre expériences passées | Incorporation (nature incarnée de l'appropriation) |
| Invariants / régularités émergeant de ce processus | Constitution de schèmes, d'instruments, de ressources, développement de capacités à agir | constitution d'un monde propre, in-culturation |
| | | individuation : émergence de formes équilibrées et stabilisées mais transitoires |
| | | émergence de formes stabilisées mais transitoires |
| | | Emergence de types |
| | | Développement de dispositions à agir |

Selon l'approche instrumentale, la personne est un être humain affecté et contraint par le monde qui l'entoure, mais aussi porteur de motivations, d'intentions, de finalités, capable d'agir sur lui-même et sur le monde et d'en avoir une connaissance. A la fois sujet connaissant et sujet capable, c'est un sujet singulier, conscient de lui-même, aux identités plurielles construites dans les différentes situations qu'il traverse. Selon le cours d'action, elle est considérée comme un acteur, une personne agissante qui s'individue, se singularise progressivement dans un couplage avec son environnement en passant par des phases de stabilité transitoires. Elles se distinguent également par la place accordée à l'intentionnalité. Selon les théories de l'activité, celle-ci est toujours orientée a priori vers un objet (matériel ou idéal) qui motive et dirige l'activité, cet objet de l'activité pouvant évoluer au cours de l'activité. Dans les approches situées, ce n'est pas tant le sujet qui s'engage dans l'activité que l'activité qui engage et constitue le sujet. La distinction a priori du sujet et de l'objet est remise en question ; l'individu et l'objet de son activité se co-constituent dans le couplage avec l'environnement, il fait émerger un monde signifiant pour lui.

Par ailleurs, si, dans l'approche instrumentale, des invariants organisateurs de l'activité, tels que des schèmes, des instruments, des compétences se constituent dans l'activité, dans l'approche 'cours d'action', l'individu et l'environnement sont en constante transformation ; des significations nouvelles émergent, des régularités, des typifications, des dispositions à agir se constituent élargissant le répertoire d'action des individus. Se pose alors la question de la stabilisation, même transitoire, de ces transformations. Comment rendre compte du flux de l'expérience vécue, toujours mouvant et des régularités, de stabilisations, de invariants qui se constituent au cours de l'expérience et organisent l'action du sujet ?

Bationo-Tillon (2017) propose une approche originale de cette question ; Cette *approche transitionnelle* du développement vise à étudier ce qui prend forme durant des épisodes *d'individuation de l'expérience* ; Dans ce but, elle caractérise les transformations comme un ensemble de micro-genèses qui s'opèrent dans le flux de l'expérience sur différents plans. Se fondant sur les cadres conceptuels de l'approche instrumentale et la didactique professionnelle (Pastré, 2011), elle distingue des genèses de différentes natures :

- Des *genèses instrumentales* (Rabardel, 1995 ; 2005), processus d'instrumentalisation et d'instrumentation par lesquels des artefacts deviennent instruments,
- Des *genèses conceptuelles* (Pastré, 2011), processus d'abstraction qui produit de nouveaux concepts organisateurs de l'activité ; ceux-ci permettent au sujet de mieux connaître le réel mais aussi d'agir sur lui,
- Des *genèses identitaires* (Pastré, 2011), mises en récit de l'expérience passée à partir de traces, pour en (re)construire une continuité nouvelle ; au cours de ce processus des invariants identitaires se constituent (valeurs, intérêts, motivations de la personne), ceux-ci se manifestent à travers les actes que pose la personne tout au long de sa vie.
- Des *genèses des mondes du sujet* qui représentent *les arrières plans conceptuels, axiologiques qui forment système avec les objets de l'action* (Béguin, 2005) ; celles-ci s'opèrent par confrontation des mondes des groupes d'acteurs engagés dans l'activité.

En référence aux écrits de Dewey (1934/2005) sur l'expérience esthétique, Bationo-Tillon (2017) complète cet *éventail* de genèses par la caractérisation des *genèses expérientielles*. Celles-ci correspondent à un processus au cours duquel des fragments d'expériences présentifiées se réagencent pour constituer de nouvelles sensations, de nouvelles expériences sensibles.

Ces recherches montrent également qu'au cours des épisodes d'individuation de l'expérience ces différentes genèses sont à l'œuvre simultanément.

Néanmoins, d'après Pastré (2011), les genèses à l'œuvre en situation d'apprentissage varient selon la nature de l'activité. Il indique que dans certaines familles d'activité à dominante perceptivo-gestuelle (artisanat, pilotage d'avion, etc.), des modifications de l'expérience sensible et des genèses instrumentales sont caractérisées, mais les genèses conceptuelles semblent peu présentes, les professionnels ne semblent pas mobiliser de concepts pour agir en situation. Il est cependant à noter que, dans ce champ de recherche, l'analyse des genèses porte principalement sur les apprentissages en situation professionnelle et que les genèses expérientielles semblent peu documentées. Des recherches plus systématiques de l'individuation de l'expérience et des différentes genèses à l'œuvre dans d'autres situations d'apprentissage mérite d'être menées.

Ainsi, cette approche transitionnelle propose un modèle holistique du sujet sur lequel nous pouvons nous fonder pour rendre compte de l'individuation de l'expérience au cours de l'activité et des nombreuses transformations à l'œuvre, sur différents plans, dans le flux de l'expérience.

Ces différentes micro-genèses ne sont pas seulement des activités mentales, mais sont à l'œuvre dans le couplage entre l'individu et son environnement. Dès lors si ces transformations affectent l'individu, elles affectent également son environnement qui en retour affecte l'individu. En nous fondant sur la thèse du caractère anthropologiquement constitutif de la technique, nous faisons l'hypothèse que ce qui se cristallise, de ce qui se matérialise au cours de l'activité, sous la forme de traces d'expériences, d'inscriptions, d'objets techniques, etc. est constitutif de ces multiples genèses à l'œuvre simultanément.

Dans cette partie, nous avons mis en exergue le mouvement de co-constitution de l'homme et de la technique. Les procédés mis en œuvre pour atteindre un but et objets techniques associés constituent pour l'homme une prothèse, une extension de ses capacités de perception et d'action qui médiatise les relations entre le biologique, le social et le culturel. Les objets techniques constituent également des inscriptions, supports à la conservation, l'accumulation et la sédimentation des expériences individuelles, une extériorisation de la mémoire (Stiegler, 1994 ; Steiner, 2010). Cette inscription matérielle de l'expérience et de la connaissance humaine dans des gestes et dans des supports matériels conditionne l'élaboration de connaissances nouvelles et rend possible le développement de la pensée (Husserl, 1936 ; Goody, 1979 ; Stiegler, 1994 ; Hutchins, 2005 ; Vinck, 2009 ; Steiner, 2010).

Si ces inscriptions ont souvent été appréhendées comme des systèmes de signe, ce sont avant tout des artefacts ayant une matérialité (matière, texture, forme, organisation de ses composants), qui leur confère des propriétés spécifiques (labilité/durabilité, tangibilité, résistance, etc.). Associés à différents modes de couplage, ils offrent des possibilités de conservation de l'expérience, d'actions (tri, réorganisation, spatialisation, comparaison, manipulation) qui leur sont propres, et supportent de multiples transformations (conversions, transmutations, traductions, abstractions) en jeu dans la production de connaissances (Goody, 1979 ; Latour, 1993 ; Giardino, 2015). Dans cette perspective, la cognition est considérée comme processus situé *partiellement dans l'esprit, partiellement dans le monde* (« *partly in the mind, partly in the world* »), Kirsh, (2009, p. 279).

Cette inscription matérielle de la cognition et de la construction de la connaissance mérite de notre point de vue une attention accrue, notamment dans le champ des apprentissages scolaires. En effet, malgré les très nombreuses recherches consacrées à l'étude des mécanismes en jeu dans les situations d'apprentissage scolaires, force est de constater que le caractère constitutif des objets techniques dans la construction de connaissances reste encore à explorer. L'étude du rôle de l'environnement matériel dans les apprentissages est souvent limitée à l'étude de l'impact des environnements numériques indépendamment des situations rencontrées. Le rôle des objets techniques dans le développement de l'enfant au cours des différentes situations d'apprentissage qu'il rencontre reste également à investiguer.

Comment les apprenants s'approprient-ils les différents artefacts culturellement constitués mis à leur disposition ? En quoi ceux-ci participent-ils au développement de leurs capacités de perception et d'action et à la construction de connaissances nouvelles ? Comment ces connaissances nouvelles se cristallisent-elles dans de nouveaux artefacts ? Et comment ces objets techniques participent-ils à leur développement en tant que sujet ?

Répondre à ces questions passe par une étude des micro-genèses à l'œuvre lors du processus d'appropriation de ces artefacts, ceci sur différents plans et dans différents emports temporels.

Les deux parties suivantes présentent les études que nous avons conduites dans cette perspective dans la continuité des deux axes de recherches initiés durant ma thèse :

Le premier axe porte sur l'étude du rôle de l'analogie dans le développement conceptuel. L'observation des usages des analogies en classe révèle qu'elles sont matérialisées par un ensemble d'artefacts mobilisés par l'enseignant ou présents dans l'environnement de l'élève. En présentant différentes études micro-génétiques et ontogénétiques réalisées dans une perspective située, il s'agira

de mettre en évidence les fonctions de ces artefacts et leur appropriation dans ces situations, ainsi que leur contribution au développement conceptuel.

Le second axe de recherche amorcé pendant ma thèse porte sur les usages et l'appropriation des artefacts mobiles entrés à cette période dans les salles de classe ; il s'agira d'étudier les genèses instrumentales, mais également d'interroger les genèses à l'œuvre sur d'autres plans lors de l'appropriation de ces technologies en vue de comprendre comment elles contribuent au développement des enfants.

Partie 2 : Rôle des analogies dans les apprentissages scolaires, vers une approche située

Selon Sander (2008a) « un enjeu majeur des acquisitions de connaissance est de concilier une approche qui articule la métaphoricité de l'esprit humain ainsi que son caractère incarné avec l'abstraction. » (p. 146). Un second enjeu pour nous est de mettre en exergue le caractère constitutif de la technique - l'ancrage matériel de la cognition - dans l'étude de l'abstraction et du développement conceptuel. Ces deux enjeux sont au cœur de cette seconde partie, consacrée à l'étude de l'*analogie* dans les apprentissages scolaires.

Le rôle de l'analogie dans les apprentissages scolaires a été le thème central de ma thèse de doctorat. Depuis les approches de ce mécanisme cognitif ont évolué dans différentes directions, en en faisant un mécanisme organisateur de la pensée, central dans le développement conceptuel, ou en mettant en avant le caractère situé du transfert analogique. Nos recherches visent à articuler ces deux approches de l'analogie. Ceci nous amènera à mettre en évidence le rôle de la technique (inscriptions, artefacts et schèmes associés) dans cette articulation entre métaphoricité de l'esprit humain, caractère incarné de la cognition et abstraction.

Après avoir présenté les études que nous avons réalisé pendant la thèse sur le raisonnement par analogie et l'apprentissage à partir d'exemples (chapitre 1), nous introduirons deux approches alternatives : l'analogie comme mécanisme organisateur de la pensée (Hofstadter & Sander, 2013) et l'étude des apprentissages dans une perspective située.

Le chapitre 2 présente un ensemble de recherches sur l'analogie comme mécanisme moteur du développement conceptuel, réalisées par l'équipe d'Emmanuel Sander, ainsi que nos contributions à ces recherches.

Le chapitre 3 porte sur une conception des apprentissages dans une perspective située. Dans cette approche, le transfert analogique est repensé en mettant en exergue le rôle de l'environnement matériel et social dans lequel l'activité d'apprentissage a lieu.

Dans le chapitre 4, nous montrons comment nous avons articulé ces deux approches pour étudier les analogies dans une perspective située. Les études que nous avons réalisées portent sur les usages des analogies en classe, en cours de mathématiques à l'école primaire. Ce chapitre présente plusieurs études visant à mettre en évidence les caractéristiques de ces analogies et à analyser leur ancrage matériel par l'utilisation d'artefacts et d'inscriptions. Ces analyses permettent de comprendre la contribution de ces analogies au développement conceptuel dans ces situations.

Le chapitre 5 porte plus spécifiquement sur l'ancrage matériel du développement conceptuel dans une autre champ disciplinaire, l'enseignement-apprentissage de l'informatique à l'école élémentaire. Les artefacts utilisés ainsi que leurs fonctions sont analysés ; le processus d'appropriation de ces artefacts est mis en évidence à travers la description des genèses instrumentales qui ont lieu au cours de la séance ; puis l'articulation entre genèses instrumentales et genèses conceptuelle est discutée.

Le dernier chapitre synthétise nos contributions aux recherches relatives à l'analogie et au développement conceptuel, et introduit les différents axes de recherches qui pourront être développés suite à ces recherches.

Chapitre 1. Analogie et apprentissages en situation de résolution de problème

Mes premières recherches sur les apprentissages (2001-2007) ont porté sur la compréhension des mécanismes d'apprentissage en situation de résolution de problème, et plus particulièrement sur la résolution de problèmes par analogie. L'objectif général était d'approfondir l'étude des conditions qui facilitent la mise en œuvre de ces mécanismes d'apprentissage lors de la résolution de problèmes par analogie.

Deux finalités ont orienté mes recherches : un approfondissement des connaissances théoriques en psychologie cognitive sur l'analogie et la conception d'environnement favorisant l'apprentissage. Ces deux finalités sont convergentes : la compréhension des processus en jeu dans la construction de connaissances lors de résolution de problèmes par analogie et des conditions qui favorisent cette forme d'apprentissage devrait permettre d'orienter la conception de situations d'apprentissage et d'environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH). Dans cette perspective, j'ai participé durant ma thèse à la conception d'un EIAH fondé sur le raisonnement par analogie (Guin, Jean-Daubias & Nogry, 2001), recherches présentées dans la partie suivante.

Dans ce chapitre je reviendrai sur les travaux princeps sur le raisonnement par analogie en résolution de problème, avant d'introduire les recherches que nous avons conduites sur les conditions qui facilitent l'apprentissage par analogie (Didierjean & Nogry, 20014 ; Nogry & Didierjean 2006 ; 2007) et d'en présenter les limites. Puis je reviendrai sur les raisons qui m'ont amenée à étudier l'analogie dans les apprentissages scolaires dans une perspective située.

Recherches princeps sur la résolution de problème par analogie

L'*analogie*, définie comme *ce qui rend possible de comprendre une situation dans les termes d'une autre* (Holyoak & Thagard, 1995) est un mécanisme fondamental pour appréhender la nouveauté. La vie quotidienne est jalonnée de situations nouvelles auxquelles nous devons faire face, l'analogie nous permet de comprendre cette situation nouvelle ou mal connue (la cible) en la traitant comme une situation connue (la source) (Sander 2000).

Les recherches sur le raisonnement analogique en situation de résolution de problèmes ont été initiées par les études princeps de Gick & Holyoak (1980, 1983) qui ont ensuite donné lieu à une littérature abondante. Dans ces recherches, les sujets cherchaient à résoudre un problème source et étudiaient sa solution, puis, dans une seconde phase, ils devaient résoudre un problème cible analogue mettant en jeu les mêmes principes généraux de résolution (Figure 7). Gick et Holyoak (1980) montrent qu'en l'absence d'indication de l'existence d'une analogie entre problèmes, il y a très peu de transfert spontané entre la source et la cible. En revanche, lorsque les sujets sont informés de l'existence d'une analogie (situation de transfert indicée), les sujets réussissent mieux le problème cible que ceux d'un groupe contrôle non informé (92% de réussite contre 20%). Par ailleurs, si l'on fournit au sujet, en plus du problème de la forteresse, une deuxième situation source qui partage le même schéma de résolution, le pourcentage de transfert spontané sur la cible augmente alors considérablement. Pour expliquer ces résultats, les auteurs font l'hypothèse qu'un problème peut être résolu par analogie uniquement si une connaissance abstraite, un schéma, est construit à partir du problème source, ici le schéma de convergence (Gick et Holyoak, 1980 ; 1983) (Figure 7). Ce résultat a été retrouvé par la suite dans de très nombreuses recherches (e.g. Bassok, 1990 ; Beveridge & Parkins, 1987 ; Catrambone & Holyoak, 1989 ; Keane, 1985 ; 1987 ; Novick & Holyoak, 1991 ; Reed, Dempster & Ettinger, 1985).

Problème source :

« Un général veut que son armée enlève une place forte qui est aux mains d'un dictateur et située au coeur d'un pays. Plusieurs routes conduisent à la forteresse, mais elles sont toutes minées. On ne peut donc passer sur ces routes que par petits groupes sinon les mines peuvent sauter. Le général veut que son armée entière parvienne à la forteresse afin de réussir la prise de la forteresse. Comment faire ? »

Solution : « La solution consiste à diviser l'armée en petits groupes, à leur faire emprunter en même temps toutes les routes d'accès et à les faire converger vers la forteresse de telle sorte qu'ils arrivent en même temps au pied de celle-ci. »

Problème cible : destruction d'une tumeur (problème emprunté à Duncker, 1945) :

« Un médecin reçoit un malade avec une tumeur maligne à l'estomac. Il est impossible d'opérer ce patient mais si on ne détruit pas la tumeur, le patient mourra. On peut utiliser des rayons pour détruire la tumeur. Si les rayons atteignent la tumeur tous en une seule fois avec une intensité suffisamment forte, on détruira la tumeur. Malheureusement, avec cette intensité on détruira également des tissus sains. A une plus faible intensité, les rayons seront moins dangereux pour les tissus sains mais inefficaces pour la tumeur. Quelle solution proposez-vous pour détruire la tumeur sans détruire les tissus sains? »

Solution "analogique" attendue : « Faire converger des rayons de faible intensité sur la tumeur, ce qui sera suffisant pour la détruire, sans endommager pour autant les tissus sains. »

Principe de résolution commun : « schéma de convergence »

But : Utiliser une force pour détruire une cible centrale

Ressources : La force est suffisamment grande.

Contraintes : Impossibilité d'appliquer la force sans dommage par un seul trajet.

Opérateurs : Réduire l'intensité de la force, déplacer la source de la force, appliquer la force.

Plan de solution : Appliquer des forces de faible intensité par des trajets nombreux en même temps.

Conséquence : Destruction de la cible par la force

Figure 7. Problèmes proposés par Gick & Holyoak (1980, 1983), traductions des textes originaux empruntées à Gineste, 1997

Suite à ces travaux, les recherches ont porté sur l'identification des processus cognitifs en jeu dans le raisonnement par analogie et la construction de connaissances abstraites ainsi que sur les facteurs qui conduisent à augmenter le transfert spontané. Les recherches conduites pendant ma thèse ont visé à mettre en exergue les mécanismes de construction de connaissances lors de la résolution de problème par analogie en vue de caractériser les facteurs favorisant cet apprentissage.

Processus cognitifs impliqués dans le raisonnement par analogie

Plusieurs modélisations des mécanismes en jeu dans le raisonnement par analogie ont été proposées notamment par les équipes de Gentner (Gentner, 1989) et d'Holyoak (Holyoak, 1984; Holyoak & Thagard, 1989; Hummel & Holyoak, 1997). Suivant ces modèles, sept étapes ont été caractérisées (Sander 2000 pour une revue) :

- La première étape est la construction d'une **représentation mentale du problème cible**. Il est à noter que cette étape est majoritairement exclue par les chercheurs qui la considèrent plutôt comme relevant du processus de compréhension.
- L'étape **l'évocation d'une situation source**. Elle consiste en l'activation en mémoire d'une situation source déjà rencontrée et/ou à la sélection d'une situation parmi celles qui sont évoquées. Ce processus reposerait surtout sur des similitudes de surface ; l'évocation d'une situation source est facilitée par la présence d'habillages similaires entre situations (entités de

même nature, contextes proches) (see Bassok & Holyoak, 1993; Novick & Holyoak, 1991 ; Trench, Oberholzer, & Minervino, 2009), par l'existence d'un indice explicite (transfert indicé) ou par l'incitation à une recherche volontaire d'une situation source analogue (Trench, Olguin & Minervo, 2015). Elle semble difficile en l'absence de ressemblance apparente entre situations (voir par exemple Gick & Holyoak, 1980, 1983 ; Ross, 1984 ; 1987).

- **La mise en correspondance** entre les représentations de la situation cible et de la situation source vient ensuite. Pour Gentner et Holyoak cette étape est majeure dans le raisonnement analogique. Si pour Holyoak, il s'agit d'un transfert d'éléments relatifs au but du problème, pour Gentner, la mise en correspondance porte sur l'ensemble des relations hiérarchiquement les plus élevées.
- L'étape suivante consiste en **la production d'inférences**. Il peut s'agir d'enrichir la représentation de la cible à partir de la représentation de la situation source, ou d'adapter la solution de la situation source pour proposer une solution adéquate au problème cible.
- Elle est suivie par une **évaluation** qui permet de valider ou non les inférences produites.
- Vient ensuite **la mémorisation de la représentation de la cible**, étoffée par les inférences produites.
- La dernière étape est la **généralisation** ; Optionnelle, elle aboutit à un schéma, une représentation abstraite applicable à d'autres situations ayant une structure voisine.

Parmi ces sept étapes, seules deux font consensus : l'évocation d'une situation source et la mise en correspondance. Les modalités de mise en correspondance et la nature des similitudes prises en compte au cours de ce processus diffèrent selon les modèles.

Analogie et apprentissage

De nombreuses études ont montré que l'analogie joue un rôle prépondérant dans l'apprentissage, et notamment dans les apprentissages mathématiques. Le rôle de l'analogie en situation de résolution de problèmes a été particulièrement étudié. Il a été montré que l'analogie joue un rôle important dans l'acquisition de procédures (cf. Goswami, 1992 ; Ross, 1987), dans la construction de concepts abstraits ((tels que l'égalité, la proportion, etc.) (cf. Brown & Kane, 1988 ; Gentner, Holyoak & Kokinov, 2001 ; Gentner, Loewenstein & Thompson, 2003 ; Gamo, Sander & Richard, 2010) ; elle favorise une plus grande flexibilité relative aux apprentissages conceptuels (Goswami, 1992) et favorise le transfert entre des contextes différents (voir notamment Novick, 1988). La question qui se pose alors est quels sont les processus cognitifs en jeu dans ces apprentissages.

Elaboration de schéma et transfert analogique

Selon Gick et Holyoak (1980 ; 1983), la résolution de problème par analogie passe par la construction d'un schéma à partir du problème source (dans les problèmes présentés, le schéma de convergence). Le concept de schéma, proposé par Bartlett (1932), puis réintroduit par Minski (1975) et Schank et Abelson (1977) est présenté comme une forme d'organisation des connaissances en mémoire, une structure qui décrit une séquence d'événements et d'actions associées à un type de situations dans un domaine restreint. Le schéma décrit un système organisé de relations chronologiques et causales. Cette structure est opératoire : elle contient les plans pour traiter des informations. Le schéma est construit par généralisation à partir de situations singulières. Selon Gick et Holyoak (1980), il peut être défini à de multiples niveaux d'abstractions. D'après les recherches qui portent sur la résolution de problèmes, un schéma relatif à un ensemble de problèmes serait une connaissance dégagée des éléments contextuels du ou des problèmes déjà rencontrés ; cette représentation ne

contiendrait que les propriétés pertinentes des entités présentes relativement au but à atteindre, indépendamment du contexte du problème.

L'élaboration d'une telle représentation abstraite du problème et de sa solution serait une condition préalable au transfert analogique. On peut alors s'interroger sur les différents processus permettant de construire cette représentation abstraite. Deux catégories de processus cognitifs permettent d'élaborer une telle représentation abstraite à partir des situations sources (voir Cauzinille-Marmèche et Didierjean, 1999 pour une revue de question) : les processus inductifs et les processus explicatifs.

Les Processus inductifs consistent à détecter les similitudes entre plusieurs situations qui partagent une structure commune de résolution (problèmes isomorphes) (Bassok, 1990 ; Bassok et Holyoak, 1989 ; Cummins, 1992 ; Gick et Holyoak, 1983) (Figure 7). Face à des problèmes isomorphes une détection de similitudes permet de dégager la structure commune à ces situations. Celle-ci peut être mise en œuvre de façon active et consciente (Catrambone et Holyoak, 1989 ; Reeves et Weisberg, 1994), ou faire l'objet d'un apprentissage implicite (Carbonell, 1983 ; Michalski, 1983 ; Nicolas, 1996 ; Didierjean, 2005). Il est à noter que ce dernier mécanisme ne permet pas nécessairement de faire la différence entre les éléments qui jouent un rôle causal dans une situation et les autres éléments (Ahn, Brewer et Mooney ; 1992).

L'activité de construction d'un schéma abstrait ne consiste sans doute pas simplement à dégager des régularités. D'autres processus de généralisation semblent pouvoir être mis en œuvre, et notamment les processus explicatifs. Ces processus s'appuient sur les connaissances que le sujet possède sur le domaine étudié. Celles-ci permettent de produire des explications, des inférences, à propos d'un problème ou d'un exemple étudié, qui viennent en retour enrichir les connaissances sur le domaine. Ainsi expliquer ce qui caractérise un cas particulier facilite donc la construction d'un schéma et un transfert analogique (Brown et Kane, 1988) si l'apprenant peut s'appuyer sur une base de connaissances élémentaires déjà connues (Ahn, Brewer et Mooney, 1992).

Adaptation de problèmes spécifiques et généralisation au cours de l'adaptation

Si les premiers travaux sur la résolution de problème par analogie ont mis en avant le rôle des schémas (représentation abstraite des relations causales menant à la résolution du problème) dans le transfert analogique, d'autres recherches ont ensuite montré que les sujets pouvaient faire des analogies entre des situations ou des problèmes spécifiques sans recours à une représentation abstraite (Didierjean et Cauzinille-Marmèche, 1998 ; Didierjean, Cauzinille-Marmèche et Savina, 1999). Ce type de raisonnement - consistant à mettre en correspondance directement les situations cible et source et à adapter la solution du problème source - est privilégié par les novices, c'est aussi un mode de raisonnement économique et couramment utilisé par les experts (voir Didierjean, 2001 pour une revue de questions).

Cette forme de raisonnement peut conduire l'apprenant à mémoriser le problème qu'il vient de résoudre ; les situations ayant engendré des difficultés et des attentes déçues seraient mémorisées de manière privilégiée (Didierjean, Cauzinille-Marmèche et Savina, 1999).

Cette forme de raisonnement à partir de cas particuliers (/de situations spécifiques) peut également conduire à une généralisation de connaissances au cours de l'étape d'adaptation. Selon Ross et Kennedy (1990), l'apprenant extrait des régularités au cours de l'adaptation d'une situation spécifique déjà connue pour résoudre un nouveau problème, et élabore ainsi une connaissance à un niveau

d'abstraction plus élevé qui facilite ensuite un nouveau transfert analogique. Dans cette perspective, la généralisation serait le fruit de l'adaptation analogique elle-même (Ross & Kennedy, 1990 ; Didierjean, 2003).

Quelles sont les conditions qui facilitent l'apprentissage par analogie ?

La mise en évidence de ces différents processus de construction de connaissances, nous a conduit à étudier les conditions qui incitent l'apprenant à mettre en œuvre ces processus de généralisation pour construire des connaissances abstraites. La revue de littérature réalisée sur cette question (Nogry & Didierjean, 2006) nous a permis de recenser un ensemble de facteurs qui facilitent le transfert analogique ; elle nous a par ailleurs conduit à constater que peu d'entre elles prennent en considération à la fois les conditions facilitant le transfert analogique et l'analyse des processus cognitifs mis en œuvre par les apprenants dans ces conditions. Ceci nous a conduit à réaliser plusieurs études sur cette question (Didierjean & Nogry, 2004 ; Nogry, 2005 ; Nogry & Didierjean, 2007).

De nombreux facteurs en jeu

La revue de littérature réalisée (Nogry & Didierjean, 2006) a mis en évidence différents facteurs qui influencent la résolution de problèmes par analogie. Dans un premier temps, nous avons distingué les études portant sur l'activité à réaliser sur les problèmes, de celles portant sur l'étude de l'influence des similarités entre problèmes présentés successivement.

Un ensemble d'études comparent les effets sur la résolution de problèmes cibles de différentes tâches à réaliser sur les problèmes sources :

- étudier des exemples résolus versus résoudre des problèmes (cf. Sweller & Cooper, 1985 ; Pass & Van Maerrienboer, 1994),
- s'auto-expliquer les exemples proposés librement (Chi et al., 1989 ; Renkl, 1997) ou après y avoir été entraîné (cf. Bielaczyc, Pirolli & Brown, 1995 ; Stark et al, 2002 ; Wong et al., 2002),
- résoudre des problèmes successivement ou être incité les comparer (cf. Cummins, 1992).

Ces études, nombreuses, produisent des résultats contrastés (voir Nogry & Didierjean, 2006 pour une synthèse). Elles mettent notamment en évidence l'importance de réduire la charge cognitive imposée par la tâche pour libérer des ressources cognitives nécessaires aux apprentissages (cf. Chanquoy, Tricot, Sweller, 2007 ; Sweller, Ayres & Kalyuaga, 2011 pour une synthèse).

Un autre ensemble d'études porte plus spécifiquement sur les similarités/dissimilarités entre exemples ou problèmes présentés successivement. Certaines font varier les similarités de surfaces entre problèmes à étudier ou à résoudre (cf. Ross, 1984 ; Quillici & Mayer, 1996 ; Cummins, 1992), d'autres font varier la structure des problèmes étudiés en introduisant un problème non isomorphe parmi les problèmes à résoudre (cf. Gick & Paterson, 1992 ; De Croock, Van Merrienboer et Pass, 1998 ; Chen & Mo, 2004).

Enfin d'autres recherches, moins nombreuses, portent sur l'effet sur la résolution du problème cible de la saillance des traits de structures dans le problème source. Ces traits structuraux peuvent être explicités dans l'énoncé du problème et sa solution (Gick & Mc Garry, 1992), ou rendus saillants par l'ajout d'étiquettes dans la présentation de la solution du problème (Catrambone, 1995 ; 1996) ou la présentation d'une représentation graphique (Ainsworth & Loizou, 2003).

Des facteurs qui induisent la mise en œuvre de processus de généralisation différents

A partir de cette revue de littérature, nous avons mis en évidence un ensemble de facteurs qui semblent influencer la mise en œuvre des processus de généralisation en jeu dans la résolution de problèmes par analogie (Nogry & Didierjean, 2006).

Ainsi, la mise en œuvre de processus inductifs (détection de similitudes) semble être influencée par l'ordre des problèmes présentés, par leur similarité ou par l'activité consistant à demander explicitement de comparer les problèmes (Cummins, 1992 ; Gentner, Loewenstein & Thompson, 2003). Si les exemples présentés sont isomorphes, des traits de surfaces différents sont plus favorables à la mise en œuvre d'un processus de détection de similitudes (Bassok, 1990 ; Bassok et Holyoak, 1989 ; Cummins, 1992 ; Gick et Holyoak, 1983 ; Quillici et Mayer, 1996). A l'inverse, si les exemples présentés ne sont pas isomorphes, des traits de surface proches semblent favoriser la détection de similitudes (Gick et Paterson, 1992 ; Pass et Van Merriënboer, 1994 ; Quillici et Mayer, 2002).

Les processus explicatifs peuvent être favorisés par une consigne qui incite les apprenants à s'auto-expliquer les exemples (Aleven et Koedinger, 2002 ; Bielaczyc, Pirolli et Brown, 1995 ; Conati et Vanlhen, 2000 ; Chi et al., 1994 ; Neuman et Schwarz, 1998), ou en leur demandant de réfléchir au « pourquoi » et au « comment » durant l'analyse des exemples (Wong et al., 2002). Ces processus peuvent également être provoqués par l'ajout d'un diagramme à du texte (Ainsworth et Loizou, 2003) ou par une structuration des exemples adéquate (Catrambone, 1995, 1996).

Le processus de généralisation par adaptation semble, lui, être favorisé lors de la présentation d'un exemple suivi d'un problème à résoudre très similaire à l'exemple proposé (Ross et Kennedy, 1990 ; Didierjean, 2003).

Cette analyse met en évidence les interactions importantes entre tâche à réaliser sur les problèmes, degré de similarité entre problèmes et processus cognitif mis en œuvre par l'apprenant. D'autre part elle met en lumière les questions moins étudiées, à savoir :

- quels sont les processus cognitifs induits par une modification de la saillance des éléments structuraux du problème source ?
- et quels sont les facteurs influençant le processus de généralisation par adaptation ?

Pour approfondir ces deux questions, nous avons réalisé deux études, brièvement présentées ici.

Quel(s) processus cognitifs induits par une modification de la saillance des traits de structure ?

Plusieurs recherches montrent qu'une modification de la saillance des traits de structure a un effet sur le transfert analogique. Lors de l'étude d'un problème résolu, la mise en évidence d'un élément structural grâce à une représentation graphique (Ainsworth & Loiseau, 2003) ou une « étiquette » (Catrambone, 1995 ; 1996) conduit les participants à s'interroger et à s'auto-expliquer la solution du problème. A l'inverse, lors de la résolution d'un problème source, il apparaît que rendre moins saillant l'élément central pour la résolution du problème facilite ensuite le transfert analogique (Gick & McGarry, 1992).

Nous avons cherché à mettre en évidence les processus cognitifs induits par cette modification de la saillance des traits de structure dans une situation de résolution de problèmes en répliquant le protocole proposé par Gick & McGarry (1992) et en l'adaptant afin de tester trois hypothèses alternatives permettant d'expliquer ces résultats (Didierjean & Nogry, 2004 ; Nogry et Didierjean, 2007).

Dans l'étude de Gick et McGarry (1992), les participants devaient résoudre le « problème de l'échiquier tronqué » (Figure 8), un problème difficile que peu de sujets réussissent à résoudre (Kaplan et Simon, 1990).

Soit un échiquier et 32 dominos. Chaque domino couvre exactement deux cases adjacentes de l'échiquier. Avec 32 dominos on peut donc couvrir l'ensemble des 64 cases de l'échiquier. Supposons maintenant qu'on retire deux coins diagonalement opposés de l'échiquier, et un domino. Si vous jugez cela possible, montrez comment vous placeriez sur l'échiquier les 31 dominos restants, de manière à ce que les 62 cases restantes soient entièrement recouvertes. Si vous jugez que cela est impossible, prouvez-le.

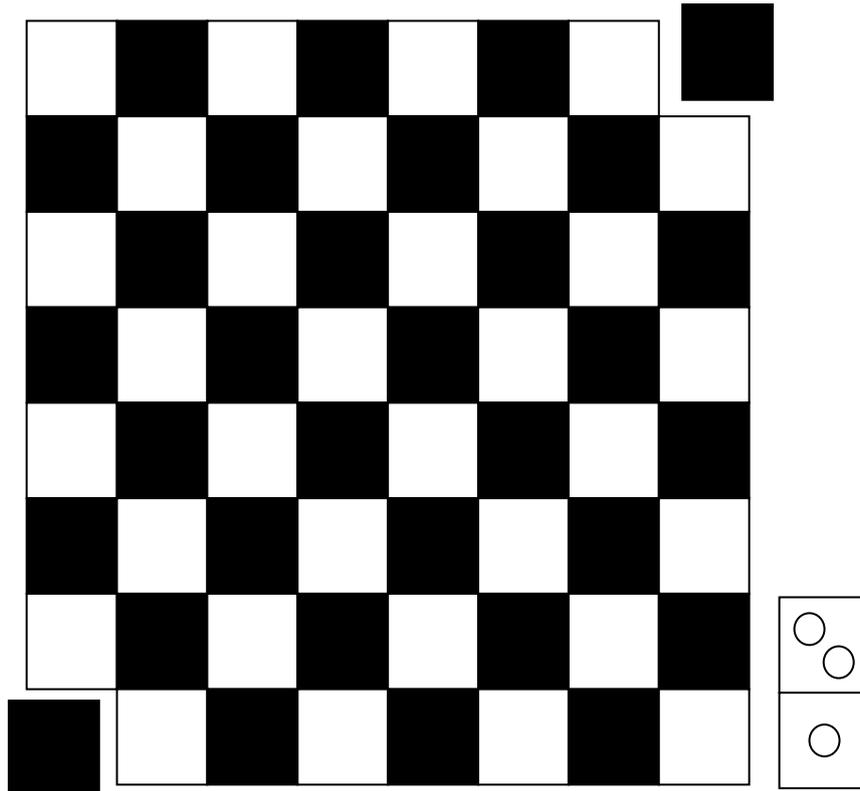


Figure 8. Le problème de l'échiquier tronqué

Dans ce problème, les sujets doivent juger si un échiquier dont deux coins opposés ont été retirés peut être recouvert par des dominos dont la taille correspond à deux cases de l'échiquier. La résolution correcte de ce problème nécessite la notion de parité : un domino couvre toujours deux cases adjacentes, une noire et une blanche... or comme l'indiquent le texte et la représentation graphique, deux cases noires et un domino ont été retirés. Gick et McGarry (1992) montrent que résoudre d'abord un problème source isomorphe difficile (dans lequel la notion de parité n'est pas mise en évidence) (Figure 9) facilite ensuite la résolution du problème de l'échiquier : les sujets qui ont passé la version difficile commettent plus d'erreurs sur le problème source (absence de référence à la parité) mais réussissent ensuite mieux le problème de l'échiquier en cible (Figure 10).

La version facile du problème du dîner (verbal-plus- diagram version)

Trente-six personnes, 18 hommes et 18 femmes, sont à un dîner. Ces 36 personnes sont assises à 18 tables, comme l'illustre le schéma ci-dessous. A chaque table sont assises deux personnes, un homme et une femme, qui sont installés en face l'un de l'autre (horizontalement ou verticalement sur le schéma).

Si deux femmes s'en vont, comme le montrent les flèches sur le schéma, peut-on installer 17 tables pour que soient installées les 34 autres personnes ? Les personnes ne sont pas autorisées à se déplacer. Expliquez votre raisonnement.

La version difficile du problème du dîner (diagram only version)

Trente-six personnes, 18 hommes et 18 femmes, sont à un dîner. Ces 36 personnes sont assises à 18 tables, comme l'illustre le schéma ci-dessous. A chaque table sont assises deux personnes, qui sont installés en face l'une de l'autre (horizontalement ou verticalement sur le schéma).

Si deux personnes s'en vont, comme le montrent les flèches sur le schéma, peut-on installer 17 tables pour que soient installées les 34 autres personnes ? Les personnes ne sont pas autorisées à se déplacer. Expliquez votre raisonnement.

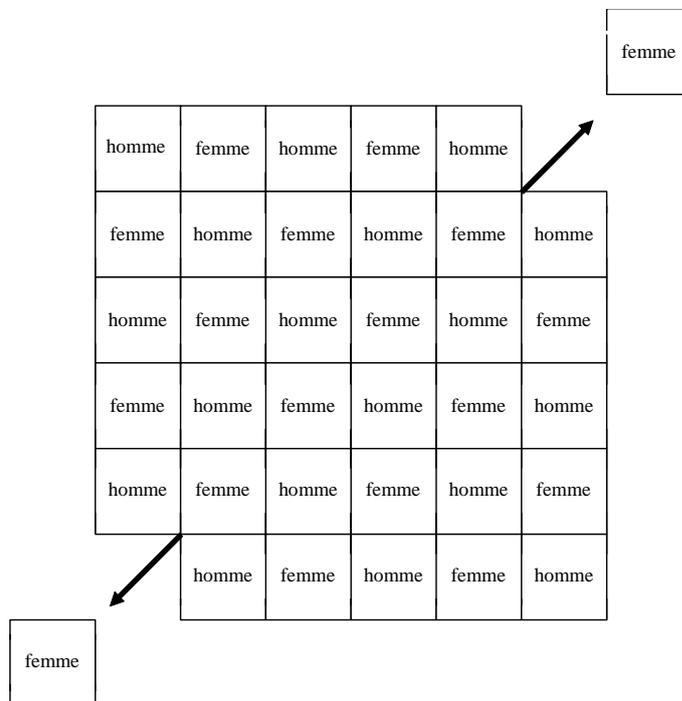


Figure 9. Le problème du dîner.

Pour bien comprendre la solution il est important de remarquer que, puisque chaque table réunit deux personnes qui sont l'une à côté de l'autre, chaque table réunit nécessairement une femme et un homme.

Puisque deux femmes s'en vont, il reste moins de femmes que d'hommes. Ainsi, puisque qu'une table réunit nécessairement une femme et un homme et qu'il y a moins de femmes que d'hommes, alors avec les 17 tables on ne pourra pas installer les 34 personnes.

Figure 10. Solution du problème du dîner

Pour expliquer ce résultat, les auteurs font l'hypothèse que la réduction de la saillance des éléments pertinents pour la résolution du problème favorise le transfert car cela augmente la probabilité que les participant établissent un lien entre problème source et cible, par exemple en faisant des erreurs

similaires dans les deux problèmes (H1). Selon nous, deux autres hypothèses alternatives peuvent être proposées :

- selon la seconde hypothèse (H2), réduire la saillance des éléments pertinents favorise une meilleure mémorisation de la source (les problèmes ayant été source de difficulté étant en général mieux mémorisés).
- Selon la troisième hypothèse (H3), réduire la saillance des éléments pertinents favorise le transfert spontané car les sujets construisent une représentation de la source dans laquelle l'élément central pour la résolution est encodé d'une manière plus abstraite.

Pour tester ces trois hypothèses nous avons réalisé quatre expériences inspirées de l'étude originale. L'expérience 1 est une réplique du protocole proposé par Gick et Mc Garry (1992). Les résultats sont effectivement répliqués : la résolution du problème source difficile affecte bien la compréhension du concept clé de la résolution et le transfert analogique. Néanmoins, commettre une erreur sur ce concept clé lors de la résolution du problème source ne facilite pas le transfert : les participants qui font ce type d'erreur ne réussissent pas mieux à résoudre le problème cible que les participants qui commettent d'autres erreurs (pour une présentation détaillée de l'étude et des résultats, voir *Nogry et Didierjean, 2007*).

L'expérience 2 réplique le protocole de Gick et McGarry en situation de transfert indicé. Si réduire la saillance des traits de structure favorise l'établissement d'un lien entre problème source et cible, informer les participants de l'existence d'un tel lien devrait faire disparaître la différence entre les deux groupes (résolution du problème source facile / difficile). Or il n'en n'est rien. Le groupe résolvant la version difficile du problème du diner réussit mieux à résoudre le problème cible que le groupe contrôle. Les résultats de ces deux expériences remettent en cause la première hypothèse (H1). Le rôle de la difficulté du problème source ne peut pas être expliqué seulement par son impact sur la prise de conscience d'un lien entre source et cible. De plus, les erreurs relatives à l'élément clé de la résolution de la source ne semblent pas jouer un rôle central dans la réussite du problème transfert.

L'expérience 3 consiste à tester le degré d'abstraction de la représentation de la parité construite en résolvant le problème source en proposant une tâche de catégorisation. Après avoir résolu le problème du diner (dans sa version facile / difficile) et étudié sa solution, les participants devaient catégoriser plusieurs versions du problème de l'échiquier tronqué en fonction de leur proximité avec le problème du diner ; la position des cases enlevées (traits de surface) et leur couleur (trait de structure) étaient manipulées. Cette expérience a montré que la présentation d'un problème source difficile facilite la catégorisation de problèmes isomorphes suivant leurs traits de structure ; ceci nécessite d'avoir construit une représentation abstraite du trait de structure, la parité, nécessaire à la résolution du problème. Ces résultats ne peuvent être expliqués par une meilleure mémorisation de la source (H2). Aussi les résultats de ces 3 expériences appuient la troisième hypothèse (H3). Réduire la saillance des éléments pertinents pour la résolution du problème source améliore le transfert vers le problème cible car les sujets construisent une représentation plus abstraite de l'élément clé pour la résolution, la parité (voir *Didierjean & Nogry, 2004*, pour une présentation détaillée des expériences 2 et 3).

L'expérience 4 visait à évaluer l'importance de l'étude de la solution sur les processus de généralisation mis en oeuvre. Elle consistait à répliquer le protocole initial (expérience 1) en donnant accès, ou pas, à la solution du problème source. Cette expérience montre que sans la présentation de la solution,

l'effet disparaissait. La lecture de la solution après avoir tenté de résoudre le problème source difficile joue donc un rôle déterminant dans la généralisation.

Cette série d'expériences apporte des arguments forts pour étayer l'hypothèse selon laquelle modifier la saillance des traits de structure influe sur la mise en œuvre de processus de généralisation, pouvant ainsi aboutir à l'abstraction de la représentation de la source. Il semble que réduire la saillance d'un trait de structure peut, durant la lecture de la solution, conduire le sujet à s'interroger sur le rôle de cet élément clé et ainsi mettre en œuvre des processus explicatifs afin de généraliser.

Il est à noter que dans cette expérimentation, les représentations graphiques présentées ont une fonction centrale : dans le problème source difficile, comme dans le problème cible, l'information nécessaire à la résolution du problème (suppression de deux cases similaires) est disponible uniquement sur le diagramme. Néanmoins, dans l'étude de Gick & Mc Garry (1992) comme dans nos recherches, cette spécificité est analysée uniquement comme une réduction de la saillance des traits de structures. Les propriétés et les fonctions spécifiques de ces représentations graphiques ne sont pas conceptualisées. L'intérêt de proposer une représentation graphique avec les exemples étudiés avaient pourtant été noté dès l'étude princeps conduite par Gick et Holyoak (1983). Aussi, une piste de recherche à approfondir porte sur l'étude de la fonction des représentations graphiques dans la construction d'une représentation abstraite du problème facilitant le transfert analogique.

Etude des interactions entre tâche à réaliser sur les problèmes, degré de similarité entre problèmes sur les processus de généralisation

Suite à la revue de littérature réalisée (Nogry & Didierjean, 2006), nous avons cherché à mieux identifier les conditions permettant de déclencher les processus de généralisation par détection de similitudes et par adaptation. D'après les études précédemment citées, le processus de détection de similitude serait plus facilement mis en œuvre lorsqu'une tâche de comparaison entre deux problèmes résolus est proposée et si les problèmes ont des traits de surface éloignés. Par ailleurs, une généralisation par adaptation serait plus facilement mise en œuvre lorsque les sujets adaptent la solution d'un problème source pour résoudre un problème cible si l'habillage des deux problèmes est similaire (Ross et Kennedy, 1990 ; Ross & Kilbane, 1997). Nous avons donc fait varier la tâche demandée et la similarité entre problèmes afin d'étudier l'effet conjugué de ces deux facteurs sur la mise en œuvre des processus de généralisation (voir *Nogry, 2005*, chapitre 4 pour une présentation détaillée de l'étude).

Dans l'expérience réalisée, des problèmes de probabilité étaient présentés (problèmes proposés par Ross & Kennedy, 1990) ; les participants étaient des lycéens qui avaient étudié ce type de problème cette année-là. Les apprenants devaient soit comparer soit adapter deux paires de problèmes pour chacun des deux principes théoriques présentés. La généralisation de connaissances était évaluée lors d'un post-test consistant à résoudre des problèmes cibles isomorphes.

Il est d'abord à noter que les résultats obtenus lors du post-test étaient faibles (20% de réussite en moyenne au post-test). Aucune différence significative entre les différentes conditions n'apparaît, pas plus que des effets d'interaction entre facteurs. Le taux de réussite des problèmes tests est faible quelles que soient les conditions et un grand nombre d'erreurs ont été commises. Nous ne pouvons donc pas conclure à un effet des variables manipulées sur le déclenchement des processus de généralisation. De fait, cette étude ne réplique donc les résultats obtenus dans les recherches menées précédemment. Contrairement à l'étude de Ross & Kennedy (1990), les élèves n'ont pas su adapter les

exemples présentés pour résoudre les problèmes cibles, et contrairement à ce que montre l'étude de Cummins (1992), la tâche de comparaison n'a pas semblé conduire à un traitement de haut niveau sur les problèmes. Si les participants ont noté que les problèmes avaient une structure identique, ils n'ont pas su décrire les points communs aux deux problèmes et identifier cette structure. Cette difficulté à répliquer auprès d'un public de lycéens les résultats obtenus dans de précédentes études a soulevé différentes interrogations et met en évidence des limites des études précédemment présentées :

(1) Un premier commentaire porte sur les conditions de mise en œuvre de processus d'adaptation. Celui-ci est encore méconnu et mériterait d'être mieux étudié. Si Ross et Kennedy (1990) ont montré que la généralisation par adaptation pouvait avoir lieu si les problèmes source et cible étaient suffisamment proches, la similarité entre problèmes ne semble pas être une condition suffisante. L'accès au problème source Didierjean (2003) a mis en évidence l'intérêt de la mise en œuvre délibérée d'une généralisation (en précisant que les problèmes étudiés étaient des problèmes d'entraînement). La question du rôle joué par la possibilité ou pas de consulter le problème source pendant l'adaptation se pose également. D'autres études sur les conditions permettant la généralisation par adaptation seraient nécessaires pour être en capacité d'induire ce processus.

(2) Parmi les facteurs mis en évidence, les similarités de surfaces entre problèmes semblent jouer un rôle important dans la mise en œuvre du processus de généralisation. La manipulation de ces similarités de surface se révèle néanmoins délicate. En effet, différents types de similarités de surface peuvent être distinguées. Ross (1987, 1989) distingue les similarités de surface liées à l'histoire proposée et les similarités liées aux propriétés des entités présentes dans les énoncés (object mapping view). Holyoak et Thagard (1989 ; 1995 ; Hummell et Holyoak, 1997) considèrent plutôt le degré de similitudes sémantiques entre les objets présents dans les différents problèmes. Celui-ci dépend de l'organisation sémantique des connaissances en mémoire. Bassok, Wu et Olseth (1995) vont plus loin en montrant que les connaissances sémantiques des sujets sur les objets et sur les relations entre les objets décrits dans la situation (relation contenant-contenu / agent-patient) orientent la structure abstraite qu'ils construisent à partir de l'énoncé. Ainsi, des traits a priori non pertinents pour la résolution permettent aux participants d'inférer la solution du problème. Cette structure abstraite « interprétée » diffère de la structure qui détermine la solution du problème, elle permet de résoudre certains problèmes partageant les mêmes traits, mais induit les apprenants en erreur lors de la résolution de problèmes isomorphes un peu différents. Ces connaissances sémantiques semblent avoir une portée différente selon la nature du problème à résoudre (problèmes additifs / multiplicatifs / problèmes de probabilité). A la suite de ces différentes études, une meilleure compréhension de l'influence des similarités entre problèmes passe d'abord par une caractérisation plus fine des indices qui conduisent les apprenants à construire une représentation « interprétée » du problème différente de la structure qui détermine la solution. Dans ce sens, Sander et collaborateurs (Sander et al., 2003) cherchent à mettre en évidence les caractéristiques qui provoquent des inférences dans le domaine des problèmes additifs étudiés à l'école primaire. Cette piste de recherche a conduit à la réalisation du projet COEFF (content effect) pourtant sur l'analyse des effets de contenus (Gamo, Taabane, Sander, 2011), que nous présenterons par la suite.

(3) Par ailleurs, comme nous l'avons souligné, les sujets disposent d'une pluralité de mécanismes d'apprentissage. Dès lors, une des questions qui reste à étudier concerne leurs interactions. Si, pour des raisons de simplification, les travaux sur les processus d'apprentissage se sont la plupart du temps centrés sur un seul processus à la fois, il est probable que les apprenants en utilisent plusieurs, tour à

tour ou simultanément. Par exemple, détecter des similitudes n'empêche pas d'essayer d'établir des liens causaux. Il reste à développer des recherches visant à mieux comprendre comment « coexistent » les processus d'apprentissage. Les travaux visant à observer en situation « naturelle » comment les sujets apprennent, tels que ceux développés dans les recherches sur les auto-explications, offrent sans doute dans un premier temps un bon moyen d'étudier ces questions.

Limites des études réalisées

La revue de littérature que nous avons menée nous a conduit à identifier différents facteurs qui influent sur la mise en œuvre de généralisation de connaissances. Ces facteurs se sont néanmoins révélés difficiles à manipuler. Plusieurs questions se posent alors :

Une multiplicité des facteurs entre en jeu dans le transfert analogique (tâche proposée, format de présentation des problèmes, saillance des traits de structure, similarité entre problèmes, ordre de présentation, accessibilité des problèmes présentés précédemment, etc.) ; les interactions entre ces facteurs sont nombreuses, et semblent loin d'avoir été toutes mises en évidence. De ce fait, on peut s'interroger sur la taille des effets mis en évidence dans ces différentes études, sur leur robustesse et sur leur domaine de validité :

- Les études présentées sont souvent réalisées sur un type de problème particulier, les résultats obtenus sont-ils valides pour tout type de problème et notamment pour les problèmes arithmétiques travaillés à l'école primaire ?
- La majorité des études présentées sont conduites auprès d'étudiants à l'université, les résultats sont-ils répliquables auprès d'enfants et d'adolescents en cours d'apprentissage de l'arithmétique, de l'algèbre ou des probabilités ? S'il a été démontré que les enfants étaient capables de raisonner par analogie (Encart 1), les facteurs favorisant la mise en œuvre de processus de généralisation sont-ils identiques pour les enfants et les adultes ?

La capacité des enfants à raisonner par analogie a longtemps été discutée. Contrairement à la thèse de Piaget selon laquelle le raisonnement par analogie n'apparaît que tardivement chez l'enfant, il a depuis été montré que des enfants sont capables de raisonner par analogie dès 3-4 ans (Goswami & Brown, 1990). Le raisonnement analogique évolue néanmoins tout au long du développement de l'enfant. Selon Gentner et Toupin (1986), la mise en correspondance est difficile chez les jeunes enfants et très dépendante d'une similarité de surface élevée. Goswami (1992) montre que les difficultés que rencontrent les jeunes enfants dans des tâches de raisonnement par analogie viennent non d'une incapacité à raisonner mais d'un manque de connaissances relationnelles ; ces tâches sont facilitées si les analogies proposées s'appuient sur des connaissances familières aux enfants (Goswami, 1992). Le développement du raisonnement par analogie est donc le résultat d'une augmentation de leurs connaissances (Goswami, 1992) ; il dépend également de leur capacité à intégrer simultanément plusieurs relations et du développement de leur capacité d'inhibition (Richland, Morrison & Holyoak 2006).

Les enfants éprouvent des difficultés à utiliser spontanément des informations précédemment acquises pour résoudre des problèmes analogues (Greeno, 1974). La résolution du problème cible peut cependant être facilitée, si les problèmes source et cible présentés aux enfants ont un habillage similaire (Holyoak, Junn et Billman, 1984 ; Gentner et Toupin, 1986) ou si plusieurs problèmes source sont présentés (Chen et Daehler, 1989 ; Chen, 1999).

Par ailleurs, comme les adultes, les enfants sont capables de mettre en œuvre des processus explicatifs sur des exemples (Brown et Kane, 1988), et le processus de généralisation par adaptation peut être mis en œuvre par des adolescents de 14 ans (Didierjean et Cauzinille-Marmèche, 1998) ; à notre connaissance, il n'a pas été expérimenté auprès d'enfants plus jeunes.

Encart 1. Les enfants sont-ils capables de raisonner par analogie ?

Il est également à noter que certains facteurs tels que le format de représentation des problèmes et la fonction des représentations graphiques associées sont encore peu étudiés.

Par ailleurs, la mise en évidence de conditions qui facilitent l'apprentissage ne peut écarter l'étude des différences individuelles. Comme le soulignent Lautrey, Mazoyer et Van Geert (2002), la recherche d'universaux ou d'invariants conduit à centrer l'analyse sur les tendances moyennes et à minimiser la variabilité observée. Or, certains travaux ont pu mettre en évidence l'existence de variations individuelles dans le recours aux différents processus d'apprentissage. Ces différences individuelles sont-elles le fruit de contraintes cognitives ? par exemple un processus pourrait-il nécessiter plus de ressources cognitives que d'autres ? Sont-elles le reflet de véritables « styles » cognitifs ? Comment évoluent-elles au cours du développement ? Mieux comprendre les sources de variation, leur caractère stable ou non, est l'une des clés d'une bonne compréhension des phénomènes d'apprentissage à partir d'exemples. Il semble nécessaire d'avancer dans cette voie.

Enfin, on peut souligner les limites du paradigme « source-cible » utilisé dans l'ensemble des études précédemment citées (présentation d'une ou plusieurs situations sources avant de présenter un problème cible à résoudre ensuite). Sander (2000) souligne le caractère artificiel de cette situation expérimentale : les situations sources sont sélectionnées par les chercheurs pour leurs propriétés, ce qui correspond a priori peu aux situations d'apprentissage quotidiennes ; ce paradigme minimise l'évocation et ne permet pas de mettre en lumière les analogies spontanées faites sur la base des connaissances familières des participants.

Les différentes limites identifiées à la suite de ces recherches⁵ mettent en exergue une tension entre la visée de la psychologie cognitive - caractériser des processus cognitifs présumés *universaux*, ou invariants quels que soient les caractéristiques des sujets et le contexte (Dupuis, 1999) - et la nécessité de prendre en compte les spécificités des domaines de connaissance, les caractéristiques des sujets, et des situations dès lors que l'on souhaite concevoir des situations source de développement et d'apprentissage.

Plusieurs réponses à cette tension ont été envisagées. Une première approche consiste à repenser l'analogie comme un mécanisme au cœur de la pensée, et à analyser les analogies naïves construites à partir des expériences quotidiennes dans différents domaines de connaissance spécifiques (domaine du vivant, de la physique, domaine des mathématiques etc.) (voir Lautrey, Rémi-Giraud, Sander, Tiberghien, 2008 pour une synthèse). Une autre approche consiste à penser les apprentissages dans une perspective située et à repenser les mécanismes de transfert. Les deux chapitres suivants abordent les spécificités de chacune de ces approches.

⁵ ainsi que celles rencontrées lors du processus de conception d'un EIAH (cf. partie 3, chapitre 1)

Chapitre 2. L'analogie *au cœur*⁶⁶ des apprentissages scolaires

L'analogie définie comme *ce qui rend possible de comprendre une situation dans les termes d'une autre* (Sander, 2000) est un mécanisme cognitif central pour appréhender la nouveauté et pour apprendre.

Comme nous l'avons introduit dans le chapitre 1, il a été montré que l'analogie favorise l'acquisition de procédures (cf. Goswami, 1992 ; Ross, 1987), la construction de concepts abstraits (cf. Brown & Kane, 1988 ; Gentner, Holyoak & Kokinov, 2001 ; Gentner, Loewenstein & Thompson, 2003 ; Gamo, Sander & Richard, 2010), soutient le développement d'une plus grande flexibilité relative aux apprentissages conceptuels (Goswami, 1992) et favorise le transfert entre des contextes différents (voir notamment Novick, 1988). Dans les modèles classiques (Gentner, 1989 ; Holyoak, 1984 ; Holyoak & Thagard, 1989 ; Hummel & Holyoak, 1997), la résolution de problème par analogie passe par une mise en correspondance des situations sources et cible qui sous-tendent le transfert, la situation source étant représentée en mémoire par une représentation mentale abstraite du problème source et de sa solution (un schéma). Il a par la suite été montré qu'une généralisation par adaptation de situations spécifiques sans construction d'un schéma - appelée raisonnement à partir de cas - était également possible (Ross & Kennedy, 1990 ; Didierjean et Cauzinille-Marmèche, 1998 ; Didierjean, Cauzinille-Marmèche et Savina, 1999).

Toutefois, dans les études conduites en laboratoire, le transfert spontané entre problèmes sources et cibles étudiés par les participants s'est souvent révélé limité. De nombreuses recherches se sont attachées à mettre en évidence les facteurs qui favorisent le transfert analogique (Nogry & Didierjean, 2004 pour une synthèse). D'autres ont pointé les limites du paradigme utilisé pour l'étudier. Sander (2000) souligne ainsi le caractère artificiel des situations expérimentales proposées : les situations sources (souvent des problèmes à étudier) sont sélectionnées par les chercheurs pour leurs propriétés, ce qui correspond a priori peu aux situations d'apprentissage quotidiennes ; ce paradigme minimise l'évocation des situations sources et ne permet pas de mettre en lumière les analogies spontanées faites sur la base des connaissances familières des participants. Ajoutons que ces recherches fondées sur le paradigme source-cible, visant à caractériser les processus cognitifs invariants quels que soient les caractéristiques des sujets et le contexte, ne tiennent pas compte des spécificités des domaines de connaissances, des contextes et des caractéristiques des sujets.

En réponse à ces limites, Sander (Sander, 2008 ; Hofstadter & Sander, 2013) propose de repenser l'analogie non plus comme un processus de raisonnement, mais comme un mécanisme organisateur de la pensée prenant comme source non seulement les situations proposées mais l'ensemble de nos connaissances quotidiennes. Cette conception renouvelée de l'analogie conduit à envisager autrement son rôle dans l'apprentissage et le développement conceptuel. Cette approche invite à mettre en évidence les connaissances fondées sur l'expérience quotidienne, les *connaissances naïves*, qui sous-tendent les apprentissages dans différents domaines de connaissances (Lautrey, Rémi-Giraud, Sander, Tiberghien, 2008). En résolution de problèmes, cette approche conduit à analyser les analogies activées par le contenu du problème qui guident et structurent la représentation du problème cible et sa résolution, ainsi que l'écart avec la représentation experte (Sander, 2008), en vue de réduire cet écart. Différentes formes d'ingénierie pédagogique fondées sur ce principe ont été proposées (voir par exemple Gamo, Sander & Richard, 2010 ; Taabane, 2011, Villette et al., 2017).

⁶⁶ En référence à l'ouvrage « l'analogie au cœur de la pensée » (Hofstadter & Sander, 2013)

Dans cette partie, après avoir introduit cette conception renouvelée de l'analogie, nous aborderons ses différentes implications dans l'étude des apprentissages scolaires, en présentant nos contributions à ces recherches (Torres & Nogry, en préparation ; Gamo, Nogry & Sander, 2014) au sein de l'équipe *Compréhension, Raisonnement et acquisition de connaissance -laboratoire Paragraphe*, dirigée par E. Sander.

L'analogie : un mécanisme organisateur de la pensée

Sander (Sander 2000 ; 2008) propose de repenser l'analogie. Il ne s'agit pas seulement d'une forme de raisonnement logique complémentaire à d'autres (raisonnement inductif / déductif etc.) mais d'un mécanisme cognitif fondamental, organisateur de la pensée, présent au quotidien comme dans les processus de création ou la recherche scientifique (Hofstadter et Sander, 2013)⁷.

Ce mécanisme consistant à « *construire mentalement un pont entre différentes situations* » (Hofstadter et Sander, 2013, p. 626) est présent à chaque instant, chaque fois qu'une situation évoque un souvenir, une situation passée. Ces analogies produites par évocation, sans but visé, sans souci d'efficacité, émergent automatiquement. Elles sous-tendent la « *perception implicite du même* » (p. 41) entre plusieurs situations souvent observables dans les expressions, les proverbes, les dictons ou les conversations quotidiennes (« *cela m'est moi aussi arrivé très souvent !* »), notamment caractérisées par l'usage des expressions « *moi aussi* », « *c'est comme ...* », « *c'est toujours comme ça* »⁸.

Ces analogies produites automatiquement, souvent inconsciemment - dans lesquelles certains aspects des situations peuvent être d'abord flous - rendent possible l'émergence d'analogies conscientes et la comparaison plus explicite entre ces situations. L'analogie, en rapprochant ce qui pourrait sembler éloigné, génère la production d'inférences sur la situation nouvelles, rend possible la mise en évidence du *squelette conceptuel* qu'elles partagent et ce faisant, est associé à l'émergence de nouvelles catégories permettant de penser le monde.

Ces analogies activent des catégories qui contraignent l'interprétation des situations rencontrées ; elles agissent comme un « *filtre à travers lequel notre environnement est perçu* » (Hofstadter et Sander, 2013, p. 361), ainsi considérer que *la vie est un chemin à parcourir* ou *un combat à mener* donne un sens différent aux situations vécues et aux difficultés rencontrées. Une même situation peut par ailleurs susciter simultanément des analogies différentes et induire plusieurs points de vue complémentaires ; ainsi, en physique, considérer simultanément la lumière comme une onde et comme une particule a considérablement étendu la compréhension de ce phénomène et a ouvert des perspectives de recherche entièrement nouvelles⁹. Comme le soulignent les auteurs, « *ce filtrage*

⁷ Cette conception renouvelée de l'analogie est concomitante à l'évolution de la psychologie cognitive, discipline qui s'est longtemps concentrée sur l'étude du raisonnement logique avant d'en mettre en évidence les limites et d'étudier le développement des connaissances en considérant les inférences portées par les connaissances comme les pivots de la pensée humaine.

⁸ Ces différentes analogies *invisibles* mais bien présentes au quotidien sont décrites dans le chapitre 3 de l'ouvrage *l'analogie au cœur de la pensée*

⁹ voir Hofstadter & Sander, 2013, chapitre 8 pour une analyse des analogies qui ont sous-tendu les recherches d'Einstein

abstrait du monde peut donner lieu à des rapprochements qui auraient semblé tout à fait improbables à un observateur extérieur » (Hofstadter et Sander, 2013, p. 363).

Suivant cette conception renouvelée de l'analogie, un même mécanisme unifié est à l'œuvre dans la production d'analogies entre situations quotidiennes et dans la production d'analogies plus complexes telles que des analogies entre analogies ou des analogies entre théories (Bruno, 1998). Cette thèse est appuyée par de nombreux exemples issues de situations quotidiennes, de démarches scientifiques mais aussi d'analyse des processus mis en oeuvre dans les apprentissages scolaires (Hofstadter et Sander, 2013). Dans ces différentes situations, les analogies sont centrales dans le développement conceptuel.

Analogie : un mécanisme central dans le développement conceptuel

Selon Hofstadter & Sander (2013), « *chaque concept à notre esprit doit son existence à une immense suite d'analogies élaborées inconsciemment au fil de temps* » (p.9). Dans cette approche, le développement conceptuel est assimilé à des analogies successives concourant au développement de nouvelles catégories et de relations entre ces catégories ; celles-ci induisent une interprétation des situations rencontrées et orientent les actions réalisées dans ces situations.

Ces catégories se constituent d'abord par *extension catégorielle* : chaque nouvelle situation vécue, par analogie à d'autres situations, peut devenir un nouvel exemplaire d'une catégorie existante ou d'une catégorie en émergence. Les catégories se forment et s'étendent ainsi par une succession d'analogies entre situations. Ce mécanisme est très flexible, chaque situation peut être associée à une multiplicité d'autres situations et catégorisée d'une infinité de manières, ce qui permet au sujet d'inférer à partir de cette situation de nombreuses propriétés non immédiatement perceptibles.

Les catégories¹⁰ progressivement constituées peuvent être reliées entre elles notamment par des relations d'inclusion. Elles sont alors caractérisées par différents niveaux d'abstraction et de concrétude. Comme le soulignent les auteurs, « *la puissance des mots abstraits repose sur le fait qu'ils évoquent un large spectre d'images concrètes qui sont dérivées d'images vécues, soit directement, soit par procuration* » (Hofstadter & Sander, 2013, p. 404). Ces relations d'inclusion entre catégories sont par exemple présentes dans les taxonomies établies scientifiquement (animaux – vertébrés - oiseaux – moineaux/rouge-gorge), ou utilisées pour désigner des artefacts au quotidien (meuble – siège – fauteuil - bergère / vin - vin rouge - côte du Rhône –côte rotie - la mouline). Dans la constitution de ces relations d'inclusion, il peut arriver qu'un même terme soit utilisé pour désigner une catégorie générale ou plus spécifique. Ceci est par exemple manifeste au quotidien lorsqu'un nom de marque (sopalin / doodle) devient l'étiquette d'une catégorie plus générale (essuie-tout / sondage en ligne). Quelles que soit les dénominations des catégories, ces relations d'inclusion facilitent les inférences par héritage des propriétés d'une catégorie à une autre et permettent de mettre en lumière les regroupements ou les distinctions entre situations (Figure 11).

¹⁰ La conception de la catégorisation mise en avant par les auteurs est sous-tendue par les travaux de Rosch (1975 ; 1976)

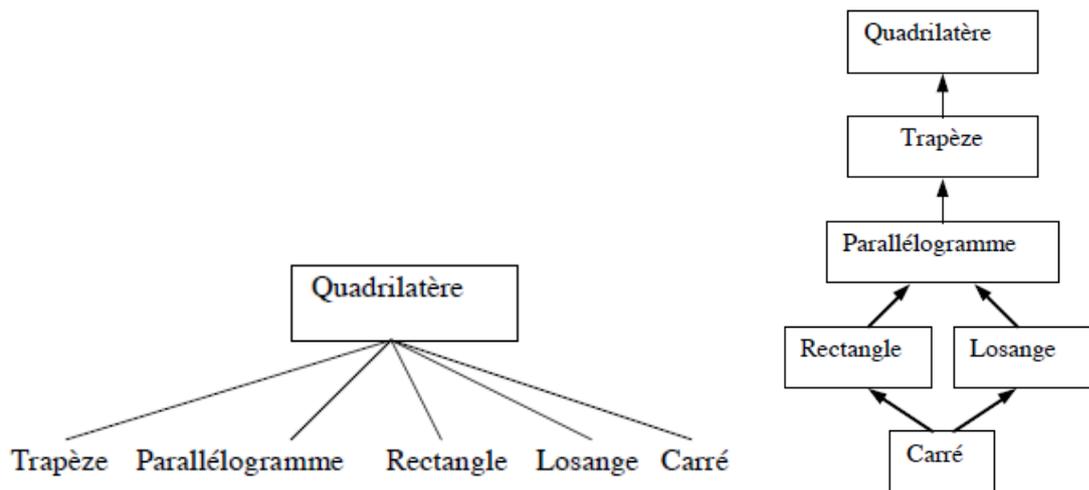


Figure 11. Structuration des connaissances sur les quadrilatères : organisation exclusive versus inclusive des catégories (Sander, 2008, p. 57)

L'organisation des catégories est considérée comme un indicateur d'expertise dans un domaine de connaissance visé. Chez les novices, on trouve de nombreuses catégories exclusives (peu de relations d'inclusion), tandis que les experts utilisent des niveaux d'abstractions plus nombreux en spécifiant des catégories intermédiaires et les relations d'implications entre elles pour caractériser le même domaine de connaissances (Figure 11). La multiplication des niveaux d'abstraction rend possible un changement de point de vue lorsque la catégorie initialement mobilisée ne permet pas d'interpréter efficacement la situation. Une catégorisation plus générale peut alors permettre de surmonter cette impasse en rendant saillantes des caractéristiques ignorées jusque-là. L'organisation inclusive des catégories et l'héritage de propriétés n'est pas spontanée pour les enfants, un apprentissage explicite semble nécessaire (Dupuch & Sander, 2007 ; Dupuch, Sander, Bosc-Miné, 2015).

Cette approche présente par ailleurs de nombreuses implications pour l'étude des apprentissages scolaires et le développement d'ingénierie pédagogique.

Analogie et apprentissages scolaires

Cette conception renouvelée de l'analogie comme mécanisme organisateur de la pensée met au premier plan les analogies spontanées faites sur la base des connaissances et expériences quotidiennes. Dans la perspective d'étudier les apprentissages scolaires, cette approche soulève plusieurs questions :

- Quelles sont les analogies naïves spontanément faites par les apprenants en fonction du domaine d'apprentissage visé ?
- Comment ces analogies avec des situations quotidiennes orientent-elles les interprétations que construisent les élèves dans différentes tâches proposées en classe (résolution de problème, exercices, etc.)
- Comment conduire les élèves à construire un point de vue différent sur ces situations, à élaborer des catégories plus abstraites leur permettant de construire une représentation des situations plus flexibles et plus proches du point de vue des experts ?

La première question fait écho aux recherches portant sur les connaissances naïves (voir Lautrey, Rémi-Giraud, Sander, Tiberghien, 2008 pour une synthèse). Ces recherches ont porté sur différents domaines de connaissances. Ainsi, au sein de notre équipe de recherche, des études ont été engagées

sur le rôle de l'analogie dans le développement du langage (Sander, 2013), son rôle dans l'apprentissage des sciences physiques (Bruno, 2009 ; Taabane, 2011) ou encore les apprentissages mathématiques (Dupuch, 2011 ; Gamo, 2009 ; Taabane, 2011). Au sein de ce programme de recherche, les études que nous avons-nous même conduites se sont davantage centrées sur l'apprentissage de l'arithmétique (Gamo, Nogry, Sander, 2014), aussi nous avons choisi de présenter les études spécifiques à ce domaine dans cette section.

Après avoir aborder les analogies naïves réalisées dans le domaine de l'arithmétique, nous présenterons différentes études réalisées en résolution de problème, puis nous en viendrons aux démarches d'ingénierie pédagogique pour passer d'une représentation naïve des situations à une représentation experte.

Analogies naïves : comment nos expériences et connaissances quotidiennes influent-elles sur les apprentissages scolaires ?

Des connaissances, qualifiées de *naïves*, sont construites spontanément « à partir de l'expérience propre que chacun peut acquérir sur lui-même et sur le monde qui l'entoure » (Sander, Lautrey, Thiberghien, p.5) ; celles-ci orientent l'interprétation qu'il/elle se fait du monde et l'entrée dans les apprentissages scolaires ; elles sont même persistantes après un enseignement explicite. De ce fait, l'étude de leur genèse et de leur organisation est nécessaire à une meilleure compréhension des mécanismes d'apprentissage.

Des analogies naïves construites à partir de notre expérience « incarnée »

Selon Lakoff (Lakoff & Jonhson, 1980 ; 1985), notre système conceptuel est façonné par des métaphores fondées sur l'expérience vécue ; ancrée dans la corporéité - le fait d'avoir un corps doté de diverses capacités sensori-motrices est affecté par des émotions – l'expérience prend forme dans les interactions avec l'environnement matériel, social au sein d'une culture spécifique. Dans cette approche incarnée de la cognition¹¹, la cognition est indissociable de la perception et de l'action en situation¹². Ainsi, selon Lakoff & Jonhson (1980), « l'essence d'une métaphore est qu'elle permet de comprendre quelque chose et d'en faire l'expérience, en termes de quelque chose d'autres » (1980, p.15).

Sur ces métaphores originelles, se greffent par la suite des métaphores plus conceptuelles. Lakoff & Nunez (2000) distinguent ainsi les *métaphores ancrées* (grounded metaphors), fondées sur l'expérience, telles que *comprendre c'est voir* (« Je vois ce que vous voulez dire » ou « il faudrait voir dans le détail ») des *métaphores de liaison* (linking metaphors) qui mettent en relation deux concepts entre eux, l'un constituant une métaphore pour l'autre. Selon eux, les concepts mathématiques sont des constructions psychologiques tout aussi incarnées que des concepts non mathématiques. Ils mettent à jour plusieurs métaphores ancrées, fondées sur les premières actions de l'enfant, qui sont au fondement de l'arithmétique.

(1)La métaphore de la « collection d'objets », fondée sur nos expériences les plus communes de regroupement des objets est à la source de la quantification et du dénombrement. La plus petite collection d'objet est l'unité, le rassemblement de plusieurs collections d'objets correspond à l'addition, le retrait d'une petite collection dans une collection plus large est la soustraction ; l'addition

¹¹ également portée par Varela et al. (1993)

¹² Cf. partie 1, chapitre 1

et la soustraction sont donc considérés comme l'acte d'ajouter ou de retirer. Ainsi, de très nombreux problèmes arithmétiques portent sur des collections d'objets familiers des enfants (bonbons, billes, gateaux, etc.)

(2) La métaphore de la « *construction d'objets* » correspond quant à elle à la conceptualisation des nombres comme des composants d'autres nombres, des parties qui s'assemblent afin de constituer des ensembles plus grands, ou se décomposent en parties plus petites. Des expressions telles que « *10 se décompose en 7 et 3* » ou « *si tu mets 2 et 2 ensembles tu obtiens 4* » reflètent cette conception du nombre. Le concept d'addition correspond à un rassemblement tandis que la soustraction correspond à un fractionnement, par exemple « *5 se décompose en 3 et 2* » (Sander, 2008b). Cette seconde métaphore est intimement liée à la première, mais offre la possibilité de faire des inférences supplémentaires, telles que la décomposition des nombres en parties, essentielle pour conceptualiser les fractions.

(3) Une troisième métaphore ancrée, dénommée « *mètre étalon* », est fondée sur l'acte de mesurer des distances en plaçant bout à bout des segments de longueur égale ; ces segments peuvent être des parties du corps - des pieds, des pouces (unités de longueur utilisées au moyen âge), des mains, - ou tout autre objet, formant ainsi une ligne, une trace linéaire sur laquelle il est possible de se déplacer. Cette métaphore, fondée sur une représentation linéaire du nombre, permet également de penser l'addition et la soustraction comme des déplacements : additionner est alors parcourir un chemin (*aller de 5 à 8*), et soustraire renvoie au parcours d'un chemin dans l'autre direction (*aller de 8 à 3*).

Sander (2008) enrichit l'analyse de ces métaphores ancrées, au fondement de l'arithmétique, en montrant leur analogie avec les modèles tacites (Fischbein, 1989), construits à partir d'un ensemble d'expériences répétées (tel que considérer l'égalité comme une relation processus-produit). Plus généralement, les métaphores ancrées participent d'une multiplicité d'expériences vécues spontanément évoquées et contribuant à la genèse des connaissances quotidiennes naïves en mathématiques. Comme le montre Taabane (2011), certains gestes peuvent devenir des métaphores de concepts mathématiques : le geste de couper en deux parties égales peut devenir une métaphore du concept de moyenne. Les connaissances sur l'être humain et ses relations sociales constituent également des métaphores riches soutenant la structuration de concepts complexes.

Des analogies naïves qui guident notre compréhension du monde et notre entrée dans les apprentissages scolaires

Les expériences quotidiennes, incarnées, constituent des sources d'analogies lors de la découverte d'un nouveau concept ; ces connaissances naïves participent de l'apprentissage de connaissances mathématiques ou scientifiques dans le cadre scolaire en facilitant l'entrée dans les apprentissages ou en y faisant obstacle.

Comme le montre Sander (2008a, 2008b), en arithmétique, en se fondant sur des connaissances naïves, les enfants peuvent très tôt résoudre certains problèmes arithmétiques, y compris des problèmes de soustraction, de multiplication ou de division.). Par exemple, le problème suivant, « *Claudine veut partager 30 bonbons entre ces 3 enfants. Combien chacun en aura-t-il ?* » - compatible avec la métaphore « *collection d'objet* » et le modèle tacite « *diviser c'est partager* » - est résolu facilement. D'autres problèmes additifs, qui semblent à priori de difficulté comparable, sont en revanche associés à des performances différentes :

(1) « Paul a 27 billes. Il en gagne pendant la récréation et en a maintenant 31. Combien de billes a-t-il gagné ? »

(2) « Paul perd 27 billes de ses 31 billes pendant la récréation. Combien lui en reste-t-il ? »

Le premier problème de soustraction est bien mieux réussi que le second. La métaphore du mètre étalon (*aller de 27 à 31*) est spontanément activée par l'énoncée du problème 1, mais pas du second problème. Partant de ce constat, Brissiaud & Sander (2010) mettent en évidence les caractéristiques des problèmes qui peuvent être résolus par simulation mentale.

Les *connaissances naïves* spontanément mobilisées peuvent par ailleurs faire obstacle à la construction d'une représentation adéquate de la situation et devenir sources d'erreurs (Sander, 2008b). L'analyse de résolution de soustractions en colonne par des novices montre que deux connaissances naïves guident leur résolution : la soustraction consiste à enlever une partie à un tout et la soustraction consiste à parcourir un chemin. Or, dans l'interprétation parcouru, la distance du plus petit au plus grand est la même que celle du plus grand au plus petit (Figure 12). Les erreurs proviennent du fait que les élèves appliquent ces connaissances colonne par colonne, chaque chiffre composant le nombre est vu comme un tout, plutôt que comme une partie d'un tout (Sander, 2008a).

$$\begin{array}{r} 566 \\ -178 \\ \hline 412 \end{array}$$

Figure 12. Exemple d'une erreur du type « plus grand moins plus petit »

Ceci pose le problème du domaine de validité de ces *connaissances naïves* et d'une possible surgénéralisation de connaissances valides localement dans des situations bien délimitées (voir également Taabane, 2011 pour une analyse de cette surgénéralisation relative à des connaissances naïves sur le concept de moyenne).

Plus généralement, ces *connaissances naïves* induisent l'interprétation des situations rencontrées dans le cadre scolaire. Nous avons contribué à mettre cela en évidence en proposant des tâches de *problem posing* à des élèves à l'école primaire (Torres, 2014 ; Torres & Nogry, en préparation). La tâche de *problem posing*, consistait à proposer aux élèves des opérations et à leur demander de construire l'énoncé de problème correspondant. Pour réaliser cette tâche de production d'énoncé l'élève est amené à mobiliser ses connaissances mathématiques pour construire une interprétation personnelle de situations concrètes et formuler un problème mathématique signifiant (Stoyanova et Ellerton (1996). Notre étude (Torres, 2014 ; Torres & Nogry, en préparation) visait à caractériser les analogies *naïves* qui sous-tendent la formulation des problèmes mathématiques à partir des opérations proposées. Elle a consisté à proposer à des élèves de CM1 et CM2 des opérations arithmétiques (soustractions, additions) avec des nombres entiers ou décimaux en faisant varier la taille des nombres proposés et à leur demander de formuler des problèmes correspondants. Ces énoncés ont été catégorisés en fonction des métaphores (Lakoff & Nunez, 2000) qu'ils véhiculent :

Opération : $26 + 12 =$

Métaphore de collection d'objets ($26+12$) : « Gala a 26 bille et Gala en gagne 12 de plus. Combien a t-elle de billes en tout ? ».

Métaphore de construction d'objets (26+12) : « Paul a 26 E dans sa tirelire, sa mère lui donne 12E en plus. Combien a-t-il dans sa tirelire ? ».

Métaphore du mètre étalon (26+12) : « Dans mon jardin j'ai 26m². Je veux en rajouter 12m² mais je ne sais pas combien j'en aurais ensuite peux tu m'aider ? »

Opération : $26,5 + 14,4 =$

Métaphore de collection d'objets (26,5+14,4) « Nabilla a 26,5 chaussures et elle en rachète 14,4. Combien a de chaussures Nabilla ? » (le problème est mathématiquement valide, mais ne pas applicable à la vie réelle).

Métaphore de construction d'objets (26,5-14,4) : « Lila a 26,5 E au marché aux puces en vendant ces vieux joués. Elle doit payer 14,4 E pour la place qu'elle a utilisé. Combien lui reste-t-il de sous ? » .

Métaphore du mètre étalon (26,5+14,4) : « La valise de Quentin pèse 26,5 KG celui de Wassim 14,4 il ne faut pas plus de 40kg. Est-ce que ils ont dépassé la limite ? »

Les analyses montrent que pour les problèmes contenant des nombres entiers, dans les deux niveaux (CM1 et CM2) la métaphore de *collection d'objets* a été préférentiellement utilisée, suivie par la métaphore de *construction d'objets*. La métaphore du *mètre étalon* a été utilisée uniquement en CM2 (3% des réponses). Lorsque l'opération comprend des nombres décimaux (non compatibles avec la métaphore collection d'objets), la métaphore majoritairement employée est la *construction d'objets* aussi bien pour l'addition que pour la soustraction (44.87%, 43.24%), suivie par la métaphore du *mètre étalon*, pour la soustraction comme pour l'addition (35.89% versus 40.54%). Néanmoins, la métaphore *collection d'objet* continue d'être présente dans les énoncés de certains élèves, malgré le caractère irréel des problèmes posés ("J'ai 26.5 poupées, ma mère m'en ajoute 14.4 poupées, combien de poupées j'aurai au total").

Nos résultats sont en adéquation avec la théorie proposée par Lakoff et Nuñez (2000) selon laquelle la métaphore de la *collection d'objet* est privilégiée car elle met en correspondance le domaine des objets physiques - le plus familier pour les enfants - et le domaine de nombres. Ainsi, comme le souligne Sander (2008a) « *les propriétés fondamentales de l'arithmétique élémentaire dérivent des propriétés de collection d'objets* » (p.67). Néanmoins, en présence de contraintes supplémentaires, une majorité d'élèves (environ 80% dans cette étude) sont en capacité de s'appuyer sur d'autres métaphores structurantes pour construire une interprétation adaptée à l'opération proposée.

Ces représentations naïves sont persistantes, même après enseignement, que ce soit à l'école primaire, chez des collégiens ou chez des adultes (Sander, Lautrey, Thiberghien, 2008 pour une synthèse). En mathématiques, ceci a notamment été démontré pour les connaissances naïves rattachées à la division (Audo, 2007 ; Sander, 2008b) ou aux concepts statistiques tels que la moyenne (Taabane, 2011).

Ainsi, les connaissances naïves déterminent les conceptions initiales de l'apprenant dans les domaines scientifiques comme dans les domaines mathématiques. Elles facilitent la résolution des opérations des problèmes et opérations dans certaines situations, mais pas dans d'autres. Elles sont persistantes

et conservent leur statut de référent même après enseignement. Il est donc nécessaire d'en tenir compte dans l'enseignement scolaire.

Des analogies naïves à la construction d'une représentation « experte » lors de la résolution de problèmes arithmétiques

La conception renouvelée de l'analogie proposée par Sander (Sander, 2008a ; Hofstadter & Sander, 2013) met au premier plan les analogies spontanées faites sur la base des connaissances et expériences quotidiennes. Au-delà des problèmes arithmétiques simples présentés précédemment, quelles connaissances naïves/quotidiennes les apprenants mobilisent-ils lors de la résolution de problèmes complexes ? Comment participent-elles à l'interprétation des problèmes complexes et à la construction de la solution ?

Les « traits de surface » : des traits saillants pour la résolution du problème

Les recherches sur la résolution de problèmes par analogie (présentées dans le chapitre 1) se sont attachées à mettre en évidence les mécanismes en jeu dans ces situations. Penser le rôle des connaissances quotidiennes dans la résolution de problèmes complexes demande d'abord de remettre en cause la distinction entre traits de surface et traits de structure (cf. chapitre 1). Les traits de surface, aussi dénommés habillage du problème, sont les éléments de l'énoncé considérés comme non pertinents pour la résolution tandis que les traits de structure sont les propriétés pertinentes à prendre en compte relativement au but à atteindre. Pourtant, dans la plupart des études réalisées, lors d'une résolution de problème par analogie, les participants s'appuient sur les similarités entre traits de surface pour choisir le problème source. Les similarités de surface sont de différentes natures : cela peut être l'histoire décrite dans l'énoncé, les propriétés des entités présentes dans les énoncés (Ross, 1987 ; 1989) ou encore le degré de similitudes sémantiques entre les objets présents (dépendant de l'organisation sémantique des connaissances en mémoire) (Holyoak et Thagard, 1989 ; 1995 ; Hummell et Holyoak, 1997).

Comme le souligne Sander (2008a), Cette distinction entre traits de surface et traits de structure est sous-tendue par la distinction entre apparence et essence (présente en philosophie) ainsi qu'à une conception dualiste séparant substrat et pensée, corps et esprit. Or cette dernière est remise en cause dès lors que l'on considère la cognition comme incarnée ou inscrite corporellement (Lakoff & Johnson, 1980 ; 1985 ; Varela et al., 1993) ; ces recherches soulignent le caractère indissociable de la perception, de l'action et de la conceptualisation. Aussi, comme le soulignent Hofstadter & Sander (2013) « *Surface et profondeur ne s'opposent pas, La surface est l'unique mode d'accès à la profondeur* » (p. 416)

En résolution de problèmes cette distinction entre traits de structure et traits de surface est caractéristique du point de vue de l'expert ; elle n'est pas accessible à l'apprenant qui n'a pas construit les catégories pertinentes pour cela. La représentation du problème que celui-ci peut construire dépend des traits qui apparaissent comme saillants en fonction de ses connaissances préalables. Autrement dit, les traits de surface (du point de vue de l'expert) sont les traits saillants pour le novice en fonction de ces connaissances du monde. Les apprenants se fondent sur ces traits saillants pour induire la structure du problème.

Il appartient au chercheur et à l'enseignant de comprendre les articulations entre connaissances naïves ancrées dans les expériences quotidiennes - associées à une interprétation spontanée du problème - la structure induite à partir des traits saillants de l'énoncé, et la structure profonde, représentation experte qui correspond à l'apprentissage visé.

Des propriétés et relations entre objets inductrices de structure

Bassok et collaborateurs (Bassok, 2001 pour une synthèse) se sont attachés à caractériser les structures induites par les connaissances sémantiques sur les entités présentes dans les énoncés de problèmes. Ils ont mis en évidence les « *structures interprétées abstraites* » construites par les participants à partir des propriétés des objets et relations entre objets dans différents types de problèmes. Par exemple, le problème suivant « *Jane veut placer 60 pommes dans 5 paniers de façon à ce qu'il y ait autant de pommes dans chaque panier. Combien de pommes doit-elle mettre dans chaque panier ?* » met en jeu des pommes et des paniers ; ces objets induisent une structure plus abstraite, la relation contenant-contenu, en adéquation avec le modèle tacite de la division « *diviser c'est partager* » (Bassok, 2001). Ceci a notamment été démontré par une tâche de production de problèmes (Bassok, Chase et Martin, 1998). La tâche consistait à produire des problèmes simples d'addition ou de division à partir de paires présentant un caractère symétrique (fille/garçon ; tulipe /rose ; crayon et feutre ; eau/ sirop) ou assymétrique (garçons/enseignants ; tulipe/vase ; crayon et pot ; eau/bouteille). Les résultats montrent qu'une relation symétrique entre entités conduit plus souvent à construire des problèmes additifs qu'une relation assymétrique : les participants divisent plus souvent des pommes entre différents paniers plutôt que l'inverse, et ils additionnent des pommes et des oranges plus facilement que des pommes et des paniers. Les relations entre objets induisent également le transfert analogique et la résolution pour différents types de problèmes (Bassok, 2001 pour une synthèse) : lors de la résolution de problèmes de permutation, il a été constaté que les problèmes mettant en jeu des objets et des personnes (par exemple, des prix et des étudiants) amenaient les sujets à construire une structure assymétrique alors que des problèmes impliquant des groupes de personnes similaires (par exemple, des médecins et des médecins) les amenaient à abstraire une structure symétrique (« *paire* »). Bien que les problèmes à résoudre aient été isomorphes, la structure induite par les entités présentes dans l'énoncé ont amené les participants à produire des transferts analogiques et des réponses différentes (Bassok, Wu et Olseth, 1995). Ainsi, des traits a priori non pertinents pour la résolution induisent des structures abstraites telles que la symétrie/assymétrie de la relation entre entités (Bassok Wu & Olseth, 1995), la relation contenu-contenant (Bassok, Chase & Martin, 1998), le caractère continu/discret de l'action réalisée (Bassok & Olseth, 1995), ou la relation partie-tout (Coquin-Viennot & Moreau, 2003), qui influencent le transfert analogique et la résolution du problème. Dans cette perspective, le transfert analogique consiste à mettre en relation les structures induites à partir des problèmes cibles et source, ce que Bassok (2001) conceptualise sous le terme *d'alignement sémantique*.

Cette structure induite par les traits saillants de l'énoncé facilite le transfert analogique et la résolution de certains problèmes lorsqu'elle coïncide avec la structure profonde (structure mathématique), mais induit en erreur les apprenants dans le cas contraire (Sander, 2008). Comme le souligne Bassok (2001), dans la plupart des manuels scolaires étudiés, structure induite et structure profonde coïncident ; dans les problèmes proposés les relations sémantiques entre entités correspondent avec les relations mathématiques étudiées.

Suite à ces premières recherches, au sein du projet ANR COEFF¹³, Sander et collaborateurs ont étudié les *effets de contenus* afin de mettre en évidence les structures induites par les énoncés de problèmes arithmétiques complexes d'addition et de soustraction étudiés à l'école primaire (Gamo, 2009 ; Gamo, Taabane & Sander, 2011). Dans ces recherches, des problèmes isomorphes admettant deux

¹³ Projet ANR COEFF (Content Effect)

procédures de résolution différentes étaient présentés. La nature des variables (effectif, prix, Poids, Hauteur et Durée) était manipulée. (Tableau 2).

Tableau 2. Exemple de deux problèmes additifs complexes et procédures de résolution admises

| Problème 1 | Problème 2 |
|---|--|
| <p>Variable effectif-prix Laurent achète au supermarché un classeur qui coûte 8 Euros et une trousse. Il paie 14 Euros. Un feutre coûte 3 Euros de moins qu'un classeur. Augustin achète une trousse et un feutre. Combien doit-il payer ?</p> | <p>Variable Âge Antoine a suivi les cours de peinture à l'école d'art pendant 8 ans et s'est arrêté à 17 ans. Jean a commencé au même âge qu'Antoine et a suivi les cours 2 ans de moins. A quel âge Jean s'est-il arrêté ?</p> |
| <p>Procédure-complément Calcul du prix de la trousse (partie commune) par Inférence de complément $14 - 8 = 6$ Calcul du prix du feutre par inférence de comparaison $8 - 3 = 5$ Calcul de ce qu'a payé Augustin par inférence de complément $6 + 5 = 11$</p> | <p>Procédure-complément Calcul de l'âge d'Antoine quand il a commencé les cours (partie commune) par Inférence de complément $17 - 8 = 9$ Calcul de la durée des cours pour Jean par inférence de comparaison $8 - 2 = 6$ Calcul de l'âge de Jean quand il s'est arrêté par inférence de complément $9 + 6 = 15$</p> |
| <p>Procédure-comparaison Calcul de ce qu'a payé Augustin par inférence de comparaison $14 - 3 = 11$</p> | <p>Procédure-comparaison Calcul de l'âge de Jean quand il s'est arrêté par inférence de comparaison $17 - 2 = 15$</p> |

Les résultats montrent que la nature de la variable influence tant la procédure de résolution utilisée que la performance. Les variables temporelle (Âge, Durée...) conduisent à une résolution directe (64 % des élèves) - alors que lorsque la variable est matérielle (Effectifs, Prix, Hauteur, Poids...), seulement 4 % des élèves résolvent avec la plus directe (procédure-comparaison), pourtant plus économique (Gamo *et al.*, 2011). Les auteurs en concluent que la nature des variables impliquées dans un problème induit des structures interprétées différentes qui conduisent à privilégier une procédure plutôt qu'une autre.

Les auteurs soulignent par ailleurs que la mise en œuvre de la procédure considérée comme la plus en adéquation avec la structure mathématique (procédure directe) n'est pas toujours révélatrice d'une conceptualisation du problème suivant une structure profonde :

« le codage sémantique spontané selon la structure induite est vecteur de performance qui ne révèle rien sur la conceptualisation, car il n'indique pas autre chose que l'usage approprié d'inférences portées par des connaissances congruentes avec la structure que l'on vise à enseigner » (Gamo et al., 2011, p. 148)

Or la plupart des énoncés de problèmes construits proposent des contextes « dans lesquels la catégorisation selon la structure induite ou profonde conduit à des performances identiques bien que ne relevant pas de conceptualisations de même nature » (Sander, 2008a, p. 118), ce qui ne permet pas de déterminer la nature des conceptualisations construites durant l'apprentissage.

Une démarche d'ingénierie pédagogique est donc nécessaire d'une part pour construire des situations permettant un diagnostic plus adéquat des conceptualisations mathématiques des élèves et d'autre

part pour construire de situations d'apprentissage conduisant de la structure induite à la conceptualisation mathématique recherchée.

Vers une démarche d'ingénierie pédagogique

Comment s'appuyer sur les connaissances naïves pour construire de situations pédagogiques significatives pour les apprenants ? Et comment conduire les élèves à passer d'une interprétation des énoncés de problème fondée sur les propriétés des objets et de leurs relations (structure induite) à une conceptualisation de leur structure mathématique ?

Selon, Sander (2008), pour réduire l'écart entre structure induite et structure profonde, « *Il semble essentiel de s'appuyer sur un codage congruent avec la procédure experte pour, par une démarche d'abstraction, élargir son champ d'application jusqu'à qu'il coïncide avec la structure profonde* » (Sander, 2008, p. 138) ; autrement dit il s'agit de susciter un cheminement d'une catégorisation fondée sur les connaissances naïves et les structures induites, vers une catégorisation selon la structure profonde. Plusieurs recherches (Gamo, 2009 ; Taabane, 2011 ; projet ACE) ont été conduites afin de construire les outils pédagogiques adéquats pour réduire l'écart entre structure induite et structure mathématique et ainsi soutenir la transition entre connaissances naïves, structures induites et structure profonde.

Un « encodage sémantique » fondé sur la comparaison des problèmes et des procédures

Gamo (Gamo, 2009 ; Gamo et al., 2010) a proposé une démarche pédagogique portant sur la résolution de problèmes additifs complexes admettant deux procédures de résolution (cf. encart X). L'objectif de cette démarche est d'amener les élèves à passer d'une représentation induite à partir du contenu de l'énoncé (structure induite) vers une représentation conforme à la structure profonde. Cette démarche est fondée sur le principe selon lequel la résolution d'une tâche complexe peut se faire en procédant à des re-catégorisations successives de la situation à des niveaux d'abstraction de plus en plus élevés (Sander & Richard, 1997 ; Sander, 2008). Pour ces problèmes additifs complexes, la distance entre structure induite et structure profonde dépend du contenu de l'énoncé. Si pour les problèmes d'âge, la structure induite (associée à une procédure par comparaison) coïncide avec la structure profonde (

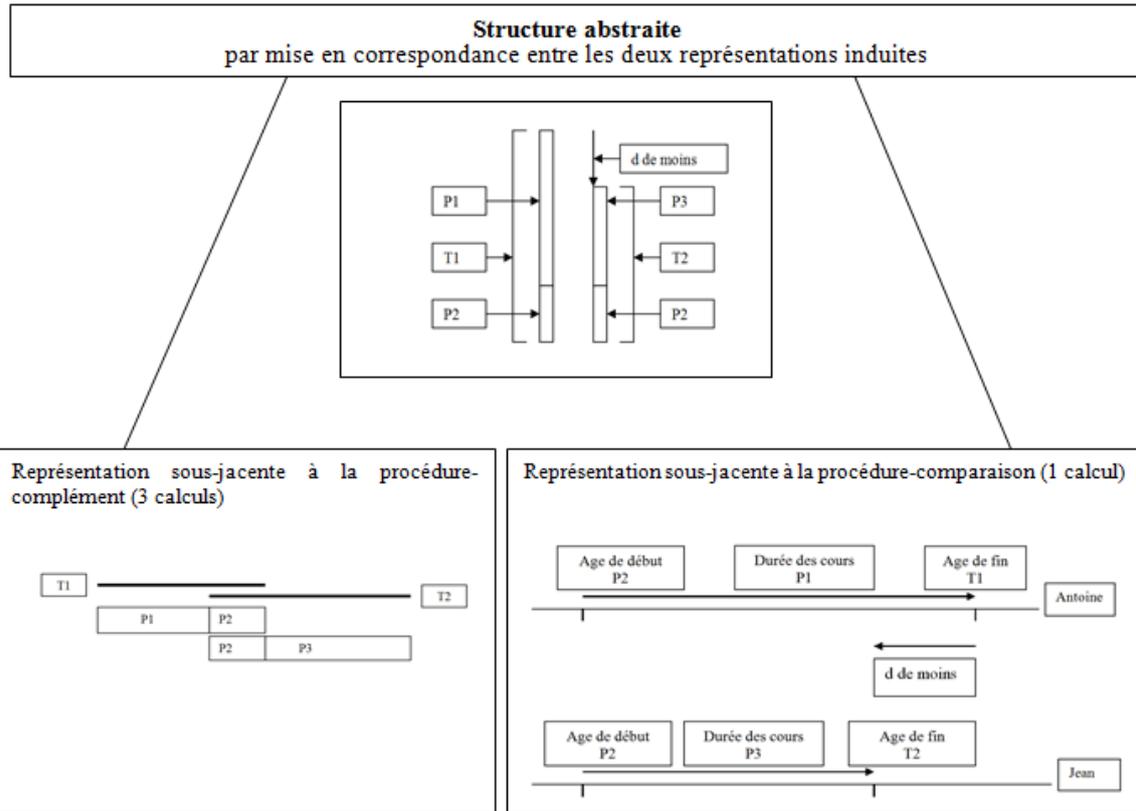


Figure 13), pour les problèmes d'effectif, ce n'est pas le cas, un codage ensembliste est privilégié (manifesté par la procédure par complément fréquemment utilisée) ; il s'agit alors de passer d'un codage ensembliste vers un codage différentiel (catégorisation du problème comme une situation de transfert d'écart).

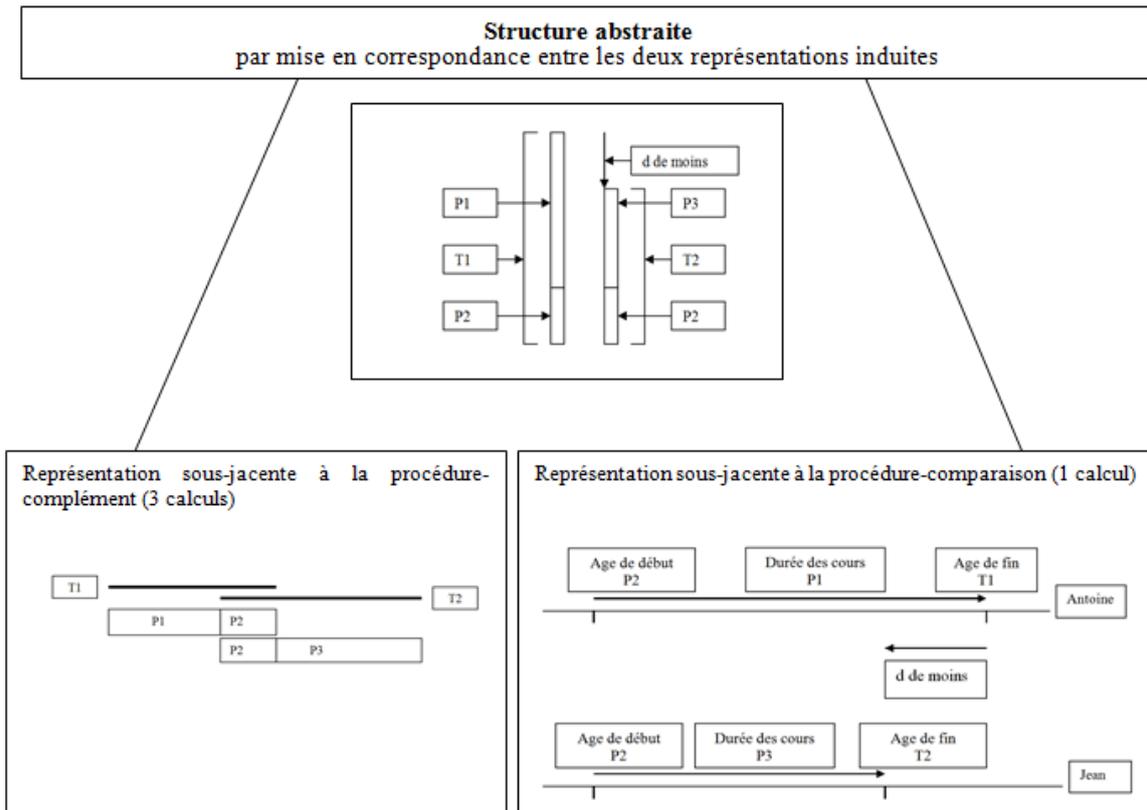


Figure 13. Structure abstraite et représentations induites par le problème suivant : « Antoine a suivi les cours de peinture à l'école d'art pendant 8 ans et s'est arrêté à 17 ans. Jean a commencé au même âge qu'Antoine et a suivi les cours 2 ans de moins. A quel âge Jean s'est-il arrêté ? »

En vue d'induire ces re-catégorisations, cette démarche propose de faire des comparaisons entre problèmes et entre procédures de résolution afin de conduire à la construction d'un codage commun compatible avec la structure profonde. L'efficacité de chacune de ces tâches de comparaison avait précédemment été démontrée. Il a été montré que la comparaison de deux situations analogues partiellement comprises favorise la construction d'une représentation plus abstraite du problème (Gentner, Loewenstein et Thompson, 2003, Loewenstein et al., 1999) : selon ces auteurs, la comparaison induit un processus d'alignement structural des deux situations qui rend leur structure commune plus saillante (Gentner et al., 2003, Kurtz, Miao et Gentner, 2001 ; Kurtz & Loewenstein, 2007). Le deuxième type de comparaison consiste à contraster deux stratégies pour résoudre le même problème (Brissiaud, 1994 ; Rittle-Johnson & Star, 2007 ; 2009 ; Rittle-Johnson, Star & Durkin, 2009), ce qui conduit les élèves à percevoir leur équivalence, augmente leur maîtrise des procédures, et conduit à l'utilisation de la plus efficace quelle que soit l'habillage des problèmes posés.

La démarche proposée par Gamo est originale en ce qu'elle articule ces deux types de comparaison afin de conduire des élèves d'école primaire à découvrir un alignement structural entre les situations comparées et à construire ainsi une représentation plus abstraite des problèmes proposés, de façon à privilégier la procédure de résolution la plus directe et la plus efficace. L'analogie entre problèmes se trouve *au coeur* de cette démarche : la mise en correspondance des énoncés, des procédures et des représentations sous-jacentes facilite la mise en relief des traits communs et l'abstraction du principe sous-jacent.

Les résultats montrent l'efficacité de cette démarche d'apprentissage (Gamo et al., 2010). Après entraînement, les élèves utilisent plus souvent une procédure-comparaison même sur des problèmes d'effectifs - ce qui peut être interprété comme une représentation du problème suivant sa structure profonde - et sont capables de généraliser ces connaissances à de nouvelles situations. Un plus grand nombre d'élèves sont également capables de justifier le choix de la procédure utilisée, et d'expliquer pourquoi la procédure-comparaison est plus courte.

Nous avons répliqué la même démarche auprès d'élèves scolarisés en éducation prioritaire (Gamo, Nogry & Sander, 2014), ayant pour la plupart un faible niveau en mathématiques (taux de réussite inférieurs à 50% aux évaluations nationales pour les épreuves de mathématique). En effet, selon les études réalisées auprès d'élèves scolarisés en éducation prioritaire (Bautier & Goigoux, 2004 ; Bonnery, 2007), ces élèves - dont la culture familiale est souvent éloignée de la culture scolaire - ont des difficultés à décontextualiser les savoirs et à comprendre la finalité des apprentissages ; il est difficile pour eux d'adopter ce que les auteurs appellent une « *attitude de secondarisation* ». D'autres études ont par ailleurs montré que les élèves ayant des difficultés importantes en mathématiques éprouvent des difficultés à changer de point de vue au cours de la réalisation de différentes activités mathématiques (Perrin-Glorian, 1993 ; Andersson, 2008), ont un manque de flexibilité dans l'interprétation du problème (Bloch, 2008), et se caractérisent par un déficit relatif à l'intégration des différentes propositions de l'énoncé du problème en une représentation cohérente (Andersson, 2008). Dans ces conditions, la démarche d'ingénierie pédagogique proposée peut-elle conduire les élèves à décontextualiser et à construire de nouveaux points de vue sur le problème posé ?

La réplique de cette étude a montré qu'à l'issue de l'entraînement proposé, un plus grand nombre d'élèves deviennent capables de construire une représentation alternative du problème, plus abstraite que la structure induite par l'énoncé. Un effet de la démarche d'apprentissage sur l'utilisation de la procédure alternative est effectivement observé (Tableau 3) et cet effet est comparable à celui démontré en classe « ordinaire » (Gamo et al., 2010).

Tableau 3. Fréquences (et écarts-types) d'utilisation des procédures et réponses correctes obtenues par les deux groupes lors du pré-test et du post-test.

| | Pré-test | | | Post-test | | |
|-----------|-----------------------|----------------------|-------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| | Procédure-comparaison | Procédure-complément | Performance | Procédure-comparaison | Procédure-complément | Performance |
| Ge | 0,15 | 0,26 | 0,42 | 0,25 | 0,28 | 0,53 |
| | (0,11) | (0,27) | (0,24) | (0,19) | (0,27) | (0,28) |
| Gc | 0,17 | 0,19 | 0,37 | 0,15 | 0,34 | 0,51 |
| | (0,16) | (0,22) | (0,25) | (0,13) | (0,23) | (0,19) |

La capacité à utiliser plus souvent la procédure alternative à l'issue de la phase d'apprentissage montre que la démarche proposée a enrichi le registre des procédures de résolution à disposition des élèves et les a conduits à changer de point de vue sur le problème. Ces élèves ont su faire preuve de flexibilité représentationnelle suite à un entraînement.

Ainsi, s'appuyer sur de situations inductrices de connaissances familières est efficace pour élargir le domaine de connaissances des élèves et pour acquérir des connaissances plus abstraites. Cela favorise

le déplacement de l'attention des élèves de la recherche du résultat vers la procédure elle-même en les conduisant à comparer et à s'interroger sur ces différentes procédures.

Toutefois, notons que cette démarche d'apprentissage n'a pas un effet équivalent chez tous les élèves. En effet, pour comprendre les différentes procédures présentées et élargir son répertoire, il est nécessaire d'avoir une certaine compréhension de la procédure utilisée spontanément (procédure-complément), ce qui, pour certains, est à construire. De plus, si les élèves utilisent plus souvent la procédure-comparaison à l'issue de la phase d'apprentissage, tous ne transfèrent pas son utilisation à tous les problèmes du post-test. L'efficacité de cette démarche rencontre donc certaines limites, qu'une phase d'apprentissage plus longue pourrait possiblement lever.

Une reconceptualisation fondée sur une métaphore ancrée par un geste

Suite à cette première proposition, d'autres approches fondées sur le même principe – s'appuyer sur les connaissances naïves pour construire une représentation en adéquation avec le concept mathématique travaillé - ont été proposées. Ainsi, une démarche pédagogique a été conçue et mise en œuvre pour travailler le concept de moyenne (Taabane, 2011) ; Celle-ci consiste à proposer une situation concrète de manipulation d'objets qui incarne les propriétés du concept de moyenne.

Comme le montre Taabane (2011), dans l'étude des connaissances naïves du concept de moyenne certains gestes constituent des métaphores ancrées (Lakoff & Nunez, 2000) ou modèles comportementaux (Taabane, 2011) associés à la moyenne. Le geste de *soupeser* ou *couper en deux* renvoie à une représentation naïve de la moyenne comme point du milieu. Ces gestes incarnent ce concept en synthétisant procédure et conceptualisation, mais ne sont valides que dans des situations très spécifiques.

La démarche conçue par Taabane (2011) consiste à proposer un modèle comportemental compatible avec le concept de moyenne tel qu'il est défini en mathématiques : la valeur dont la somme des écarts entre cette dernière et chaque donnée est nulle. Ce concept et ce modèle comportemental reposent sur une relation d'écart de chaque donnée à la moyenne. Le concept de moyenne est « incarné » dans une situation de nivelage de tours : face à un ensemble de tours en briques de différentes hauteurs, la tâche consiste à égaliser leur hauteur en déplaçant les briques des tours les plus hautes vers les plus petites. La hauteur obtenue à la fin du processus correspond à la hauteur moyenne des tours initiales. Ce geste de nivellement incarne le concept de moyenne ; une explicitation de sa relation avec le concept de moyenne conduit l'apprenant à observer que les écarts se compensent les uns, les autres, donc s'annulent.

L'étude réalisée montre qu'à l'issue d'un apprentissage fondé sur cette démarche, les apprenants comprennent mieux le concept de moyenne, et les relations que la formule permet de définir entre la moyenne et ses données. Cela leur permet de mieux résoudre les tâches nécessitant une compréhension approfondie du concept que les élèves ayant suivi un cours classique (Taabane, 2011).

Discussion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord présenté une conception renouvelée de l'analogie, pensée comme mécanisme organisateur de la pensée (Sander, 2008 ; Hofstadter & Sander, 2013), puis la fonction centrale de ce mécanisme dans le développement conceptuel - pensé comme une succession d'analogies et une mise en relation entre les catégories qui en résultent – avant d'introduire ses

implications pour étudier les apprentissages scolaires. Sur la base de ce programme de recherche élaboré par Sander (2008) plusieurs études ont été réalisées au sein de l'équipe Compréhension, Raisonnement et Acquisition de Connaissances (laboratoire Paragraphe) auxquelles nous avons contribué.

Le premier axe de recherche portait sur le rôle des connaissances naïves dans les apprentissages scolaires. Il a été montré que ces connaissances naïves fondées sur l'expérience vécue et les actions réalisées au quotidien ont des répercussions sur les apprentissages scolaires même en mathématiques. Dans le domaine des apprentissages arithmétiques, nous avons contribué à montrer que ces connaissances naïves ancrées sur les expériences quotidiennes guident l'interprétation des opérations proposées en cours de mathématiques ; la métaphore de la collection d'objet est prégnante pour penser les opérations arithmétiques même en fin d'école élémentaire (Torres, 2014 ; Torres & Nogry, en préparation).

Le second axe vise à comprendre les conditions qui favorisent le passage des connaissances naïves et de la structure induite par la situation d'apprentissage à une représentation qui coïncide avec la structure mathématique du problème / la définition du concept étudié en vue de concevoir des démarches d'ingénierie pédagogique. Nous avons présenté dans ces chapitres deux de ces dispositifs, l'un fondé sur la comparaison des problèmes et des procédures, l'autre sur la manipulation d'objets pour amener en vue d'incarner le geste de nivellement. Il est à noter que dans ces deux démarches, des inscriptions, des gestes et des artefacts participent à la construction de la représentation de la situation étudiée, ainsi qu'à la comparaison et à la mise en correspondance avec d'autres situations. En effet, dans la démarche pédagogique proposée par Gamo (Gamo, 2009 ; Gamo et al., 2010), la comparaison entre problèmes et entre procédures, n'est pas seulement une activité individuelle ; elle est composée d'alternances entre temps de travail individuels et collectifs, soutenus par des gestes, des inscriptions, des objets à manipuler, sans que soit analysée leur fonction dans la démarche d'apprentissage des élèves.

Notre contribution à ce second axe a été double. Elle a consisté d'une part à répliquer la démarche fondée sur la comparaison des problèmes et des procédures auprès d'un public scolaire considéré comme ayant des difficultés à décontextualiser, et à changer de point de vue (Gamo et al., 2014). Elle a consisté d'autre part à réaliser une analyse de cette séquence dans une perspective située afin de comprendre les fonctions de ces gestes, inscriptions et artefacts dans le processus d'abstraction qui s'opère durant cet apprentissage (présentée chapitre 4).

En préambule à la description de cette étude, le chapitre 3 est une synthèse des recherches sur l'apprentissage dans une perspective située. Le chapitre 4 présente ensuite cette étude ainsi que d'autres recherches que j'ai menées sur le rôle de l'analogie dans les apprentissages scolaires dans une perspective située.

Chapitre 3. Penser l'apprentissage dans une perspective située

L'étude de l'apprentissage dans une perspective située (« *situated learning* ») s'est développée aux Etats-Unis suite aux recherches ayant mis en avant le caractère situé du raisonnement (Lave, 1988 ; Suchman, 1987)¹⁴ et l'importance de la participation à une communauté de pratique dans les apprentissages et le développement (Lave et Wenger, 1991). Les fondements de cette approche socio-constructiviste des apprentissages sont les suivants : la connaissance se construit dans l'action, *elle est produite et structurée par l'activité réalisée par l'individu en situation* (Brown, Collins et Duguid, 1989). L'*activité* est donc centrale ; elle constitue l'unité d'analyse de cette approche. Brown et al. (1989) soutiennent également que les connaissances, l'activité et la culture partagée par les acteurs y participant sont indissociables. Dans cette perspective, l'apprentissage est un processus d'enculturation résultant des actions réalisées en situations.

Ce chapitre présente ce qui caractérise l'étude de l'apprentissage dans une perspective située. Une première section présente les principaux arguments développés par Greeno (1997 ; 1998), en soulignant les spécificités et l'intérêt de cette perspective par rapport à d'autres approches. Ensuite chacune de ces spécificités sera approfondie à la lumière des recherches plus récentes puis les implications méthodologiques de l'étude de l'apprentissage dans cette perspective seront discutées.

Qu'entend-on par apprentissage situé ?

Qu'entend-on par apprentissage situé et en quoi cette perspective se différencie-t-elle de l'étude de l'apprentissage dans une perspective *cognitiviste* ? Telles sont les questions auxquelles Greeno (1997 ; 1998) s'est attaché à répondre notamment dans le cadre d'une controverse introduite par Anderson, Reder et Simon (1997) dans la revue *educational research*. Dans cette controverse, Greeno (1997), spécialiste de l'apprentissage des mathématiques, revient sur le modèle de l'apprentissage dominant en psychologie cognitive (cf. chapitre 1) pour mettre en évidence ce qui caractérise la perspective située et ce qui l'amène à repenser la *généralisation, l'abstraction, le transfert et la connaissance*. Nous reprenons dans cette section ses principaux arguments.

De l'étude des effets de contexte à l'étude de l'apprentissage en situation

De nombreuses recherches en psychologie cognitive et développementale mettent en évidence les effets de facteurs contextuels sur les apprentissages. La psychologie cognitive prend comme objet d'étude la cognition individuelle puis intègre à ses analyses d'autres composants interprétés comme des facteurs contextuels, objectivement descriptibles, souvent envisagés comme des variables indépendantes ayant des effets sur l'apprentissage.

Du point de vue de la perspective située, dans toute activité, le contexte - environnement matériel et social - est considéré comme *un réseau extraordinairement complexe soutenant l'activité des participants* (Brown et al., 1989, p. 9) dont l'absence modifie la situation d'apprentissage, souvent de façon tacite. L'environnement matériel et social offre ainsi un ensemble de ressources et impose des contraintes qui influent sur le déroulement de l'activité¹⁵ ; dans cet environnement, les éléments signifiants pour les participants (qui constituent leur monde propre) varient et évoluent au cours du temps en fonction de leur activité. L'individu a par ailleurs la possibilité de modifier certains aspects

¹⁴ Cf. partie 1, chapitre 1, section « *cognition située* »

¹⁵ Voir par exemple les études réalisées par Kirsh et collaborateurs (Kirsh , 2009 pour une sytnhèse) sur les fonctions des objets et inscriptions utilisées en résolution du problème

de cet environnement au cours de l'activité, ce que Lave (1988) nomme le *setting*¹⁶. Dans cette perspective l'individu et son environnement social et matériel sont considérés comme deux parties d'un même système se construisant mutuellement ; il s'agit alors de *caractériser les interactions entre ces deux parties et ce qui se construit dans cette interaction* (Greeno, 1997).

Ainsi l'étude de l'apprentissage dans une perspective située consiste à étudier la participation des individus à une activité en situation et à suivre leur trajectoire à travers différentes situations.

Dans cette approche, l'unité d'analyse est non pas la connaissance à acquérir ou les processus cognitifs en jeu, mais l'activité dans laquelle le sujet est engagé (Greeno, 1997). Ce changement d'unité d'analyse amène à étudier autrement les apprentissages scolaires.

Distinguer généralisation et abstraction

Dans l'approche cognitiviste, de nombreuses recherches sur l'apprentissage portent sur la résolution de problèmes ; l'apprentissage y est modélisé comme la construction d'une représentation mentale abstraite (un schéma) du problème et de sa solution, applicable ensuite dans différentes situations. La possibilité de généraliser à des situations nouvelles dépend de degré d'abstraction auquel est encodé le problème initialement résolu. Cette conception d'une connaissance abstraite « applicable » à des situations variées suppose que la connaissance soit indépendante de l'activité et de l'environnement social et matériel dans laquelle elle a été développée ou est utilisée, présumés remis en cause par la perspective située.

Dans l'approche située, abstraction et généralisation sont distingués :

“In cognitivity, generality depends on acquiring knowledge in the form of abstract representations and also acquiring procedures for applying the representations in many situations. In situativity, generality depends on learning to participate in interactions in ways that succeed over a broad range of situations.” (Greeno, 1997, p. 7)

“We should begin by distinguishing between the concepts of abstraction and generality, rather than assuming that these are synonymous. It could turn out that abstractions are general, but that would have to be a conclusion, rather than something we can take for granted. It seems more likely that knowing how to use abstract representations can be a significant part of general knowing, but that knowing abstractions is neither sufficient nor necessary for generality.” (Greeno, 1997, P. 13)

Dans cette perspective le processus de généralisation procède d'une multiplication des expériences situées, de re-contextualisations successives. La généralisation dépend de la capacité à interagir avec l'environnement social et matériel de façon à réussir dans une grande variété de situations. Les représentations abstraites sont conceptualisées comme des outils ou des ressources mobilisables au cours de l'activité, mais leur construction n'est pas une condition nécessaire à la généralisation (Brown et al., 1989 ; Greeno, 1998).

¹⁶ Lave précise ce qui est entendu par contexte en distinguant l'Arène (arena) du *Setting* :

- L'arène (arena) désigne les aspects du contexte qui ont des propriétés durables et publiques non directement négociables par l'individu (objets, outils, ancrage spatio-temporel, techniques, savoirs, etc.)
- Le *setting* désigne la nature constructible et malléable du contexte en relation avec l'activité de chaque individu

L'abstraction est, elle, la capacité à utiliser des représentations abstraites. Selon Greeno (1997), c'est une pratique sociale consistant à savoir interpréter différents systèmes de représentations symboliques (système d'équation, représentations graphiques, etc.) en l'absence de ce à quoi ils réfèrent. Noss & Hoyles (Hoyles, Noss & Pozzi, 2001 ; Noss & Hoyles, 1996) introduisent le terme d'abstraction située pour souligner que ces instruments (artefacts et représentations symbolique) sont constitutifs du sens construit par l'individu au cours de l'activité mathématique.

L'apprentissage consiste alors à participer à des pratiques sociales permettant de donner du sens aux représentations symboliques existantes et de partager les conventions qui régissent leur utilisation dans différentes situations (Greeno, 1997). Ces représentations symboliques peuvent permettre de mettre en évidence des propriétés de la situation, d'explorer, de rechercher des relations entre différents paramètres qui soutiendront ensuite des formes d'interaction généralisables à un ensemble de situations.

L'abstraction est ainsi considérée avant tout comme une propriété des représentations externes utilisées au cours de l'activité. Les représentations abstraites sont définies comme des représentations sémiotiques plutôt que des représentations mentales. Du point de vue de Greeno (1997 ; 1998), ceci n'exclut pas que des représentations mentales soient construites et mobilisées au cours de l'activité. Dans la perspective située, *les processus de construction et d'interprétation de ces représentations mentales est fondamental à la fois pour la pratique sociale et pour la démarche de recherche* (Greeno, 1997, p. 11) ; ces représentations sont alors analysées en fonction de ce à quoi elles réfèrent dans l'activité.

Cette conception alternative de l'abstraction et de la généralisation amène à repenser les mécanismes en jeu dans le transfert.

Vers une autre conception du transfert

Un objectif central de l'enseignement est de proposer des expériences d'apprentissage qui soient utiles au-delà des conditions d'apprentissage initiales (Lobato, 2006).

Dans la perspective cognitiviste, il s'agit de construire en classe des connaissances et procédures qui soient transférables à des situations nouvelles. Le transfert peut être défini de la façon suivante :

“Transfer between tasks is related to the degree to which they share common elements, although the concept of elements must be defined cognitively” (Bransford, Brown, & Cocking, 2000, p. 78).

Il s'agit de construire des représentations mentales abstraites et décontextualisées des concepts et procédures en jeu dans la situation d'apprentissage - des schémas - pouvant être mises en correspondance avec une diversité de situations nouvelles (Anderson et al., 1995; Reed, 1993).

Un ensemble d'études ont démontré la faible utilisation des connaissances et procédures apprises en classe - notamment en arithmétique - dans des situations quotidiennes ou professionnelles¹⁷ (Lave, 1988 ; Noss, Hoyles et Pozzi, 2001 ; Carraher, 2008), et les difficultés à résoudre un nouveau problème par analogie à un problème connu sans indice explicite (voir par exemple Gick & Holyoak, 1980 ; 1983). Certains chercheurs en ont conclu que le transfert se produit plutôt rarement (Gruber, Law, Mandl & Renkl, 1995, cité par Hatano et Greeno, 1999).

Ce constat a soulevé de nombreuses questions sur les conditions qui favorisent le transfert (voir par exemple Nogry & Didierjean, 2006), mais aussi sur les méthodes mises en œuvre pour l'étudier (Lave, 2008 ; Sander, 2001 ; Hatano & Greeno, 1999 ; Marton, 2006). Il est en effet discutable de privilégier un transfert à court terme entre un petit nombre de problèmes très spécifiques sélectionnés selon leurs relations du point de vue des experts.

Les mécanismes du transfert sont également questionnés. Dans la conception classique du transfert, une fois la mise en correspondance réalisée, le mécanisme repose sur l'adoption « passive » de structures cognitives existantes - les schémas - pour résoudre de nouvelles tâches. Dans des termes

¹⁷ Cf. Partie 1, chapitre 1

piagetiens, cette approche donne un poids central à l'*assimilation* d'une situation nouvelle à une situation passée et minimise les mécanismes d'*accommodation*.

Dans la perspective située, le concept même de transfert est discuté. Une conceptualisation plus dynamique de la connaissance est proposée. Selon Lave (1988), la connaissance ne pré-existe pas avant son « application » dans la situation nouvelle, mais est au contraire constituée en situation à partir des contraintes et ressources offertes par l'environnement et des expériences passées mobilisées par l'apprenant comme des ressources pour l'action. Cette conception dynamique de la connaissance est également celle soutenue par l'énaction (Maturana & Varela, 1980) selon laquelle la connaissance est une activité *située, couplée, vécue* qui inclut à la fois ce qui est connu et ce qui est fait pour connaître (Steiner, en préparation).

Dans cette perspective, Greeno (1997 ; 1998) a proposé une autre approche du transfert, consistant à comprendre comment apprendre à participer à une activité dans une situation peut influencer positivement ou négativement la participation à une autre activité dans une situation différente.

Une approche socio-culturelle de l'apprentissage et du transfert

Comme le soulignent Hatano & Greeno (1999), l'approche située des apprentissages est avant tout une approche socio-culturelle. L'apprentissage prend la forme de la participation à des pratiques culturellement organisées qui sont intéressantes / signifiantes pour les participants ; l'interaction continue avec d'autres personnes et avec différents outils y est centrale. Cette participation à l'activité au sein d'un collectif est susceptible de faciliter par la suite la réalisation d'autres activités dans d'autres situations. Bien que l'acquisition de connaissances ne soit pas systématiquement visée, une participation répétée favorise le développement de compétences et de connaissances nécessaires pour réaliser efficacement l'activité (Hatano et Greeno, 1999). L'engagement dans une pratique conduit également à partager des normes et des valeurs relatives à l'activité ainsi qu'à l'affirmation d'une identité au sein d'une communauté partageant les mêmes pratiques (Greeno, 1998).

Dans cette perspective, le manque de transfert des situations scolaires vers des situations quotidiennes n'est pas surprenant :

« in everyday learning situations it is rather rare that people have to apply the relevant prior knowledge without any hint or other forms of support. » (Hatano & Greeno, p. 653)

Dans les sections suivantes le rôle des inscriptions et de l'environnement matériel dans la construction de représentations abstraites sera approfondi, avant d'aborder les conceptions alternatives du transfert et de discuter de ce que la conception de l'apprentissage comme enculturation signifie dans le cadre scolaire.

Rôle des inscriptions dans la construction de représentation abstraite

Comme le met en évidence Greeno (1997 ; 1998), la distinction entre abstraction et généralisation conduit à penser autrement l'abstraction, à la conceptualiser comme une abstraction située, fondée sur des inscriptions et des artefacts qui assurent des fonctions de médiation. Les fonctions de médiation des inscriptions dans les apprentissages scolaires ont par ailleurs été étudiées par les approches sémiotiques, inspirées des recherches de Vygotski. Ainsi comme le soulignent Saenz-Ludlow et Presmeg (2006) en exergue d'un numéro consacré à ces approches :

“the teaching and learning of mathematics is, essentially, a collaborative semiotic activity mediated by the simultaneous use, re-creation, interpretation, and appropriation of a variety of semiotic systems”. (Saenz-Ludlow & Presmeg, 2006, p. 2).

Il s'agit alors de comprendre par quels mécanismes les apprenants donnent sens à la situation au cours de l'activité en utilisant, créant ou s'appropriant différents systèmes de

représentations sémiotiques¹⁸ tels que le langage, les systèmes de comptage, des symboles algébriques, l'écriture, les schémas, diagrammes, cartes et autres types de signes conventionnels.

Duval (1995 ; 2006) met ainsi en évidence le rôle crucial des *conversions entre différents registres sémiotiques* dans l'enseignement-apprentissage de l'algèbre. Selon cet auteur (Duval, 1995), les objets mathématiques sont accessibles uniquement par le moyen des représentations sémiotiques (systèmes d'équation, représentations graphiques, etc.). Ceux-ci permettent d'accomplir trois activités cognitives spécifiques :

- constituer une trace ou un assemblage de traces perceptibles identifiables comme une représentation de quelque chose dans un système déterminé,
- transformer ces représentations (Figure 14),
- convertir les représentations produites dans un système en représentations d'un autre système, afin de mettre en évidence d'autres significations relatives à ce qui est représenté (Figure 14).

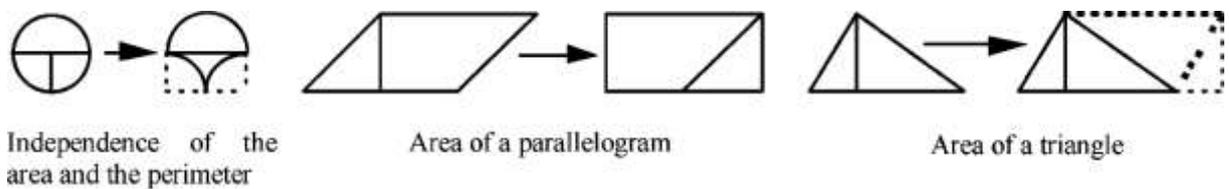


Figure 14. Transformation des représentations au sein d'un même registre (Duval, 2006, p. 112)

Selon lui, « La compréhension conceptuelle, la différenciation, la maîtrise des différentes formes de raisonnement, les interprétations des énoncés sont intimement liées à la mobilisation et à l'articulation quasi-immédiate de plusieurs registres de représentation sémiotique » (Duval, 1995 p. 7).

La conversion d'un registre à l'autre (Figure 15) transforme les contraintes qui pèsent sur l'activité, rend possible la construction d'autres significations et augmente les possibilités d'action.

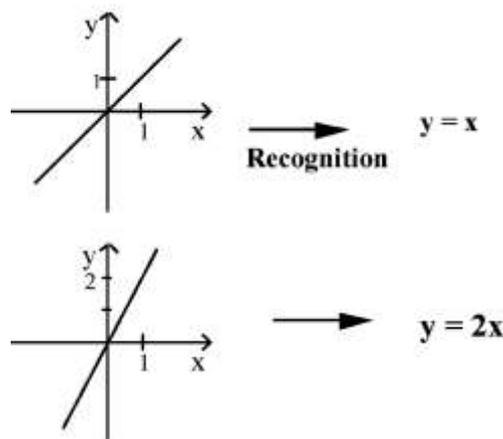


Figure 15. Conversion d'un registre sémiotique à un autre (Duval, 2006, p. 113)

¹⁸ Un système sémiotique comprend un ensemble de signes, de règles de productions et de relations entre les signes et leur signification (Ernest, 2006)

Dans cette perspective, le développement conceptuel passe par *l'apprentissage des conversions entre représentations dans différents registres sémiotiques et par l'analyse de co-variations entre deux représentations sémantiques*. Ces conversions d'un registre sémiotique à un autre sont sources de difficulté pour les apprenants. Elles sont facilitées s'il existe une correspondance sémantique entre les unités signifiantes qui les constituent, s'il est possible de convertir une unité signifiante de départ en une seule unité signifiante dans la représentation d'arrivée (Duval, 2006).

Radford (2006 ; 2009) a par ailleurs étendu cette approche sémiotique en mettant en évidence le rôle central du corps, des gestes, du langage et des artefacts dans l'élaboration de représentations abstraites. Lors d'une observation de l'activité des élèves en classe de collège, il met en évidence l'élaboration de concepts mathématiques à travers la coordination entre langage, corps, gestes, inscriptions et artefacts (Encart 2).

L'enseignant montre un phénomène à *mathématiser* devant la classe



Figure 1. The teacher shows a conical container with coloured water. The water flows out from the bottom of the container at a constant rate. The first day, the students were asked to make graphs expressing qualitative relationships between several variables (e.g. volume and height of the water in the container; volume and time; radius and time, etc.), as the water flows out.

Les élèves travaillent par groupe pour produire une représentation graphique du phénomène

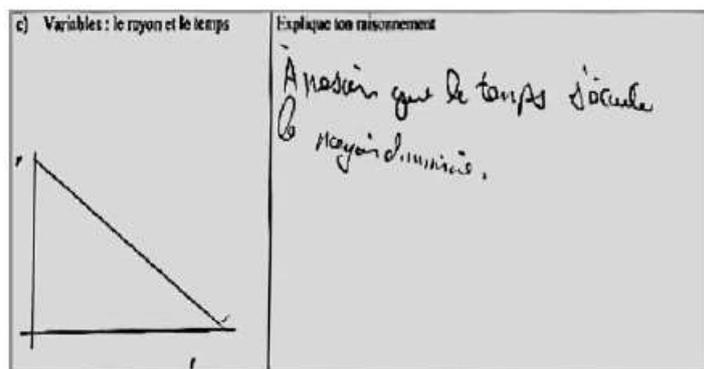


Figure 2. Students' graph of the relationship between the radius of the circle of the top surface of the water remaining in the container and the elapsed time. To the right, the students' explanation: "As time goes by, the radius diminishes."

Puis l'enseignant les interroge sur le graphe pour les conduire à apporter des précisions :

4. Teacher: (To prompt the students to reinterpret their graph, the teacher says), What does this tell me about the change in the radius with respect to time? Just by looking at your graph (he points to the graph).
5. Diane: The radius diminishes as the time increases.
6. Sylvain: (Completing Diane's remark) As the time increases [. . .]
7. Teacher: Yeah, but (emphasizing the words) in which way does it diminish?
8. Diane: In a constant way!
9. Teacher: Is that what you believe?
10. Diane: I believe that it diminishes in a constant way.
11. ' Edouard: I think so.
12. Sylvain: Yeah! I don't see why (the radius) would diminish more quickly [. . .] Why could it diminish more quickly? The opening (at the bottom of the cone) is always the same. The liquid always flows at the same speed.
13. Teacher: Yes, but there you're talking . . . you're talking about the volume.
14. Diane: I think that it's in a constant way.
15. ' Edouard: Uh, humm?
16. Sylvain: Well!
17. Teacher: [. . .] the liquid that flows out is the volume.
18. Sylvain: Ah! That's true . . .
19. Teacher: [. . .] You have to think in terms of the radius. There you're talking about the volume [. . .]
20. ' Edouard: Is it true that they (the radius and the time) change in an opposite way?
21. Diane: Yes, because if one of them increases the other diminishes.
22. Sylvain: But is it really in a constant way?
23. ' Edouard: Well, we don't know. I think that we . . . (interrupted by Sylvain).
24. Sylvain: Like . . . the volume (flows out) in a constant way. . . but the radius (short period of reflection) . . . (Talking to the teacher) You confused us!

25. Teacher: Well... no! This is what you have to think about! It's exactly that... [..]

Le groupe d'élèves poursuivent leur réflexion. Puis, pour les aider à préciser leur raisonnement, l'enseignant reproduit l'expérience devant eux.

A l'issue de nouveaux échanges, ils produisent un nouveau graphe :

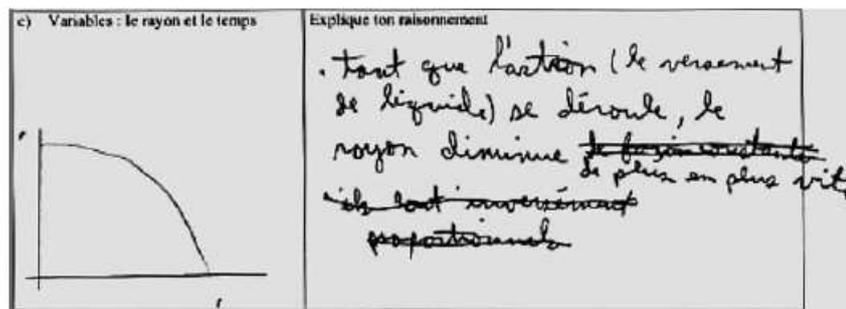


Figure 4. New graph drawn by the students to express the relationship between the radius and the elapsed time. The explanation now reads: "as the action (the pouring of the liquid) takes place, the radius diminishes more and more quickly."

Dans cet exemple, Radford met en évidence le rôle des interactions, des artefacts et des inscriptions dans l'élaboration d'un nouveau concept mathématique à partir d'une situation concrète. A partir de l'observation, la situation est représentée symboliquement sous forme d'inscriptions supports à des échanges qui conduisent à de nouvelles observations, et à une représentation « raffinée », du concept en jeu :

« through words, artefacts, mathematical signs, and gestures – i.e. through semiotic means of objectification – the mathematical object 'relationship between the variables radius and time' was made apparent to the students. » (Radford, 2006, p. 57)

Les analyses conduites de façon répétée dans différentes classes l'ont conduit à proposer une conception matérielle et multimodale du développement de la pensée mathématique abstraite :

« The very texture of thinking, it is suggested, cannot be reduced to that of impalpable ideas; it is instead made up of speech, gestures, and our actual actions with cultural artifacts (signs, objects, etc.) » (Radford, 2009 p. 111)

Cette conception alternative de l'abstraction comme processus de construction de sens à travers la création, l'utilisation, l'adaptation et la conversion d'artefacts à la fois matériels et symboliques amène à repenser les mécanismes en jeu dans le transfert.

Repenser le transfert

Suite aux critiques émises vis-à-vis de la conception du transfert dans une perspective cognitiviste (cf. Lave, 1988 ; Greeno, 1997 ;1998 ; Hatano & Greeno, 1999), la nécessité de reconceptualiser le transfert a émergée, comme en témoignent ayant donné lieu à plusieurs numéros thématiques dans the *Journal of Learning Science* (cf. Lobato, 2006 ; Engle, 2012) et the *Educational Psychologist* (cf. Goldstone, 2012).

En premier lieu, les recherches portant sur l'analyse du transfert dans des conditions écologiques (analyse de l'activité des apprenants en classe, résolution de problème en situation quotidienne, etc.) mettent en évidence le caractère dynamique de la généralisation des apprentissages à des situations nouvelles. Il ne s'agit plus de transférer une connaissance déjà là mais d'être actif face à une situation nouvelle (Figure 16) ; le processus de généralisation implique alors une reconstruction de la compréhension de situation déjà rencontrées (Carragher & Schliemann, 2002) et la construction de relations entre situations ou entre éléments composant la situation nouvelle (Lobato & Siebert, 2002). Ce premier constat amène à redéfinir le transfert *comme l'influence des activités antérieures des apprenants sur leur activité dans des situations nouvelles* (Lobato, 2006, p. 436). Cette conception dynamique du transfert soulève de nouvelles questions : qu'est-ce qui se transfère (Engle, 2012) ? quel rôle joue l'apprenant dans ce processus (Goldstone, 2012) ? Quels sont les mécanismes en jeu dans le transfert, dans cette perspective socio-constructiviste (Lobato, 2006) ?

Comme le résume Engle (2012), face à une situation nouvelle, ce qui est transféré ne se limite pas à des procédures et à des principes abstraits (schémas), mais peut aussi inclure des principes ancrés perceptuellement (perceptually-grounded principles) (Goldstone & Wilensky, 2008), des stratégies d'apprentissage (Engle, Nguyen, & Mendelson, 2011), des dispositions à agir (Bereiter, 1995)¹⁹, des expériences vécues passées associées à un sentiment spécifique (*episodic feelings*) (Nemirovsky,

¹⁹ Définies par l'auteur comme une combinaison de caractéristiques personnelles telles que la persévérance ou la capacité à prendre des risques, impliquées dans le développement de la créativité

2011), l'usage de représentations sémiotiques (Greeno et al., 1993 ; Greeno & van de Sande, 2007 ; Lobato, 2008), des pratiques discursives (Engle, 2006), ou encore des positionnements identitaires (Greeno, 2006). Dès lors il s'agit de repenser les mécanismes en jeu dans le transfert en situation.

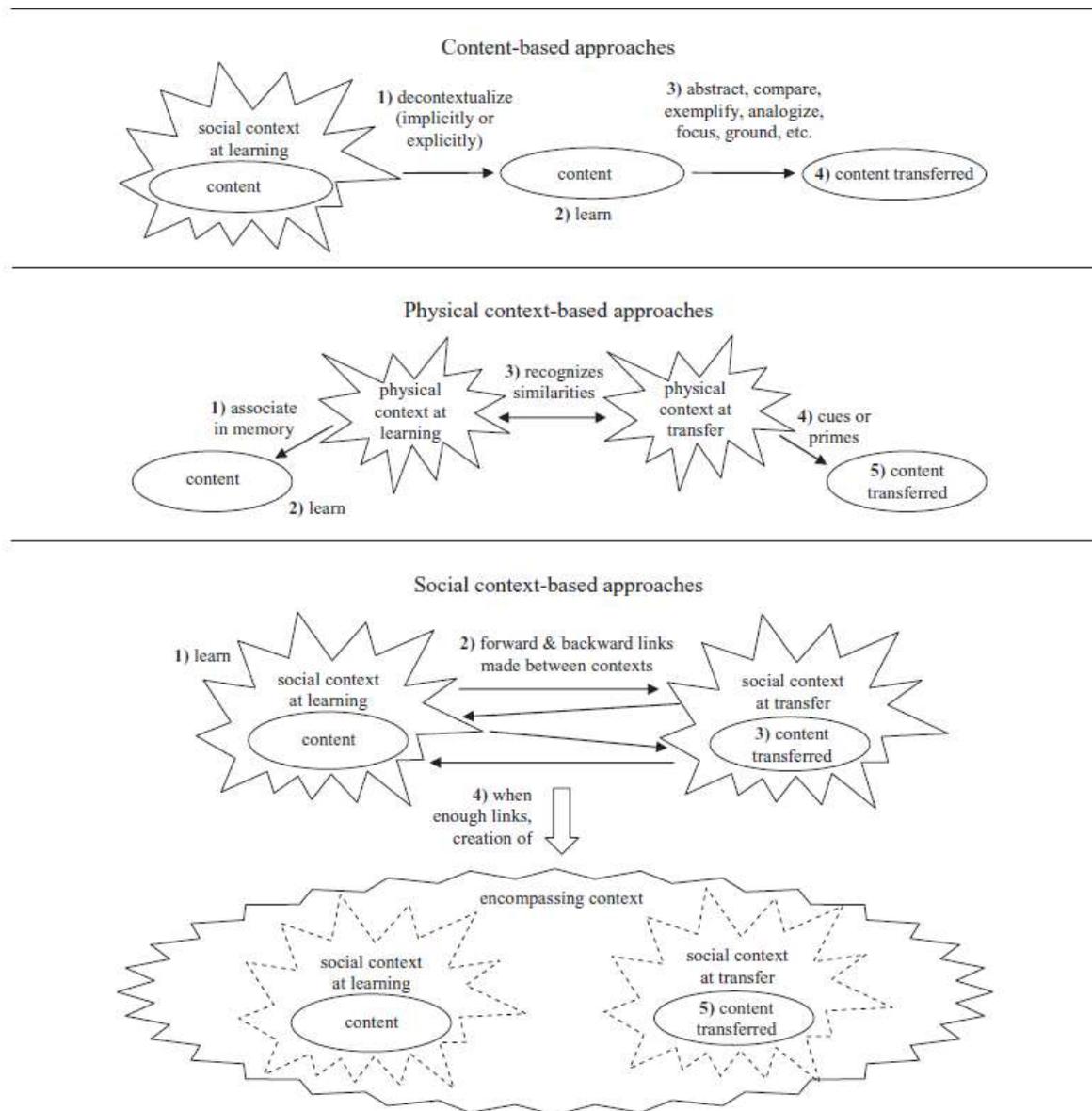


Figure 16. Représentations schématiques des conceptualisations du transfert dans des perspectives cognitivistes versus socio-constructivistes proposée par Engle et al. (2012, p. 217).

Selon Marton (2006), le transfert repose non seulement sur la reconnaissance de similarités entre situations, mais aussi sur la perception des différences entre elles et sur la perception des co-variations entre caractéristiques des situations. *Apprendre consiste alors à opérer des distinctions à l'intérieur d'une même situation et entre situations.* L'originalité de cette proposition est qu'elle se fonde sur les travaux de Gibson et Gibson (1955) sur l'apprentissage perceptuel. Il s'agit ainsi d'apprendre à *percevoir des différences, c'est-à-dire à opérer des discriminations* plus fines entre éléments qui composent les situations (telles que discriminations visuelles lorsqu'il s'agit d'étudier un dispositif expérimental en physique, discriminations de sons dans des situations d'apprentissage de la langue). Ces recherches ont des implications sur le choix des situations ou des exemples successivement

proposés aux apprenants ; elles suggèrent d'introduire des variations systématiques pour favoriser l'apprentissage de ces distinctions.

Engle (2006 ; 2012b) et Lobato (2012) ont davantage porté leur attention sur le rôle dans le transfert des interactions de l'apprenant avec l'environnement matériel et social proposé durant des séquences d'apprentissage en classe. Dans cette perspective, Lobato et al. (Lobato, Ellis et Muñoz, 2003 ; Lobato, 2006) mettent notamment en évidence un mécanisme en jeu dans le transfert qu'ils nomment *phénomènes de focalisation*. Ils montrent ainsi comment, face à une situation complexe, l'orientation de l'attention vers certaines propriétés ou modèles mathématiques facilite la généralisation d'expériences d'apprentissage et donc le transfert. Ces *phénomènes de focalisation* sont portés par les médiations proposées par l'enseignant, mais émergent également des propriétés du langage mathématique, des caractéristiques des représentations sémiotiques mobilisées, et de l'utilisation d'artefacts (Lobato et Ellis, 2002a, 2002b; Lobato et al., 2003). Ces recherches suggèrent ainsi que ce qui est critique pour la généralisation n'est pas le nombre de situations contextuelles explorées, mais les régularités mathématiques et propriétés sur lesquelles l'attention des étudiants est attirée (Lobato, 2006).

Engle (2006 ; 2012b) met en évidence un autre mécanisme favorisant le transfert, qu'elle nomme *extended framing*. Selon elle :

“transfer is more likely to occur to the extent that learning and transfer contexts have been framed to create what is called intercontextuality between them” (Engle (2006, p. 456).

Elle montre que lorsque l'activité d'apprentissage est explicitement mise en relation avec d'autres situations, le transfert des apprentissages dans des situations extra-scolaires est facilité. Elle met en évidence deux types de cadrage facilitant le transfert : le premier consiste à inscrire la situation d'apprentissage dans un empan temporel plus large en amenant les étudiants à se référer à une diversité de situations déjà rencontrées et à se projeter dans des situations imaginaires. Le second consiste à faire des apprenants des membres actifs d'une communauté (intergénérationnelle) de personnes impliquées vis-à-vis du thème étudié qui s'étend au-delà du cadre scolaire. Les élèves sont alors amenés à mobiliser les connaissances construites dans le cadre scolaire pour échanger, débattre, argumenter au sein d'une communauté élargie.

Par ailleurs, ces études portant sur le transfert conduites en situation écologiques mettent en exergue le rôle actif de l'apprenant : comme le souligne Golstone (2012), le transfert ne repose pas uniquement sur une activation d'une situation passée en mémoire en fonction des similarités perçues entre situations, mais nécessite une implication de l'apprenant face aux situations qu'il rencontre, ceci afin d'établir des connexions nouvelles entre elles en fonction de ses propres expériences passées (cf. Lobato & Siebert, 2002 ; Engle, 2006 ; Wagner, 2010 ; Perkins & Salomon, 2012). La nature des connexions établies et de la structuration de la situation nouvelle sont ainsi très variables d'un sujet à l'autre (Lobato & Siebert, 2002 ; Lobato, 2012 ; Wagner, 2010). Selon Greeno (2006), ceci implique que l'apprenant adopte un positionnement « autorisé et responsable » (« *authoritative and accountable positioning* »), En effet, dans la plupart des situations, transférer consiste à établir des connexions entre des situations sans que ce soit explicitement demandé par l'enseignant. Dans ces conditions, le transfert est possible si l'apprenant s'autorise à faire siennes certaines ressources, à les adapter, à les modifier, à faire des choix qui lui sont propres, de façon non conventionnelle. Du point de vue de Greeno (2006), cette capacité à se positionner de façon *autorisée et responsable* se développe également au cours de la participation à différentes situations de transfert. Durant ces situations d'apprentissage et de transfert, les individus apprennent également à se préparer à apprendre en

structurant leur environnement et les ressources à leur disposition en vue d'un apprentissage réussi (Bransford, Brown & Cooking, 1999).

Ainsi, même pendant les situations de transfert de nouvelles connaissances, capacités, représentations sémiotiques, instruments ou dispositions à agir se constituent et constituent autant de nouvelles ressources pour l'action future. Ces différentes recherches ne constituent pas une analyse exhaustive des mécanismes en jeu dans le transfert mais ouvrent différentes pistes pour renouveler cette problématique et approfondir leur compréhension dans une perspective située. Elles mettent notamment en avant l'importance d'étudier le transfert sur des empan temporels plus larges (Engle, 2006) en analysant la dynamique de l'apprentissage en interaction avec d'autres personnes et avec différents outils afin de caractériser leur contribution à l'établissement de connexions entre différentes situations.

Les apprentissages scolaires : un processus d'enculturation ?

En parallèle des recherches visant à proposer une conceptualisation alternative du transfert, d'autres recherches inscrites dans la perspective située ont étudié les apprentissages scolaires comme des formes de participation à une pratique collective (cf. Mottier-Lopez, 2005 ; Yackel, Gravemeijer & Sfard, 2011). Dans le prolongement de la proposition de Brown et al. (1989), ces recherches définissent l'apprentissage comme « *a process of enculturating that is supported in part through social interaction and the circulation of narrative* » au sein de groupes participant à une même pratique (Brown et al., 1989 ; p.28). Aussi ces recherches interrogent les pratiques auxquelles les élèves participent en classe, les processus d'enculturation associé à ces pratiques (normes, valeurs, constructions identitaires en jeu dans ces pratiques) en relation avec le développement de connaissance et de compétences au niveau individuel.

Partant du constat du faible transfert des connaissances et procédures acquises en classe dans les pratiques au quotidien, Lave (1988) a proposé de mettre en place en classe des environnements d'apprentissage revêtant les caractéristiques des contextes extra-scolaires afin de promouvoir des apprentissages plus robustes. Il s'agissait d'amener les élèves à s'engager en classe dans des pratiques authentiques, signifiantes, finalisées et cohérentes pour le groupe socioculturel auquel ils appartiennent (Brown et al., 1989) ; celles-ci peuvent être des pratiques sociales (lire, écrire), des pratiques propres à une profession ou partagées par des communautés d'expertise qui ont produit les objets de connaissances à enseigner et à apprendre (chercheurs, etc.). Néanmoins, la classe et son fonctionnement étant caractérisés par une culture scolaire ainsi que des ressources et contraintes spécifiques, une transposition de la situation authentique apparaît nécessaire (Brown et al., 1993). Celle-ci concerne non seulement les savoirs de référence mais aussi leur mode de production et les conditions contextuelles dans lesquelles ces savoirs sont introduits (activités proposées, ressources et contraintes propres à l'environnement). Suivant ces principes, Brown et collaborateurs (Palinscar & Brown, 1984 ; Brown et al., 1989 ; Brown & Campione, 1995) ont ainsi mis en place différents dispositifs d'apprentissage fondés sur la constitution d'une communauté d'apprenants engagés dans une même pratique (par exemple la pratique de la lecture en vue de partager des stratégies de compréhension) afin d'élaborer des stratégies communes et de développer leurs habiletés.

D'autres chercheurs se sont attachés à analyser des situations d'enseignement-apprentissage ordinaire en classe afin d'analyser les pratiques, les normes et valeurs qui s'y construisent, la micro-culture propre à chaque classe. Ainsi, Cobb et collaborateurs ont étudié l'enseignement-apprentissage

des mathématiques au collège et à l'école primaire afin de caractériser différentes micro-cultures de classe (Boaler, 1998 ; Yackel, Gravemeijer & Sfard, 2011). En contrastant des classes suivant une pédagogie transmissive (« *a traditional, textbook approach* ») à des classes suivant une pédagogie de projet, les auteurs mettent en évidence deux micro-cultures de classe ayant des effets différenciés sur les interactions en classe et les apprentissages. Les élèves ayant suivi un enseignement « traditionnel » transféraient peu leurs connaissances dans des situations nouvelles alors que les élèves ayant appris les mathématiques dans un environnement ouvert en réalisant des projets ont développé une compréhension conceptuelle des mathématiques mobilisable dans de multiples situations, scolaires et non scolaires. La seconde microculture - en incitant les apprenants à expliciter leur raisonnement, leur interprétation et à évaluer par eux-mêmes les procédures proposées - limiterait l'apprentissage de procédures sans signification et favoriserait l'autonomie intellectuelle et sociale.

Selon ces chercheurs (Cobb & Bowers, 1999), c'est au cours des interactions collectives que les élèves élaborent une compréhension partagée, qu'ils construisent une signification à partir de situations étudiées et que s'élaborent des normes communes à la classe²⁰. L'analyse des normes qui se constituent au cours de l'activité en classe amène ces auteurs (Yackel & Cobb, 1996) à distinguer d'une part les normes sociales générales qui contribuent à la régulation de la participation des élèves en classe (par exemple *tenter de comprendre la proposition des pairs, manifester sa compréhension ou son incompréhension, écouter un camarade qui s'exprime, lever la main*, etc.) et d'autre par les normes socio-mathématiques définies comme « *les aspects normatifs de la participation des élèves aux pratiques mathématiques de leur classe* », par exemple *expliquer, justifier, argumenter son interprétation mathématique*, ou encore, *qu'est-ce qu'une explication mathématique acceptable dans la classe, qu'est-ce qu'une résolution efficace* etc. Selon ces auteurs, lorsque les élèves participent à la constitution interactive des normes et des pratiques de la classe, ils sont amenés à réorganiser et restructurer activement leur façon de raisonner, interpréter, de comprendre et de faire des mathématiques.

Dans cette approche, l'apprentissage est comme « *un acte de participation à des pratiques mathématiques communautaires et par lequel l'élève construit activement ses apprentissages* » (Mottier-Lopez, 2008, p. 75). Comme le souligne Mottier-Lopez (2008), cette conception de l'apprentissage est fondée sur une tension entre trois processus concomitants qui se co-constituent : (1) un processus d'enculturation aux pratiques socio-culturelles de référence, (2) des processus de constitution de pratiques, et des normes propres à la micro-culture de classe, (3) une construction individuelle de connaissances et d'habiletés (Figure 17). L'apprentissage prend place dans une relation dialectique entre les plans individuels et sociaux, chaque plan participant à constituer et à structurer l'autre (Cobb et Bowers, 1999). Autrement dit, les processus sociaux offrent des opportunités d'apprentissage aux apprenants, qui, en participant aux pratiques proposées, doivent activement construire des significations, une compréhension de la situation, cette compréhension étant propre à chacun (Cobb et al., 1997).

²⁰ Dans la perspective située, les normes n'ont pas de connotation morale mais « *désignent des aspects normatifs qui contraignent et rendent possible l'activité individuelle et collective, en tant que contraintes et ressources potentielles* » (Mottier-Lopez, 2008, p. 107 en référence à Lave (1988))

| Processus de participation aux pratiques sociales | | |
|---|---|---|
| Construction individuelle | Constitution des pratiques et des normes de la micro-culture de classe | Enculturation aux pratiques socioculturelles de référence |
|  <p><i>Exigence d'adéquation entre constructions individuelles et pratiques culturelles</i></p> | | |
| Expériences et réorganisation de l'activité mathématique | Des entités interactivement constituées entre l'enseignant et les élèves | Ensemble préexistant de connaissances et de pratiques mathématiques reconnues dans la société et faisant partie de la culture de la discipline scolaire des mathématiques |
| Construction de concepts, d'algorithmes de calcul si possible signifiants aux yeux de l'élève | Normes et pratiques mathématiques vues comme socialement reconnues et partagées par les membres de la communauté classe | Présents dans les curricula, les moyens didactiques, les tâches mathématiques par exemple |

Figure 17. Tensions entre processus individuels, interpersonnels et socio-culturels (Mottier-Lopez, 2008, p. 76)

La dialectique entre les processus sociaux et individuels a été plus particulièrement investiguée par Mottier-Lopez (2008) dans une étude consistant à analyser les micro-cultures en constitution dans deux classes aux pratiques apparemment communes. Dans ces deux classes, la multiplication était introduite puis travaillée au cours de l'année en proposant des situation-problèmes similaires et en alternant des activités de recherche individuelles ou par groupe et des interactions collectives en classe ; celles-ci consistaient en une présentation des solutions proposées par les élèves et à des échanges collectifs afin d'argumenter, de justifier et d'évaluer les solutions proposées.

Dans ces deux classes, les pratiques semblent correspondre à la seconde micro-culture de classe proposée par Cobb et al. (1998 ; 2000) ; néanmoins des micro-cultures de classe distinctes se constituent tout au long de l'année : les analyses montrent que deux normes socio-mathématiques a priori identiques – « *qu'est-ce qu'une solution acceptable* » « *qu'est-ce qu'une procédure efficace* » - sont saisies dans des dynamiques, une signification et des finalités contrastées.

Dans la classe de Paula, après un temps de recherche, une interprétation commune du problème mettant en avant sa structure multiplicative est d'abord construite par le moyen d'un guidage ciblé de l'enseignante, puis différentes solutions sont proposées et discutées. *Elles sont évaluées comme étant acceptables si le résultat est juste.* Les résolutions différentes de celles déjà maîtrisées par la classe, mais accessibles et compréhensibles par les élèves les plus faibles sont légitimées par l'enseignante. Ainsi, pour chaque situation problème, un ensemble de procédures de résolutions co-existent ; au cours de l'année, les élèves se sentent progressivement autorisés à tenter et à proposer des procédures nouvelles.

Dans la classe de Luc, après un temps de recherche, les différentes procédures de calcul proposées par les élèves pour résoudre un même problème sont également exposées en explicitant leur raisonnement. Puis, en vue d'amener les élèves à passer de procédures additives aux procédures fondées sur la multiplication, *l'efficacité des procédures est mise en discussion* ; Ces échanges participent à la *construction collective d'une norme socio-*

mathématique commune relative aux critères d'acceptabilité d'une procédure (rapidité, simplicité). Cette norme contribue à réguler les pratiques collective et l'activité individuelle des élèves. Ainsi, si en début d'année *plusieurs procédures sont acceptables, les procédures plus efficaces, plus rapides, sont ensuite considérées par chacun comme plus légitimes jusqu'à devenir les seules acceptables dans la classe, débouchant sur un processus de standardisation.*

Une évaluation en fin d'année montre que les élèves de ces deux classes adoptent des stratégies de résolution différenciées. Les élèves de la classe de Paula sont plus nombreux à identifier la structure multiplicative des problèmes, les procédures de résolution proposées sont hétérogènes (addition répétée, multiplication), les opérations sont bien maîtrisées et le résultat est correct pour la majorité des élèves. Dans la classe de Luc, les élèves utilisent plus fréquemment une procédure multiplicative, sans toujours aboutir au résultat correct. Néanmoins, lorsque les problèmes sont complexes, les élèves identifient moins fréquemment que dans l'autre classe la structure multiplicative. Il est à noter que les élèves les plus en difficulté semblent davantage progresser dans la classe de Paula que dans celle de Luc. Ces micro-cultures de classe semblent offrir des opportunités d'apprentissage différentes selon le niveau des élèves.

Ainsi, en participant aux activités mathématiques de la classe - expliciter son raisonnement, être attentif à celui des autres, discuter des différentes interprétations du problème et résolutions possibles - les élèves contribuent à constituer des normes socio-mathématiques partagées, et, ce faisant, ils s'approprient progressivement les raisonnements de leurs pairs ; le guidage proposé par l'enseignant les amène à construire des normes socio-mathématiques et des critères d'(auto)-évaluation spécifiques, ce qui les conduit à privilégier certaines stratégies de résolution plutôt que d'autres.

Il est à noter que dans la plupart des recherches inscrites dans cette approche, l'analyse des apprentissages individuels est induite à partir de la participation des élèves aux interactions sociales au sein du collectif.

L'analyse de la co-constitution entre micro-culture de classe et apprentissage individuel amène à interroger les méthodologie mise en œuvre pour documenter les dimensions individuelles et collectives de l'apprentissage. Nous revenons sur les questions méthodologiques soulevées par l'approche située dans la section suivante.

Implications méthodologiques

Au vu des différentes études déjà citées, nous considérons qu'étudier l'apprentissage dans une perspective située consiste à étudier la participation des individus à une activité en situation et à suivre leur trajectoire individuelle à travers d'autres situations. Cette approche nécessite d'étudier l'apprentissage en situation écologique, sur des empan temporels larges, en analysant la dynamique de l'apprentissage. De notre point de vue la méthodologie à mettre en œuvre dans ce but peut être structurée par les questions suivantes :

- Quelle compréhension / quel sens les individus construisent-ils dans ces différentes situations ?
- Comment mobilisent-ils les artefacts et ressources à leur disposition dans ce but ?
- Quelles connexions établissent-ils avec des situations déjà rencontrées ?
- Comment les activités et expériences antérieures à ces situations influencent-elles leur compréhension de la situation nouvelle ainsi que leur activité dans cette situation ?

- Quelles abstractions et plus généralement quelles ressources construisent-ils dans ces situations ?
- Comment les remobilisent-ils dans leur activité future ?
- Plus généralement comment préparent-ils leurs apprentissages futurs ?

Si l'analyse que nous proposons porte d'abord sur les apprentissages individuels, dans une perspective située elle doit être axée sur la façon dont chacun interagit en situation au sein de différents systèmes incluant l'environnement matériel (arena, setting, artefacts, inscriptions) et social. Dans le cadre scolaire, ceci peut passer par l'analyse de l'articulation entre micro-culture de classe et apprentissages individuels. Il s'agit alors d'analyser la constitution de normes, de valeurs, de pratiques partagées en relation avec la capacité à construire des significations, une compréhension de la situation, et le développement de connaissances, de compétences, de ressources au niveau individuel.

Chapitre 4. Penser l'analogie dans une perspective située

Le rôle central de l'analogie dans les apprentissages et dans le développement conceptuel, mis en lumière par Hofstadter & Sander (2013), est également souligné par certains chercheurs s'inscrivant dans les approches situées de la cognition (voir par exemple Hatano et Greeno, 1999). Selon la première approche (cf. chapitre 2) les analogies *naïves* fondées sur l'expérience quotidienne des apprenants jouent un rôle central dans l'entrée dans les apprentissages mathématiques et scientifiques et le développement conceptuel (Lautrey et al., 2008 ; Sander, 2008b ; Hofstadter & Sander, 2013) ; celles-ci orientent les interprétations faites par les élèves des situations proposées en classe. A partir de ce constat, différents scénarios pédagogiques ont été proposés, dans lesquelles des analogies sont utilisées pour dépasser ces analogies naïves et construire des représentations mathématiques ou scientifiques qui coïncident avec les concepts à enseigner. Ces scénarios ont été testés en situation quasi-expérimentale ou en classe dans des situations contrôlées (Gamo et al., 2010 ; 2014 ; Taabane, 2011). L'approche située (cf. chapitre 3) met, elle, en avant l'importance d'étudier les liens, les connexions qu'établissent les apprenants en classe avec des situations déjà rencontrées précédemment, sur des empan temporels plus larges, en analysant la dynamique de l'apprentissage en interaction avec d'autres personnes et avec différents outils, afin de caractériser leur contribution à l'établissement de ces connexions entre situations (Lobato, 2006 ; Engle, 2006).

Dans ce chapitre notre objectif est d'articuler ces deux approches alternatives aux premières recherches sur l'analogie afin d'étudier le rôle de l'analogie dans les apprentissages scolaires au quotidien en classe. Pour cela, nous avons choisi d'étudier les analogies spontanément utilisées à l'école primaire dans les cours de mathématiques. Plusieurs questions ont orienté ces recherches : Quelles sont les analogies produites en classe ? comment émergent-elles au cours de l'activité d'apprentissage ? Comment l'environnement matériel et social participent-ils à leur élaboration, notamment pour aller vers la construction d'une représentation plus « *experte* » des problèmes étudiés ?

Par ailleurs, si ces deux approches (analogie au cœur de la pensée / apprentissage situé) s'accordent sur le rôle central de l'analogie dans l'apprentissage, elles proposent des conceptions alternatives des mécanismes de généralisation et d'abstraction en jeu dans le développement conceptuel. Selon Sander & Hofstadter (2013), le développement conceptuel repose sur une activité mentale consistant à construire des catégories à partir d'une succession d'analogies, et à recatégoriser une même situation, ou à réorganiser ces catégories en niveaux hiérarchiques distinctes en construisant des relations d'inclusion. Les scénarios pédagogiques proposés par l'équipe ont ainsi pour objectifs de favoriser un « recodage sémantique » : une réorganisation des catégories en niveaux hiérarchiques distinctes, qui se rapproche de l'organisation experte des connaissances. Au cours de ce processus, généralisation d'une catégorie à de nouveaux exemplaires par analogies successives et abstraction - conceptualisée comme une réorganisation des catégories - s'articulent pour participer à la formation de nouveaux concepts. Selon Greeno (1998), généralisation et abstraction sont deux mécanismes distincts. Dans cette perspective, la généralisation procède de re-contextualisations successives et relève de la capacité à interagir avec l'environnement social et matériel de façon à réussir dans une grande variété de situations. L'abstraction correspond à la construction de représentations abstraites en mobilisant un ensemble d'instruments, tels que des gestes, des artefacts, des inscriptions, différents langages, ceci afin de rendre saillantes les caractéristiques pertinentes de la situation, même en l'absence de ce à quoi ils réfèrent (Hoyles, Noss & Pozzi, 2001 ; Noss & Hoyles, 1996 ; Radford,

2006 ;2009). Selon Greeno, ces abstractions contribuent à la construction de connaissances générales, mais ne sont pas nécessaires à la généralisation : « *knowing how to use abstract representations can be a significant part of general knowing, but that knowing abstractions is neither sufficient nor necessary for generality.* » (Greeno, 1997, P. 13).

En vue de mettre à l'épreuve les conceptions de l'abstraction portés par ces deux approches, nous avons choisi une séquence d'apprentissage conçue par Gamo, Sander et Richard (2010) pour induire un *recodage sémantique* (une recatégorisation des problèmes), ceci afin d'analyser l'activité des apprenants, ceci en mobilisant les cadres conceptuels et outils méthodologiques issus des recherches sur la cognition située.

Dans la première section de ce chapitre, Les études présentées portent sur l'utilisation des analogies à l'école primaire en cours de mathématiques. La première porte sur l'analyse des analogies spontanément générées en classe, du CP au CM2, lors de plusieurs séances successives (Bastid & Nogry, 2016). La seconde étude questionne les méthodologies nécessaires pour mettre en évidence les analogies naïves spontanément élaborées par les élèves mais non verbalisées au cours de l'activité. La section suivante présente une analyse micro-génétique de l'activité d'apprentissage des élèves au cours de la mise en œuvre du scénario pédagogique proposé par Gamo et al. (2010).

Quelles utilisations des analogies à l'école en cours de mathématiques ?

Peu de recherches se sont interrogées sur l'utilisation des analogies dans l'apprentissage des mathématiques par les élèves au quotidien en classe ; les études les plus systématiques ont été menées principalement au collège (Richland, Holyoak & Stigler 2004, Richland, Zur & Holyoak, 2007). De ce fait, la recherche que nous avons conduite (Bastid & Nogry, 2016) vise à étudier comment les analogies sont effectivement construites en cours de mathématiques à l'école élémentaire dans différents niveaux de classes.

Elaboration des analogies en cours de mathématiques au collège

Richland et al. (2004 ; 2007) ont analysé systématiquement les analogies construites en classe au collège (8-grade : niveau quatrième) d'abord aux Etats-Unis puis à Hong-Kong et au Japon. L'étude réalisée aux Etats-Unis s'appuie sur des enregistrements vidéo (une heure d'enregistrement par classe) auxquels sont appliqués un codage en sept étapes – construit à partir des travaux princeps sur l'analogie - afin d'identifier les analogies utilisées, les conditions dans lesquelles elles sont produites, et de caractériser leur nature et leur fonction.

Cette étude montre que les analogies utilisées en cours de mathématiques sont principalement générées par les professeurs ; ceux-ci proposent à la fois la situation cible et la situation source (ex : « *we're gonna say this circle right is an orange* » (Richland et al., 2004, p.42)). Néanmoins, dans 30% des cas, les élèves contribuent à la construction de l'analogie en participant à l'élaboration plus complète de la situation source proposée, puis à la production d'inférences pour compléter la représentation de la situation cible avant d'adapter la situation source pour résoudre les problèmes proposés. Les analogies construites en cours visent principalement l'acquisition de procédures (41%) et la compréhension de concepts mathématiques (49%). Plus rarement une fonction de socialisation leur est attribuée (6%). Les analogies visent alors à orienter l'attitude des élèves en mathématiques (à

quoi être attentif, comment s'auto-réguler) ; cette fonction apparaît spécifiquement en situation écologique et constitue une différence notable avec les études conduites en laboratoire. La nature de la source choisie varie en fonction de l'objectif d'apprentissage (acquisition de concepts et/ou de procédures). Des sources non mathématiques sont plus souvent utilisées pour faciliter la compréhension de concepts tandis que des problèmes mathématiques souvent décontextualisés sont plus souvent proposés pour élaborer des procédures. Par ailleurs, les enseignants adaptent les analogies proposées en fonction des besoins des élèves : lorsque ceux-ci éprouvent des difficultés, les professeurs génèrent des sources et des cibles ayant des similitudes de surface plus élevées.

La comparaison entre Etats-Unis, Japon et Hong-Hong met par ailleurs en évidence des différences de pratiques relatives à l'élaboration des analogies proposées (Richland et al., 2007). Dix séances de mathématiques de grade 8 (niveau quatrième) ont été analysées dans chacun de ces trois pays. Un nombre comparable d'analogies y est produit, mais les pratiques diffèrent quant à la façon de représenter la source et de guider la comparaison : dans les pays asiatiques des représentations visuelles sont plus fréquemment utilisées et la comparaison entre source et cible est davantage guidée par les enseignants à partir des représentations visuelles proposées.

Qu'en est-il à l'école élémentaire dans le système scolaire français ? Comment les analogies sont-elles élaborées en classe lors de séances de mathématiques ? Comment les élèves contribuent-ils à l'élaboration de ces analogies ?

Analogies utilisées en cours de mathématiques à l'école primaire en France

Afin d'étudier la production et l'utilisation d'analogies en cours de mathématiques à l'école primaire (Bastid et Nogry, 2016), nous avons répliqué le protocole proposé par Richland et al., (2004). Des séances d'enseignement-apprentissage de l'arithmétique ont été filmées dans différentes classes du CP au CM2 (Tableau 4). Les séances étant souvent courtes (environ 30 à 45 mn), nous avons choisi de filmer plusieurs séances successives sur un même concept.

Tableau 4. Séances filmées et analysées dans chaque classe

| | Nombre de séances filmées | Nombre de séances conservées | Durée des vidéos analysées |
|------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|
| CP1 | 7 | 4 | 2h40 |
| CP2 | 3 | 3 | 2h |
| CE1 | 4 | 3 | 2h |
| CE2 | 3 | 3 | 2h |
| CM1 | 3 | 3 | 2h |
| CM2 | 4 | 4 | 2h40 |

Comme dans l'étude de Richland et al. (2004), ces vidéos ont été analysées en 7 passages successifs par les deux co-auteurs de l'étude.

Ces analyses montrent tout d'abord que des analogies sont spontanément élaborées verbalement en classe dès le cours préparatoire. Leur nombre est très variable d'un cours à l'autre. Quel que soit le niveau, les analogies sont principalement élaborées par les enseignants (75% des analogies produites). Lorsque les élèves y contribuent, ils sont fortement guidés par les questions et suggestions des enseignants (*prompting*). Leur participation consiste à faire des inférences une fois la mise en correspondance opérée, en vue de résoudre le problème (55% des analogies produites), et dans une

moindre mesure à contribuer à la mise en correspondance entre problèmes sources et cibles proposés par l'enseignant (25% des analogies) (Tableau 5). Cette mise en correspondance est facilitée par le degré de similarités entre situations source et cible dans la plupart des analogies (89% des occurrences en cycle 2, 78% en cycle 3).

Tableau 5. Structure de participation des analogies

| | | sources | cibles | mises en correspondance | Production d'inférences | calcul du résultat |
|--------------------------|------------|---------|--------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| Cycle 3 (CE2-CM2) | Enseignant | 46 | 44 | 30 | 16 | 8 |
| | élèves | 2 | 4 | 10 | 13 | 11 |
| Cycle 2 (CP-CE1) | Enseignant | 45 | 50 | 37 | 10 | 12 |
| | élèves | 13 | 8 | 13 | 21 | 21 |
| total | | 106 | 106 | 90 | 60 | 52 |

La comparaison des analogies produites en cycle 2 et cycle 3 met en exergue de nombreuses différences tant du point de vue de la nature des situations choisies que des objets mathématiques élaborés ou du contexte d'utilisation des analogies (Tableau 6).

Tableau 6. Comparaison des analogies produites entre cycle 2 et cycle 3

| | Cycle 2 | Cycle 3 |
|--|--|---|
| Nature des situations cible | Schémas (41%) et problèmes décontextualisés (36%) | Problèmes (contextualisés ou non) (79%) Référence à des représentations externes |
| Nature des situations source | Problèmes contextualisés (53%) et représentations externes (28%) | Problèmes contextualisés (71%) |
| Similarités entre sources et cibles | Fortes similarités | Fortes similarités |
| Objets mathématiques élaborés | Procédures et concepts également | Procédures seules principalement (60%) |
| Contexte d'utilisation | Toute situation | Principalement suite à une difficulté exprimée (56%) |
| Structure de participation | Elaboration des situations sources et cible par les enseignants | Elaboration des situations sources et cible par les enseignants |
| | mise en correspondance par les enseignants (75%) | mise en correspondance par les enseignants (75%) |
| | Elaboration des inférences par les élèves (68%) | Elaboration mixte des inférences (68%) |
| | | Calcul des résultats par les élèves |
| | calcul des résultats par les élèves | |

En cycle 2, les analogies sont utilisées pour travailler des concepts mathématiques tels que l'égalité ou la dizaine, ou apprendre des procédures de calcul ou de résolution de problème. Les situations cibles sont principalement des règles générales (schémas selon la catégorisation de Richland et al., 2004) lorsque l'apprentissage d'un concept est visé tandis que ce sont plutôt des problèmes décontextualisés pour apprendre des procédures mathématiques. En revanche, les situations sources sont dans 80% des situations concrètes (Tableau 6) : soit des problèmes contextualisés, soit des représentations externes matérialisées. Ainsi, pour travailler des concepts et des règles mathématiques abstraites, les enseignants de cycle 2 les mettent en correspondance avec des situations familières aux enfants,

vécues au quotidien à la maison ou en classe (situations de partage, jeux d'échange) ou étudiées précédemment (par exemple lors de lectures d'albums). Ces situations familières sont évoquées verbalement mais peuvent aussi être rappelées à travers la manipulation d'objets (jetons, etc.). La référence à des représentations visuelles précédemment construites ensemble (tels que des abaques) peut également être mobilisée. Ces artefacts matériels et symboliques médiatisent et matérialisent la pensée (Radford, 2011 ; Kirsch, 2008) : ils matérialisent certains objets évoqués dans les énoncés, leur donnant un caractère manipulable, ce qui peut faciliter les multiples transformations nécessaires à l'élaboration des situations source et cible. Ils facilitent également l'abstraction en rendant plus saillantes certaines propriétés centrales pour l'analogie et en éliminant d'autre.

Durant la séance, la classe débute un travail sur des problèmes de division-partage. Après la résolution des premiers problèmes, l'enseignant revient sur le concept de partage.

Ens : Quand on fait un problème de partage qu'est-ce qu'on fait ? [...] Qu'est-ce que vous avez l'habitude de partager ?
Proposition d'une situation cible par l'enseignant (schéma à élaborer)

E1 : moi à la maison je partage des choco
 Ens : et comment tu fais ?
 E1 : je casse en deux pour en donner à chacun
Proposition d'une situation source par un élève (contextualisée)

Ens : Quand on est en classe, qu'est-ce qu'on partage ?
 E2 : des gâteaux d'anniversaire !
Proposition d'une situation source par un élève (contextualisée)

Ens : Comment on fait ?
 Els : on en coupe avec un couteau
 Ens : Et on coupe en combien du coup ?
 Els : 24 !
 Ens : on partage en ?
 E2 : 24
 Ens : 24. Chacun en a ?
 Els : 1
Elaboration de la situation source par les élèves, guidée par l'enseignant

Ens : 1. Donc quand on partage ça veut dire qu'on ?
 Els : qu'on en coupe !
Production d'inférence relative à la cible (schéma de partage), guidée par l'enseignant

Ens : On en coupe ! Si je partage en 5, je dois couper tout ça en 5
Mise en correspondance par l'enseignante

Figure 17. Elaboration de la source par les élèves et guidée par les enseignants (analogie formulée en CP)

Dans les niveaux plus élevés (CM1-CM2), 60% des analogies portent sur la maîtrise ou l'application de procédures (soustraction, division, etc.). Comme les élèves travaillent plus souvent en autonomie, les analogies sont principalement utilisées par l'enseignant pour répondre aux difficultés des élèves, individuellement ou collectivement.

Les situations cibles sont principalement des calculs et problèmes mathématiques, contextualisés ou non, et les situations sources des problèmes contextualisés (Figure 18). Il est à noter qu'en CE2 et CM1, les situations sources sont régulièrement des situations familières, tandis qu'en CM2 il s'agit davantage de problèmes décontextualisés étudiés précédemment. Certaines analogies présentent une faible similarité. L'enseignant vise alors à favoriser un transfert et une adaptation de procédure dans un contexte très différent. En cycle 3, des artefacts matériels et symboliques sont également utilisés (par exemple des frises numériques représentant des fractions), non pas pour représenter la situation source, mais plutôt pour compléter l'élaboration de la représentation de la situation cible.

| | |
|---|---|
| Ens : 2-5, c'est possible ? | <i>Représentation de la cible par l'enseignant (problème décontextualisé)</i> |
| E1 : oui ! | |
| E2 : non ! | |
| Ens > E1 : écoute, je te donne deux trombones... tu m'en donnes cinq. | <i>Représentation de la source par l'enseignant (problème contextualisé)</i> |
| E1 : je peux pas | |
| Ens : pourquoi tu ne peux pas ? | |
| E1 : il n'y en a que deux | <i>Production d'inférence par l'élève</i> |
| Ens : est-ce que c'est possible 2-5 ? | |
| E : non ! | <i>Mise en relation implicite</i> |

Figure 18. Structure de participation d'une analogie formulée en CE2

Ainsi, cette étude (Bastid & Nogry, 2016) met en évidence les analogies verbales élaborées en classe à l'école élémentaire. Comme dans les études réalisées aux Etats-Unis et en Asie, elle met en évidence le rôle central joué par les enseignants dans ce processus. Il ressort de cette étude que l'usage des analogies en CM1-CM2 est comparable à l'usage qui en est fait en collège aux Etats-Unis (Richland et al., 2004) : suite à une difficulté, les enseignants y génèrent le plus souvent des analogies relatives à des procédures. En revanche, en CP-CE1, les analogies sont davantage utilisées en classe entière pour introduire ou approfondir un nouveau concept mathématique ou une procédure de résolution. Notre étude montre également qu'en cycle 2 comme en cycle 3, ces analogies ne sont pas uniquement verbales ; environ 30% d'entre elles sont supportées par l'utilisation d'artefacts matériels et symboliques (abaques, jetons, dessins, frises, tableaux, etc.) plus ou moins institués. Ceux-ci remplissent différentes fonctions que nous n'avons alors pas analysé de façon systématique.

Suite à cette recherches plusieurs perspectives sont à investiguer. Tout d'abord, étant donné le rôle central joué par les enseignants dans la production des analogies, des études plus systématiques sur ce sujet mériteraient d'être conduites, notamment autour des questions suivantes : comment sélectionnent-ils les analogies proposées en fonction de leurs objectifs ? Quelle formation proposer pour les conduire à choisir les analogies plus pertinentes vis-à-vis des besoins des élèves ?

L'étude de la nature des inscriptions et artefacts utilisés et de leurs fonctions lorsque des analogies sont produites mériterait également d'être approfondie en précisant l'articulation entre inscriptions, et artefacts, gestes, et paroles (Brassac et al, 2008 ; Richland, 2016). Par ailleurs, le protocole d'analyse portant sur les différentes analogies prises isolément ne permet pas de montrer en quoi ces analogies participent à la compréhension du concept étudié ou à l'acquisition de la procédure travaillée. Une approche micro-génétique permettrait de remédier à cette limite. Nous présenterons une étude conduite suivant cette démarche dans une prochaine section.

Enfin, soulignons que si ce protocole met en lumière les analogies verbales exprimées oralement durant les séances, il ne permet pas de rendre compte des analogies spontanément élaborées par les élèves, mais non verbalisées, notamment du fait que les prises de parole et la participation sont orchestrées par l'enseignant. Aussi d'autres approches méthodologiques sont nécessaires afin de caractériser les analogies spontanément générées par les élèves tout au long des séances.

Quelles analogies produites par les élèves eux-mêmes ?

En parallèle de l'étude précédemment décrite, nous avons cherché à analyser les analogies spontanément élaborées par les élèves lors de la réalisation d'exercices de mathématiques. Selon les études existantes, les analogies naïves sont ancrées dans la corporéité (Lakoff & Johnson, 1981 ; 1985) et construites spontanément *à partir de l'expérience propre que chacun peut acquérir sur lui-même et sur le monde qui l'entoure* (Sander, Lautrey, Thiberghien, p.5).

Dans la plupart des études conduites dans le champ des mathématiques, ces analogies sont étudiées à partir des productions des élèves (Sander, 2008a ; Sander, 2008b). Dans une perspective située, il s'agit d'analyser l'activité d'apprentissage durant laquelle ces analogies sont élaborées. Aussi, dans cette étude, notre question de recherche était la suivante : quelles sont les analogies spontanément élaborées par les élèves en cours de mathématiques à l'école primaire ? Comment s'élaborent-elles ? Et quelles sont les expériences vécues évoquées par les enfants ?

Comme l'ont montré Bastid & Nogry (2016), les élèves produisent verbalement peu d'analogies ; elles sont donc peu accessibles à partir des vidéos. Pour les mettre en évidence, nous avons choisi de conduire des *entretiens d'explicitation* (Vermersch, 1994 ; 2012). Cette technique - fondée sur l'approche phénoménologique de Husserl et les recherches de Piaget (1974) - est conçue pour amener l'interviewé à un réfléchissement, c'est-à-dire une prise de conscience de son activité mentale et de ses actions lors de la réalisation d'une tâche en produisant une description fine. Il a été démontré que cette technique permet de faire décrire des processus cognitifs auparavant considérés comme non accessibles directement à la conscience, et d'obtenir une description plus riche que par des méthodes indirectes (Petitmangin et al., 2013). Ceci en fait une technique rigoureuse pour étudier l'expérience subjective. Utilisée dans différentes recherches en éducation (voir Mouchet, 2014 ; 2018 pour une synthèse), elle permet notamment de faire décrire à des élèves les procédures ou stratégies qu'ils mettent en œuvre pour réaliser une tâche demandée en classe (Thabuy & Morel, 2016).

La recherche exploratoire que nous avons menée en 2013, avait donc pour objectif de mettre en évidence les expériences qui participent à l'élaboration des analogies naïves qui orientent l'interprétation des situations en cours d'arithmétique. Dans cette étude qualitative, différentes séances de mathématiques ont été filmées dans une classe de CE2, puis nous avons choisi de réaliser des entretiens sur l'une d'elles, une séance de production d'énoncés. Il leur était demandé de produire des énoncés de problèmes à partir d'opérations proposées par l'enseignant portant sur des nombres entiers naturels de 0 à 30 (par exemple : $15+8$; $25-9$; 3×2 ; $10/2$). Suite à cette séance, 11 entretiens ont été menés auprès d'élèves ayant accepté de participer à l'étude par l'étudiante ayant fait les observations et moi-même.

Notons d'abord que, comme dans l'étude réalisée par Claudia Torres (cf. chapitre 2, section 2), les problèmes proposés par les élèves mettaient principalement en jeu des collections d'objets regroupés ou partagés, auxquelles on ajoute ou retire des éléments. Seuls quelques énoncés mettent en jeu des euros, faisant référence à d'autres métaphores structurantes, principalement pour les divisions. Comment ces objets ont-ils été choisis ? quelles sont les analogies qui ont participé à l'élaboration de ces énoncés ?

L'analyse de ces entretiens fait apparaître plusieurs situations sources :

- L'utilisation d'objets fréquemment utilisés lors d'exercices de résolution de problèmes en classe (billes, bonbons, cahiers),
- une recherche de sources d'inspiration dans l'environnement immédiat (objets ou personnes directement visibles autour de lui) qui conduit à des problèmes mettant en jeu des tables, des crayons, des groupes d'élèves,
- une évocation de situations familières connotées positivement : des activités fréquemment réalisées (jeux) ou des expériences vécues passées plus singulières (fêtes de famille, moment passé avec ses grands-parents, gestion de l'argent de poches, etc.). Les objets choisis sont alors centraux dans ces situations.

On constate ainsi que seule une partie des énoncés produits mettant en jeu des collections d'objets sont créés à partir d'analogies spontanées avec des expériences vécues précédemment par l'élève ; d'autres semblent construits à partir de connaissances sur les problèmes scolaires ou d'indices directement présents dans l'environnement de l'élève. Il est cependant à noter que les entretiens menés dans cette recherche ne permettent pas de distinguer systématiquement les analogies qui émergent spontanément à la conscience des élèves des analogies réalisées volontairement après un temps de recherche ou de réflexion.

Par ailleurs, dans ces entretiens, il apparaît que les élèves portent une attention particulière au choix des prénoms des personnages cités dans l'énoncé du problème (prénoms évocateurs de personnes connues, porteurs d'une connotation affective), et aux actions que ces personnages réalisent (prendre, donner, partager). En revanche, aucun élève ne mentionne une attention particulière à l'opération en jeu (addition / multiplication / division). De fait, le plus souvent, la multiplication a donné lieu à la production d'un énoncé de problème additif ou à des énoncés incohérents (*multiplier trois choux-fleurs et deux salades*). Après avoir écrit le problème, les élèves disent vérifier qu'ils ont bien utilisé les nombres de l'opération proposé, et réalisé le calcul correspondant à l'opération, mais ne mentionnent pas une vérification de la plausibilité de la situation décrite dans l'énoncé et de son adéquation avec l'opération.

Cette première étude a permis de montrer qu'il est possible d'amener des élèves à faire une description subjective du processus de production d'un énoncé, et de mettre ainsi à jour certaines des analogies spontanées guidant la construction des problèmes. Elle met également à jour les éléments sur lesquels les élèves portent leur attention, et certains critères d'évaluation de la validité des énoncés qu'ils appliquent à leur production.

Des études complémentaires sur l'expérience subjective des apprenants lors de l'élaboration spontanée d'analogie en classe mériteraient toutefois d'être réalisées pour documenter la chronologie de l'activité d'élaboration d'énoncé : à quel moment ces analogies interviennent ? émergent-elles spontanément ? font-elles suite à une recherche volontaire ? comment participent-elles au choix des actions réalisées par les personnages décrits dans l'énoncé ? si plusieurs analogies émergent, comment sont-elles hybridées ?

Notons également que cette étude exploratoire comporte plusieurs limites. S'il est relativement aisé pour un interviewer expérimenté de construire rapidement une relation de confiance avec un adulte, ceci est plus délicat auprès d'enfants. L'étudiante et moi-même avons passé un temps limité dans cette classe auprès des élèves, ce qui n'a pas facilité l'établissement d'une relation de confiance et une libre expression des élèves ; plusieurs ont adopté une attitude réservée. Par ailleurs, les entretiens ont

été conduits au retour des vacances scolaires. Du fait du temps écoulé depuis la séance et du manque de signifiante de certaines de ces situations pour les élèves, il leur a été difficile d'évoquer systématiquement l'activité ayant conduit à la production de chacun des problèmes. Cette recherche soulève ainsi des questions méthodologiques : quelles conditions mettre en place pour faciliter la conduite d'entretiens de recherche auprès d'enfants ? Jusqu'à quel niveau de précision (quelle granularité) faire décrire l'expérience vécue en fonction de l'objet de l'étude ? Comment analyser l'expérience vécue en situation d'apprentissage afin de rendre compte de la dynamique de l'activité d'apprentissage sur une temporalité plus longue ?

Nous avons approfondi notre réflexion sur ces questions au sein d'un groupe de travail réuni autour du projet Micro-Sparkle (*Microgenetic Second Person Approach for Research on Knowledge and Learning*), qui a par la suite donné lieu à publication (Dieumegard, Nogry, Ollagnier-Beldame & Perrin, 2019), et sur laquelle nous reviendrons dans une section ultérieure.

La prochaine section porte sur l'étude des analogies en classe selon une autre approche. Cette étude porte sur l'analyse une séquence d'apprentissage fondée sur l'analogie en adoptant une approche micro-génétique afin de documenter avec précision l'activité des apprenants durant le processus de conceptualisation.

Etude micro-génétique d'une séquence d'apprentissage de l'arithmétique

Comme nous l'avons présenté dans le chapitre 2, selon Sander (Sander, 2008a ; Hofstadter & Sander, 2013), le développement conceptuel repose sur une activité mentale consistant à construire des catégories à partir d'une succession d'analogies, et à recatégoriser une même situation à un autre niveau d'abstraction. Sur ce principe, des scénarios pédagogiques ont été conçus en vue de favoriser une réorganisation des catégories en niveaux hiérarchiques distinctes (recodage sémantique) qui se rapproche de l'organisation experte des connaissances (Gamo, Sander et Richard, 2010 ; Taabane, 2011). En visionnant des enregistrements vidéo, nous avons constaté que dans ces scénarios des inscriptions, des gestes et des artefacts sont mobilisés au cours de l'activité d'apprentissage. De ce fait, une analyse de l'activité des apprenants dans une perspective située nous a semblé pertinente afin de caractériser leurs fonctions dans l'apprentissage.

L'analyse portait sur le scénario pédagogique proposé par Gamo dont les effets ont été démontrés (Gamo et al, 2010 ; 2014). Cette étude a été réalisée lors de sa réplique auprès d'élèves scolarisés dans des écoles en éducation prioritaire (Gamo et al., 2014) (cf. chapitre 2, section 4). Cette séquence pédagogique est fondée sur des analogies entre problèmes suscitées par des tâches de comparaison des problèmes et des procédures. Elle vise à conduire les élèves à passer d'une structure induite par le contenu des problèmes étudiés à une structure plus abstraite, qui coïncide avec la structure mathématique des problèmes (structure profonde). Notre problématique était la suivante :

Comment les analogies sont-elles élaborées dans cette séquence ? Comment l'environnement social et matériel ainsi que les gestes associés contribuent-ils à la comparaison des problèmes et des procédures et à la construction d'une représentation abstraite du problème ?

Pour l'étudier, nous avons analysé l'activité des apprenants lors des deux séances d'apprentissage proposées à partir d'enregistrements vidéo en adoptant une approche micro-génétique. La séquence

d'apprentissage étant composée d'une alternance entre temps de travail collectif et individuel, nous avons analysé l'activité collective, l'activité individuelle de deux élèves sélectionnés en fonction de leur connaissances antérieures, puis chercher à articuler ces deux niveaux.

Après avoir présenté les approches micro-génétiques du développement conceptuel, nous décrirons le scénario pédagogique proposé, puis la méthodologie utilisée dans cette étude et les principaux résultats.

Approche micro-génétique du développement conceptuel

L'approche micro-génétique est apparentée à l'approche génétique proposée par Vygotski, consistant à identifier les germes du phénomène à investiguer, à traquer le point d'émergence de ce germe et à suivre ses transformations (Kaptelinin & Nardi, 2006). Cette approche a été introduite par Inhelder et al. (1992) dans *les cheminements des découvertes de l'enfant* en vue de comprendre comment l'enfant donne sens à une tâche spécifique : comment au cours de l'activité, il explore un phénomène, prend conscience des changements en cours, pense, agit, « trébuche » et révisé ses conceptions. Comme le souligne Hackerman (2013), il s'agit de d'une approche clinique mettant à jour la connaissance en train de se faire dans différents empanns temporels du point de vue de l'enfant lui-même.

Des approches micro-génétiques ont par la suite été adoptées par Bruno (1998) pour étudier les analogies élaborées en physique, par Siegler (2006) pour étudier l'évolution des stratégies de résolution de problème puis par Parnafes et Di Sessa (Parnafes, 2013 ; Di Sessa, 2014) pour étudier le développement conceptuel en sciences. Elles visent à caractériser en temps réel les processus de transformation eux-mêmes (diSessa, 2014), souvent du point de vue du chercheur plus que du point de vue de l'enfant. Ces auteurs mettent en avant différents principes qui caractérisent ces approches :

- (1) les épisodes d'activité doivent conduire à des changements substantiels chez les personnes;
- (2) le chercheur doit mettre en place des observations denses de chaque épisode
- (3) il doit faire un usage intensif et opportuniste de toutes les données disponibles afin d'inférer dans le détail les changements réalisés ainsi que leurs mécanismes.

Ces approches micro-génétiques peuvent être mises en œuvre dans des situations écologiques - par exemple en classe - permettant ainsi de tenir compte du caractère situé du développement des connaissances.

Brassac et collaborateurs (Brassac et al., 2008 ; Hautecouverture, Gregori & Brassac, 2007) ont par ailleurs utilisé une approche micro-génétique pour appréhender la construction de connaissances / de sens partagée au sein d'un collectif. A partir d'enregistrements vidéo et d'une transcription des interactions complétée par une description des gestes et des artefacts manipulés, ils ont analysé la dynamique interactionnelle ; ceci consiste à mettre en évidence comment certaines paroles et certains gestes, associés à des actions sur des artefacts ou des inscriptions en viennent à constituer des formes sémiotiques participant à la construction des significations.

Dans cette étude, nous avons choisi d'articuler une analyse micro-génétique de ce qui se construit au sein du groupe-classe à une analyse individuelle des actions et des productions durant la séquence d'apprentissage.

Scénario pédagogique

Le scénario pédagogique proposée par Gamo (Gamo, 2009 ; Gamo et al., 2010) consiste à résoudre une série de problèmes additifs complexes isomorphes (appelés aussi « problèmes à étapes ») admettant deux procédures de résolution. Le contenu des problèmes (variables âges, poids, hauteur, effectifs) induit la mise en œuvre d'une procédure de résolution ou de la seconde (procédure-complément / procédure-comparaison), chacun sous-tendue par une structure différente (structure ensembliste versus structure sous-tendue par la métaphore du mètre étalon) (Figure 19).

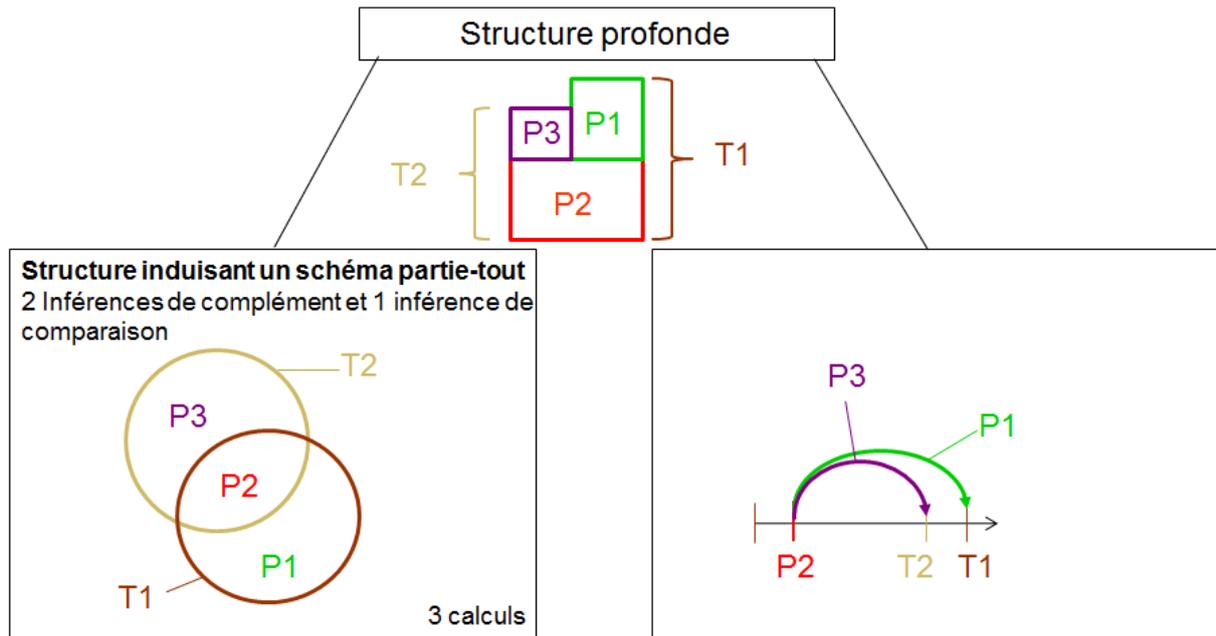


Figure 19. Représentation des différentes structures induites par les énoncés des problèmes additifs complexes étudiés, et de la structure profonde commune à tous les problèmes étudiés

L'objectif de la séquence pédagogique est d'amener les élèves à construire une représentation mentale de la structure profonde du problème (schéma « partie-tout ») (Figure 19) afin d'utiliser la procédure de résolution optimale quel que soit le contenu du problème.

La séquence se déroule sur deux séances de 60 minutes deux jours consécutifs. Durant chaque séance ont lieu en alternance des phases de recherche individuelle et des phases d'échanges collectifs guidés par l'enseignante durant lesquels les élèves sont amenés à comparer les problèmes et les procédures.

Dans la première séance, quatre problèmes d'effectifs sont travaillés. Un premier problème, déjà rencontré lors du pré-test, est présenté avec les deux procédures de résolution (Figure 20). L'enseignant incite à analyser ces procédures (« Voici les deux procédures de résolution : comment expliquez-vous que l'on trouve le même résultat ? »).

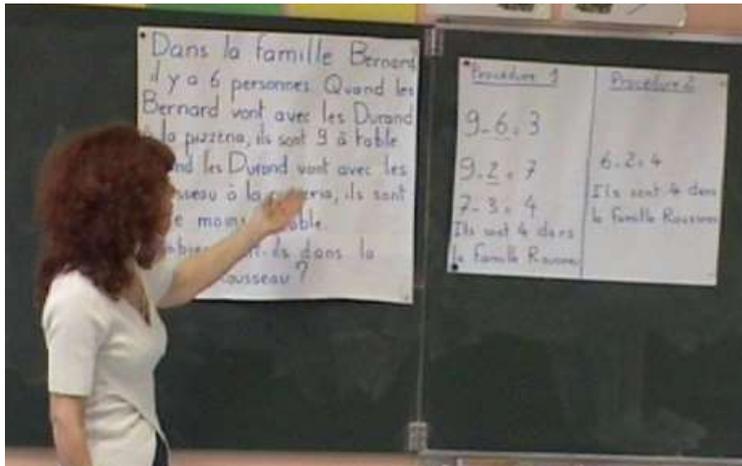


Figure 20. présentation de l'énoncé et des procédures de résolution associées

Après une phase de recherche individuelle, une discussion collective est introduite par différentes questions : « Qui peut expliquer pourquoi on trouve le même résultat ? », « Que pensez-vous des deux procédures ? ».

Un second problème est présenté. La tâche consiste à résoudre le problème en utilisant 2 procédures. Celles-ci sont ensuite affichées au tableau, décrites avec la participation active des élèves, puis comparées (« D'après vous, quelle est la meilleure ? », « Comment ça se fait qu'on peut faire la deuxième méthode ? »). Puis l'enseignant les incite à faire l'analogie entre les différents problèmes : « Y a-t-il quelque chose dans ce problème comme le premier problème ». Puis deux autres problèmes sont présentés suivant le même scénario.

Dans la seconde séance, un problème (variable hauteur, problème d'empilement de briques) est présenté. Il est demandé aux élèves de « mimer » (représenter en acte) l'énoncé du problème en utilisant des boîtes puis des rectangles en papier avant de le représenter par un schéma. Les élèves doivent ensuite résoudre le problème en utilisant le schéma réalisé. Puis l'enseignant présente les différentes procédures de résolution et les fait comparer par les élèves. Ensuite, les élèves doivent successivement résoudre deux autres problèmes isomorphes (variable effectif) en réalisant un schéma complété par les données.

Méthodologie

Participants

L'étude a été réalisée dans deux classes de CM2 dans une école en région parisienne intégrée en réseau d'éducation prioritaire auprès de 39 élèves (âgés de 10 ans et 1 mois à 12 ans et 3 mois, âge moyen 10 ans 11 mois, écart-type 7 mois). D'après les résultats des évaluations nationales, plus de deux tiers des élèves ont des taux de réussite inférieurs à 50% pour les épreuves de mathématiques, et seuls 3% des élèves de CM2 ont des performances supérieures à 66%. Les analyses présentées ici portent sur l'une de ces deux classes (N=20).

Protocole

Le protocole de l'étude, mis en place sur 4 jours la même semaine, consistait à faire passer un pré-test (passation des problèmes présentés dans un livret) durant une séance de 45 minutes, puis à réaliser les deux séances d'apprentissage suivant le scénario précédemment présenté, avant de proposer le

quatrième jour un post-test proposant des problèmes isomorphes au pré-test (cf. Gamo et al., 2014 pour une présentation plus détaillée).

A partir des résultats au pré-test et d'observations préalables de la participation en classe, deux élèves ayant un niveau moyen ont été sélectionnés pour être observés dans chaque classe au cours des séances d'apprentissage.

Afin d'enregistrer l'activité des élèves durant les deux séances, trois caméras étaient utilisées. La première était en fond de classe pour filmer la classe entière et le tableau, les deux autres étaient installées à proximité de deux élèves choisis, la première orientée de face, la seconde orientée sur la table. Six heures d'enregistrement vidéo ont ainsi été obtenus pour chaque classe.

En complément, l'ensemble des productions des élèves au cours des séances (énoncés de problèmes distribués résolus et annotés par les élèves) étaient ramassés.

Analyses réalisées

La séquence reposant sur une alternance entre des phases de travail individuel et des échanges collectifs, nous avons analysé distinctement l'activité individuelle des élèves et l'activité collective. L'activité individuelle a été documentée d'une part par une analyse de l'ensemble des productions des élèves pour chaque tâche demandée (résolution de problème, comparaison des procédures et des problèmes, schémas) et d'autre part à partir des enregistrements des deux élèves spécifiquement observés. Il s'agissait de décrire leur activité (actions réalisées et instruments utilisés) pour les différentes tâches demandées par l'enseignante.

Concernant l'activité collective, nous avons procédé à une analyse de la dynamique des interactions lors des échanges collectifs. Dans un premier temps, les épisodes dans lesquels des transformations étaient identifiables ont été repérés ; 21 épisodes distincts, de 30 secondes à 6 minutes, ont ainsi été répertoriés et transcrits en utilisant les conventions proposées par Mondada (2006). Dans un second temps, chaque épisode a été analysé afin de mettre en évidence ce qui se construit et par quel mécanisme. Nous avons notamment cherché à mettre en évidence comment la structure profonde du problème était représentée, comment cette représentation s'est progressivement élaborée, quelles analogies soutenaient cette élaboration, et comment la comparaison des problèmes et des procédures y contribuait.

Principaux résultats

Lors de l'analyse des interactions collectives, il est apparu qu'une notion centrale pour la compréhension de la structure mathématique du problème, la notion de *partie commune*, était explicitement introduite dès la première séance puis retravaillée ensuite dans la plupart des épisodes analysés. Dans la seconde séance, la structure profonde (structure « partie-tout ») est représentée graphiquement sous la forme d'un schéma analogue à celui présenté figure X. Nous avons donc analysé comment cette notion de partie commune puis cette représentation graphique de la structure mathématique ont été construites, interprétées et utilisées au cours des phases collectives et individuelles de cette activité d'apprentissage individuelle et collective.

Micro-genèse de la notion de partie commune

Une élaboration progressive guidée par l'enseignante

Durant la première séance, la notion de partie commune est évoquée d'abord par une élève (épisode 1), mais non par les autres. Puis elle est progressivement construite à travers un guidage de l'enseignante durant 7 épisodes pendant la première séance, au cours de l'explication de la seconde

procédure (procédure comparaison) pour les différents problèmes, ainsi que lors de la comparaison des problèmes entre eux. Voici une description de ces principaux épisodes :

Lors de la correction du second problème - *Dans la bassecour il y a 224 poules. Quand les poules sont avec les canards il y a 512 animaux. Finalement le fermier met des oies à la place des poules. Il y a alors 5 animaux de moins dans la bassecour. Combien y a-t-il d'oies ?* - l'enseignante questionne les élèves pour les amener à identifier les animaux en présence à chaque étape du récit décrit dans l'énoncé, ce qui nécessite la production d'une inférence sur les animaux présents dans la seconde étape.

```

T : et qu'est-ce vous remarquez dans le problème alors, au début, qu'est-ce qu'il y a
Ex :
T : dans la bassecour, au début, qu'est-ce qu'il y a
Es : des poules et des canards ((tous en cœur!)) (pause)
T : et maintenant *bras en direction de l'énoncé*(.) qu'est-ce qu'il y a
E2 : les canards et les oies
Es : [les oies et les canards
T : les oies et les canards, (.) hein donc voilà c'est intéressant, de remarquer, (.)
qu'est-ce qu'il y a finalement, il y a quelque chose, (.) qui se passe dans ce problème,
(pause)

```

Dans ce premier extrait, elle introduit des marqueurs temporels (surlignés en bleu) et souligne à plusieurs reprises qu'il y a quelque chose à remarquer (extraits surlignés en violet). Ses propos sont renforcés par un pointage systématique vers les différentes parties de l'énoncé du problème.

Puis elle interroge les élèves sur la seconde procédure de résolution du même problème et les amène à nouveau à préciser les animaux présents.

```

T : et comment ça se fait, qu'on pouvait faire cette 2eme méthode, alors
[...]
T : donc effectivement *pointe le tableau* qu'est-ce qu'il y a dans ce
problème,*pointe l'énoncé* (.) alors, (.) qui revient à chaque fois,
E1 : [*relève la main* madame
Ha : *lève la main* c'est les- c'est les canards,
T : les canards reviennent oui, <2560794>((42mn40))
T : et dans l'autre problème (.) si vous le regardez là dans l'autre feuille
(.) est-ce qu'il y avait aussi quelque chose qui revenait (pause)

```

Dans ce second extrait, elle précise sa question (« qu'est ce qui revient ») et introduit un nouveau marqueur temporel « à chaque fois », cherchant à leur faire produire une nouvelle inférence.

Suite à cette recherche de « ce qui revient », l'enseignante demande de vérifier si on remarque le même phénomène dans le problème précédent (problème 1).

```

1 T : vous êtes sû::rs↑ (.) que c'est la famille Durand qui intervient à
chaque fois
2 E2 : oui↑ c'est les Durand
3 Es : oui::: la famille Durand xxxxxxxxxxxx
4 T : pourquoi parce que la famille Durand ils sont avec qui dans la première
[xxxxx
5 Es : [XXXXXXXX
6 E2 : [avec les Bernard et après avec les Rousseau
7 T : et après ch::u:t
8 10 Es : les Rousseau (.) les Rousseau
9 T : et après les Durand ils sont avec les Rousseau
10 Es : oui
11 T : et là *bras pointe l'affiche énoncé* ce sont (.) les canards
12 Ya : ils sont avec les poules puis avec les oies
13 T : ils sont avec les poules la première fois↑
14 Ef : et après ils sont avec les oies↑

15 T : oui alors qu'est-ce qu'on remarque dans ces problèmes↑(.) est-ce
qu'il y a quelque chose de commun↑
16 Es : oui↑
17 Had : y'a toujours une chose qui reste↑
18 T : ↑y'a toujours↑ une chose qui reste↓ (.) ba c'est intéressant↑ (.)
<2608653> ((43mn28))

```

Suite aux propositions des élèves, l’enseignante les amène à vérifier en proposant une relecture de l’énoncé du problème 1, structurée par l’utilisation de différents marqueurs temporels utilisés précédemment (surlignés en bleu) : « à chaque fois », « dans la première » « et après ». Elle réutilise ensuite le même procédé avec le problème 2 (« puis », « la première fois », « et après »). L’enseignante met ainsi en place une **routine conversationnelle** (Weil-Barais & Dumas-Carré, 2002) progressivement reprise par les élèves eux-mêmes qui complètent ses questions et utilisent des marqueurs temporels dans leur réponse. Cette routine sera réutilisée par la suite pour analyser ce qui se joue dans les autres problèmes.

Puis l’enseignante souligne ce qu’il y a de commun aux deux problèmes isomorphes précédemment résolus : « il y a toujours quelque chose qui reste », en changeant le marqueur temporel utilisé : à « chaque fois » devient « toujours », ce qui participe à une forme de généralisation.

Ensuite, pendant que les élèves résolvent le problème 4, l’enseignante leur demande s’il y a quelque chose qui revient et leur demande de le préciser par écrit. Elle laisse les élèves préciser la formulation de la question, Deux formules sont proposées par le même élève « qui revient » « qui est toujours là ».

Cette analyse montre que la notion de partie commune est progressivement introduite par l’enseignante. Celle-ci amène les élèves à identifier que dans la situation décrite par l’énoncé « quelque chose revient » / « quelque chose reste » en mettant en place une routine conversationnelle fondée sur l’utilisation des marqueurs temporels (« au début... et maintenant... et donc qu’est-ce qui revient ? »). Cette routine conversationnelle est ensuite appliquée pour les différents problèmes étudiés (déjà vus ou travaillés ensuite) et progressivement prise en charge par les élèves. Lors de la comparaison des problèmes cette routine est ainsi appliquée en vue de mettre en évidence les similitudes entre problèmes.

Une lexicalisation par l’enseignante par l’enseignante

Puis à la fin de la première séance, l’enseignante opère une « traduction », une lexicalisation en attribuant à « ce qui revient » le nom de « partie commune », gommant ainsi la dimension temporelle,

jusqu'à la centrale dans l'analyse et introduisant ici le concept de partie, nécessaire à la compréhension du schéma partie-tout (structure profonde du problème).

Lors de la correction du problème 4, la mise en évidence de « ce qui revient » est guidée par l'enseignante en utilisant la routine conversationnelle décrite précédemment (« au départ qu'est-ce qu'il y a ? et ensuite ? et donc, qu'est-ce qui revient ? »). Puis celle-ci conclut l'analyse de cet énoncé en reformulant : « ce qui revient » devient « la partie qui ne bouge plus » puis « la partie commune ».

```

23 T : et donc(.) quel est↑ (.) qu'est-ce qui revient↑ (.) dans le problème↑
24           Es           :           les           vaches
25           T           :           les           vaches
26 Ex : [puisque le fermier a décidé de garder les vaches xxxxxxxxxxxx
27           E1 :           des           vaches↑
28 T : *pointe l'une des questions écrites au tableau* donc y'a-t-il quelque
chose↑ (.) qui ne bouge plus↑ [(.) xxxx là ce sont les vaches↓ (.) c'est la
parti::e↑
29 Ya :           [les vaches
30           Ya           :           hau:::           restante
31           E1           :           E2 :           [((rires))
32 T : restante (.) on peut dire que c'est la partie commune aussi
33           Ew           :           madame↑
34 Ex (Ya ?) : c'est la partie commune aussi
<550473>(1h12mn10)

```

La dimension temporelle mise en avant par l'usage de différents marqueurs disparaît pour introduire la notion de partie, centrale dans la structure profonde du problème (structure partie-tout).

Enfin, lors du bilan de la séance 1, l'enseignante revient sur le point commun entre les quatre problèmes étudiés, la présence de « quelque chose qui revient » « quelque chose qui est toujours là » et conclut en soulignant l'existence d'une partie commune : « Nous avons constaté que les problèmes étudiés peuvent se résoudre de deux façons. Nous avons aussi remarqué que dans chaque problème il y a une partie commune. Comme dans chaque problème, les 2 ensembles ont une partie commune, dans la 2ème procédure, la différence se porte sur les parties qui ne sont pas communes ».

Dans la seconde séance, cette notion est réutilisée par les élèves dans les premières tâches proposées puis reprise lors de la construction d'une représentation graphique de la structure profonde du problème (schéma partie-tout) et de la résolution du problème avec la procédure experte.

Une présence de la notion de *partie commune* dans les productions des élèves ?

En vue de documenter l'influence de cette construction collective sur l'apprentissage individuel des élèves, nous avons analysé leurs productions au cours des deux séances en cherchant à identifier comment la partie commune est progressivement thématisée.

Il est d'abord à noter que lorsque l'enseignante demande de comparer les deux procédures de résolution, aucun élève ne fait référence à la partie commune.

Durant la première séance, au cours de la résolution du problème 4, l'enseignante demande s'il y a *quelque chose qui revient*. Suite à cette question, 5 élèves (/20) répondent à la question par écrit en reprenant l'expression « ce qui revient » ou en utilisant un marqueur temporel (par exemple « *ce qui revient c'est les vaches* »). Puis, durant le bilan, suite à la question

suivante « *qu'est-ce qu'on a appris aujourd'hui ? Dans chaque problème on a vu qu'il y avait quelque chose... qu'est-ce que vous avez remarqué ?* », 9 élèves y font référence en utilisant la formulation « il y a quelque chose qui revient ». Lors du bilan de la seconde séance, 8 élèves/20 font référence à la partie commune en utilisant différentes formulations : « *j'ai appris qu'il y a dans les problèmes des choses qui sont toujours là* » « *parfois il y a une chose qui reste* » « *aujourd'hui j'ai appris la partie commune* ».

La référence à « ce qui revient », « ce qui reste », « la partie commune » est présente principalement dans les bilans des séances rédigés par les élèves (45% des réponses suite la 1ere séance, 40% suite à la seconde séance). Certains emploient explicitement la lexicalisation « partie commune » ; mais la formulation employé - « *j'ai appris la partie commune* » - nous amène à nous interroger sur la conceptualisation associée à ce lexème, et sur son caractère opératoire, son utilité pour orienter les procédures mises en œuvre.

De la « représentation en acte » de l'énoncé du problème à la représentation graphique de la structure profonde du problème

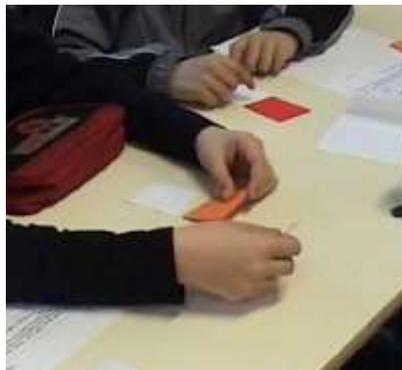
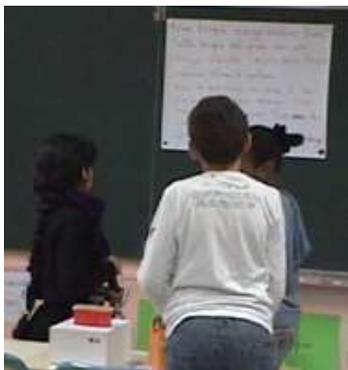
Dans la seconde séance, plus de la moitié de la séance est consacrée au premier problème. Le travail proposé est organisé en trois phases :

- une représentation de l'énoncé du problème par la manipulation collective de boîtes (devant l'ensemble de la classe) (#image1) puis par une manipulation individuelle de rectangles symbolisant les objets décrits dans l'énoncé (#image 2) (12 mn),
- une phase de recherche individuelle consistant à construire une représentation graphique de l'énoncé du problème (10 mn),
- une phase de correction à la construction collective d'un schéma (#image3)

Tout d'abord arrêtons-nous sur le premier problème étudié :

Une brique orange mesure 8 cm. Cette brique est posée sur une brique blanche. La pile ainsi formée mesure 15 centimètres de hauteur. Une brique rouge est posée à la place de la brique orange. La nouvelle pile mesure 5 cm de moins. Quelle est la hauteur de cette pile ?

Celui-ci a été choisi car il « incarne » la structure profonde des problèmes additifs à étapes : la structure induite par l'empilement successif de briques coïncide avec la structure partie-tout que ce scénario pédagogique vise à faire conceptualiser (chaque brique est une partie, chaque tout est composé par une brique identique et une brique différente).



#image 1

#image 2

#image 3

Des artefacts et de multiples inscriptions mobilisées pour aboutir à une représentation graphique du problème

Dans cette première partie de la séance, des artefacts (boîtes, rectangles) et de multiples inscriptions (#image 1,2,3) sont mobilisées pour représenter l'énoncé du problème et aboutir à une représentation graphique de la structure profonde.

La manipulation collective (#image 1) consiste à lire l'énoncé du problème et à le « simuler » à l'aide de boîtes. Cette « représentation en acte » du problème rend visible et tangible l'existence d'une brique identique, d'une partie commune aux deux tous successivement formés. Les questions de l'enseignante conduisent les élèves à verbaliser ce constat, qui expliquent que *quelque chose reste*, qu'il y a *une partie commune*.

Dans un second temps les élèves doivent simuler le problème individuellement en utilisant des rectangles de couleur. Les élèves passent ainsi de la manipulation d'artefacts en trois dimensions à des artefacts à deux dimensions.

Des propriétés pertinentes pour la résolution pas toujours perçues par les élèves

L'analyse des actions des deux élèves filmés montrent que l'un et l'autre commencent par superposer les rectangles (Figure 21, [7-9] pour E1 et [12-20] pour E2). Si cette action est conforme à l'énoncé, elle ne permet pas de rendre visible les propriétés saillantes pour la résolution de l'énoncé : l'existence d'une brique commune (masquée par la superposition) et la hauteur des briques.

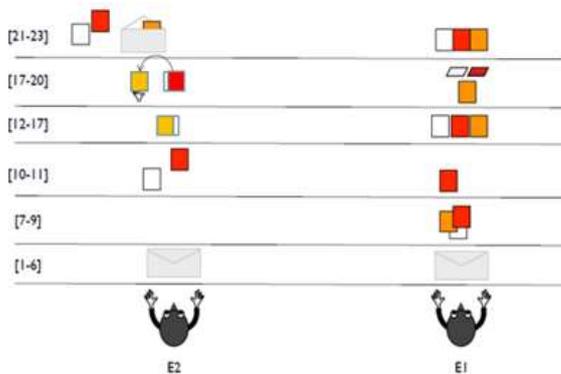


Figure 21. Simulation de l'énoncé du problème avec des rectangles de couleur²¹

Une intervention de l'enseignante est nécessaire pour que cette manipulation permette de rendre visible la propriété saillante pour résoudre le problème, la « hauteur » des briques, symbolisée par les côtés des rectangles (Figure 22).

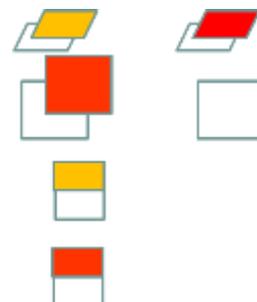


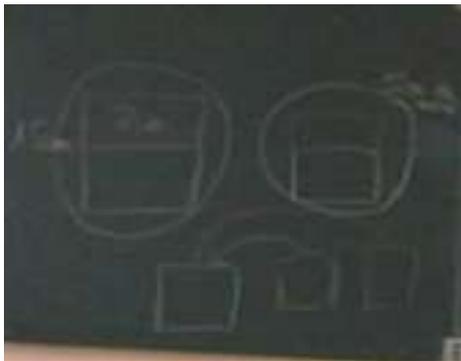
Figure 22. manipulation des rectangles de E1 par l'enseignante pour mettre en évidence la partie commune (rectangle blanc) et les dimensions des rectangles

²¹ Schéma construit à partir des transcriptions et de la vidéo, les nombres entre crochet correspondent au tours de parole dans la transcription de l'épisode correspondant

Cette manipulation est suivie par la construction individuelle d'un schéma représentant le problème. Comme les deux élèves que nous avons filmés, 90% des élèves ont produits un dessin représentant chaque brique, séparément ou l'une sur l'autre ; 50% ont indiqué les données sur le dessin. Seuls 10 % des élèves ont réalisé un schéma plus abstrait.

Vers l'introduction d'une représentation graphique de la structure partie tout par l'enseignante

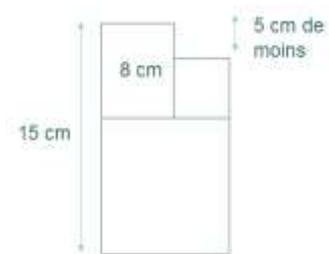
Suite à cette recherche individuelle, l'enseignante orchestre des échanges collectifs afin de construire une représentation graphique synthétisant les données de l'énoncé et mettant en évidence les relations parties tout (#image 8). Pour cela, elle s'appuie sur de multiples inscriptions (#image 6, #image 7).



#image 6



#image 7



#image 8

Dans un premier temps l'enseignante dessine et décrit les différentes propositions des élèves.

25mn30

T : [donc (.)moi je vais vous montrer un petit peu ce que j'ai vu (.)
T : y'en a qui m'ont fait *dessine un rectangle * donc qui représentait la brique blanche (pause) ((#image1, dessin en haut du tableau))
T : ensuite y'en a qui m'ont fait (pause) la brique orange↑ (.) et puis après (pause)* ils ont fait autre chose ils ont mis la brique blanche et dessus ils ont mis (pause) * dessin d'un rectangle au dessus* la brique rouge [(pause) d'accord:↑ (.)
[...]

T : une autre personne qui a fait:↑ (.) y'a la brique blanche:↑ [(pause) *dessin d'un rectangle * et puis (pause) *dessin d'un rectangle et d'une flèche* je mets la brique (.) orange (.) et puis ensuite (.) *dessin d'un 3e rectangle et d'une flèche* je remplace et je mets la brique rouge (pause) ((#image 1, dessin en bas du tableau)

Dans un second temps elle propose de construire une synthèse des deux représentations graphiques (« je colle finalement ces deux schémas », « je rapproche les deux ») précédemment dessinées mettant en évidence l'existence d'une seule partie commune sur laquelle repose les deux parties (#image 7, présentée plus lisiblement #image 8).

Puis les données de l'énoncé sont ajoutées au schéma par l'enseignante suite aux réponses des élèves. Ce faisant, elle les conduit à faire des inférences sur l'égalité des différences entre tout et entre parties et à justifier leur réponse en faisant référence à la partie commune.

T: alors comment ça se fait que le fait que la blanche et la rouge font 5 centimètres de moins↑ (.) je peux dire que c'est la brique rou:::ge qui fait 5 centimètres de moins<1822905>

Ef (fond) : parce que la blanche↑ (.) parce que la blanche↑ on peut pas la dépla- (.) on peut pas la rendre plus petite↑

Ya : [parce que la blanche avec la orange elle fait 15 centimètres et elle change pas↑ (.) avec la rouge↓

T: elle change pas la blanche (.) c'est pas la mesure de la blanche↑ qui va changer (pause) donc les 5 cm de moins↑ (.) c'est forcément↑ (.) *tape au tableau dans le rectangle rouge* sur la rouge↑ (.) d'accord↑ (pause)

Es :

T : pourquoi parce que la blanche c'est la partie (pause)

Es : heu xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

T : qui bouge pas (pause)

YA : commune

T : commune oui (pause) et (.) celle qui reste (pause)

Ex : toujours↑

T : voilà↓ *fait une flèche à côté du rectangle rouge et du blanc*

T : et donc là *fait une accolade à côté de l'espace vide* et ça là je mets moins (.)

Es :

T :

T : si je mets moins 5 vous comprenez↑ (pause)

Es :

T : ça veut dire 5 centimètres de moins<1865445>

Cette représentation graphique complétée par les données est ensuite utilisée par les élèves pour résoudre le problème avec la procédure-comparaison (procédure à une étape). Elle finit en décrivant de façon décontextualisée la représentation sémiotique proposée : « une partie commune, une partie qui n'est pas commune, une autre qui n'est pas commune ».

Remobilisation de la représentation graphique construite pour résoudre deux problèmes isomorphes

La représentation graphique construite à l'issue du travail sur le problème 1 deviendra ensuite un instrument pour résoudre les deux problèmes suivants.

« faire un schéma », une demande explicite de l'enseignante

L'enseignante demande explicitement de « faire un schéma qui permet de comprendre le problème en indiquant bien les données du problème », en soulignant l'analogie avec le problème précédent (« de me faire comme si c'était des briques ») et en indiquant explicitement par des pointages de faire comme la représentation graphique (#image 7) venant d'être construite. Pendant la résolution individuelle, elle reprecise « essayez de faire le schéma que je veux » et donne des indications sur l'utilisation de cette représentation - « donc en gros voilà le squelette [...] et à vous de le remplir », « en général qu'est-ce qu'on met en bas » - en pointant le schéma.

Une représentation graphique progressivement utilisée par certains élèves

L'analyse des schémas produits par les élèves durant la seconde séance montre une réduction progressive du nombre de dessins et une augmentation du nombre de schémas (25% de schémas pour le problème 2, 55% pour le problème 3) (Tableau 7).

Tableau 7. Effectif des différentes figures réalisées lors de la résolution des 3 problèmes (séance 2)

| | Problème 1 | Problème 2 | Problème 3 |
|---------------------|------------|------------|------------|
| DESSIN (total) | 18 | 11 | 7 |
| SCHEMA (Total) | 2 | 5 | 11 |
| Schema incomplet | 1 | 1 | 2 |
| Schéma avec données | 1 | 4 | 9 |
| | 20 | 16 | 18 |

Une représentation graphique devenant instrument pour résoudre le problème en utilisant la procédure experte

Durant les phases de correction, l'enseignante s'appuie sur la représentation graphique pour résoudre le problème.

Ainsi, suite à la résolution du premier problème, l'enseignante fait le lien entre l'existence de la partie commune, et la procédure de résolution (encadré X, ligne 1, 2, 8). En utilisant des gestes de pointage pour désigner les différents éléments du schéma, elle explique que la différence sur le tout se reporte sur la brique « qui n'était pas commune ».

```

<2119383> 35mn19
1 T: hein donc on a bien vu que si on pouvait faire (pause) *pointe le schéma
dessiné à droite du tableau* c'était cinq centimètre de moins sur toute la
pile↑ *pointe la flèche correspondant au tout*(pause)
2 T : mais comme *pointe la base du schéma* il y avait une partie commune
(pause) la différence qu'on faisait sur toute la pile *pointe la flèche
« tout »(pause) ça revenait à faire seulement la différence sur↑
(pause)*pointe la brique concernée*
3 Es:xx
4 T : la brique↑ (pause)
5 Ex : [orange
6 T : [qui n'était pas commune
7 T : sur la brique orange (pause) hein↑
8 T : donc la différence sur le tout↑ elle se reporte *geste de pointage vers
les briques du haut de schéma* sur les briques (.) qui ne sont (pause)
*persistance du geste* qui sont différentes↓ (pause) pas sur la brique qui

```

Lors des corrections, le « squelette » que constitue la représentation graphique est complétée, pour cela l'enseignante demande quelle est la partie commune en insistant à plusieurs reprises. Puis elle fait préciser quelles sont les deux autres parties, et demande aux élèves les données du problème. Les élèves sont invités à produire des inférences en répondant aux questions.

Puis le schéma construit est utilisé comme référence pour proposer la solution la plus efficace. Elle utilise une argumentation plus concise que pour le problème précédent en indiquant la partie sur laquelle ne peut pas se reporter la différence, en rappelant que c'est la partie commune.

```

1h05mn30
Ya : maîtresse (.) moi j'ai fait 354-4
T : *dispose l'affiche solutions au tableau*
T : donc beaucoup ont fait 354-4 * pointe le calcul de la seconde procédure*
(.) puisque:↑ (.) les 4 de moins ça peut pas être sur les français puisque les

```

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|-------|-----------|-----------|--------|-------------|---------|---------|--------|------------|-----------|-----|
| français | | | | ce | | | | sont | | | | |
| Ya | : | heu | les- | la | partie | | | commune | | | | |
| T | : | c'est | la | partie | qui | reste | c'est | la | partie | commune | | |
| «<3946816> | : | donc | (.) | les | 4 | centimètres | de | moins | c'est | forcément | pour | les |
| parties | | | qui | | | | ne | | sont | | pas | |
| Es | | | : | | | | | | | | communes | |
| T | | | : | | | | | | | | [communes | |
| T | : | et | ici | c'est | entre | les | anglais | et | | | | |
| Es | | | : | | | les | | | | | espagnols | |
| T | : | les | espagnols | d'accord† | donc | on | pouvait | faire | cette | méthode-là | | |

Comment les élèves utilisent-ils par eux-mêmes le schéma pour construire la solution ? nous n'avons pu observer cela à partir de l'analyse de l'activité des deux élèves observés, ceux-ci ont dessiné les éléments du problème (pour le problème 3, un avion), plutôt que schématiser les données de l'énoncé. Et l'analyse des traces écrites n'a pas permis de répondre directement à cette question. Elles nous permettent simplement de constater la ou les procédures utilisées.

Quelle maîtrise de la procédure experte par les élèves ?

En vue de caractériser la maîtrise de la procédure-comparaison, notre analyse s'est centrée sur les procédures de résolution des problèmes d'effectifs qui induisent spontanément l'utilisation de l'autre procédure (procédure-complément). Cette analyse montre que la procédure par comparaison était faiblement utilisée lors du pré-test (20% des élèves), mais qu'elle est plus fréquemment utilisée ensuite : en séance 1, 50% l'utilisent pour résoudre le problème 4, en séance 2 et 60% l'utilisent pour résoudre le problème 3, et lors du post-test 45 % l'utilisent spontanément (Figure 23). Durant la seconde séance, les élèves utilisent moins fréquemment la procédure-complément, mais en essayant d'utiliser l'autre procédure, ils commettent plus d'erreurs.

La séquence d'apprentissage dans son ensemble favorise donc l'utilisation de la procédure-comparaison comme l'ont montré les analyses quantitatives réalisées par ailleurs (Gamo, Nogry & Sander, 2014).

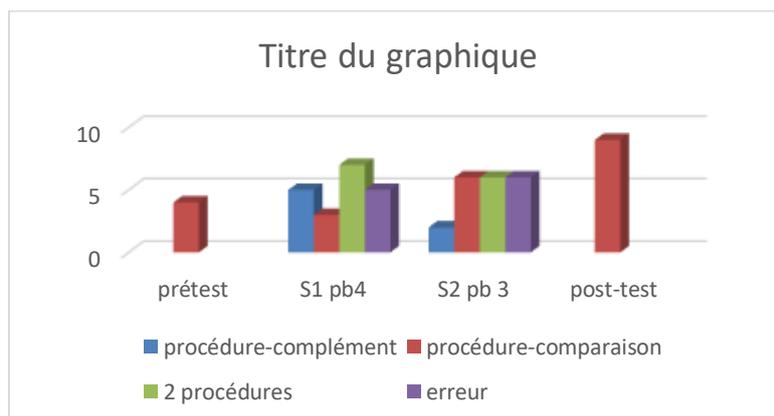


Figure 23. Procédures de résolution utilisées pour résoudre les problèmes d'effectif proposés

Comparer les procédures pour construire une norme « qu'est-ce qu'une procédure efficace »

Nous avons constaté que la comparaison des procédures ne participait pas à la construction de la notion de « *partie commune* » mais remplissait une autre fonction : la construction d'une norme socio-mathématique « *qu'est-ce qu'une procédure efficace* » progressivement partagée dans la classe.

La comparaison des procédures est introduite par l'enseignante après la résolution de chaque problème en demandant d'abord « *pourquoi trouve-t-on le même résultat ?* », puis « *qu'est-ce que vous pensez des deux méthodes ?* ». Les élèves précisent alors leurs critères (surlignés en jaune).

```
T : la procédure 1↓ (.) et tu peux nous dire pourquoi tu préfères la procédure
1↑
      (pause) hein
E1 : ba parce que (.) c'est moins compliqué (.)
T : c'est moins compliqué
E1 : ça va plus vite↑
[...]
```

```
T : ↑d'a:cco::rd (.) mais il y a plus↑ de calcul quand même↑
T : et là↑ *pointe la procédure 2* (.) c'est plus compliqué j'ai entendu
E1 : °oui°
Ya : en fait la première méthode elle est plus longue↑ (.) mais plus efficace
[...]
```

```
T : elle est plus longue↑ (.) parce qu'il y a 3 calculs↑ (.) mais là↑*pointe
la 2eme procédure* elle est plus efficace (.) mais là↑ (.) y'a qu'un seul
calcul↓
[...]
```

```
Had : la première elle est plus facile parce qu'(on fait) étape par étape et
c'est plus facile
T : donc(.) la première est plus facile parce qu'on la fait étape par étape
pour trouver la réponse donc (.) à la fin du compte↑ on arrive à la réponse↓
```

Puis dans la seconde séance, l'enseignante formule leurs questions en reprenant leurs critères : « *quelle est la méthode la plus simple à comprendre ?* », « *quelle est la méthode la plus rapide ?* », « *quelle est la méthode la plus pratique ?* », « *la plus efficace ?* ». Lors de la correction des différents problèmes et du bilan de la séance 2, les élèves constatent que la deuxième procédure « *va plus vite* », « *est plus efficace* ».

D'une séance à l'autre, les critères d'évaluation de l'efficacité d'une procédure évoluent. Lors de la première séance, la procédure-complément est considérée comme plus efficace car plus facile à mettre en œuvre, plus compréhensible. Tandis que dans la séance suivante, la procédure-comparaison devient plus compréhensible ; l'efficacité est alors associée à la vitesse de mise en œuvre de la résolution en soulignant que la procédure-comparaison ne demande qu'un calcul à réaliser.

Discussion

Cette dernière étude porte sur l'activité d'apprentissage des élèves durant la mise en œuvre d'un scénario pédagogique (Gamo et al., 2010) fondé sur l'analogie induite par la comparaison des problèmes et des procédures, visant à faire construire une représentation plus abstraite de la structure du problème (structure partie-tout), de façon à utiliser la procédure la plus efficace quel que soit le

contenu du problème. Cette recherche vise à comprendre *comment les élèves construisent une représentation abstraite de la structure profonde du problème*. Il s'agit plus particulièrement d'analyser *comment l'environnement social et matériel ainsi que les gestes associés contribuent à la comparaison des problèmes et des procédures et à la construction de cette représentation*.

Cette analyse montre tout d'abord que, comme dans les classes étudiées précédemment (Richland et al., 2004 ; Bastid & Nogry, 2016), l'usage des analogies est très structuré et guidé par l'enseignante. Elle initie la comparaison entre problèmes, puis guide la mise en correspondance et soutient la production d'inférence par des questions ciblées, l'utilisation de gestes, puis d'artefacts et de représentation graphique.

Dans la séquence étudiée, le guidage a d'abord lieu par la mise en place d'une routine conversationnelle fondée sur des marqueurs temporels (« d'abord... et ensuite... donc qu'est-ce qui revient ? »). Puis, dans la seconde séance, le guidage proposé s'appuie sur la représentation graphique de la structure du problème proposée.

La construction de la représentation abstraite du problème (*schéma partie-tout*) est progressive et passe par de multiples étapes mobilisant d'abord des interactions verbales soutenues par des gestes déictiques, puis des artefacts et des représentations graphiques :

- (1) Au cours de la résolution des problèmes et de leur comparaison, la routine conversationnelle rend saillante une propriété commune aux différents problèmes : « quelque chose revient », (une même « entité » est présente dans les deux étapes du problème). Elle permet une généralisation d'une propriété à différentes situations.
- (2) Lors du bilan de la première séance, ce constat « quelque chose revient » est *lexicalisé* l'enseignante en employant le terme de *partie commune*. Celle-ci procède à une abstraction. Avec ce terme, la dimension temporelle jusque-là centrale disparaît pour aller vers une description de des éléments de l'énoncé en termes de parties.
- (3) Un problème qui induit une structure coïncidant avec la structure profonde du problème est « représenté en acte » par des boîtes manipulées, puis des rectangles de papier. Les « parties » du problème sont ainsi matérialisées. La partie commune est rendue visible et tangibles.
- (4) Une représentation graphique des différentes parties est construite par une reprise des propositions des élèves, puis une introduction par l'enseignante d'une représentation abstraite de la structure « partie-tout » (structure profonde du problème).
- (5) Les élèves sont invités à résoudre d'autres problèmes par analogie au précédent, en utilisant la représentation graphique comme « un squelette » à compléter avec les nouvelles données pour résoudre le problème avec la solution la plus rapide (procédure-comparaison), ce qu'ils font avec plus ou moins de succès.

Au cours de ce processus, la comparaison des procédures participe à construire une norme socio-mathématique partagée sur ce qu'est une procédure efficace. Il est à noter qu'il est difficile de savoir si cette norme s'inscrit dans un processus d'enculturation plus global, la durée de la séquence d'apprentissage étant limitée.

Ainsi, dans cette séquence, si la construction d'une représentation de la structure profonde du problème (structure partie-tout) passe bien par une re-catégorisation des propriétés du problème (par exemple, « ce qui revient » devient « partie commune »), celle-ci est guidée et structurée dans l'interaction. Cette re-catégorisation fait partie d'un processus d'abstraction qui passe par la

construction de représentations sémiotiques abstraites en mobilisant un ensemble d'instruments, tels que le langage, des artefacts et des inscriptions associé(e)s à des gestes, ceci afin de rendre saillantes les caractéristiques pertinentes de la situation, même en l'absence de ce à quoi ils réfèrent. Ce processus d'abstraction est donc situé dans l'interaction entre apprenants et enseignante et médiatisé par différents instruments.

L'importance des inscriptions et des gestes associés pour soutenir l'élaboration d'analogies a par ailleurs été mise en évidence par Richland dans l'enseignement secondaire à partir d'observations (Richland et al., 2007) puis d'études expérimentales (Richland et Mc Donough, 2010 ; Richland, 2015). L'utilisation de « support visuel » (schéma, tableau, texte) pour représenter les situations source et cible, un alignement visuel entre ces supports et un guidage par l'enseignant en utilisant des gestes de comparaison constituent des indices qui ont un effet sur l'apprentissage. La présence de ces indices durant l'instruction conduit les apprenants à construire des représentations conceptuelles des situations plus flexibles et plus élaborées que dans la condition contrôle (Richland et Mc Donough, 2010 ; Richland, 2015). Richland (2016) souligne ainsi l'articulation entre gestes, langage, et représentations, mais cette articulation n'est pas analysée en tant que telle dans les études citées.

Dans l'enseignement primaire, où l'utilisation d'artefacts est plus fréquente, cette question n'avait pas encore été étudiée. L'originalité de cette étude est donc de mettre en évidence le rôle du langage, des inscriptions, des gestes, et des artefacts pour soutenir la comparaison entre problèmes et l'élaboration d'analogies, et de montrer comment ceux-ci participent au processus d'abstraction. Cette étude présente par ailleurs l'originalité d'analyser l'activité collective et de l'activité individuelle de certains élèves.

Elle présente néanmoins différentes limites, seuls deux élèves ont pu être enregistrés, ce qui n'a pas permis de documenter systématiquement l'appropriation par les élèves des différentes notions, schématisations et techniques proposées par l'enseignante. Par ailleurs, les méthodes choisies (observation, enregistrement) n'ont pas permis de documenter les analogies spontanément faites pour les élèves au cours de la séance. Ceux-ci prenaient peu la parole spontanément. On peut également s'interroger sur les transferts possibles de ce qui s'est construit durant cette séquence à d'autres situations d'apprentissages usuelles rencontrées ultérieurement.

Cette recherche montre que le passage d'une « représentation en acte » de la situation en manipulant des artefacts à la construction de représentations graphiques est cruciale dans le processus d'abstraction. Ceci ouvre soulève différentes questions :

- Quelles sont les conversions successives réalisées par les élèves eux-mêmes au cours de l'activité pour construire ces représentations ?
- Comment s'approprient-ils les termes et représentations graphiques introduits par l'enseignante ?
- Comment chaque artefact (objet manipulé / représentation externe) devient-il instrument dans les phases suivantes de l'activité ?

Chapitre 5. Abstraction située et apprentissage de l'informatique à l'école primaire

Dans ce chapitre nous allons présenter une étude réalisée dans un autre domaine de connaissances, l'apprentissage de l'informatique. Depuis 2016, l'apprentissage de l'informatique a pris place dans les programmes de l'école primaire (Vandevelde & Fluckiger, 2020). Devenu enjeu sociétal, l'enseignement-apprentissage de l'informatique vise à éduquer les citoyens en leur donnant les moyens de comprendre les traitements réalisés par les systèmes qu'ils utilisent, à initier chacun aux notions fondamentales de l'informatique en vue de répondre à une demande croissante, et à soutenir le développement d'une « *pensée informatique* » dès le plus jeune âge (Baron & Drot-Delange, 2016).

Le projet ANR DALIE (*didactique et apprentissages de l'informatique à l'école primaire*)²² auxquels nous avons contribué, a été initié en 2014 dans le but d'étudier comment mettre en place un curriculum d'informatique à l'école primaire. Ce projet abordait plusieurs questions : Quelles connaissances enseigner dans les différents cycles ? Comment les enseignants conçoivent-ils et mettent-ils en œuvre des séquences d'enseignement de l'informatique ? Quelle est l'activité des élèves dans ces séquences ?

Le projet s'est progressivement focalisé sur la robotique éducative. Notre contribution a porté sur ce dernier point. Nous avons réalisé une analyse de l'activité des élèves en situation afin de caractériser les mécanismes d'abstraction contribuant au développement conceptuel durant des séances de robotique éducative.

L'idée d'utiliser des jouets programmables pour apprendre a été popularisée par Seymour Papert (1980) avec la tortue LOGO. Cette idée s'inscrit dans une conception constructionniste de l'apprentissage (Harel & Papert, 1991) selon laquelle c'est en manipulant et en construisant quelque chose de montrable à d'autres que l'apprenant construit des connaissances. La robotique pédagogique - en offrant un environnement avec lequel les apprenants peuvent interagir, observer les résultats de leurs actions et créer – suscite leur intérêt et leur curiosité et semble favoriser le développement de compétences de différentes natures (Benitti, 2012 pour une synthèse). Il a été montré que la robotique pédagogique est efficace dès la maternelle pour apprendre différents concepts et capacités centrales en informatique (Komis & Misirli, 2015 ; Bers et al., 2014) ; dans ces études une séquence d'apprentissage est proposée par les chercheurs et mise en œuvre par des expérimentateurs ou par des enseignants associés au projet (Komis & Misirli, 2015). A l'issue de ces séquences les élèves ont appris le concept de séquence et ont développé des capacités à planifier, à gérer plusieurs commandes de programmation, à réaliser un algorithme et à déboguer. Ces séquences contribuent également à développer des compétences sociales nécessaires à la collaboration entre pairs.

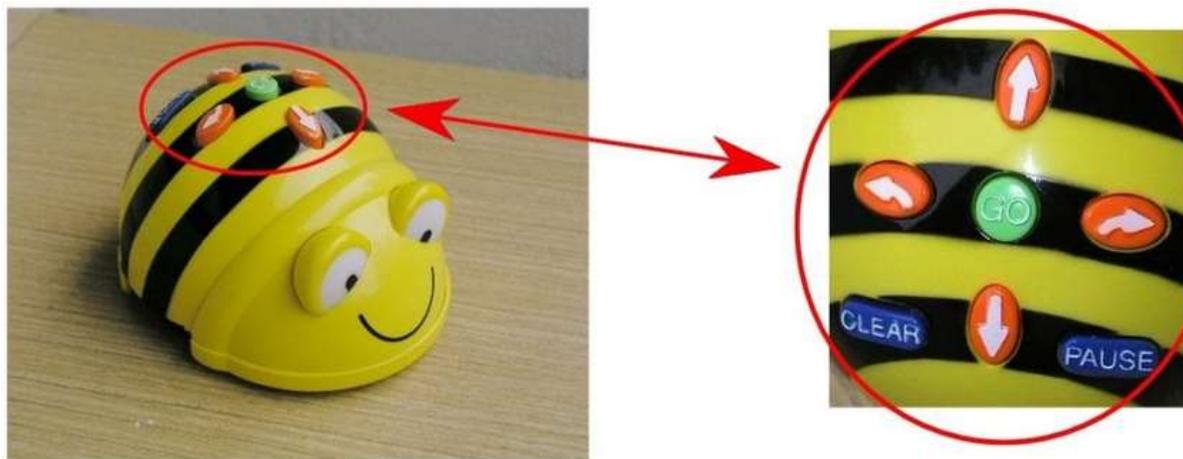
Comme le soulignent Crahay (1987) puis Gaudiello & Zibetti (2013), un certain degré d'abstraction est exigé de la part de l'élève pour programmer un robot, celle-ci nécessite des représentations abstraites des références temporelles et des mécanismes causaux, en cours de développement chez les jeunes

²² <http://www.unilim.fr/dalie/>

enfants. Dans le prolongement des recherches que nous avons conduites, soutenant ainsi une conception située de l'abstraction, l'objectif de notre étude est de caractériser les différents instruments qui participent au développement conceptuel : comment ces différents instruments (artefacts matériels et symboliques et schèmes associés) sont-ils progressivement générés et quelles fonctions remplissent-ils au cours du processus de conceptualisation ?

Dans ce but, nous allons présenter deux séquences d'apprentissage consistant à utiliser un jouet programmable, le beebot (Encart 3), l'une conduite en classe de CP, et analysée par moi-même (Nogry, 2019), l'autre conduite en classe de CE1, documentée et analysée par M. Spach durant sa thèse (Spach, 2017 ; Nogry & Spach, en préparation).

les *beebots* sont des petits robots contrôlés à partir d'une interface tangible disposée sur la partie supérieure de l'objet. Quatre boutons permettent d'orienter l'objet et trois boutons permettent de contrôler l'exécution du programme (« go » : exécution des instructions programmées, « pause » : interruption momentanée de l'exécution du programme, « clear » : effacement des commandes enregistrées en mémoire).



Encart 3. Jouet programmable Beebot

Le protocole mis en place dans le projet DALIE consistait à mettre à disposition des enseignants des ressources pédagogiques et à suivre le travail réalisé dans la classe en observant et filmant une séance toutes les deux semaines. Ces enregistrements étaient complétés par des entretiens avec les enseignants et des focus groupes avec les élèves.

Pour les deux séquences choisies, une analyse de l'activité des élèves et de l'enseignant a été réalisée à partir d'observations, d'enregistrements et d'entretiens. Il s'agissait de documenter les finalités de l'activité des élèves, le déroulement de cette activité et les médiations sociales et instrumentales entre le sujet et l'objet de l'activité (Bationo-Tillon & Rabardel, 2015). Cette analyse a été articulée à une analyse micro-génétique du développement des connaissances (Siegler, 2006). En articulant ces deux approches, il s'agit de mettre en évidence comment les genèses instrumentales participent aux genèses conceptuelles qui ont lieu durant la séquence d'apprentissage proposée.

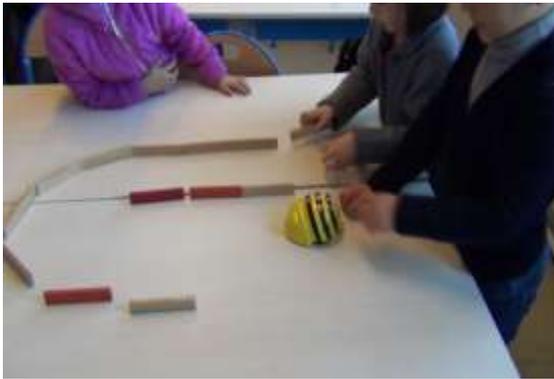
Présentation des séquences de robotiques éducatives proposés par les enseignantes

Dans les deux classes, les enseignantes, expérimentées ont choisi de proposer aux élèves une démarche d'investigation fondée sur une approche inductive : une découverte du robot par les élèves eux-mêmes, puis une structuration progressive de l'activité. L'objectif visé était d'amener les élèves à programmer le robot pour qu'il réalise un parcours prédéfini. Pour cela, il leur fallait développer plusieurs habiletés : maîtriser les commandes de contrôle (Go / Clear), comprendre ce qu'est une séquence d'instruction, planifier, construire une séquence d'instruction de plus en plus élaborée, déboguer.

Séance proposée en CP : recherche libre puis structuration de la tâche

La séquence observée en CP a été conçue et mise en œuvre par l'enseignante. Elle visait à faire programmer des déplacements dans l'espace. Les 18 élèves étaient répartis par groupes de trois pour utiliser les six *beebots* disponibles. La séquence s'est déroulée en deux phases :

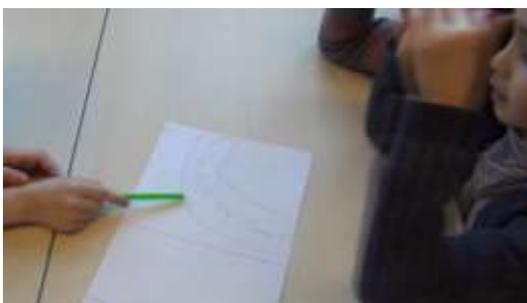
- (1) faire parcourir au robot un chemin tracé avec des Kapplas (séance 1 à 4),



L'objectif central de cette première phase était de faire découvrir les commandes de contrôle. Les consignes étaient minimales, les groupes de trois élèves travaillaient en autonomie durant environ 30 minutes par séance. Ils devaient construire un chemin en Kapplas puis découvrir par eux-mêmes le robot et en comprendre le fonctionnement pour lui faire faire le parcours. Les temps de recherches étaient suivis d'un regroupement durant lequel chaque groupe pouvait rendre compte de ses découvertes et de ses questions.

Après un premier temps de recherche en autonomie (séance 1), l'enseignante a précisé la consigne en demandant de tracer une ligne droite, avant de laisser les élèves plus libres de leur tracé.

- (2) dessiner par groupe un parcours à programmer ensuite (séances 5 et 6)



Dans cette deuxième phase, l'objectif était d'amener les élèves à programmer une séquence d'instructions. Durant la séance 5, chaque groupe dessinait un parcours sur papier puis programmait le robot pour réaliser son propre parcours tandis que durant la séance 6, le parcours était d'abord dessiné par un groupe avant d'être donné à un autre groupe qui programmait le robot pour qu'il exécute ce parcours.

CE1 : découverte libre du robot puis structuration de la tâche par une multiplicité d'artefacts

La seconde séquence présentée (Spach, 2018) a été conçue par l'enseignante, maître-formatrice expérimentée et mise en œuvre dans une classe de CE1 composée de 23 élèves âgés de 7 à 8 ans. Dix des quinze séances qui composent la séquence ont été observées et filmées. Elle vise à faire

programmer par des élèves, répartis en groupe de trois ou quatre, des déplacements de robots dans un espace délimité, un plateau quadrillé. Au fur et à mesure des séances, elle fournit progressivement différents artefacts pour instrumenter l'activité des élèves (Figure 24).

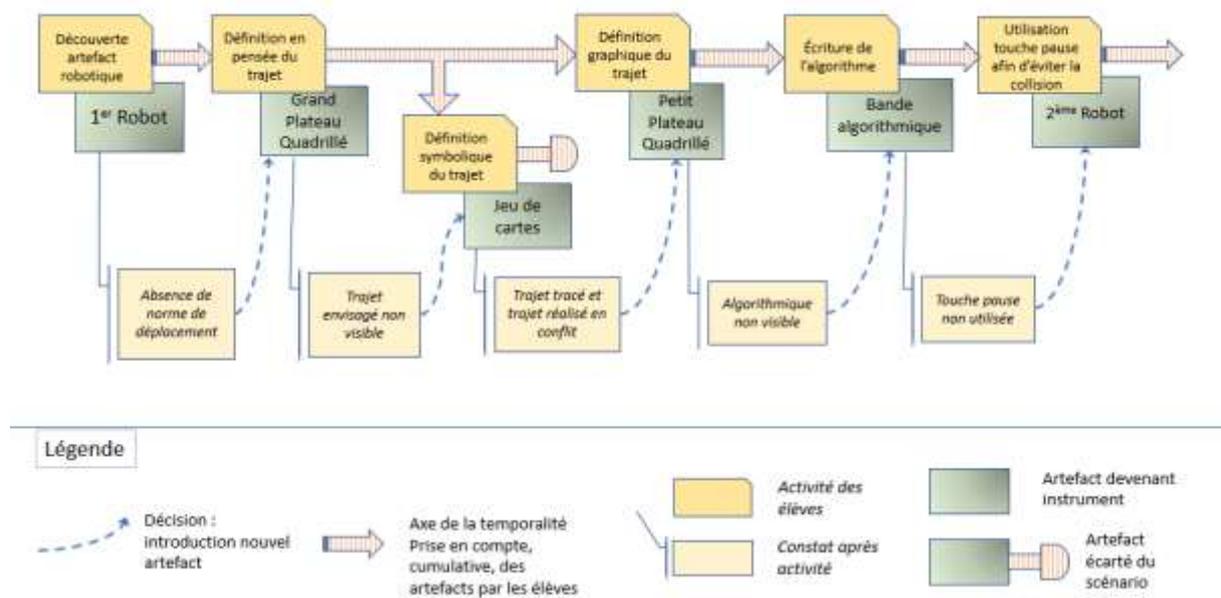


Figure 24. Introduction progressive de différents artefacts au cours de la séquence

Dans une première séance, il est demandé aux élèves de définir un trajet « en pensée », de matérialiser le point de départ et d'arrivée sur un plateau (cartons vert et rouge), et de faire parcourir ce trajet par le robot (Figure 25, image1). Dans une seconde séance, suite au constat d'une programmation « pas à pas », elle introduit un jeu de carte représentant les différentes commandes du robot en vue de représenter le déplacement sur le plateau (Figure 25, image 2).



Figure 25. Plateau avec marque de départ et d'arrivée, puis avec les cartes indiquant le trajet

Elle introduit par la suite deux nouveaux artefacts, un petit plateau, puis une bande algorithmique (Figure 26).



Figure 26. Petit plateau et bande algorithmique

Enfin, dans une dernière phase de la séquence, en vue d'introduire la touche pause, elle demande de programmer le déplacement de deux beebot simultanément sur le même plateau, ce qui conduit les élèves à résoudre des problèmes de synchronisation des trajets de chaque robot.

Dans ces deux séquences, nous avons cherché à identifier les genèses instrumentales (constitution de nouveaux schèmes associés au robot) et conceptuelles ainsi que les difficultés rencontrées dans chacune des phases de la séquence proposée.

En CP, une schématisation du trajet nécessaire à la conceptualisation

Phase 1. Découverte des commandes de contrôle - construction et déconstruction d'un premier schème d'utilisation

L'analyse de l'activité des élèves durant la première phase met en évidence l'apparition d'un schème d'action associé au robot (go-flèche) (Figure 27). Partagé collectivement au sein de la classe, celui-ci est adopté par tous les élèves.



L'élève appuie sur go

L'élève appuie sur flèche

Le robot parcourt un trajet plus long que prévu suscitant surprise et émotion

Figure 27. Illustration du schème « go-flèche » : séquence d'action fréquemment réalisée pour programmer le déplacement du robot

Ce faisant, les élèves semblent adopter une conception anthropomorphique du robot selon laquelle « La machine prend en compte les intentions, et traite sémantiquement les opérations en jeu » (Rogalski, 2015) ; ainsi on peut avancer une interprétation sémantique de la séquence « go-flèche » : va – en avant / en arrière/etc.). Il est à noter que ce schème ne permet pas de contrôler efficacement le déplacement du robot, ce que les élèves découvrent progressivement.

Un manque de compréhension du caractère différé de l'exécution du programme et un manque de compréhension des commandes de contrôle (touches démarrage, pause, « clear ») sont également notables. L'utilité de la touche de contrôle « clear » est progressivement découverte dans les différents groupes, mais sa fonction (effacer la mémoire) n'est pas encore comprise.

Au cours de cette première phase, les questionnements de l'enseignante amènent les élèves à déconstruire ce premier schème en s'interrogeant sur les relations de cause à effet entre les touches sélectionnées et le comportement du robot (« pourquoi il se déplace comme ça ? »). Elle attribue également une signification aux commandes de contrôle (« là tu lui demandes de recommencer et de

faire la même chose »). D'autres questions (« *est-ce qu'elle fait comme tout à l'heure ?* ») permettent d'introduire le caractère reproductible du programme.

A l'issue de la quatrième séance, une séquence d'action est instituée collectivement par l'enseignante : *remettre à zéro en utilisant la touche « clear », appuyer sur les flèches, appuyer sur go*. Celle-ci se substitue au schème « *go-flèche* ».

Phase 2. Différer la programmation du robot par la réalisation d'un dessin

Dans la phase suivante, deux tâches distinctes sont proposées *dessiner un chemin simple* puis *programmer le robot*. La programmation du robot devient alors différée, elle n'intervient que dans un second temps. Les étapes proposées dans la tâche 2 s'apparentent à la démarche mise en œuvre par les informaticiens : planification, implémentation de l'algorithme, évaluation et à débogage.

Du dessin à la schématisation du trajet

La première étape consiste à dessiner sur une feuille le parcours du robot. L'analyse des dessins réalisés montre que les premiers dessins construits ne sont pas tous opératoires ; Ainsi, sur le dessin 1 (Figure 28) l'élève dit dessiner un pont à traverser. Ils ne comportent pas toutes les informations nécessaires pour guider la programmation (nombre de pas à parcourir, rotations). Leur forme n'est pas en adéquation avec les possibilités de déplacement du robot, qui ne peut effectuer que des rotations à angle droit.

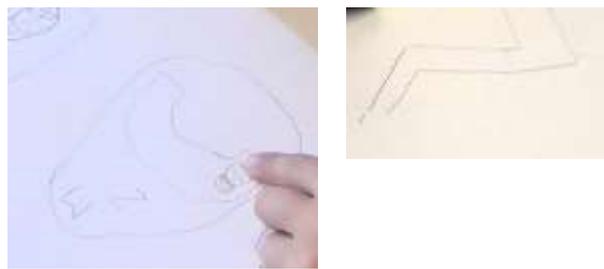


Figure 28. Premiers dessins réalisés

L'enseignante est alors conduite à préciser les consignes en demandant de dessiner « *Un chemin simple composé de 6 pas minimum* » et en leur demandant de matérialiser les pas de déplacement sous forme de flèche. Ces consignes conduisent les groupes d'élèves à réviser leur dessin pour aboutir à des représentations mobilisant des conventions construites collectivement dans la classe : rotations à angles droit, flèches représentant chacune un pas. Ces conventions sont diversement appropriées par les élèves (Figure 29).

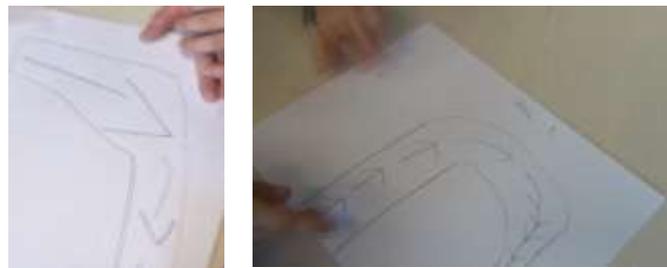


Figure 29. Dessins prenant en compte les conventions introduites par l'enseignante

De multiples instruments mobilisées pour programmer

Pour réaliser la seconde tâche - programmer le robot pour parcourir le chemin – le schéma initialement construit devient instrument pour la programmation ; associé à différents gestes, il remplit de multiples fonctions de médiation, et fait l'objet de différentes conversions successives pour aboutir à la séquence d'instructions programmée avec les commandes du robot.

Le schéma et le corps, instruments de planification de l'action du robot

Dans chacun des groupes, le schéma devient un instrument de planification de l'action de programmation du robot (Figure 30).



L'élève prend le schéma du parcours



Elle compte les flèches tout en les cochant



Elle prend le robot pour programmer et s'interroge sur le sens de rotation

E1 : tourner (.) à droite ou à gauche ?



Elle représente la rotation du robot par un mouvement du corps qu'elle commente

E2 : à droite

E1 : à gauche, si on se met comme ça c'est à gauche

Figure 30. Planification du programme à réaliser par une élève : séquence d'action réalisée

Les élèves comptent le nombre de pas à réaliser et identifient les rotations à effectuer.

Il est à noter que certaines difficultés rencontrées sont causées par l'écart entre la représentation schématique - des flèches courbes représentant un virage – et les commandes de contrôle du beebot (flèches avant/arrière commandant des déplacements d'un pas ; flèche droite et gauche commandant une rotation du beebot sur l'axe du robot). La non correspondance entre les codes du schéma et du robot provoquent dans un premier temps des erreurs fréquentes de comptage et de choix de la direction à choisir.

Pour planifier la rotation, certains élèves éprouvent le besoin de passer par une simulation. En réalisant un mouvement du corps mimant le mouvement à réaliser par le robot sur le parcours, les élèves réalisent une première conversion pour passer d'une représentation allocentrée de l'espace (le schéma) à une représentation égocentrée.

Le schéma : instrument support à l'implémentation du programme

Le schéma est ensuite utilisé durant l'implémentation du programme (sélection des touches appropriées). A partir du schéma, un membre du groupe indique à celui qui programme le robot sur quelle touche appuyer et combien de fois (Figure 31).

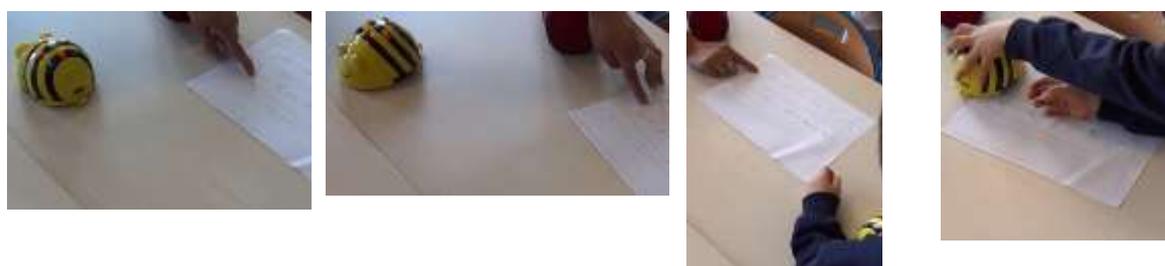
Du fait de la difficulté à anticiper la flèche à choisir pour « les virages », certains élèves adoptent une stratégie de type sous-programmes (décrite par Komis & Misirli, 2015) : le parcours complet est segmenté en sous-programmes correspondant à une ligne droite est suivie de la programmation de la rotation en pas à pas (une instruction seule entre les commandes clear et go), puis d'un nouveau sous-programme. Dans ce cas, la phase de planification alterne avec la phase d'implémentation. Progressivement, ils intègrent les rotations à leur programme.



Figure 31. Implémentation du programme sur le pavé de commande de contrôle du robot

Schéma et robot : des instruments mobilisés pour évaluer le programme

Le schéma intervient enfin dans la phase d'évaluation du programme qui suit l'implémentation. Cette phase, guidée dans un premier temps par l'enseignante, consiste à évaluer l'écart entre le parcours du beebot et le trajet dessiné. Associé à des gestes déictiques et à des commentaires, le schéma est utilisé pour mettre en correspondance parcours prévu et déplacement du robot (Figure 32).



Enseignante et élève comptent les pas par mise en correspondance entre schéma et déplacement

Ens & E : un (.) deux (.) trois (.) quatre (.) cinq

Constat d'un écart entre le parcours prévu et réalisé (direction différente)

Ens : qu'est-ce qui va pas ?

Analyse du problème

Ens : qu'est-ce qui s'est passé ? c'est

Analyse du problème et recherche de solution

E : il doit faire comme ça et puis comme ça

l'enseignante pointe la flèche correspondante la E : il est allé là-bas *montre la gauche* ici que ça n'allait pas ? *déplace le robot sur le parcours décrit par le schéma*

pointe la flèche correspondante Ens : qu'est-ce qu'on doit lui demander pour faire ça ?

Figure 32. Evaluation du programme par un groupe d'élève : mise en correspondance du schéma du parcours et du déplacement, guidée par l'enseignante

Dans cette phase, les médiations de l'enseignante jouent un rôle important : elle analyse avec eux les causes de l'écart et les conduit à modifier le programme ou la représentation du déplacement lorsqu'elle est imprécise.

A la fin de la séance, l'ensemble des élèves sont en capacité de programmer un parcours simple (parcours en équerre) en programmant une séquence complète ou deux sous-programmes (le déplacement jusqu'à la rotation, le déplacement suite à la rotation).

En CE1, une multiplicité d'artefacts mis à disposition

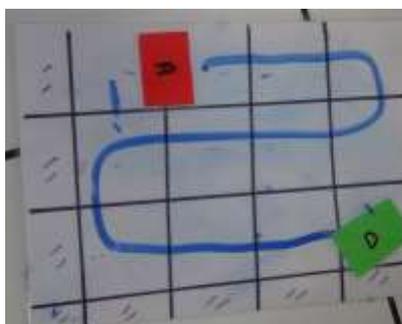
En CE1, Lors de la première séance, l'enseignante demande aux élèves d'imaginer le trajet en pensée sur un quadrillage. Ceux-ci éprouvent rapidement le besoin de matérialiser ces déplacements, par exemple en déplaçant manuellement le robot au-dessus du quadrillage proposé. Suite à ce constat, l'enseignante introduira dans les séances suivantes de multiples artefacts. Les artefacts qui seront les plus utilisés sont le petit plateau et la bande algorithmique. Comment ces artefacts deviennent-ils instruments dans l'activité des élèves ? Comment orientent-ils l'activité de programmation des élèves ? Quelles fonctions de médiation remplissent-ils ? En comment participent-ils au développement conceptuel ?

Petit plateau

Lors de la troisième séance, un petit plateau quadrillé, analogue au grand plateau dont ils disposent sur leur table, est proposé aux élèves (« vous avez votre petit plan. Vous allez faire le trajet sur ce petit plan ; c'est le trajet en miniature »). Au cours de la séance, l'enseignante met en avant deux principales fonctions de cet artefact : la communication et la mémoire (« tracer cela permet de se souvenir, non ? »). Cet outil permet ainsi aux élèves de se mettre d'accord au sein du groupe sur le trajet envisagé en le matérialisant à l'aide d'un feutre effaçable. Les élèves s'approprient cet outil en représentant le trajet sous différentes formes (Figure 33).



Succession de segments droits



Ligne continue courbe



Succession de flèches

Figure 33. Parcours tracés sur le petit plateau

Le trajet dessiné sur ce petit plateau, d'abord objet de l'activité du groupe, devient ensuite instrument pour guider la programmation du robot (Figure 33, image1). Ceci ne se fait pas sans difficulté, différentes erreurs sont commises. Elles sont parfois identifiées grâce aux interventions de l'enseignante qui pose des questions, met en correspondance à l'aide de multiples gestes déictiques dessin sur le petit plateau et trajet effectué sur le grand plateau, et fait verbaliser le programme implémenté (Figure 34, images 2 et 3).



Figure 34. programmation avec le petit plateau, recherche d'une erreur avec l'enseignante

Bande quadrillée

Une genèse instrumentale guidée

Face à la difficulté d'analyser les erreurs commises par les élèves, l'enseignante choisit d'introduire la séance suivante un autre artefact, une bande « quadrillée » (aussi appelée bande algorithmique). L'outil est présenté comme une aide à la mémorisation du programme implémenté et à la correction des erreurs : « pour vérifier, il faut que les choses soient visibles. Et puis la bande aussi, parce que, si jamais il y a une erreur, c'est le moyen de le voir, la bande. C'est comme ça que vous voyez qu'il y a une erreur. » Cette bande plastifiée permet aux élèves de rendre visible, montrable, et commentable le programme implémenté.

Par ailleurs, cette bande structure l'écriture et la lecture de l'algorithme. La présence des cases introduit une granularisation de l'algorithme ; leur disposition en ligne présuppose une séquentialité des instructions. Plastifiée, elle permet un effaçage complet ou partiel des tracés réalisés au feutre.

Ensuite, pour faciliter l'appropriation de ce nouvel artefact par certains élèves, l'enseignante précise la séquence d'actions à réaliser avec les différents artefacts à disposition : « Ici [en présentant le petit plateau quadrillé] vous tracez votre trajet ; ensuite vous me notez tout ici [en présentant la bande algorithmique]. Ça permet de garder une trace, de voir si on ne s'est pas trompé [...] Et puis vous allez essayer de voir comment cela se passe », « tu regardes ta bande et tu programmes comme ta bande ». L'utilisation des outils est également discutée en fin de séance (« Quelles sont les difficultés que vous avez rencontrées ? »).

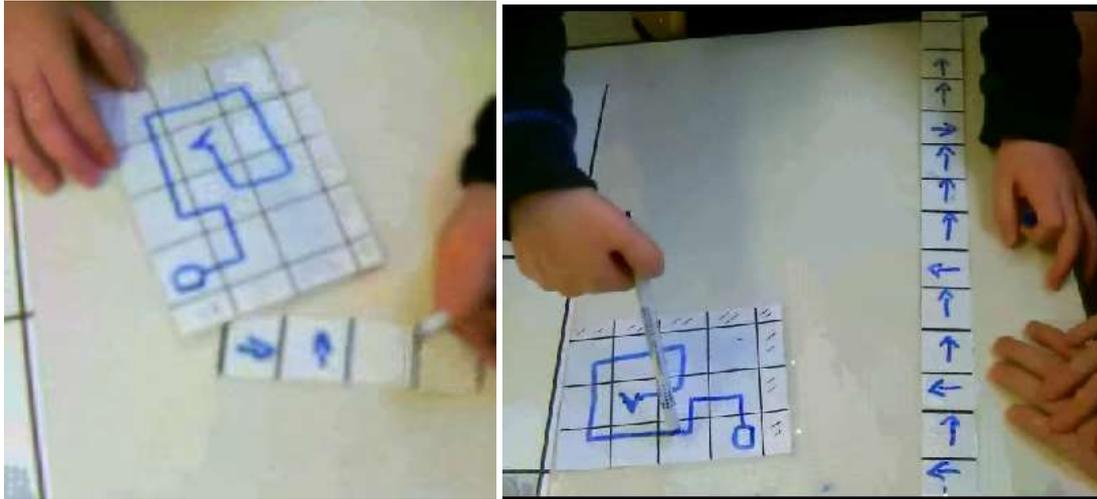


Figure 35. Codage du parcours à l'aide de la bande quadrillée

Écriture de la séquence d'instruction

La bande algorithmique est d'abord utilisée en groupe : l'un utilise le « petit plateau » pour dicter les directions (« tourne, avance »), l'autre code le déplacement en utilisant une représentation symbolique analogue à celle présente sur le pupitre du robot (Figure 35). Les élèves modifient l'orientation du « petit plateau » de façon à ce que le trajet et le corps de l'élève soient orientés dans la même direction pour construire la séquence d'instruction. Ce faisant, ils effectuent une conversion d'une représentation allo-centrée du trajet à une représentation égo-centrée constituée d'une suite ordonnée de pas dont la représentation graphique figure sur la bande algorithmique.

Dans un deuxième temps, petit plateau et bande algorithmique sont utilisés pour contrôler l'algorithme, en vérifiant la correspondance entre le trajet sur le petit plateau et la bande numérique (Figure 35, image 2). Cette stratégie est encouragée par l'enseignante.

Instrument pour programmer le robot

La bande algorithmique est ensuite utilisée pour programmer le robot, en entrant avec célérité la séquence d'instruction qui y est inscrite (Figure 36).

Sous l'effet de la consigne et des outils introduits au fur et à mesure, une programmation « multi-pas » tend à se substituer à une programmation mono-pas ».



Figure 36. implémentation de la séquence d'instruction



Figure 37. Lecture croisée du trajet et du programme

Débogage

En cas d'erreur constatée lors du déplacement, tout ou partie des instructions présentes sur la bande numérique sont effacées ou modifiées. En cas de difficulté à identifier l'erreur, l'organisation du groupe peut être modifiée au profit d'une organisation privilégiant un partage du travail.

Discussion

Cet article porte sur l'activité des élèves de 6 à 8 ans durant des séances de robotique éducatives conçues et mises en oeuvre par deux enseignantes à l'école primaire (programmation de déplacements d'un beebot sur un parcours défini par les élèves). Ces analyses visent à étudier le rôle des artefacts et représentations sémiotiques au cours du processus d'apprentissage. Elles mettent en évidence leur importance dans la construction des représentations symboliques constitutives du langage formel à maîtriser pour programmer (Bers, 2019) et du concept de séquence d'instructions.

Dans les deux études de cas, les apprenants étaient initialement confrontés à des difficultés rencontrées par ailleurs par des débutants en programmation, telles que des difficultés à interpréter les comportements du robot (Duboulay, 1986 ; Levy & Mioduser, 2008) ou à prendre en compte le caractère différé de l'exécution du programme (Rogalski, 2015). Comme dans d'autres situations d'apprentissage (voir par exemple Kalas et al., 2018), pour pallier à ces difficultés les élèves ont initialement procédé à une manipulation directe du robot, puis les stratégies utilisées ont évolué vers un contrôle direct, associé à une stratégie pas à pas (l'instruction donnée est immédiatement exécutée), puis vers un contrôle computationnel consistant à programmer la séquence d'instruction que le robot devra ensuite exécuter.

Dans la première étude de cas, ce passage d'un contrôle direct à un contrôle computationnel par tous les élèves a été rendu possible par la réalisation d'un schéma du trajet à parcourir. Cette tâche a obligé les élèves à reporter l'action de programmation, pour prendre le temps de la planification. Construites en intégrant des conventions collectivement constituées, ces représentations graphiques sont devenues un instrument structurant pour programmer, supportant différentes conversions d'un registre sémiotique à l'autre (Duval, 2006 ; 2017) et permettant d'anticiper le programme à implémenter. En complément de cette représentation graphique, à l'initiative des élèves, leur propre corps est devenu instrument support à la conversion des changements de direction d'une représentation allo-centrée à une représentation ego-centrée. Ils ont été ainsi amenés à prendre en considération le caractère différé de l'exécution d'un programme, à s'approprier les représentations symboliques utilisées pour coder, et à adopter une démarche d'investigation. A l'issue de cette séance,

l'ensemble des élèves étaient capable de programmer un parcours simple composé de plusieurs pas et d'une ou deux rotations.

Dans la seconde étude de cas, ce passage d'un contrôle direct à un contrôle computationnel a été rendu possible par l'introduction par l'enseignante de plusieurs artefacts (grand plateau, petit plateau, bande algorithmique), suite aux difficultés rencontrées par les élèves. Les propriétés de ces artefacts (forme, taille, inscriptions pré-existantes) contraignent les représentations que les élèves peuvent construire du trajet à parcourir. Progressivement associés à des schèmes collectivement construits et socialement partagés, puis organisés en système (Rabardel & Bourmeaud, 2003), ces artefacts devenus instruments orientent l'attention des élèves sur les propriétés pertinentes pour la programmation (longueur des pas du robot normée, séquentialité du programme, etc.), constituent des traces des étapes de la programmation supports à une co-construction collective, et induisent la mise en œuvre de multiples conversions entre différents registres de représentations sémiotiques. Ils conduisent les élèves à passer d'une représentation en deux dimensions, continue et allo-centrée du parcours, à une représentation séquentielle, discontinue, normée, et centrée sur l'axe de rotation du robot. Une fois ce système d'instruments en place, l'ensemble des élèves deviennent capables de programmer des parcours complexes (composés d'un grand nombre de pas et de multiples rotations), de les déboguer, puis de planifier le parcours de plusieurs robots dans le même espace.

Néanmoins, tous les artefacts ne sont pas également efficaces pour supporter la construction de représentations symboliques nécessaires à la programmation. Ainsi, dans cette seconde étude de cas, si, comme dans l'étude réalisée par Komis et Misirli (2015 ; 2017), l'enseignante choisit d'utiliser un jeu de cartes de programmation aux symboles analogues aux commandes du robot, l'effet produit est très différent. Les schèmes associés à ces cartes, consistant à les déposer sur le plateau pour représenter le parcours sous formes d'instructions et à imprimer un mouvement de rotation à ces cartes pour simuler les mouvements du beebot, n'ont pas permis aux apprenants de prendre une distance suffisante pour se détacher du « faire », et anticiper les déplacements du robot. Les apprenants n'ont alors pas compris qu'une carte et un symbole ne renvoient qu'à une seule fonction. En revanche, dans le scénario proposé par Komis et Misirli (2015 ; 2017), le fait d'avoir à disposer ces cartes séquentiellement sur une réglette qui permet aux élèves de passer d'une représentation en deux dimensions du parcours à une représentation linéaire et séquentielle.

Ces difficultés à représenter les changements de direction ont été observées dans les deux études de cas. Celles-ci peuvent être analysées comme un manque de congruence entre les symboles utilisés par les apprenants, les symboles présentés sur l'interface tangible du beebot pour représenter les rotations, et l'action effectivement réalisée. Comme le souligne Duval (2006 ; 2017), la conversion d'une représentation à l'autre se fait spontanément quand elles sont congruentes, c'est-à-dire lorsqu'il existe une correspondance sémantique entre unités signifiantes, un même ordre d'appréhension de ces unités dans les deux représentations et une possibilité de convertir une unité signifiante de départ en une seule unité signifiante dans la représentation d'arrivée. Or pour programmer un changement de direction, cette concordance est partielle. Sur l'interface de commande, les touches « flèche droite/flèche gauche » suggèrent un mouvement de déplacement orienté à droite ou à gauche, mais elles activent un mouvement de rotation sur l'axe sans déplacement. Par ailleurs, dans les représentations initialement utilisées en classe (sur les schémas, cartes, bande algorithmique), la représentation d'un changement de direction correspond non pas à une instruction mais à deux instructions (avancer, tourner/tourner, avancer), ce qui peut être source de confusion.

Ainsi, dans le prolongement des études menées par Mioduser et al. (2009), cette recherche met en exergue le caractère situé du processus abstraction dans ce domaine d'enseignement apprentissage. De notre point de vue, ces résultats soutiennent l'hypothèse selon laquelle la capacité à comprendre ce qu'est une séquence d'actions et à l'implémenter passe par la possibilité pour les élèves de procéder à de multiples conversions d'un registre sémiotique à l'autre jusqu'à l'utilisation des représentations symboliques correspondant au langage de programmation. Ces différentes conversions ne sont pas seulement le fruit d'une activité mentale individuelle. Les différents artefacts, devenus instruments soutiennent l'activité individuelle mais aussi collective des élèves et contraignent la construction de ces représentations. Les représentations sémiotiques élaborées et inscrites sur ces artefacts sont par ailleurs soumises à des conventions introduites collectivement au sein de la classe. Elles permettent de garder une trace de l'activité du groupe, soutiennent l'argumentation de chacun et favorisent la coordination au sein du groupe ; le passage d'une représentation à un autre est négociée collectivement au cours de ce processus.

Cette recherche invite à une analyse plus systématique des fonctions assurées par les artefacts manipulés et inscriptions produites dans les études portant sur le processus d'apprentissage. En complément de cette étude, conduite auprès d'enfants de 6 à 8 ans découvrant l'informatique, d'autres études mériteraient d'être conduites pour approfondir la compréhension du rôle des artefacts et des représentations sémiotiques dans le robotic learning process dans une perspective développementale en articulant approches micro-génétiques et ontogénétiques. Sur le plan méthodologique, cette analyse de l'activité réalisée à partir des vidéos des séances gagnerait à être complétée par une prise en compte du point de vue de l'enfant sur sa propre activité, ceci afin de rendre compte de l'expérience vécue par l'enfant au cours du processus d'apprentissage, et du sens qu'il construit dans ces situations (Decortis, 2015 ; Dieumegard et al., 2019 ; Jung & Won, 2018).

Cette étude a également différentes implications pour l'enseignement. Elle invite à concevoir différents artefacts pouvant supporter la production de représentations sémiotiques en adéquation avec le langage informatique et les concepts à construire dès la conception des scénarios pédagogiques. La conception se poursuivant dans l'usage (Folcher & Rabardel, 2004), une attention particulière mériterait d'être portée aux genèses instrumentales associées à ces artefacts par les élèves en situation. Par ailleurs, une analyse des artefacts et représentations sémiotiques proposés dans les scénarios disponibles dans les manuels est ressources en ligne est en cours.

Chapitre 6. Synthèse de la partie 2

Selon Hofstadter & Sander (2013, p. 349) « *la cognition humaine est doublement ancrée, d'une part elle est ancrée dans le passé à travers l'analogie et d'autre part elle est ancrée dans le concret à travers le corps éprouvé* ». De notre point de vue l'ancrage dans le concret passe par le corps éprouvé mais aussi par la manipulation d'artefacts culturellement et socialement constitués. Aussi, nous soutenons ici l'hypothèse de l'existence d'un troisième ancrage fondé sur l'environnement matériel dans lequel évolue le sujet qui matérialise les connaissances culturellement transmises et construites.

Ainsi, dans cette perspective, comprendre les mécanismes en jeu dans la construction des connaissances et le développement du sujet nécessite non seulement de mettre à jour les analogies utilisées par les apprenants, mais aussi d'analyser ce qui se cristallise au cours de l'activité, de ce qui se matérialise sous la forme d'objets techniques, d'inscriptions, et comment ceux-ci participent au développement. L'adoption de cette perspective nous a conduit à étudier le rôle des analogies dans les apprentissages dans une perspectives située.

Nos contributions sont de plusieurs ordres. Elles portent d'une part sur l'étude des usages de l'analogie en situation écologique, en particulier dans les classes à l'école primaire, question jusque-là peu investiguée. Elles visent également à mettre en évidence ce triple ancrage de la cognition dans des situations d'apprentissage.

Cette discussion revient sur nos principales contributions à ces questions, et esquisse différentes perspectives de recherche qui s'en dégagent.

Des analogies utilisées au quotidien dans la classe

Hofstadter & Sander (2013) ont proposé une conception renouvelée de l'analogie, pensée comme mécanisme organisateur de la pensée, prenant comme source non seulement les situations proposées mais l'ensemble de nos expériences et connaissances quotidiennes. De nombreuses études ont été conduites afin de mettre en évidence l'importance de ce mécanisme dans les apprentissages scolaires et le développement conceptuel. Nous avons choisi de contribuer à ce champ de recherche en mettant à jour les analogies utilisées spontanément en classe à l'école primaire.

Une analyse des analogies explicitement utilisées en classe durant les cours de mathématiques a montré qu'elles sont régulièrement utilisées dès le cours préparatoire ; évoquées verbalement, elles peuvent également être matérialisées par des artefacts (matériels et symboliques). A l'école primaire comme au collège, ces analogies sont principalement élaborées par les enseignants dans le but de travailler sur des concepts mathématiques ou d'acquérir des procédures de résolution (Bastid & Nogry, 2016 ; Richland et al., 2004). Lorsque les élèves y contribuent, ils sont fortement guidés par les questions et suggestions des enseignants. Leur participation consiste à faire des inférences une fois la mise en correspondance entre situations opérée, et dans une moindre mesure à contribuer à cette mise en correspondance. Les situations évoquées dans ces analogies ne sont pas seulement des problèmes isomorphes déjà résolus en classe (comme le proposent de nombreuses recherches sur le raisonnement par analogie) ; les situations sources évoquées sont également des situations familières (situations quotidiennes, ou rencontrées en classe) évoquées verbalement et parfois matérialisées par la manipulation d'artefacts (jetons, etc.) ou par la référence à des inscriptions présentes dans la classe.

Les artefacts (matériels et symboliques) peuvent également être utilisés pour construire une représentation de la situation cible.

Les analogies spontanément élaborées par les enfants au quotidien en classe sont plus difficiles à mettre en évidence. Dans les cours observés, la structure de participation laisse peu de place aux prises de parole spontanées des élèves. Des entretiens d'explicitation conduits après des séances d'arithmétique ont permis de rendre compte de la multiplicité des situations sources mobilisées par les élèves pour réaliser la tâche proposée (génération d'énoncés). Une partie de ces énoncés ont été construits en référence à des situations types proposées en classe ; d'autres ont été générés à partir d'analogies avec des expériences vécues ayant une connotation émotionnelle positive. Enfin certains élèves semblent s'appuyer davantage sur des indices présents dans leur environnement plutôt que sur des analogies à des situations déjà rencontrées.

Ainsi, la construction d'analogies en classe peut être envisagée comme un phénomène distribué, émergent de l'expérience individuelle, élaborées à travers les interactions sociales et matérialisées par des artefacts (matériels et symboliques).

Suite à ces premières études, différentes perspectives de recherches se dessinent. Étant donné le rôle central joué par les enseignants dans la production des analogies, des études plus systématiques sur ce sujet mériteraient d'être conduites : Comment sélectionnent-ils les situations sources proposées en fonction de leurs objectifs ? Comment guident-ils la mise en correspondance entre source et cible et la production d'inférence ? Quels artefacts (matériels et symboliques) mobilisent-ils au cours de ce processus ? Comment s'approprient-ils les artefacts mis à leur disposition par les enseignants ? Comme l'a montré Taabane (2011), certains gestes peuvent devenir des métaphores de concepts mathématiques et ainsi « incarner » ces concepts ; ceux-ci mériteraient également d'être investigués.

Du point de vue des apprenants, comment ceux-ci interprètent-ils ces analogies ? En quoi ces situations font-elles échos à leur propres expériences et connaissances ? Quelles significations construisent-ils à partir de ces situations ? Quelles analogies font-ils spontanément dans les situations d'apprentissage ? Et comment celles-ci constituent-elles des ressources ou font-elles obstacle à la réalisation de la tâche proposée ?

Investiguer ces questions suppose de rendre compte du point de vue des apprenants eux-mêmes sur leur activité. C'est notamment l'approche proposée par the Actor-Oriented Transfer Perspective (Lobato, 2012). Dans cette perspective, il ne s'agit pas de faire des inférences sur les analogies élaborées par les apprenants à partir d'indicateurs prédéfinis, mais d'étudier des épisodes dans lesquels les expériences antérieures des élèves façonnent leur activité d'apprentissage, même si le résultat est incorrect. Il est ainsi possible de mettre en lumière des interprétations imprévues des situations d'apprentissage ou des contraintes implicites. C'est également l'approche que nous avons adoptée en utilisant l'entretien d'explicitation (Vermersch, 1995 ; 2011), et qui s'est prolongé au sein du projet micro-sparkle (Dieumegard et al., 2019) qui ouvre sur de nouvelles perspectives présentées dans la dernière partie

Analogie, apprentissage et développement conceptuel

Comment ces analogies participent-elles à l'apprentissage et au développement conceptuel ? Si différentes approches (analogie comme raisonnement / analogie au cœur de la pensée / apprentissage situé) s'accordent sur le rôle central de l'analogie dans les apprentissages, elles proposent des conceptions alternatives des mécanismes en jeu.

Pour les premières, le développement conceptuel - processus d'abstraction consistant, par un mouvement « vertical » de la pensée, à se détacher d'une situation concrète pour en extraire une ou des propriétés pertinentes pour la tâche - est central. Ainsi, selon Sander & Hofstadter (2013) l'analogie, en rapprochant des situations qui pourraient sembler éloignées, rend possible la mise en évidence du *squelette conceptuel* qu'elles partagent et, ce faisant, est associé à l'émergence de nouvelles catégories permettant de penser le monde. Selon ces auteurs, le développement conceptuel s'opère à la fois par ce processus de catégorisation et par des réorganisations hiérarchiques des catégories existantes faisant émerger certaines propriétés communes.

Des mécanismes d'émergence de connaissances conceptuelles à partir des expériences passées activées par la situation vécue sont par ailleurs décrits dans le champ de la cognition incarnée (Versace et al., 2002 ; Brunet et al., 2016). Suivant cette approche, des catégories nouvelles sont générées dynamiquement par l'activation et l'intégration d'expériences passées enracinées dans des états sensori-moteurs, faisant émerger certaines propriétés en masquant d'autres.

Dans l'approche située, généralisation et abstraction sont considérés comme deux mécanismes distincts. Certaines situations singulières deviennent des sources soutenant une généralisation considérée comme une extension des propriétés d'une situation à d'autres, sans abstraction²³. Le processus d'abstraction, distinct de la généralisation, est considéré comme une pratique sociale (Greeno, 1997) qui consiste à construire et interpréter des représentations sémiotiques en l'absence de ce à quoi ils réfèrent. Ces abstractions situées sont constituées par de gestes, des artefacts, des représentations sémiotiques, qui rendent saillantes les caractéristiques pertinentes de la situation (Hoyles, Noss & Pozzi, 2001 ; Noss & Hoyles, 1996 ; Radford, 2006 ; 2009). Ces abstractions situées constituent des ressources parmi d'autres pour la construction ultérieure de connaissances en situation. Cette approche nous invite ainsi à distinguer généralisation et abstraction, et à analyser le processus d'abstraction dans sa matérialité.

L'étude des analogies au quotidien en classe a montré que la construction d'analogies émerge de l'expérience individuelle, mais est aussi élaborée à travers les interactions sociales et matérialisées par des artefacts (matériels et symboliques). Il s'agit alors de caractériser le rôle des inscriptions, des gestes, des artefacts mobilisés lors de l'élaboration d'analogies, ainsi que leurs fonctions dans le développement conceptuel. Nous en sommes ainsi venue à mettre en évidence les ancrages matériels des analogies, et leurs fonctions dans le développement conceptuel.

²³ Cette approche est notamment celles adoptée par le cours d'action (Cf. Partie 1, chapitre 2) : instant après instant, dans le flux de l'expérience, l'acteur attribue une signification à certains éléments sources de perturbation dans la situation. Lorsque certaines situations se répètent ou sont particulièrement pertinentes et significatives, certaines occurrences sont typicalisées (Rosch, 1978, 1999; Theureau, 2004, 2006). « *Ce processus de typicalisation consiste en l'extension de la signification d'une occurrence, qui prend une valeur d'ancrage pour les expériences passées, présentes et futures.* » (Durand, 2008). Ces types possèdent une certaine capacité à être généralisées tout en gardant leur dimension empirique singulière (Durand, Ria, et Veyrunes, 2010).

Ancrages matériels des analogies

Les analyses réalisées en classe (Bastid & Nogry, 2014 ; Gamo et al., 2010 ; 2014) ont mis en exergue une matérialisation des analogies élaborées par des artefacts. Certaines des situations sources et cibles introduites oralement - souvent à l'initiative de l'enseignant - sont ensuite rendues présentes par des artefacts matériels disponibles dans l'environnement (trombones, boîtes, etc.) ou par des inscriptions (bande numérique, schéma, etc.). Ces artefacts, plus ou moins similaires aux objets décrits dans la situation, *incarnent* certaines caractéristiques des problèmes ou situations et rendent ainsi plus ou moins saillantes certaines propriétés. Ils donnent également un caractère manipulable aux entités dénommés et matérialisent les transformations possibles pour réaliser la tâche demandée. Cette association entre une situation décrite oralement et un artefact constitue de notre point de vue un *ancrage matériel*²⁴ de l'analogie au sens où celui-ci *stabilise* certaines propriétés des situations décrites, et impose des contraintes sur les transformations à opérer. Il favorise ainsi la production d'inférences nécessaires à la résolution du problème cible / à la construction du concept étudié.

L'analyse micro-génétique réalisée au cours de la mise en œuvre du scénario pédagogique proposé par Gamo et al. (2010 ; 2014) montre par ailleurs comment ces artefacts soutiennent le processus d'abstraction. Ce scénario visait à susciter des analogies entre problèmes induisant a priori des procédures distinctes, ceci afin de conduire à une extension catégorielle (généralisation) et à une re-catégorisation de ces problèmes à un autre niveau d'abstraction.

Pour ce faire, l'enseignante a procédé en plusieurs temps. Elle a d'abord mis en évidence une structure analogue entre plusieurs problèmes en mettant en place une routine conversationnelle et en lexicalisant cette structure. Puis elle a procédé à une re-catégorisation de cette structure au cours des interactions verbales passant d'une lexicalisation mettant en avant une dimension temporelle, à une mise en avant de l'existence de parties. Cette représentation, plus abstraite, n'a pas été immédiatement appropriée par les élèves. Dans les situations proposées ensuite, le concept de « partie » a été réintroduit, concrétisé par la manipulation d'artefacts puis spatialisé par des inscriptions, sous des formes de plus en plus abstraites (représentations sémiotiques de plus en plus élaborées). Les élèves ont été invités à résoudre d'autres problèmes par analogie au précédent, en utilisant la représentation graphique comme « un squelette conceptuel » à compléter pour résoudre le problème.

Dans ce scénario, pour que la re-catégorisation introduite par l'enseignante soit appropriée par les élèves, plusieurs ancrages matériels ont été successivement proposés puis construits collectivement : des artefacts à manipuler qui matérialisent les propriétés saillantes pour résoudre le problème, puis des inscriptions visant à faciliter la mise en correspondance entre problèmes sources et cibles en rendant visible leur structure commune. Ces dernières - construites à partir des propositions des élèves (selon un modèle pré-existant) - ont été diversement *adoptées*. Malgré les incitations de l'enseignante et la construction d'une norme socio-mathématique relative à ce qu'est une solution efficace, tous ne

²⁴ Nous nous inspirons ici de Hutchins (2005) qui met en évidence l'existence d'ancrages conceptuels pour soutenir le conceptual blending (que nous pouvons traduire par Fusion conceptuelle). Dans les situations d'apprentissage que nous étudions, il ne s'agit pas à notre sens de fusion conceptuelle, au sens où la structure conceptuelle ne peut être projetée sur la structure matérielle, puisque celle-ci est en construction, mais les propriétés de l'ancrage matériel sont partagées.

se sont pas saisis de ces représentations sémiotiques pour en faire un instrument support à la résolution de problèmes²⁵.

Dans le prolongement des travaux de Duval (1995/2006) et Kirsch (2008), nous faisons l'hypothèse que ce sont les transformations opérées par les apprenants eux-mêmes sur les artefacts (matériel et symboliques) qui participent au processus de conceptualisation.

Des instruments supports à de multiples transformations

Dans une perspective incarnée/située, pour s'appropriier des concepts abstraits, les enfants auraient besoin d'être confrontés à des supports concrets, qui évoluent graduellement au cours de l'apprentissage vers des supports plus abstraits (Bara & Tricot, 2017). De notre point de vue ce sont les transformations opérées par les apprenants eux-mêmes sur ces supports avec les artefacts disponibles de qui soutiennent le processus d'abstraction.

Nous avons étudié les transformations opérées par les apprenants dans une étude sur l'apprentissage de l'informatique. Dans les situations étudiées, de nombreux artefacts (matériels et symboliques) étaient mobilisés. Nos analyses montrent qu'au cours de cet apprentissage, genèses instrumentales et conceptuelles sont intriquées. Les artefacts, devenus instruments y assurent de multiples fonctions.

Utilisés collectivement ces artefacts sont d'abord des *objets intermédiaires* (Vinck, 2009) : des supports de négociation au sein des groupes d'élèves et avec l'enseignante, qui permettent de préciser les caractéristiques du parcours et les déplacements du robot en introduisant différentes conventions. Durant cette phase, les apprenants sont amenés à produire des inscriptions afin de passer d'un parcours esquissé à un parcours représenté selon des conventions/normes partagées. Ces normes peuvent être matérialisées/concrétisées par les propriétés des artefacts mis à disposition des élèves. Leur taille, leur forme, leur caractère manipulable ou pas, les inscriptions déjà présentes, la labilité des traces, contraignent les inscriptions qui peuvent être produites par les apprenants et orientent les conversions des représentations d'un registre sémiotique à un autre. L'utilisation de plusieurs artefacts successivement facilite la réalisation de multiples conversions d'une représentation en deux dimensions et continu du parcours, à une représentation discrétisée et linéaire

Ces artefacts deviennent ensuite des *instruments* pour programmer. Associé à différents gestes et séquence d'action (schémas socialement constitués), ils soutiennent l'anticipation du parcours à réaliser par le robot, supportent l'implémentation du programme et l'analyse des erreurs éventuelles. Ceux-ci participent également à d'autres conversions d'une représentation graphique du parcours à une représentation en acte des rotations, ou une verbalisation de la séquence d'action. Tout au long de cette chaîne de conversions, la représentation matérialisée du parcours perd certaines propriétés pour en gagner d'autres, compatibles avec les normes à utiliser pour programmer ; ces différentes conversions sous-tendent ainsi le processus d'abstraction nécessaire à l'utilisation d'un langage de programmation et au développement du concept de séquence d'instruction.

Cette recherche met ainsi en exergue le caractère situé du processus d'abstraction dans ce domaine, l'importance des interactions sociales, des ressources matérielles et des normes qui guident l'action

²⁵ Il est à noter que dans d'autres contextes (Brassac et al., 2008), les objets techniques peuvent eux-même soutenir de multiples re-catégorisations au cours de négociations entre les acteurs présents.

dans ce processus. Elle met plus particulièrement en évidence les transformations, les conversions d'un registre à l'autre dans ce processus d'abstraction, en caractérisant les ancrages matériels qui structurent ces transformations, ainsi que les différentes fonctions assurées par ces artefacts (matériels et symboliques). Ceux-ci sont tour à tour objets intermédiaires qui soutiennent les négociations au sein du groupe, ancrage matériel qui stabilise les représentations élaborées collectivement, instruments qui supportent d'autres transformations et guident la programmation du robot.

Il est à noter que dans les séquences que nous avons étudiées, la construction d'une représentation sémiotique de la situation (problème / parcours) est introduite comme une étape à part entière dans le scénario pédagogique. En vue d'étendre le domaine de validité de cette approche, d'autres études sont à mener dans des situations dans lesquels la construction de telles représentations n'est pas explicitement demandée. Il pourrait par exemple s'agir de dispositifs d'apprentissage dans lesquels l'action en situation est plus centrale. La conceptualisation dans l'action a particulièrement été étudiée dans le champ de la didactique professionnelle (Vergnaud, 2002 ; Pastré, 2011) en référence aux travaux de Piaget (1974) ; cette approche accorde une place centrale à l'abstraction (Pastré, 2011). Dans le cadre scolaire, une analyse plus systématique du rôle des analogies et de l'ancrage matériel du processus d'abstraction dans des situations d'apprentissage orientées vers une activité productive, par exemple lors de la mise en œuvre de pédagogie de projet permettrait d'étendre le domaine de validité de notre approche.

Au-delà des situations singulières étudiées dans les domaines de l'arithmétique et de l'informatique, ces recherches invitent à prendre en considération de façon plus systématique l'ancrage matériel des analogies et du développement conceptuel dans l'étude des mécanismes d'apprentissage en caractérisant les fonctions des artefacts et inscriptions manipulées ou produites.

Ainsi, ces analyses micro-génétiques des mécanismes d'apprentissage dans le cadre scolaire nous conduisent à adopter une approche constructive de l'abstraction, considérée comme un processus durant lequel l'apprenant procède à de multiples transformations en fonction de son expérience, ses connaissances, mais aussi des objectifs visés au cours de l'activité, et des contraintes et ressources présentes dans la situation. Celle-ci se distingue d'une conception inductive de l'abstraction fondée sur la détection de régularités entre situations ou l'émergence de propriétés communes à partir de différentes expériences activées (Brunel et al., 2016). Au-delà de cette opposition, il est probable que dans des situations d'apprentissage écologiques ces deux formes d'abstractions co-existent. Cette question demanderait à être davantage investiguée.

Ces recherches ont par ailleurs pour finalité de comprendre les mécanismes en jeu dans différentes situations d'apprentissage en vue de concevoir des situations qui soutiennent le développement conceptuel. Plutôt que d'adopter une démarche applicative, peu compatible avec une conception située de la cognition, nous souhaitons que ces recherches s'inscrivent dans un processus de recherche collaborative orientée par la conception (Barab & Squire, 2004 ; Sanchez & Monod-Ansaldi, 2015) afin de prendre en compte la complexité des situations. Au sein d'une équipe de conception pluri-catégorielle, nos recherches peuvent conduire à porter une attention particulière aux analogies utilisées et aux artefacts mobilisés tant durant la conception du scénario que pendant sa mise en œuvre et son évaluation. Cette démarche est notamment celle adoptée dans le projet IE-CARE visant à concevoir des dispositifs d'enseignement-apprentissage de l'informatique à l'école primaire.

Ces recherches présentent par ailleurs certaines limites. Si les méthodologies utilisées permettent de mettre en évidence les analogies utilisées en classe, différentes genèses instrumentales et conceptuelles à l'œuvre dans ces situations d'apprentissage, ainsi que leur ancrage matériel, elles ne rendent pas compte du sens que chaque apprenant construit dans ces situations d'apprentissages et de la façon dont il fait sien les artefacts mis à sa disposition. Dès, il est nécessaire d'accorder une place plus importante au point de vue des enfants en documentant leur expérience vécue en situation d'apprentissage. Ceci constitue l'une des perspectives à approfondir suite aux recherches exposées dans cette première partie ; nous y reviendrons dans la dernière partie.

Partie 3 : Appropriation des technologies en éducation

Les recherches sur les relations de constitution mutuelle entre technologie et cognition ont pris leur essor avec le développement des technologies de l'information et de la communication.

Dans le champ de l'éducation, ces technologies font l'objet d'une attention particulière ; l'intégration des technologies dans l'éducation des jeunes est devenue un défi majeur pour répondre aux enjeux sociétaux et économiques contemporains. Il s'agit de réduire la fracture numérique en permettant à chaque élève de développer une culture numérique et des compétences nécessaires pour les utiliser au quotidien, d'améliorer la qualité de l'éducation en mettant en place des pratiques pédagogiques innovantes permettant d'apprendre autrement, et de favoriser le développement de compétences transversales telles que l'autonomie et la collaboration²⁶.

De nombreuses études portent sur la conception *d'environnements numériques supports aux apprentissages*, sur l'évaluation de leur impact ou encore sur les usages de ces technologies dans le cadre scolaire.

Pourtant, malgré la diversité des technologies et environnements numériques supports aux apprentissages disponibles, force est de constater qu'il existe un écart important entre les discours mettant en avant les transformations qu'elles devraient induire sur nos manières d'apprendre, les utilisations observées dans différentes expérimentations menées, et les usages de ces technologies en situation ordinaire, en particulier dans le cadre scolaire. Ce constat soulève notamment la question de l'appropriation de ces technologies par les apprenants et par leur entourage.

Dans une perspective située, comprendre comment ces objets techniques contribuent aux apprentissages et au développement du sujet passe par l'étude de leur appropriation *in situ*. Depuis 2011, j'ai développé des recherches sur l'appropriation des technologies mobiles (ordinateurs portables, tablettes et applications associées) à l'école primaire en mobilisant les cadres conceptuels et méthodes de l'ergonomie (Rabardel, 1995 ; Decortis, 2015). J'ai ainsi contribué à différents projets de recherche (Projet PICRI UOPO, projet ExTaTe, projet EcriTab) dans lesquels nous avons réalisé des études sur l'appropriation de ces technologies par les enfants dans différentes situations d'apprentissage ainsi que par les enseignants, prescripteurs de leur utilisation en classe. Dans ce but, nous avons choisi d'étudier l'appropriation des TIC en classe en réalisant des analyses de l'activité instrumentée *in situ* dans différents emports temporels. Ces recherches m'ont également amenée à porter une attention particulière sur les usages de ces technologies par les enfants en dehors de l'école, en vue de documenter leur appropriation dans ces différentes sphères sociales.

²⁶ Objectifs définis par les politiques publiques un niveau national, européen, et par l'UNESCO
<http://www.education.gouv.fr/cid77198/pour-faire-entrer-l-ecole-dans-l-ere-du-numerique-l-education-nationale-se-dote-d-une-direction-du-numerique-pour-l-education-dne.html>
http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-859_fr.htm
<http://www.unesco.org/new/fr/unesco/themes/icts/teacher-education/unesco-ict-competency-framework-for-teachers/>

Cette partie retrace l'évolution des recherches que j'ai conduites dans ce champ dans le cadre de plusieurs projets de recherches ayant donné lieu à de multiples collaborations. Le premier chapitre résume les recherches réalisées durant ma thèse portant sur la conception et l'évaluation d'un environnement support à l'apprentissage de l'arithmétique fondé sur le raisonnement par analogie (projet AMBRE). La participation à ce projet m'a amenée à passer d'une perspective techno-centrée à une perspective anthropocentrée, accordant une place centrale à l'activité humaine en situation dès la conception des environnements d'apprentissage.

Le chapitre 2 présente une synthèse des recherches réalisées en sociologie des usages, en ergonomie, et en sciences de l'éducation sur l'appropriation des technologies de l'information et de la communication, notamment dans le cadre scolaire.

Le chapitre 3 décrit les recherches que nous avons menées sur l'appropriation de technologies mobiles par les enseignants dans différents contextes (projets PICRI UOPO, ExTaTE) en France mais aussi en Afrique francophone, où nous avons étudié deux déploiements inspirés du projet *One Laptop per child*, l'un à l'échelle d'un village à Madagascar, l'autre dans cinquante écoles au Cameroun (projet PAQUEB). Ces recherches mettent en évidence différentes *trajectoires d'appropriation* de ces technologies, ainsi qu'un ensemble de ressources et contraintes, de facteurs propres à chaque environnement qui facilitent ou freinent cette appropriation au cours du temps. Ces analyses permettent d'identifier les besoins des enseignements dans ces différents contextes, et d'envisager différentes formes d'accompagnement.

Le chapitre 4 présente nos recherches sur les usages et l'articulation entre appropriation de ces technologies par les enfants et développement. Deux études de cas portent sur l'appropriation de ces technologies par les élèves en classe dans différents contextes. La troisième étude de cas porte sur les usages de ces technologies par les enfants dans le cadre d'un déploiement à l'échelle d'un village à Madagascar suivant les principes du projet *One Laptop per child*. Elle met en évidence l'appropriation de ces ordinateurs, entre usages dans le cadre scolaire et utilisations au quotidien en famille ou entre amis.

Enfin une discussion résume nos contributions de ce domaine et introduit les perspectives à donner à ces recherches.

Chapitre 1. De la conception d'EIAH à l'étude des usages et de l'appropriation des TIC en classe

En vue de concilier mon intérêt pour la compréhension des relations de constitution mutuelle entre technologie et cognition et l'étude des processus cognitifs en jeu dans l'apprentissage, j'ai choisi de faire une thèse dans le domaine des *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain* (EIAH). Ce champ de recherche pluridisciplinaire porte sur les problématiques spécifiques à la conception d'artefacts informatiques destinés à soutenir l'apprentissage humain²⁷ :

« En tant que système informatique, un EIAH est un programme destiné à être utilisé par les apprenants impliqués dans une situation d'enseignement et à accompagner ou susciter leur apprentissage. En tant que champ scientifique, l'EIAH peut être défini comme l'ensemble des travaux visant à comprendre les processus de construction des EIAH et les phénomènes d'apprentissage liés à ces environnements informatiques. » (Tchounikine & Tricot, 2011, p. 168)

Il s'est constitué suite aux premières formes d'enseignement programmé puis s'est développé dans les années 1970 dans le prolongement des recherches en intelligence artificielle (voir Bruillard, 1997 pour une présentation historique du domaine). Le terme EIAH a été institué dans les années 1990, afin de souligner l'interaction entre l'apprenant et le système, et plus largement l'interaction entre l'informatique (la modélisation computationnelle qu'elle exige et son inscription matérielle) et l'apprentissage humain (pour lequel on ne dispose encore que de modèles partiels). La recherche sur les EIAH est fondamentalement pluridisciplinaire, en appelant à la coopération de différents secteurs de l'informatique, de la psychologie, de la didactique, des sciences de l'éducation, etc.

Durant la thèse, mes principales contributions à ce domaine ont porté sur deux questions vives à ce période-là (Tchounikine, 2002b) : quels fondements théoriques pour la conception des EIAH ? et comment valider les choix de conception réalisés ?

Après avoir présenté le projet AMBRE auquel j'ai contribué, j'aborderai la question des fondements théoriques de la conception des systèmes et des apports de la psychologie à la conception dans ce projet ; puis j'en viendrai à la question de l'évaluation des systèmes et de leur validation en décrivant les différentes évaluations réalisées au cours de la conception. Comme nous y invitent Tchounikine & Tricot (2011), je distinguerai dans ces différentes sections ce qui relève de l'ingénierie (identifier et utiliser des connaissances pour orienter les choix de conception) de ce qui relève du questionnement théorique.

Ceci m'amènera à discuter des apports de cette recherche, de ses limites et des préoccupations qu'elles ont fait naître, à l'origine de mes recherches ultérieures sur les usages et l'appropriation des technologies à l'école primaire.

3. Le projet AMBRE

Le terme Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain recouvre une grande diversité de systèmes : les environnements support aux situations d'apprentissage de type tuteurs intelligents ou micromondes, mais aussi les hypermédias, les plateformes d'apprentissage collaboratif, etc. (voir par exemple Bruillard, 1997 ou Tchounikine & Tricot, 2011 pour des revues).

Le projet AMBRE (Apprentissage de Méthodes Basé sur le Raisonnement à partir de l'Expérience (Guin-Duclosson, Jean-Daubias et Nogry, 2002) visait à concevoir des environnements d'apprentissage

²⁷ Précision apportée pour distinguer ce domaine de recherche du « machine learning », autre domaine de recherche en informatique

génériques de type tuteur intelligent. Comme le rappellent Tchounikine et Tricot (2011), ce type de système vise à prendre en charge certaines tâches dévolues à l'enseignant. Pour cela, le système doit d'une part être capable de résoudre lui-même le problème en s'adaptant à l'apprenant, en expliquant et justifiant son raisonnement. Il doit d'autre part être capable de proposer une stratégie pédagogique, en interprétant les actions de l'apprenant et en choisissant une rétroaction pertinente. Ces fonctionnalités reposent sur une modélisation des connaissances du domaine d'apprentissage.

Nathalie Guin-Duclosson, à l'origine de ce projet, avait pour but de concevoir un tuteur intelligent « *donneur de leçons de méthodes* » (Rogalski, 1994) fondé sur le résolveur Syrclad (Guin, 1997) conçu et implémenté pendant sa thèse. Après son arrivée dans l'équipe d'Alain Mille, spécialiste du raisonnement à partir de cas, et en collaboration avec Stéphanie Jean-Daubias, elle a précisé les principes qui sous-tendent la conception de ce tuteur intelligent. Le projet AMBRE se fonde sur le cycle du raisonnement à partir de cas pour guider l'acquisition de *méthodes* afin de résoudre des problèmes reconnus comme difficile dans différents domaines. L'objectif du projet AMBRE est de montrer que des EIAH conçus suivant ce principe peuvent faciliter l'acquisition de méthodes, ceci dans différents domaines d'application.

Principes

Enseigner des méthodes

Le projet AMBRE se fonde sur des recherches en didactique des disciplines qui proposent d'enseigner explicitement des méthodes (Schoenfeld, 1985 ; Rogalski, 1990, 1994).

Rogalski (1990) définit une méthode comme :

« la description d'un ensemble d'activités du sujet, portant sur l'analyse et le classement des problèmes à résoudre dans un domaine assez précis, l'utilisation des outils et des techniques disponibles, les stratégies et tactiques possibles, la gestion du temps des choix, des stratégies et de leur déroulement, la conscience de ces choix, les moyens de contrôle et de retour en arrière pour procéder à d'autres choix... »

Dans l'objectif de concevoir un résolveur de méthodes, Guin (1997) a restreint la définition du concept de méthode à *l'organisation d'une résolution de problème en se fondant sur le classement des problèmes et des outils de résolution*. Pour cela, il est nécessaire (pour le résolveur comme pour l'apprenant) de construire différentes classes de problèmes, d'apprendre à reconnaître à quelle classe appartient un nouveau problème et d'apprendre à associer et à appliquer une technique de résolution à chaque classe de problèmes.

...en suivant le cycle du raisonnement à partir de cas

Pour guider la construction de ces méthodes (classement des problèmes et utilisant des techniques adaptées), le projet AMBRE se fonde sur le raisonnement à partir de cas (Kolodner, 1993), un paradigme de résolution de problèmes en intelligence artificielle. Inspiré du raisonnement par analogie (Gick & Holyoak, 1983) et du modèle de mémoire dynamique (Schank, 1982), ce paradigme est un modèle computationnel guidant la résolution d'un nouveau problème par adaptation d'un problème déjà résolu (un cas). Souvent représenté par un cycle, il peut être décrit par une séquence d'étapes (Mille, 1998) :

- Elaborer un cas cible à partir du problème à résoudre et d'une base de connaissances,
- Remémorer un cas source à partir de la base de cas,
- Adapter le cas source,

- Réviser le cas adapté en vérifiant la plausibilité de la réponse,
- Mémoriser le cas cible dans la base de cas pour une réutilisation future.

Dans le projet Ambre, le RàPC est utilisé comme une stratégie d'apprentissage pour guider l'apprenant à acquérir une méthode à travers différentes étapes de résolution. L'EIAH présente d'abord des exemples prototypiques de chaque classe de problèmes étudiée (problèmes-types) ; puis, il assiste l'apprenant dans la résolution d'un nouveau problème en le guidant à travers les différentes étapes du cycle du RàPC (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Dans chacune de ces étapes, un diagnostic est réalisé par le système afin d'évaluer la production de l'apprenant et de lui proposer des explications si nécessaire.

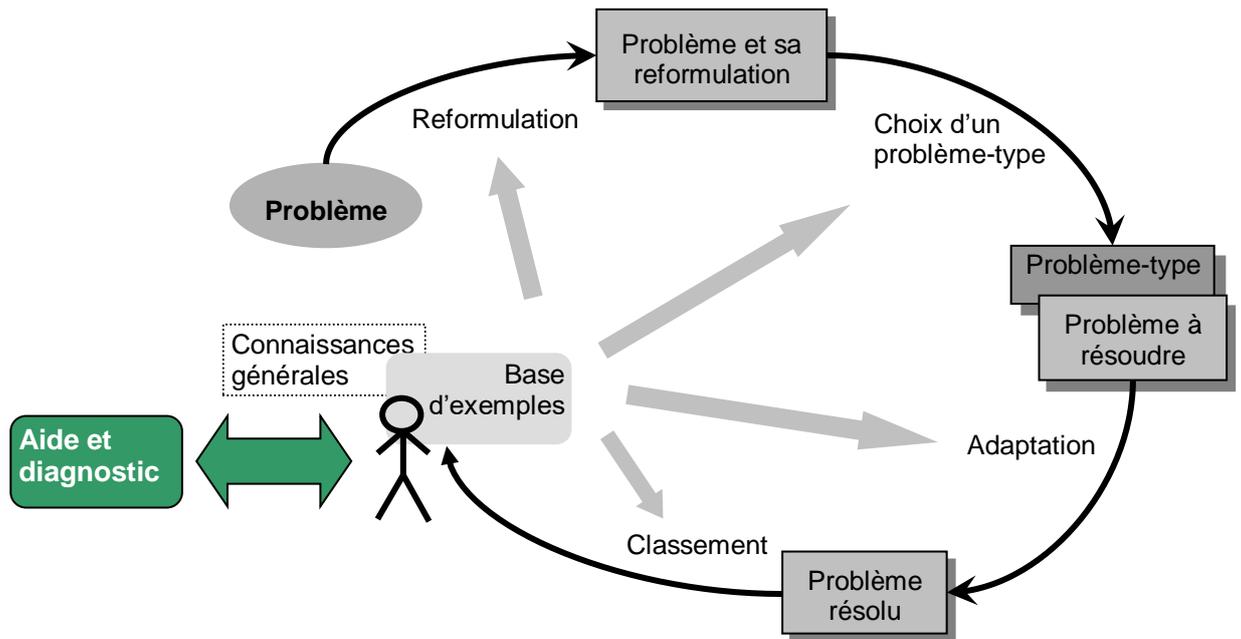


Figure 38. Le cycle du Raisonement à Partir de Cas adapté au projet AMBRE (« cycle AMBRE »)

Processus de conception

Pour mener à bien ce projet, les phases de conception, d'implémentation et d'évaluation se sont succédées au cours d'un processus de conception itérative. L'équipe de conception était composée de Nathalie Guin, experte en ingénierie des connaissances et initiatrice du projet, Stéphanie Jean-Daubias, spécialiste de la conception d'interfaces (Jean-Daubias, 2002) et moi-même, doctorante en sciences cognitives. Au cours du projet, plusieurs étudiants en master d'informatique ont participé à l'implémentation de l'application. Par la suite une conseillère pédagogique s'est jointe à l'équipe. A partir des principes fondant le projet, une première maquette du logiciel a été réalisée dans le domaine de la résolution de problème en dénombrement (AMBRE-dénombrement), maquette évaluée auprès de lycéens (Nogry, Jean-Daubias, Guin-Duclosson, 2002 ; Nogry, 2001). Celle-ci a mis en évidence différentes difficultés rencontrées ainsi que la nécessité d'études complémentaires. Nous avons ensuite choisi de concevoir un EIAH favorisant la résolution de problèmes additifs. Ces problèmes, très étudiés à l'école élémentaire, posent des difficultés liées à la modélisation de la situation, qui peut être favorisée par l'enseignement de méthodes.

L'EIAH AMBRE-add a été développé en suivant un cycle de conception itérative, ceci afin de valider les choix de conception pluridisciplinaires et de détecter précocement les difficultés. A partir d'une revue de littérature sur la résolution de problèmes par analogie (Nogry et Didierjean, 2006) nous avons

produit des recommandations qui ont orienté la conception de l'EIAH Ambre-add. Nous avons ainsi conçu une nouvelle interface adaptée au domaine d'application, à laquelle a été associée le résolveur Syrclad afin de proposer des fonctionnalités d'aide et de diagnostic (Guin-Duclosson, 2004 ; Guin, Jean-Daubias et Nogry, 2007). Il a fait l'objet de multiples évaluations suivies de nouvelles spécifications et de modifications du système.

4. Processus de conception, un dialogue entre sciences cognitives et informatique ?

Sur quels fondements théoriques s'appuyer pour concevoir les EIAH ? Les théories élaborées en psychologie sur l'apprentissage ou en didactique des disciplines sont rarement élaborées spécifiquement pour les EIAH. Quelle(s) théorie(s) choisir suivant l'objectif visé ? comment la/les mobiliser pour orienter la conception ? Faut-il les adapter ? Et si oui, comment ? La plupart des EIAH développés en recherche font référence à des théories générales de l'apprentissage, de la cognition, de l'action mais cette transposition des théories et modèles ne se fait pas sans difficulté. Comme le soulignent Tchounikine & Tricot (2011, p. 178) :

« Se pose un problème de transposition des notions et modèles dans le milieu informatique, qui ne relève pas de la simple difficulté de mise en oeuvre informatique mais d'un problème de reconceptualisation beaucoup plus complexe. »

Certains EIAH sont conçus en transposant directement les principes issus d'une théorie de l'apprentissage. Ainsi, plusieurs systèmes (geometry tutor, lisp tutor) ont été développés en implémentant les principes propres à la théorie ACT* (Anderson, Boyle, Corbett et Lewis, 1990)²⁸. Pour ces auteurs, un tuteur intelligent est la mise en œuvre d'une théorie psychologique de l'apprentissage, puis un environnement pour la tester empiriquement. Si le tuteur intelligent fonctionne, s'il permet aux apprenants d'apprendre ce qui avait été prévu, il constitue une validation de la théorie. D'autres systèmes sont fondés non sur une théorie de l'apprentissage, mais sur différentes études empiriques qui mettent en évidence des situations qui favorisent l'apprentissage. Ainsi, le système proposé par Conati et Vanlhen (2000), fondé sur les recherches sur les auto-explications (Chi et al., 1989 ; Renkl, 1997) a pour objectif d'encourager les apprenants à élaborer des auto-explications.

La démarche d'ingénierie adoptée pour le projet AMBRE a été hybride, le projet AMBRE est fondé recherches sur l'enseignement de méthodes (Rogalski, 1994) en didactique des mathématiques, et s'appuie sur le cycle du raisonnement à partir de cas (une transposition des recherches en psychologie sur l'analogie et les modèles de mémoire dans le champ de l'informatique). Ces ancrages théoriques ont été complétés par des références à différentes recherches empiriques en psychologie cognitive portant sur la question suivante : comment induire la mise en œuvre de processus de généralisation lors de résolution de problèmes par analogie²⁹ ?

²⁸ ACT propose un modèle computationnel d'apprentissage fondé sur la notion de compilation des connaissances dans lequel les processus cognitifs sont représentés par des règles de production. Pour tester la validité de cette théorie, les auteurs ont défini différents préceptes opérationnels: mise en place de situations de résolution de problèmes, conception d'un modèle de résolution de problèmes idéal sous forme de règles de production, rétroaction immédiate, etc.

²⁹ Notre contribution à cette question en psychologie cognitive est présentée partie 2, chapitre 1

Mon rôle était ainsi d'élaborer différentes recommandations visant à orienter les choix de conception.

Des recherches empiriques en psychologie pour orienter les choix de conception

L'objectif du projet AMBRE était d'enseigner des méthodes : suivant l'acceptation restreinte des méthodes proposée dans le projet, il s'agissait d'amener l'apprenant à construire différentes classes de problèmes, à reconnaître à quelle classe appartient un nouveau problème et à apprendre à appliquer pour ce problème la technique de résolution propre à la classe de problèmes correspondante. Analysée en termes de processus d'apprentissage sous-jacents, l'acquisition de méthode correspond à la capacité à catégoriser les problèmes, à reconnaître qu'un nouveau problème appartient à une catégorie plus générale et à résoudre le problème en un schéma préexistant (structure opératoire qui décrit les plans pour traiter des informations correspondant à un type de situation dans un domaine restreint). Les questions qui se posent alors sont :

- Comment conduire l'apprenant à construire une catégorisation des problèmes / des schémas associés aux différentes catégories de problèmes ?
- Comment induire l'utilisation de la technique de résolution associée à cette classe de problème pour résoudre le nouveau problème ?

Une tension entre deux principes : enseignement de méthodes et raisonnement à partir de cas

Dans ce processus de conception, la transposition des notions et des modèles a consisté en amont du projet à reprendre le concept d'enseignement de méthodes et à en proposer une définition plus restrictive sous-tendant le modèle de connaissances proposé, puis à réaliser une transposition du modèle de raisonnement à partir de cas comme principe pédagogique guidant la résolution par l'apprenant. L'articulation entre ces deux approches, toutes deux fondées sur des recherches empiriques en résolution de problème, ne s'est pas faite sans difficultés. Selon les principes du projet, le raisonnement à partir de cas (RàPC), doit soutenir l'acquisition de méthodes : la construction des catégories de problèmes et l'adaptation des procédures de résolution par analogie avec un problème existant. Or, l'enseignement de méthodes tel qu'il est défini dans le projet et le raisonnement à partir de cas reposent sur des conceptions différentes de la structuration des connaissances en mémoire et de la résolution de problème. Les méthodes renvoient à des connaissances organisées en mémoire sous forme de structure abstraite (catégorie générale/schéma) tandis que dans le raisonnement à partir de cas est fondé sur un modèle de mémoire consistant à stocker des cas singuliers.

Les processus cognitifs en jeu dans la résolution de problème et la construction de connaissance sont également de nature différente (Nogry & Didierjean, 2006). Pour l'enseignement de méthodes, la construction de schéma et l'élaboration de la représentation du problème cible jouent un rôle crucial. Tandis que dans le raisonnement à partir de cas, la mise en correspondance et l'adaptation jouent un rôle plus important. La généralisation advient à ce moment-là (généralisation par adaptation) (Ross & Kennedy, 1991 ; Didierjean, 2003).

Cette tension, constitutive du projet du fait des positions théoriques de ses différents membres, n'a jamais pu être discuté sur le fond. Ces difficultés, souvent présentes lors de la conception d'EIAH (Tchounikine et Tricot, 2011), ont été résolues par une multiplication des tâches susceptibles d'induire différents processus de généralisation.

Elaboration de recommandations pour la conception

Ces recommandations, élaborées à partir des études réalisées en psychologie cognitive sur l'apprentissage à partir d'exemples (Nogry & Didierjean, 2006 pour une revue), ont permis de préciser les processus de généralisation (élaboration de schéma par processus inductif / processus explicatifs, généralisation par adaptation) que le cycle Ambre devait inciter à mettre en œuvre et d'identifier différentes conditions favorisant cette mise en œuvre.

En accord avec le postulat fondant le projet, les recommandations formulées étaient génériques, indépendantes du domaine et de l'âge des apprenants. Ces recommandations ont porté sur les tâches proposées (présenter des exemples résolus correspondant à chaque classe de problème avant la présentation d'un problème cible à résoudre), le format de présentation des problèmes (mise en évidence des sous-buts, présentation successive des différentes étapes pour favoriser des auto-explications) et la nature des similarités entre exemples et entre problèmes présentés successivement. Ces lectures nous ont conduite à proposer une activité complémentaire de réorganisation (re-categorisation des problèmes) ainsi qu'un outil d'assistance à l'adaptation favorisant la mise en correspondance des problèmes, qui pose ordinairement des difficultés en particulier pour les enfants (Goswami, 1992).

Recherches en didactique des mathématiques sur la résolution de problèmes arithmétiques

L'enseignement de méthode nécessite d'explicitier les classes de problèmes et techniques de résolution associées. Pour cela nous nous sommes fondées sur les classifications établies en didactiques des mathématiques (Riley, Greeno et Heller, 1983 ; Vergnaud, 1983 ; 1985 ; Guin, 1991) ont proposé une classification des problèmes additifs. L'acquisition d'une méthode repose également sur l'élaboration d'une représentation du problème à résoudre conforme à la classe correspondante. Pour cela, à la suite des travaux de Vergnaud (1981 ; 1985 repris, par Guin, 1991), nous avons choisi de reformuler les classes de problème sous forme de représentations sémiotiques sélectionnables par les élèves.

L'ensemble de ces recommandations et des choix opérés par l'équipe de conception ont conduit à la réalisation du logiciel AMBRE-add (voir Nogry, Guin, Jean-Daubias, 2008 pour une description détaillée du logiciel). Leur portée a néanmoins été limitée par les contraintes fortes imposées par les deux cadres théoriques fondant ce projet. Ces recommandations générales, conformément au caractère générique du modèle sous-jacent ont également différentes limites. Les recherches sur lesquelles elles sont fondées portent sur l'étude de facteurs indépendamment les uns des autres. Or, le cycle AMBRE propose différentes tâches au cours desquels un nombre important de facteurs sont susceptibles d'interagir. De plus leur caractère générique ne permet pas de tenir compte des spécificités de l'âge des enfants et du domaine d'application.

Par ailleurs, nous avons décrit ici les tâches à réaliser par l'apprenant et les processus qui devraient être induits par l'EIAH. Nous avons donc décrit l'utilisation prescrite du logiciel, nécessairement différente de l'utilisation réelle puisque lorsque l'utilisateur s'approprie un instrument, il lui confère des fonctions qui vont au-delà de leurs fonctions constituantes (genèse instrumentale) (Perriault, 1989 ; Rabardel, 1995). Il est nécessaire de prendre en compte l'écart entre l'utilisation prescrite et l'utilisation effective de l'EIAH. Une évaluation du système auprès d'utilisateurs nous permettra d'évaluer cet écart et de mesurer l'impact du logiciel sur l'apprentissage.

5. Evaluation de l'EIAH AMBRE-Add

La conception de méthodologies d'évaluation adaptées aux spécificités des EIAH était à cette période une question de recherche à part entière dans le domaine. Dans ce projet, l'évaluation devait remplir un triple objectif : inscrite dans un processus de conception itérative (Figure 39), elle devait d'une part informer le groupe de conception sur les fonctionnalités à faire évoluer, et d'autre part évaluer l'impact du logiciel sur l'apprentissage, étape nécessaire pour mettre en évidence son utilité. Etape clé du projet de recherche, elle devait par ailleurs constituer une validation des principes sous-tendant la conception : montrer que des EIAH fondés sur le cycle du raisonnement peuvent faciliter l'acquisition de méthodes, au moins dans ce domaine d'application (Nogry, Jean-Daubias & Guin, 2011).

Quelles évaluations pour soutenir la conception ?

Notre travail a d'abord consisté à recenser les méthodes existantes pour évaluer l'utilisabilité³⁰, l'utilité³¹ et l'acceptabilité des systèmes informatiques³² (Senach, 1993 ; tricot et al., 2003) puis à discuter des adaptations nécessaires aux spécificités des EIAH, et en particulier leur objectif principal, favoriser l'apprentissage. Avec quelles méthodes évaluer cet apprentissage ? Suivant quels critères ? Comment savoir si l'apprentissage est dû à l'EIAH et non à des facteurs externes ? telles sont les questions que nous avons alors discuté en nous fondant sur les méthodologies développées en psychologie cognitive (Nogry, Jean-Daubias & Guin, 2006).

Puis l'étape suivante a consisté à définir un protocole visant à articuler différentes méthodes au cours du processus de conception itérative (Figure 39) (Nogry, Jean-Daubias, Guin, 2006). Nous avons procédé à un élargissement progressif des tests, en faisant évoluer le nombre puis le profil des utilisateurs. Ainsi nous avons procédé à une évaluation technique par les développeurs, une évaluation analytique par les concepteurs et des enseignants, puis à des évaluations empiriques auprès d'apprenants volontaires en laboratoire afin d'évaluer l'utilisabilité du logiciel. Chacune de ces évaluations a permis d'identifier les besoins des élèves, les difficultés de prise en main de l'EIAH, l'utilisation des différentes fonctionnalités et ont conduit à de nouvelles spécifications et modifications de AMBRE-add.

³⁰ facilité d'utilisation du système

³¹ adéquation du logiciel aux objectifs de haut niveau

³² perception qu'a l'utilisateur de l'utilisabilité et de l'utilité du système, elle influe sur la décision d'adoption du système

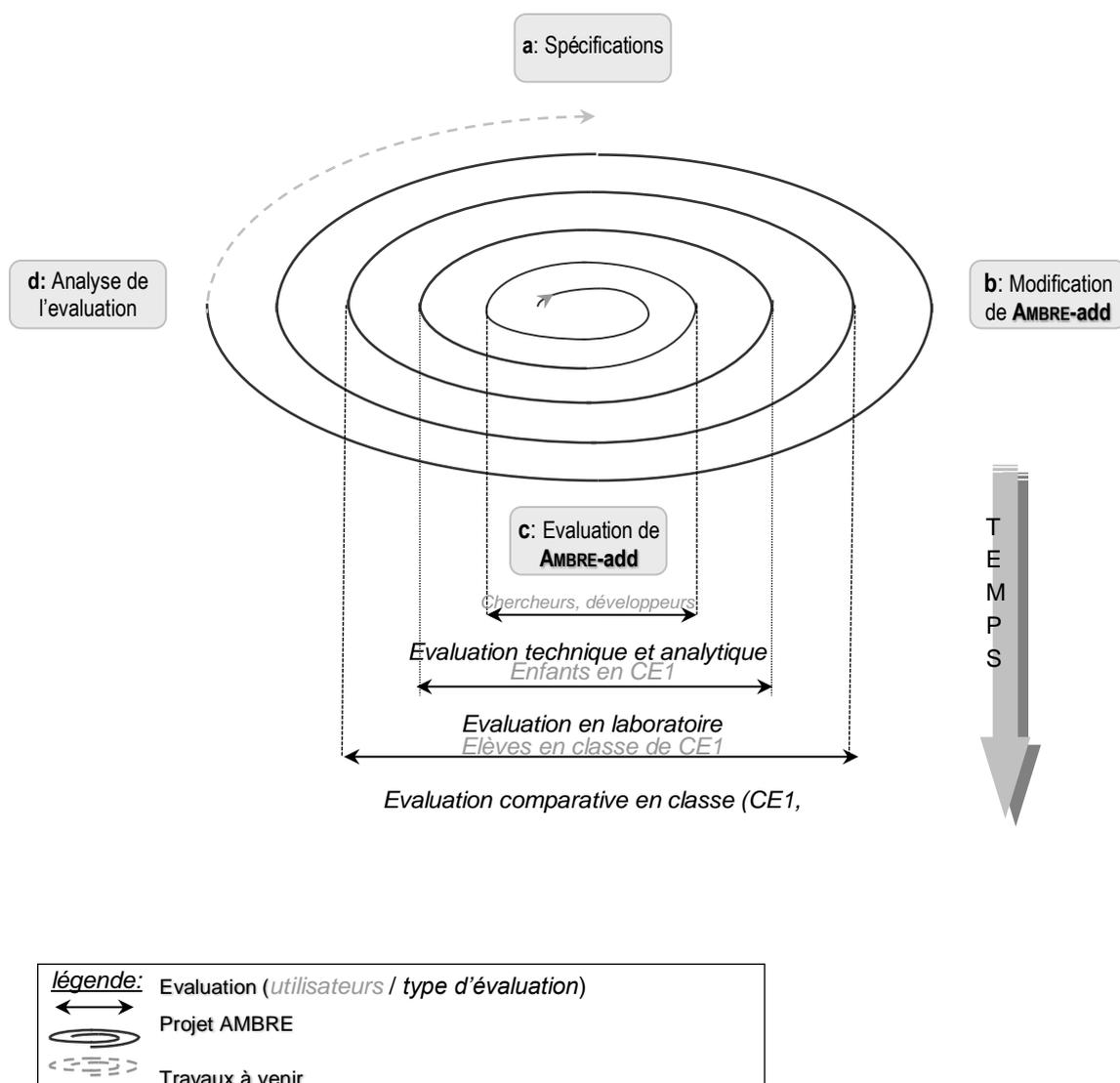


Figure 39. Cycle de conception du projet AMBRE-add

Evaluations de l'impact du dispositif sur l'apprentissage

Une fois que la conception a abouti à une version de l'EIAH en adéquation avec les objectifs initiaux du projet, trois évaluations empiriques ont été réalisées afin d'évaluer l'utilité de l'EIAH et à valider les principes proposés (Nogry, Jean-Daubias & Guin, 2004 ; 2006 ; 2011 ; Richier, 2006). Comme l'indiquent Tchounikine et Tricot (2011), il n'est pas toujours simple d'identifier les facteurs susceptibles d'influencer les résultats de l'étude (caractéristiques individuelles des apprenants, situation d'apprentissage, contexte socioculturel, etc.). Pour réduire cette incertitude, nous avons procédé à une première étude quasi-expérimentale (Nogry, Jean-Daubias & Guin, 2004) en mettant en œuvre une méthode comparative consistant à comparer l'utilisation du logiciel AMBRE-add à l'utilisation de deux versions alternatives du logiciel : un logiciel proposant l'étape de reformulation puis l'étape de résolution et un logiciel proposant une résolution simple des mêmes problèmes (Figure 40). Les tests utilisés pour mesurer l'impact sur l'apprentissage étaient des problèmes isomorphes à résoudre, mais aussi des tâches portant spécifiquement sur la méthode enseignée (tests de catégorisation de problème, tests consistant à associer une technique à chaque classe de problème, test de compréhension des représentations graphiques utilisées).

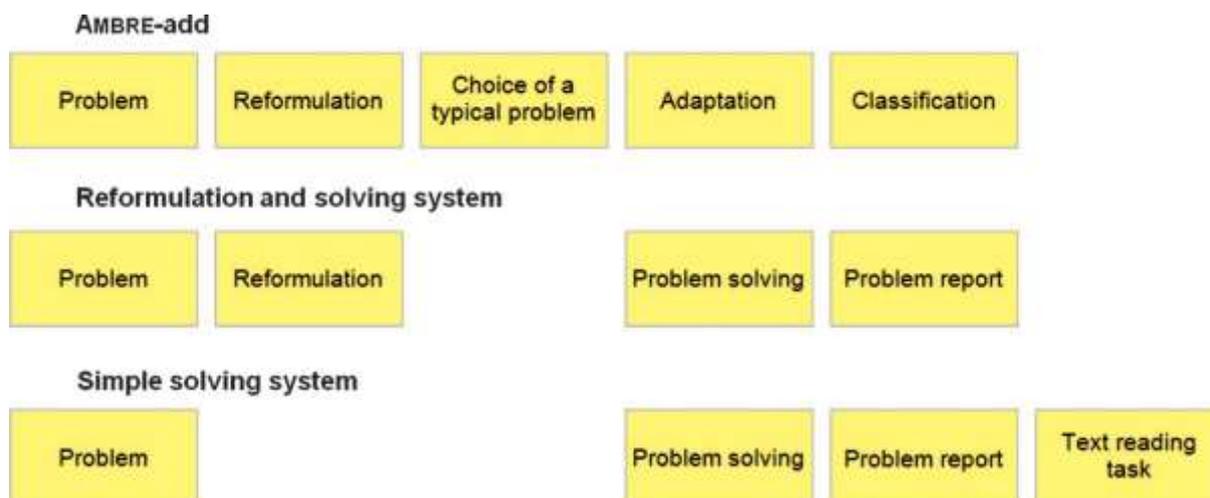


Figure 40. description des trois logiciels testés dans l'étude comparative

Si le guidage suivant les étapes du raisonnement à partir de cas favorise l'acquisition de méthode, le groupe utilisant ce logiciel devrait obtenir de meilleures performances aux différents tests que les autres groupes. Si l'acquisition de méthodes tient moins au guidage suivant les étapes du raisonnement à partir de cas, qu'à l'encodage des traits de structure du problème cible se fondant sur les propriétés de la représentation sémiotique, les performances obtenues après l'utilisation de AMBRE-add et du logiciel « reformulation » devraient être supérieures à la condition contrôle.

Cette première étude, conduite auprès d'élèves de CE1 n'a pas permis de mettre en évidence un impact du cycle AMBRE sur l'apprentissage de la méthode : les élèves progressaient dans toutes les conditions. D'après les observations informelles de l'activité des apprenants, ceux-ci ont rencontré de nombreuses difficultés lors de l'utilisation du logiciel (difficultés de lecture, manque de maîtrise des techniques calculatoires, complexité du système) qui ont conduit les encadrants à apporter différentes médiations. Par ailleurs, les élèves n'ont pas utilisé le logiciel comme nous l'attendions mais en procédant régulièrement par essai-erreur ; les activités proposées ne les conduisaient donc pas à mettre en œuvre des processus de généralisation.

Ces résultats ont conduit à différentes modifications du prototype et à considérer que Ambre-add serait plus adapté pour des élèves en classe de CE2. Une étude exploratoire consistant à observer l'utilisation effective du logiciel en classe de CE2 l'a confirmé. Après avoir procédé à un ajustement des tests (Cassier, 2005) et des problèmes proposés par le logiciel, une nouvelle étude comparative a été réalisée (Richier, 2006). Cette nouvelle évaluation n'a pas non plus permis de mettre en évidence un impact du cycle AMBRE sur l'apprentissage de la méthode. Une amélioration des performances en résolution de problèmes a été constatée dans toutes les conditions.

Des écarts entre utilisation définie par les concepteurs et utilisation réelle en classe

L'analyse des stratégies d'utilisation de l'EIAH a mis en évidence des écarts importants entre le scénario d'utilisation pensé par les concepteurs et l'utilisation réelle en situation (Nogry, Jean-Daubias & Guin, 2006). La comparaison des problèmes comme l'adaptation de la procédure de résolution, centrales dans le raisonnement par analogie, étaient peu fréquentes. Les élèves se concentraient davantage sur l'étape de reformulation du problème consistait à construire une représentation du problème à l'aide de représentations graphiques - dont la signification leur échappait partiellement - avant de pouvoir accéder à l'étape suivante. Par ailleurs, 10 à 20% des élèves privilégiaient une stratégie de type essai-

erreur (voir De Mourra Braga, 2005 pour une analyse de ces stratégies). Cette stratégie était facilitée par certains choix de conception (fragmentation de la résolution en sous-étapes, feedbacks systématiques après chaque étape, une seule réponse acceptée, messages explicatifs peu lus ou mal compris).

Les différentes évaluations réalisées ont conduit à concevoir un EIAH utilisable qui contribue à l'amélioration des performances en résolution de problème. Néanmoins nous n'avons pas pu démontrer que le *cycle de raisonnement à partir de cas* est plus efficace qu'une autre approche, ni qu'il permet de faire acquérir une méthode de résolution (c'est-à-dire d'associer spontanément le problème à une classe de problème et d'utiliser la technique associée).

Les difficultés posées par la reformulation du problème sous la forme d'une représentation graphique ayant un degré d'abstraction élevé, l'engagement limité dans la tâche de comparaison des problèmes et le recours limité à l'adaptation du problème source pour résoudre le problème cible peuvent expliquer ce résultat. Ceci peut notamment s'expliquer par la tension entre enseignement de méthode tel que redéfini dans le projet, et raisonnement à partir de cas : comme le souligne Sander (2000), associer d'emblée le problème à une catégorie abstraite avant de choisir un cas à adapter est paradoxal :

« si l'analogie permet de comprendre l'inconnu dans les termes du connu, il est paradoxal d'imposer en même temps que l'inconnu soit déjà compris et ce avant même la réalisation de l'analogie. » (p. 47)

Ces observations amènent à s'interroger sur les significations construites par les élèves à partir des inscriptions présentes dans l'environnement, notamment en fonction de leurs compétences en résolution de problème et en lecture. Elles soulèvent plus généralement la question de l'appropriation de cet EIAH : comment chacun, apprenant mais aussi enseignant, peut-il faire « faire sien » cet EIAH ? comment peut-il l'adapter en fonction de ses besoins et de ses propres objectifs ? Comment cet artefact devient-il instrument ? quelles sont les genèses instrumentales associées à ce système ?

Proposition d'une démarche d'évaluation

Les différentes évaluations réalisées ont conduit à proposer une démarche d'évaluation adaptée à un cycle de conception itérative articulant analyse de l'activité instrumentée des apprenants en situation, tests d'utilisabilité, collecte de données sur l'acceptabilité, et évaluation de l'impact de l'EIAH (Nogry, Jean-Daubias, Guin, 2006 ; 2011).

Par ailleurs, dans les évaluations menées nous avons constaté l'importance d'observer l'activité des apprenants pour comprendre leurs besoins, leurs stratégies d'utilisation, leurs difficultés et informer ainsi l'équipe de conception. Aussi, dans la démarche proposée, l'analyse de l'activité instrumentée (Rabardel, 1995) est introduite dès les premières étapes de la conception des EIAH. Il est à noter que cette approche était alors émergente dans ce champ (Decortis et al., 2003 ; Hautecouverture, Gregori & Brassac, 2007).

6. Vers une étude de l'activité instrumentée

La participation à ce projet et la réalisation d'évaluations en classe m'a conduite à passer d'une perspective à dominante techno-centrée à une perspective à dominante anthropocentrée de la conception des EIAH.

La première perspective est une entrée par la technicité : le concepteur fournit un environnement dont les fonctionnalités sont pensées pour réaliser une tâche prédéfinie, suivant des procédures qui sont imposées à l'utilisateur et qui contrôlent sa réalisation.

La perspective anthropocentrée accorde, elle, une place centrale à l'homme, à son activité, et à son rapport aux techniques. Il s'agit de concevoir des systèmes techniques en référence à l'activité humaine qui deviendront des instruments qu'il pourra adapter à son activité. De tels systèmes s'appuient sur les compétences existantes des acteurs et cherchent à les développer ; ils visent à augmenter les degrés de liberté qui leur sont laissés pour leur permettre de définir leurs propres objectifs (Rabardel, 1995).

Ce changement de perspective amène à s'interroger sur la conceptualisation du sujet pertinente pour orienter la conception de dispositifs techniques ou de situations d'apprentissages (Rabardel & Pastré, 2005). Dans la perspective anthropo-centrée, le sujet n'est pas seulement un sujet connaissant, réductible aux structures cognitives en jeu dans l'acquisition de connaissances ; c'est un sujet conscient de lui-même et agissant, capable de transformer le réel (activité productive) et de se transformer lui-même (activité constructive). Ses connaissances sont alors des ressources pour l'action.

Dans cette perspective anthropocentrée, les systèmes informatiques ne doivent pas être analysés pour eux-mêmes et de façon isolée, mais dans le cours d'action des sujets, en fonction de l'activité qu'ils réalisent, en appréhendant l'évolution de leur utilisation au cours du temps.

Ainsi, dans cette perspective, *comprendre comment les objets techniques que nous concevons et utilisons affectent nos façons d'apprendre et de se constituer en tant que sujet capable d'agir passe par une étude du processus d'appropriation de ces objets techniques et par une analyse de la dimension constructive de l'activité des sujets en situation.*

Chapitre 2. Appropriation des technologies de l'information et de la communication pour l'éducation

Dès la commercialisation des premiers ordinateurs personnels *grand public*, leur appropriation est devenue un objet d'étude, d'abord en sociologie des usages (voir Jouët, 2000, 2012, Proulx, 2015 pour des synthèses), puis en ergonomie cognitive. Il s'agissait de mieux comprendre les processus en jeu dans l'appropriation, les facteurs qui amènent un acteur à adopter une technologie, ou encore les transformations produites par ce processus d'appropriation sur les sujets et les technologies elles-mêmes.

L'appropriation des technologies numériques est également une question importante dans le champ de l'éducation. Les innovations technologiques sont considérées comme des vecteurs d'évolution des pédagogies et d'amélioration de la qualité de l'éducation. Leur intégration dans les pratiques pédagogiques a fait l'objet de nombreuses prescriptions et recommandations... pourtant les usages sont moins fréquents qu'attendu. Dès lors l'appropriation de ces technologies par les enseignants est devenue une question de recherche très étudiée par les sciences de l'éducation. Cette section présente une synthèse des recherches sur ces différentes questions.

1. Appropriation des Technologies de l'information et de la communication

Proulx (1987) définit l'appropriation des TIC comme un *processus d'apprentissage de nouvelles connaissances et habiletés permettant à l'individu d'intégrer l'objet ou le savoir technique de manière signifiante et créatrice dans sa vie quotidienne*. Puis il précise que l'appropriation est également une « *mise en oeuvre (utilisation, conception et/ou développement) de l'outil technologique par un groupe ou une catégorie sociale qui contribue au renforcement de son pouvoir vis-à-vis des autres composantes de la société* » (Proulx, 1987, p. 47). Ces deux définitions du processus d'appropriation soulignent qu'il s'agit d'expériences individuelles qui s'inscrivent dans un contexte social plus large et dans des rapports de pouvoir. *L'appropriation est envisagée comme un procès à la fois individuel et social participant à l'émancipation de l'individu et du groupe.*

Processus d'appropriation

Un processus créatif

Comme le souligne Proulx (1994), les premières recherches visant à caractériser le processus d'appropriation des TIC se sont notamment inspirées de De Certeau (1990). Celui-ci a mis en évidence différents mécanismes par lesquels les individus font preuve au quotidien de créativité afin d'agir en sujets libres et autonomes dans des domaines où ils étaient jusque-là considérés comme passifs : les tactiques mises en oeuvre, les « *mille manières de braconner* », les ruses inventées par chacun au quotidien pour s'approprier des espaces et des biens culturels. Dans cette perspective, la sociologie des usages a porté une attention particulière aux stratégies et tactiques individuelles, c'est-à-dire aux détournements et bricolages dont sont capables les usagers.

Une intériorisation de compétences nouvelles

Sur le plan individuel, l'appropriation est considérée comme un processus durant lequel l'utilisateur intègre un dispositif technique à sa vie quotidienne en lui attribuant, dans un contexte donné, des significations subjectives (projections, associations) et en l'adaptant de façon créative à sa culture en fonction de ses centres d'intérêts, de ses besoins, de ses pratiques, de ses valeurs (Proulx, 2002, 2005, 2015 ; Millerand, 2002).

Ce processus passe par une intériorisation progressive de compétences techniques et cognitives nécessaires à la maîtrise du dispositif technique. Il est à noter que la maîtrise de ces compétences est variable d'un individu à l'autre ; la majorité des usagers se contente d'une maîtrise partielle des fonctionnalités (recours à un nombre très réduit des options offertes), une exploitation minimale des possibilités offertes par la technologie étant suffisante pour satisfaire leurs attentes (Jouët, 2000).

Un ajustement de la technologie elle-même

Ce processus passe également par un ajustement de la technologie elle-même. Akrich (1998) met ainsi en évidence plusieurs types de modifications pouvant être apportées par les utilisateurs :

- *L'Adaptation* : l'utilisateur modifie le dispositif pour l'ajuster à son usage sans changer la fonction originelle de l'objet.
- *L'extension* : des éléments sont ajoutés au dispositif afin d'enrichir la liste des fonctions.
- *Le détournement* : l'utilisateur se sert du dispositif pour un propos qui n'a rien à voir avec les usages prévus.

A travers ces différents ajustements, l'usager déploie des tactiques d'appropriation qui reposent sur un « *agencement propre* » des fonctionnalités de la machine et des applications ; il développe une « *singularité des modes de faire* » y compris dans des contextes où les prescriptions sont très présentes (Jouët, 2000).

L'existence de tels ajustements motive « *l'analyse des compromis, des régulations, des médiations qui permettent la coopération entre des univers, « des mondes » hétérogènes et la construction de l'usage social.* » (Jouët, 2000).

Un processus qui participe à la construction identitaire du sujet

Le processus d'appropriation met également en jeu l'identité personnelle et l'identité sociale de l'individu. Selon Jouët (2000), elle procède alors d'une double affirmation de la singularité du sujet et de l'appartenance qui le relie au corps social. L'appropriation contribue ainsi à une dynamique de réalisation de soi que ce soit dans la sphère privée ou dans la sphère professionnelle, ainsi qu'à l'affirmation d'appartenance à un groupe en adoptant les pratiques qui lui sont propres. L'appropriation est alors « *l'acte de se constituer un soi* » (Jouët, 2000, p.3).

Néanmoins, Comme le souligne Proulx (2009), pour contribuer, même indirectement, au procès d'autonomisation l'appropriation personnelle et sociale d'une technique doit se trouver en synchronie avec des moments de transformation objective et significative de pratiques considérées comme subjectivement importantes par les individus concernés.

Inscription dans un système de rapports sociaux

Plus globalement, les usages des TIC, qu'ils soient quotidiens ou professionnels, s'inscrivent dans un système de rapports sociaux (Jouët, 2000 ; Proulx, 2005).

Les usages se construisent à travers les interactions sociales dans des pratiques régies par des normes socialement partagées :

« L'appropriation individuelle et sociale d'un nouvel objet ou d'un nouveau savoir technique, est un processus complexe qui se construit dans un jeu subtil d'interactions entre le développement d'usages sociaux spécifiques de l'objet ou du savoir technique, les représentations sociales et l'imaginaire de cet objet ou de ce savoir technique, les contraintes et les nécessités des pratiques individuelles et sociales des usagers (acteurs) concernés par ce

processus d'appropriation, les « modes d'emploi » socialement attendus de l'objet ou du savoir technique, c'est-à-dire les consignes et procédures d'utilisation proposées par les fabricants, marqués socialement par les normes ambiantes et vis-à-vis desquels les usagers (acteurs) se « dégagent » plus ou moins (par exemple, usages « légitimes » ou « autorisés » versus « détournements d'usages », etc.). (Proulx, 1987, p. 47)

Cette construction sociale des usages est également source d'une stratification des usages, des usages différenciés en fonction de l'âge, du genre, du niveau de diplôme, de la profession, du milieu social et des trajectoires biographiques des sujets (Granjon, Lelong et Metzger, 2009). Ces recherches mettent également en exergue le poids des habitudes communes à un groupe social sur les logiques d'usage. Selon ces auteurs, l'usage des technologies dépend des ressources techniques mais aussi culturelles et relationnelles de l'utilisateur, ressources inégalement réparties dans l'espace social. Ces inégalités sont accentuées par le renouvellement incessant des technologies, qui multiplie les nécessités de mises à niveau et impose un état de veille permanent pour les utilisateurs :

« Cette exigence accentue les inégalités numériques, tous les utilisateurs ne pouvant ou ne souhaitant consacrer le temps nécessaire à tester les dernières nouveautés, trouver les compatibilités, corriger les erreurs, tâtonner pour trouver les fonctionnalités ou simplement retrouver dans une nouvelle version les fonctionnalités familières » (Granjon, Lelong et Metzger, 2009, p. 15).

Ces inégalités sont également amplifiées dans le cadre professionnel, lors de renouvellements technologiques, souvent associés à des changements organisationnels et réglementaires.

Ces technologies sont par ailleurs susceptibles de devenir des enjeux de pouvoir, de conflits, de négociation y compris au sein de la famille (Jouet, 2000) ; les négociations relatives aux usages des smartphones par les adolescents au sein du foyer (Bond, 2014) en sont une illustration.

S'appuyant sur ces résultats, Proulx (2005) met en avant quatre conditions nécessaires à l'appropriation d'une technique

- a) la maîtrise technique et cognitive de l'artefact ;
- b) l'intégration significative de l'objet technique dans la pratique quotidienne de l'utilisateur ;
- c) un usage répété de cette technologie ouvrant vers des possibilités de création,
- d) à un niveau plus collectif une représentation des usagers dans l'établissement de politiques publiques et dans les processus d'innovation

Dimensions individuelles en jeu dans l'appropriation des TIC

La sociologie des usages montre que l'appropriation est un processus individuel qui s'inscrit dans un système de rapports sociaux. Sur le plan individuel, la mise en évidence de nombreux facteurs tels que l'efficacité perçue, l'efficience perçue, mais aussi l'image, les valeurs ou le message idéologique véhiculés par le produit, son esthétique, le plaisir et les émotions semblent contribuer à la décision d'utiliser ou non une technologie et à son appropriation.

Différents modèles issus de la psychologie ont conduit au développement d'un champ de recherche en ergonomie portant sur l'acceptabilité des systèmes informatiques puis sur les conditions d'acceptation de ces technologies. D'autres recherches soulignent l'importance d'étudier l'expérience des acteurs dans toutes leurs dimensions.

Quelle acceptabilité des technologies ?

L'acceptabilité a été initialement définie comme la perception qu'a l'utilisateur de l'utilité d'un système (participation du système à l'amélioration de sa performance) et de son utilisabilité (facilité d'utilisation du système) (Davis, 1989 ; Nielsen, 1993 ; Dillon & Morris, 1996 ; Tricot et al., 2003 pour une revue). Cette représentation, fondée sur les représentations de l'utilisateur, ses croyances, des analogies avec des situations déjà rencontrées, sa perception des attentes des autres, conditionnerait la décision d'utilisation du système.

Cette approche de l'acceptabilité, initialement fondée sur les représentations mentales de l'utilisateur sur l'efficacité et l'efficience du système, a ensuite été enrichie par la prise en compte d'autres caractéristiques du système : l'apparence, l'esthétique, le plaisir et l'émotion que l'interaction avec le système est susceptible de provoquer chez l'utilisateur ; l'influence relative des besoins et des émotions vis-à-vis des dimensions cognitives varient selon les modèles proposés (voir Barcellina & Bastien, 2009 pour une revue).

Différentes critiques ont été émises vis-à-vis de ces différentes approches de l'acceptabilité (Barcellina & Bastien, 2009 ; Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009) ; Celles-ci mettent en avant une analyse a priori du système par l'utilisateur, circonscrites aux seules connaissances et aux seuls objectifs instrumentaux relatifs aux tâches à effectuer ; lorsque les aspects émotionnels sont pris en compte, ils sont souvent considérés comme des propriétés intrinsèques des objets. Ces recherches minimisent le rôle que jouent le contexte, l'expérience de l'individu, et la signification qu'il construit durant son activité.

De l'acceptabilité à l'acceptation

Bobillier-Chaumon & Dubois (2009) proposent de passer d'une étude de l'acceptabilité d'une technologie à l'étude de son acceptation, définie ainsi :

« le déploiement d'un ensemble de conduites réelles d'adoption mises en oeuvre par l'individu et/ou un collectif, dans le cadre des activités effectives au sein de l'organisation. L'acceptation se présente donc comme la façon dont un individu, mais aussi un collectif, une organisation perçoivent au gré des situations quotidiennes les enjeux liés à ces technologies (atouts, bénéfiques, risques, opportunité) et y réagissent (favorablement ou non). » (p. 362).

Il ne s'agit plus d'analyser les représentations du l'utilisateur a priori, mais de documenter ce qui se joue durant l'activité du sujet en situation professionnelle.

Dans cette perspective, l'acceptation d'une technologie dépend de la façon dont elle participe à faire évoluer le rôle de chaque sujet, son pouvoir d'agir et son identité au sein d'un collectif ou d'une organisation : la technologie contribue-t-elle à développer l'autonomie de l'acteur au sein de l'organisation ? Ou au contraire, impose-t-elle un contrôle, une régulation de son activité qui réduisent ses possibilités d'action ?

Ce processus repose sur une interprétation subjective susceptible d'évoluer : chaque sujet construit une interprétation de la situation en fonction de son expérience, des contraintes imposées par la situation, des ressources dont il dispose... et de leur évolution au cours du temps.

La technologie comme expérience

D'autres approches mettent en avant l'importance de documenter les relations qui se construisent progressivement entre les acteurs et les technologies au cours de l'activité - relations considérées comme ouvertes et en devenir – en se focalisant sur l'expérience vécue des acteurs. Ainsi, Mc Carthy & Wright (2007) proposent une approche pragmatiste centrée sur l'expérience subjective de l'acteur (user experience) lorsqu'il utilise une technologie en situation. Fondée sur les écrits de Dewey (1934 – l'art comme expérience) et de Bhaktine, cette approche est mobilisée pour mettre en exergue les caractéristiques de l'expérience vécue lors de l'utilisation de différentes technologies.

Selon cette approche, l'expérience est simultanément sensorielle, émotionnelle, intellectuelle et relationnelle ; Ces dimensions ne sont pas indépendantes les unes des autres, mais "entrelacées", telles des fils étroitement tissés. Différentes études de cas (Mc Carthy & Wright, 2007 ; Cahour, 2010) montrent que l'utilisation d'une technologie au cours de l'activité modifie à la fois l'engagement sensoriel de l'acteur dans la situation, la qualité émotionnelle de son expérience et sa perception du temps et de l'espace. La technologie peut par ailleurs participer à l'intégration des éléments composant l'expérience passée du sujet, contribuant à la genèse d'une nouvelle expérience signifiante, ou au contraire, conduire à une fragmentation de ces éléments, bien souvent associée à une perte de sens. Les auteurs de concevoir pour favoriser des expériences esthétiques (« Design for aesthetic experience ») participant à une intégration des éléments de l'expérience porteuse de sens.

Ainsi, Les facteurs qui conduisent à l'adoption d'une technologie sont nombreux, des dimensions cognitives (représentations, croyances, perception à priori), mais aussi des dimensions affectives et émotionnelles ; l'adoption n'est qu'une étape de l'appropriation. L'appropriation est un processus lent et progressif, ancré dans l'activité située, processus durant lequel le sujet opère des ajustements sur la technologie, modifie ses manières d'agir, développe des compétences, construit son identité et crée de nouveaux usages. Ces différents mécanismes ont été conceptualisés dans le cadre de l'approche instrumentale (Rabardel, 1995)³³, celle-ci distingue deux composantes de la genèse instrumentale, l'instrumentalisation et l'instrumentation, met en avant la dimension constructive de l'activité (Rabardel, 2005), celle-ci pouvant aboutir à des genèses identitaires (Bationo-Tillon, 2017). L'ensemble de ces recherches soulignent également la dimension créative du processus d'appropriation, à la fois individuelle et collective, également mise en avant par Cuvelier (2016) :

« L'appropriation peut être envisagée non seulement comme "un mouvement de création producteur de nouveau pour soi-même" (Rabardel, 2005, p. 262), mais aussi potentiellement comme un mouvement de création avec les autres et pour les autres, pour les collectifs auxquels le sujet appartient. La nouveauté créée au cours de l'activité constructive instrumentée, peut en effet "être partagé[e], diffusé[e], recyclé[e] au-delà de son espace de création, de validité et de pertinence initiale »

En vue d'appréhender la façon dont l'activité instrumentée par les TIC affecte le développement des sujets, ces recherches nous invitent à porter notre attention sur différentes facettes du développement, inscrits dans des empan temporels différents, et à se poser les questions suivantes :

³³ Approche présentée dans la partie 1

- Comment la technologie utilisée au cours de l'activité influe-t-elle sur l'expérience vécue dans ces différentes dimensions (émotionnelle, sensorielle, intellectuelle et relationnelle) ? En quoi facilite-t-elle ou empêche-t-elle l'intégration de l'expérience vécue précédemment et la construction de sens à partir de cette expérience (genèse expérientielle) ?
- Quelles sont les genèses instrumentales, mais aussi les connaissances, habiletés, compétences et ressources pour l'action qui se développent au cours de l'activité instrumentée ? Comment l'environnement social du sujet contribue-t-il à ces genèses ? quelles sont les schèmes et les logiques d'usages partagés ou discutés au sein des groupes auquel appartient le sujet ?
- Comment l'utilisation de la technologie en situation amplifie-t-elle ou entrave-t-elle le pouvoir d'agir du sujet ? Quels sont les enjeux de pouvoir au sein du collectif associés à son utilisation et en quoi participe-t-elle à faire évoluer ces rapports de pouvoir ?
- En quoi contribue-t-elle à la construction identitaire du sujet (genèse identitaire) ?

2. Appropriation des TIC dans le champ de l'éducation

Les technologies numériques sont devenues omniprésentes dans les différentes sphères de la société. De ce fait l'intégration des technologies dans l'éducation des enfants et des adolescents est devenue un enjeu majeur. De plus, chaque innovation technique (Cros, 2009) est considérée comme un vecteur d'innovations pédagogiques favorisant les apprentissages. Ainsi depuis les premières vagues d'équipement des établissements scolaires (plan informatique pour tous en 1985), les technologies en éducation sont l'objets de nombreux discours porteurs de promesses. Pourtant, force est de constater qu'il existe un écart important entre la pénétration sociale et la pénétration scolaire TIC ; les usages de technologies numériques en classe ne sont pas toujours aussi développés qu'attendu, le non-usage de ces technologies est fréquent (Cuban, 2001 ; Selwyn, 2003 ; Marquet, 2012) ; leurs effets sur les apprentissages sont très variables suivant les conditions d'utilisation. Il existe un écart important entre les *mythes* véhiculés autour des technologies en éducation et les réalités en classe (Amadiou & Tricot, 2014). Ainsi, depuis l'introduction des MO5 jusqu'aux tableaux numériques interactifs ou aux tablettes, les vagues d'équipement se succèdent ; elles suscitent à chaque fois des discours enthousiastes puis des désillusions (Baron, 2014 ; Bruillard et Villemonteix, 2013). Un même cycle qui se répète (Cuban, 1986) : une technologie, soutenue par des « *marchands* » est introduite, une science valide son efficacité, des innovateurs témoignent de réussites exemplaires, des tentatives de généralisation des pratiques pédagogiques innovantes sont mises en œuvre, mais de nombreux obstacles apparaissent rapidement pour aboutir à une « intégration » minimale.

Selon Baron & Bruillard (2004) trois processus permettent de penser l'alternance entre ces différentes vagues de technologies : invention, innovation et scolarisation. Quels sont les facteurs qui concourent à scolarisation des TIC et à leur appropriation par les enseignants ? Quelles sont les spécificités du processus d'appropriation de ces technologies par les enseignants dans le cadre scolaire ? Et comment les enfants et adolescents se les approprient-ils entre usages quotidiens et usages scolaires ? Telles sont les questions qui suscitent un vif intérêt en sciences de l'éducation lors de l'introduction de chaque technologie *nouvelle*.

De nombreux facteurs en jeu dans l'appropriation d'une technologie

Pendant longtemps, le non-usage a été envisagé en termes de manque de ressources économiques et matérielles ou de manque de compétences et de connaissances, de retard à combler ou de refus délibéré (Selwyn, 2003).

Par la suite, de facteurs concourant au développement d'usages stabilisés des TIC en classe³⁴ ont été mis en évidence. Les premiers sont les facteurs techniques (robustesse du matériel, connectique, choix des logiciels et des ressources, maintenance, mise à jour, etc.) et logistiques associés aux matériels mis à disposition. A ceux-ci s'ajoutent des facteurs institutionnels, organisationnels ou plus individuels propres aux acteurs (voir par exemple Penuel, 2006 ; Rinaudo et al., 2008 ; Zucker & Light, 2009 ; Daguet & Wallet, 2012).

Sur la plan institutionnel, la forme scolaire et les attentes curriculaires viennent contraindre les processus d'appropriation (Cuban, 2001). En Grande Bretagne, La *British Educational Communication and Technology Agency* soulignait en 2005 que la culture de l'école et l'organisation scolaire pouvaient constituer des freins à l'utilisation des TIC (BECTA, 2005). En France, l'absence de prescriptions claires dans les programmes scolaires a posé le problème de la légitimité des pratiques instrumentées. L'existence de référentiels de compétences, tels que le Brevet Informatique et Internet (B2i) n'a pas suffi à apporter la légitimité suffisante (Flückiger & Bart, 2012).

Sur le plan organisationnel, la logistique induite par la présence de ces équipements implique des aménagements relevant de décisions collectives ou d'arbitrage de responsables locaux (notamment des collectivités locales) à tous les niveaux scolaires qui contribuent à contraindre les usages mis en place (Baron & Boulc'h, 2012 ; Tort & Aoudé, 2012).

Sur le plan individuel, l'engagement des enseignants est facilité par leur maîtrise d'une culture informatique et numérique (Villemonteix & Béziat, 2014). D'autres facteurs individuels contribuent à cette implication, tels que leurs opinions, leurs croyances (Tricot et al., 2003), leur attitude face à l'innovation (Aldunate & Nussbaum, 2013), leur sentiment d'efficacité personnel (Ertmer, 1999 ; 2005) ou encore des facteurs psychiques plus inconscients (Rinaudo, 2012).

Quel processus d'appropriation des TIC dans un contexte scolaire ?

Au-delà de ces nombreux facteurs qui orientent les usages scolaires, d'autres recherches ont porté sur la caractérisation du processus d'appropriation lui-même. Ainsi, à partir d'une étude quantitative portant sur l'appropriation d'ordinateurs au collège, Depover et Strebelle (1997) ont proposé un modèle distinguant trois étapes successives :

- La Phase d'adoption, définie comme la décision de changer quelque chose dans sa pratique :
« La phase d'adoption se définit comme la décision de changer quelque chose dans sa pratique par conviction personnelle ou sous une pression externe qui peut s'exercer au départ du microsystème (à la demande des élèves, par exemple) mais aussi à l'initiative du personnel d'encadrement comme la direction ou l'inspection. Il est clair que la décision de changer aura des répercussions psychologiques différentes sur l'enseignant selon qu'il aura le sentiment d'être à l'initiative du changement ou que celui-ci sera vécu comme imposé de l'extérieur » (Depover et Strebelle, 1997)
- La phase d'implantation, définie comme l'engagement dans un processus de modification des pratiques éducatives suite à la décision prise,

³⁴ voir Bruillard & Baron (2006) pour une discussion de la distinction entre utilisation et usage des TIC dans le cadre scolaire

- La phase de routinisation, correspondant à la stabilisation des pratiques éducatives instrumentées dans la durée et caractérisée par un recours sur une base régulière et intégrée aux activités scolaires habituelles sans support externe.

Comme les auteurs le soulignent, la durée de la phase d'implantation peut s'étendre sur une longue période, sans aboutir à une routinisation. Les modèles de ce type (voir par exemple Guir, 2002), composés de plusieurs processus qui se succèdent dans le temps, ont fait l'objet de critiques ; leur caractère linéaire occulte ou minimise les incertitudes propres aux phénomènes transitoires en jeu au cours du processus d'appropriation.

Par ailleurs, en partant du constat d'une absence de passage direct entre pratiques personnelles instrumentées et des pratiques devant ou avec les élèves, Baron & Bruillard (2004) ont, eux, porté une attention particulière à la constitution de pratiques professionnelles en classe. Pour utiliser une technologie en classe, l'enseignant doit l'adapter à la forme scolaire, en prenant en compte les objectifs propres à sa discipline, les caractéristiques des apprenants et de son établissement :

« Penser la scolarisation d'instruments pour l'école amène à penser les activités où ces derniers seront utilisés et à en imaginer des modifications allant dans le sens de leur pédagogisation (leur finalité d'usage change et ils deviennent instruments pédagogiques, permettant de comprendre certains processus par leur manipulation même ou par ce qu'ils donnent à voir). »
(Baron & Bruillard, 2004, p. 5)

Cette scolarisation des technologies est un processus créatif (Rinaudo, 2012), qui consiste à inventer de nouvelles pratiques en se détachant de certaines contraintes et à les adapter pour les rendre compatibles avec les cadres existants. Dans cette perspective, le caractère innovant de la pratique disparaît progressivement une fois que l'utilisation des technologies au sein des pratiques pédagogiques est *acclimatée et légitimée* (Baron & Bruillard, 2004).

Les auteurs soulignent par ailleurs que le déroulement de ce processus n'est pas planifié mais se transforme continûment en fonction de contingences diverses. Pour l'étudier, ils proposent d'analyser les genèses instrumentales (Rabardel, 1995), en vue de décrire les processus d'appropriation individuelle et collective des instruments dans le cadre d'activités finalisées.

Genèses instrumentales par les enseignants : entre genèses personnelles et genèses professionnelles

Différentes recherches en didactique des mathématiques se sont inspirées des théories de l'activité et de l'approche instrumentale pour étudier les usages des technologies en cours de mathématiques dans l'enseignement secondaire (Robert & Roglaski, 2002 ; Trouche, 2002 ; 2004 ; Haspekian, 2006 ; 2014 ; Lagrange, 2013). Ainsi, suite au constat d'un manque de transfert des pratiques personnelles des enseignants vers les pratiques en classe, Haspekian (2006 ; 2014) a analysé les genèses instrumentales personnelles et professionnelles des enseignants.

Dans une étude portant sur l'utilisation des tableurs en classe, elle montre que les genèses instrumentales sont différentes en contexte personnel et professionnel. Le même artefact, le tableur, devient dans un cadre personnel un instrument de calcul pour une *activité mathématique*, et dans le cadre professionnel un instrument *didactique* pour l'*activité d'enseignement des mathématiques*. En situation professionnelle, ce nouvel artefact doit être *instrumentalisé* par l'enseignant en fonction de

ses objectifs pédagogiques ; il lui faut découvrir les potentialités didactiques de cet outil et adapter ces fonctionnalités à ses objectifs. Ce *processus d'instrumentalisation est associé à un processus d'instrumentation* : l'enseignant, au cours de son activité, doit *faire évoluer ces schèmes* (organisation invariante de l'action) et *en créer de nouveaux* pour intégrer ce nouvel outil à sa pratique. L'enseignant va progressivement spécifier l'utilisation de l'outil à une classe de situations particulières, trouver une fonction pour ce nouvel instrument au sein d'un *système d'instruments* déjà existants (Bourmaud & Rabardel, 2005), et organiser son activité pour cette classe de situations.

Ainsi, une comparaison entre novices et experts montre que les enseignants ayant peu d'expérience dans l'utilisation des technologies ont des difficultés à identifier les potentialités didactiques de l'outil ; ils choisissent d'utiliser les technologies non pour leur valeur épistémique (mieux comprendre les concepts mathématiques), mais pour leur valeur pragmatique (produire des résultats rapidement et facilement). Une étude de cas consistant à suivre l'appropriation d'un tableau par un enseignant pendant deux ans (Haspekian, 2014) font apparaître plusieurs évolutions de l'activité de l'enseignant caractéristiques des genèses professionnelles à l'oeuvre :

- Un ajustement progressif du degré de nouveauté des contenus enseignés en fonction de la complexité de l'outil : les enseignants plus expérimentés dans l'usage des technologies choisissent d'introduire un artefact complexe comme le tableur en travaillant d'abord sur des contenus déjà maîtrisés sur papier-crayon, avant d'introduire de nouveaux contenus mathématiques.
- Une articulation plus systématique avec des tâches « *papier-crayon* » consistant à présenter les mêmes notions dans les deux environnements de façon à construire des liens,
- Une attention croissante à la mutualisation entre pairs et à la socialisation des productions des élèves de façon à construire des connaissances mathématiques et instrumentales communes à la classe,
- Une intégration des tableurs au sein d'un système d'instruments plus large incluant le vidéo-projecteur,
- Une réorganisation des schèmes professionnels associés à la régulation de l'activité des élèves.

Cette étude montre ainsi que l'intégration réussie des tableurs en classe passe par le développement de la capacité à jouer avec *l'ancien et le nouveau*, tant au niveau des contenus mathématiques que des instruments utilisés, par le développement d'un(e) *certain(e) art/habilité à savoir comment combiner ces couches* (Haspekian, 2014, p.100).

Orchestration des genèses instrumentales des élèves

Lors de cette genèse instrumentale professionnelle, l'enseignant développe également des habiletés à guider les genèses instrumentales des élèves, à mettre en œuvre une « *orchestration instrumentale* » (Trouche, 2004).

Se fondant sur les travaux de Rabardel (1995), Trouche (2003) souligne que comprendre la genèse instrumentale suppose de saisir plusieurs articulations :

- l'articulation entre les schèmes sociaux, construits dans l'environnement socioculturel et les schèmes individuels (que l'individu constitue par et pour lui-même),
- l'articulation schèmes d'usage orientés vers les tâches secondes correspondant aux actions directement liées à l'utilisation de l'artefact lui-même (invariants associés aux gestes) et les

schèmes d'action instrumentée, orientées vers l'objet de l'activité (invariants associés à une technique),

- l'articulation entre instrumentalisation et instrumentation

L'orchestration instrumentale consiste en une gestion collective de la genèse instrumentale visant à accompagner les élèves dans ces trois dimensions. A travers une socialisation des différents schèmes que les élèves constituent au cours de l'activité, elle vise l'articulation, pour chaque individu, des différents instruments utilisés dans l'activité et participe à la coordination de l'ensemble des instruments de la classe (Trouche, 2003).

Une configuration possible d'orchestration instrumentale consiste ainsi à projeter devant la classe l'écran d'un élève sherpa ; celui-ci joue le rôle *de référence, de guide, d'auxiliaire et de médiateur* pour la classe entière (Trouche, 2002, p. 253) ; pendant la réalisation de l'activité, l'enseignant (ainsi que le reste de la classe) s'informent des schèmes d'action instrumentée de l'élève sherpa, guide(nt) l'instrumentalisation et l'instrumentation et joue(nt) ainsi le rôle de chef d'orchestre. D'autres configurations d'orchestration sont possibles (Drijvers et al., 2010 ; Gourlet, 2018). Elles présentent toutes des éléments communs : l'interaction entre enseignant et élèves et entre élèves, l'explicitation des démarches mise en œuvre et la publication des traces de l'activité.

Ainsi, les recherches sur l'appropriation des TIC en éducation portent pour la plupart sur leur appropriation par les enseignants, principalement dans l'enseignement secondaire. Celles-ci se centrent le plus souvent sur les facteurs qui déterminent cette appropriation plutôt que sur les genèses instrumentales. L'appropriation de ces technologies par les élèves, notamment à l'école primaire restent encore peu étudiée. Suite à ces constats, nous avons choisi d'étudier l'appropriation des technologies numériques à l'école primaire par les enseignants et les élèves, en documentant les genèses instrumentales, mais aussi les différentes facettes du développement à l'oeuvre au cours de cette appropriation, ceci dans différents contextes.

Chapitre 3. Appropriation d'une classe mobile à l'école primaire

Le projet d'étudier l'appropriation des technologies numériques mobiles à l'école primaire a émergé en 2010 à la suite d'une rencontre avec des membres de l'association *OLPC France* faisant la promotion du projet *One Laptop Per Child* (OLPC), à un moment où différents programmes de dotations d'ordinateurs portables commençaient à être expérimentés en France.

Initié en 2005 sous l'impulsion de Nicholas Negroponte (*Massachusetts Institute of Technology*), le projet *One Laptop Per Child* (OLPC) avait pour but de permettre aux enfants, où qu'ils vivent, d'apprendre et de développer leur autonomie et leur créativité en donnant à chacun d'eux accès à un ordinateur portable adapté à leurs conditions de vie. Ce projet, inspiré de la conception constructionniste de l'apprentissage (Papert, 1981 ; Harel & Papert, 1991), s'est concrétisé par la conception d'ordinateurs portables pour les 6-12 ans, les XO, précurseurs des premiers ordinateurs ultra-portables à bas coût équipés d'un système d'exploitation adapté aux enfants (Sugar) et de logiciels éducatifs libres. Ce projet a contribué au développement de politiques publiques, promues notamment par l'*UNESCO*, consistant à mettre en place des programmes de dotation de TIC à destination des écoles dans les pays du sud, et d'en faire des outils supportant l'innovation pédagogique en vue d'améliorer la qualité de l'éducation (Klein, Hallow, Poveda, 2014). Par la suite, des programmes de déploiement d'ordinateurs portables puis de tablettes ont été conduits dans de nombreux pays, au nord comme au sud.

La démarche du projet *One Laptop Per Child* nous a semblé en adéquation avec le programme de recherche « *ergonomie orientée enfants* » porté par Françoise Decortis (Decortis, 2015) qui vise à élaborer des concepts et méthodes pour contribuer à la conception de technologies et d'environnement adaptés aux enfants dans les situations quotidiennes ou scolaires. L'existence d'un déploiement de XO porté par *OLPC France* au sein d'un projet éducatif à Madagascar a ouvert l'opportunité de contribuer à ce programme de recherche en étudiant *l'articulation entre appropriation de ces technologies par les enfants, apprentissage, et développement* dans différents environnements culturels.

Dans ce but, le projet PICRI UOPO³⁵ (*Usages et Appropriation d'ordinateur Portables à l'école*) – a été déposé en collaboration avec *OLPC France* (Decortis et Nogry, 2016). Entre 2011 et 2016 plusieurs études longitudinales ont été conduites dans des écoles de Seine-Saint-Denis et dans une école à Madagascar. Ces recherches ont permis de documenter les processus d'appropriation de ces artefacts mobiles en caractérisant les différents usages qui en sont faits ainsi que les genèses instrumentales qui ont lieu au cours de l'activité, ceci dans différents contextes.

Rapidement, les observations faites dans le cadre scolaire ont soulevé la question de l'appropriation des technologies mobiles (ordinateurs portables, tablettes) par les enseignants eux-mêmes. Le présent chapitre porte sur leur appropriation dans le cadre scolaire par les enseignants en France, et dans deux déploiements en Afrique francophone. Le chapitre suivant portera plus spécifiquement sur les usages et l'appropriation de ces objets techniques par les enfants dans ces différents contextes.

³⁵ Projet financé par la région île de France

Si le projet OLPC et les programmes de dotations qui ont suivi visent à proposer un ordinateur portable pour les enfants afin de les rendre plus autonomes dans les apprentissages, leurs usages dans un cadre scolaire semblent souvent limités Nogry & Decortis, 2015 pour une synthèse. Il apparaît que dans ce cadre, les usages dépendent étroitement des situations d'apprentissage proposées par l'enseignant. C'est la raison pour laquelle l'étude du processus d'appropriation de ces dispositifs par les enseignants nous est apparue nécessaire.

Baron & Bruillard (2004) soulignent que pour utiliser une technologie en classe, l'enseignant doit l'adapter à la forme scolaire, en prenant en compte les objectifs propres aux disciplines enseignées, les caractéristiques des apprenants tout en adaptant ses pratiques professionnelles en classe ou en en constituant de nouvelles. La constitution de ces nouvelles pratiques a été étudiée principalement dans l'enseignement secondaire. Or l'enseignement primaire s'en distingue par une structuration de l'organisation du travail caractérisée notamment par l'unité de lieu dans laquelle l'enseignant « fait classe », la polyvalence des enseignements ou encore la structuration du temps de travail (Nogry & Sort, 2016). Par ailleurs, une spécificité des ordinateurs portables et tablettes est la possibilité de les utiliser dans la salle de classe, dans laquelle un ensemble d'artefacts (matériel, jeux, affichages) sont présents et constituent des instruments pour apprendre. Autant de spécificités qu'il convient de prendre en compte pour analyser ce processus d'appropriation. Comment les enseignants font-ils des technologies mobiles mises à leur disposition des instruments pédagogiques ? Quelles sont les genèses professionnelles à l'œuvre une fois ces technologies introduites en classe ? Quelles place ces technologies prennent-elles parmi les instruments existants ? En quoi font-elles évoluer les pratiques ?

Pour aborder ces questions nous avons réalisé plusieurs études en France en suivant des enseignants et équipes d'enseignants dans différentes écoles. Ces questions ont également fait l'objet d'investigations en Afrique francophone dans le cadre de deux programmes éducatifs dans lesquels les dotations d'ordinateurs portables XO visaient à améliorer la qualité d'éducation. Ce chapitre présente ces études ainsi que nos principales contributions à ces questions.

1. Etude du processus d'appropriation d'une classe mobile par les enseignants à l'école primaire en France

L'étude du processus d'appropriation de classes mobiles composées d'ordinateurs portables par les enseignants à l'école primaire a d'abord fait l'objet d'investigations dans le cadre du projet PICRI UOPO, notamment lors d'une étude réalisée dans une école de Saint-Denis (93). Dans cette école, équipée de XO par l'association OLPC France, nous avons suivi une équipe d'enseignants pendant deux ans et demi (Encart 4).

Projet PICRI UOPO – étude réalisée à Saint-Denis durant deux ans et demi

Janvier 2012 : une équipe d'enseignants de cycle 3 dans une école de Saint-Denis se porte volontaire pour participer au projet
Mars 2012 : mise à disposition de 25 ordinateurs portables pour cette équipe
Mars-avril 2012 : formation technico-pédagogique des enseignants
Mars- juin 2012 : premières utilisations des ordinateurs portables en classe
2012 – 2013 : utilisations des ordinateurs en classe par 5 enseignants (CP, CE2, CM1, CM2),
2013 – 2014 : un seul enseignant a continué à utiliser le matériel proposé

Protocole. des observations et captations vidéo de séquences instrumentées par la classe mobile ont été conduites dans les classes des enseignants volontaires et complétées par des entretiens avec les enseignants. Des séquences « ordinaires » (situations de référence) visant des objectifs comparables mais réalisées sans utilisation de la classe mobile ont également été observées et enregistrées.

Des entretiens individuels et *focus groups* avec l'ensemble des enseignants participant à l'étude ont également été réalisés après chaque période scolaire (environ toutes les 6 semaines).

Les observations, entretiens et focus groups ont été conduits par *Stéphanie Heurtier, Carine Sort*, étudiantes en master recherche en sciences de l'éducation, *Mélanie Bélanger et Clara Wagner*, étudiantes en ergonomie, et moi-même.

Encart 4. Présentation de l'étude conduite à Saint-Denis

Puis, après l'arrivée des tablettes tactiles dans les classes, nous avons étudié les usages et l'appropriation de ces objets techniques dans le cadre des projets *Expériences tablettes tactiles à l'école primaire* (EXTATE) (Villemonteix et al., 2014) et *EcriTab* (Nogry & Villemonteix, 2018). Le premier visait à documenter l'introduction de tablettes tactiles dans huit écoles primaires en France (Encart 5) ; le second portait sur l'étude des pratiques d'écriture sur tablette.

La recherche EXTATE a consisté à suivre 22 enseignants (16 femmes, 6 hommes). Tous ont déclaré une pratique personnelle des technologies informatisées et 20 utilisent régulièrement les TIC en classe. 8 déclarent avoir été formés aux TIC et 3 détiennent une expertise technique importante. Chaque école a été dotée d'une mallette de 8 à 15 tablettes et d'applications pédagogiques par le ministère de l'Éducation nationale début 2013.

Deux phases d'observations de séances en classe ont eu lieu, en mai 2013 puis en janvier 2014.

Deux séries d'entretiens ont été menées auprès des enseignants au cours des deux périodes.

- La première a concerné les trajectoires professionnelles et le rapport des enseignants aux technologies,
- la seconde a porté sur les utilisations effectives en classe.

Un questionnaire confirmatoire en ligne portait sur le contexte local de mise en œuvre. Des analyses thématiques ont été conduites sur les retranscriptions d'entretien (Bardin, 2007).

Encart 5. Présentation du protocole de l'étude réalisée dans le cadre du projet EXTATE

Dans les situations que nous avons observées en classe, nous avons rapidement constaté que l'introduction des ordinateurs provoquait différents changements dans l'activité des enseignants. Par ailleurs, ceux-ci ont testé de nombreux logiciels dans différentes situations d'apprentissage relevant de plusieurs disciplines (mathématiques, maîtrise de la langue, sciences, etc.) afin de réaliser des tâches de différentes natures (découverte d'un concept, exercice d'entraînement, production d'un document, etc.). Afin de rendre compte des changements de l'activité des enseignants à la suite de l'introduction de ces technologies en classe, tout comme de la diversité des explorations réalisées par les enseignants avec ces artefacts, et des facteurs qui influencent ces explorations, nous avons choisi d'articuler l'approche instrumentale au modèle du processus d'appropriation proposé par Carroll et al. (2002) (Nogry & Sort, 2016).

Deux cadres théoriques articulés pour étudier l'appropriation de ces technologies dans la durée

Le modèle proposé par Carroll et al. (2002) vise à rendre compte de l'appropriation de différents dispositifs techniques par leur utilisateur (Figure 41). Il décrit une phase d'adoption suivie d'une phase d'exploration-évaluation, centrale dans l'appropriation qui mène vers une stabilisation des usages ou un abandon du dispositif. Durant chaque exploration, l'utilisateur découvre ce qu'il peut faire avec la technologie, procède à une évaluation selon des critères qui lui sont propres, et peut procéder à des ajustements de différentes natures. Ce modèle met en évidence les critères de décision d'adoption (les attracteurs), puis les facteurs qui influencent positivement (facilitateurs) ou négativement (freins) le processus d'appropriation, et l'évaluation du dispositif. Comme le soulignent les auteurs, ceux-ci évoluent fortement au cours du processus (Mendoza, Carroll et Stern, 2010).

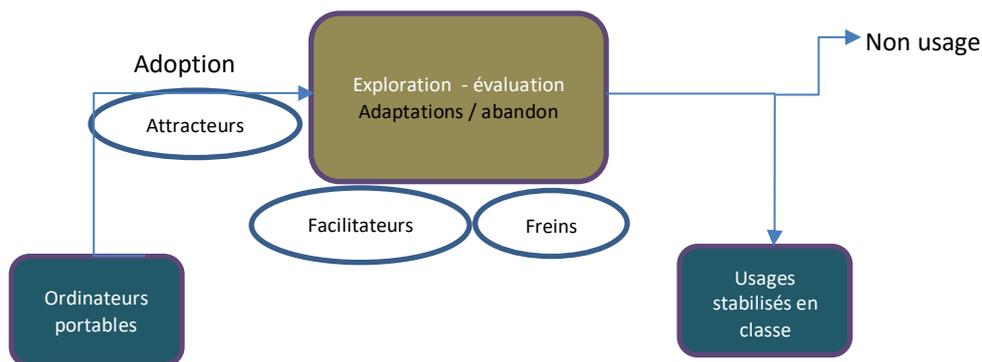


Figure 41. Modèle d'appropriation des technologies adapté à partir du modèle proposé par Carroll et al. (2002).

L'approche instrumentale a pour unité d'analyse l'activité instrumentée. Il s'agit de documenter les trois pôles de l'activité : le sujet qui agit, l'objet vers lequel l'activité est orientée, et l'instrument (artefact et un schème associé) qui assure un rôle de médiation entre le sujet et l'objet (ou vers les autres sujets présents ou encore vers soi-même). Différents plans d'organisation de l'activité sont distingués :

- l'activité située, associée à une expérience vécue dans une situation singulière, est le fruit d'un compromis entre les buts visés, mais aussi les contraintes et les ressources à disposition,
- les classes de situation : elles sont constituées de plusieurs situations singulières considérées par le sujet comme ayant des caractéristiques voisines,
- les familles d'activité, des classes de situation ayant un même type de finalité générale.

Les instruments mobilisés peuvent être associés à des situations singulières, mais aussi constituer l'une des dimensions invariantes des classes de situation ou des familles d'activité. Ces multiples instruments peuvent être progressivement organisés en système comportant une organisation, des redondances, etc. (Rabardel et Bourmaud, 2003).

Articuler ces deux modèles consiste à documenter les multiples explorations réalisées en analysant pour chacune d'elles les facteurs facilitants et limitants, et pour chacune d'elles, à analyser l'activité instrumentée de sujets, afin de caractériser les multiples genèses instrumentales, locales ou plus stables, ayant lieu au cours du processus d'appropriation.

L'analyse de l'activité des enseignants a d'abord permis de mettre en évidence les différents changements produits par l'introduction de la classe mobile en classe. Ces analyses ont également permis de caractériser différentes trajectoires d'appropriation et de documenter l'évolution des facteurs qui influencent ces trajectoires.

L'utilisation des ordinateurs en classe, source de changements dans les différentes familles d'activité de l'enseignant

Une analyse synchronique de l'activité des enseignants au quotidien dans l'école de Saint-Denis (Wagner, 2014) a mis en évidence le fait que dans chacune des trois grandes familles d'activité (Figure 42) qui caractérisent l'activité des enseignants, des changements adviennent lorsque les ordinateurs portables sont utilisés.

L'utilisation de la classe mobile modifie d'abord la préparation des séances. Les objectifs visés lors des séances avec XO sont adaptés en mettant en avant des objectifs de différenciation et

d'individualisation. Un temps de préparation porte plus spécifiquement sur la prise en main de l'ordinateur et des logiciels utilisés ainsi que sur l'anticipation des stratégies des élèves et des difficultés éventuelles. Le temps de préparation des supports pédagogiques et des évaluations change, cette dernière pouvant être assurée par certains logiciels. Un temps de préparation du matériel plus important avant et après la séance est nécessaire afin de déplacer les ordinateurs, les distribuer, puis les recharger.

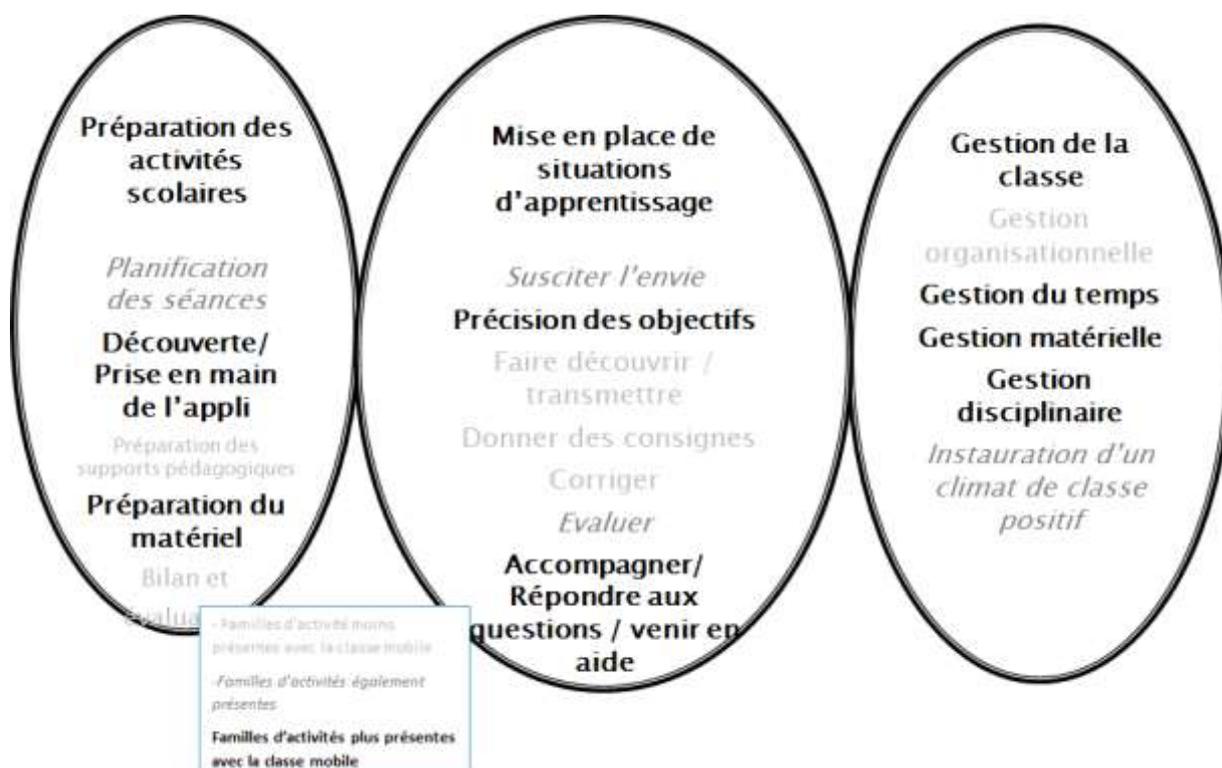


Figure 42. Familles d'activités et classes de situations caractérisant l'activité de l'enseignant

L'introduction de la classe mobile a par ailleurs de nombreuses répercussions sur la gestion de la classe et la régulation des situations d'apprentissage. Elle influence notamment l'organisation matérielle durant la séance ; elle demande une attention particulière aux problèmes techniques. Elle nécessite d'adapter la gestion de la discipline, l'écran faisant parfois écran entre l'élève et l'enseignant (Khaneboubi, 2009), ainsi que les formes de régulation de l'activité des élèves. L'individualisation du travail conduit chacun à avancer à son rythme, et amplifie l'hétérogénéité du groupe ; l'accompagnement demande à être individualisé. Les phases de correction collective et d'institutionnalisation sont réduites voire disparaissent. L'utilisation des ordinateurs portables conduit également à revoir la durée des séances et la gestion du temps pendant leur déroulement (Nogry & Sort, 2016).

Des trajectoires d'appropriation distinctes

A Saint-Denis, Les enseignants que nous avons suivis ont accepté de participer à cette étude du fait du caractère innovant du projet, consistant à utiliser dans leur classe des ordinateurs portables conçus pour les enfants par le MIT. Les significations projetées sur cet artefact ont donc joué un rôle important avant même qu'il soit utilisé. Ensuite, après une première présentation des XO et des applications disponibles, ainsi qu'une réflexion sur la place que pourrait prendre cet objet technique dans leur

pratique, ils ont dû faire différents choix : dans quel domaine introduire l'utilisation de l'ordinateur ? quelle(s) application(s) utiliser ? dans quel but ? Quand et comment l'introduire ? etc. Chacun a ainsi procédé à différentes explorations successives pour intégrer la classe mobile à leurs pratiques en classe, qui ont abouti à des usages stabilisés... ou pas.

Une analyse diachronique de l'activité des enseignants sur la durée du projet a mis en évidence deux trajectoires d'appropriation distinctes (Nogry & Sort, 2016). La première – correspondant au plus grand nombre d'enseignants – se caractérise par une succession d'explorations réalisées avec la classe mobile dans différentes disciplines. La seconde trajectoire – suivie par un enseignant ayant des usages plus fréquents des TIC – se caractérise par des usages dans un petit nombre de disciplines ciblées, très rapidement stabilisés fortement inspirés d'usages des TIC déjà mis en place dans d'autres contextes. Nous nous sommes attachées à caractériser ces trajectoires en précisant la nature des explorations effectuées, les genèses instrumentales à l'œuvre au cours de ces explorations, les facteurs agissant comme des facilitateurs ou des freins dans ces explorations ainsi que les critères d'évaluation conduisant à réitérer ou pas l'utilisation mise en place (Nogry & Sort, 2016).

Trajectoire 1 – de multiples explorations, des genèses instrumentales professionnelles locales

Cette première trajectoire se caractérise par une succession d'explorations consistant à utiliser la classe mobile et certaines des applications disponibles dans différents domaines ou séquences pédagogiques. Les applications utilisées sont principalement celles introduites précédemment en formation, choisies en fonction des priorités de chacun pour sa classe et de son utilité perçue pour leurs élèves (motivation, réduction de difficultés, potentialités nouvelles vis-à-vis du savoir enseigné). Les applications sont perçues comme à priori transparentes, ne demandant ni apprentissage ni connaissances particulières pour les maîtriser, leur utilisabilité n'est donc pas un critère de choix.

Les enseignants intègrent la classe mobile et les applications choisies au sein de séquences déjà bien maîtrisées, d'abord comme substitut d'artefacts usuellement utilisés. Leur utilisation est souvent limitée à une fonction spécifique dans un petit nombre de séances³⁶, ce qui donne lieu à des genèses instrumentales « locales » (Rabardel, 1995). L'*instrumentalisation* consiste le plus souvent à sélectionner une application et à réduire son utilisation à un petit nombre de fonctionnalités pré-définies. L'instrumentation passe par une déstabilisation des schèmes professionnels usuellement mis en œuvre pour réguler l'activité des élèves ou les accompagner, et un ajustement de ces schèmes pour prendre en compte le nouvel artefact, sans toujours aboutir à la constitution d'un nouveau schème stabilisé.

Ainsi, dans une séquence de production d'écrit où l'enseignante avait choisi de substituer l'ordinateur au papier-crayon pour rédiger un texte poétique, le schème usuellement mis en œuvre lors de la correction/révision des productions des élèves fut remis en cause. Avec l'introduction du traitement de texte, la possibilité pour l'élève d'effacer la totalité de la trace écrite ne permettait plus à l'enseignante d'inscrire des indications afin de guider les élèves dans la révision puis de suivre les révisions réalisées. Elle a substitué ces traces écrites par un dialogue dont la forme changeait d'un élève à l'autre ; néanmoins, ces dialogues ne

³⁶ une exploration correspondant à l'utilisation d'une application pour travailler un contenu d'apprentissage durant un petit nombre de séances

remplissaient que partiellement les fonctions assurées par inscriptions, ce qui était source de frustration et de difficultés pour les élèves. Dans cette séquence, l'enseignante ne parvint pas à construire une nouvelle organisation invariante de l'action ; elle choisit de ne pas renouveler cette utilisation (Nogry et al., 2013).

Il est à noter que même lorsqu'un nouveau schème commence à se stabiliser, ces genèses instrumentales locales semblent éphémères, elles ne sont pas conservées durablement ou transférées ultérieurement à d'autres séquences d'apprentissage mobilisant la classe mobile.

Au cours de ces explorations, les enseignants ont pu constater un écart parfois important entre leurs attentes et les activités réalisées en classe. L'introduction de la classe mobile transforme leur activité et celle des élèves plus qu'ils ne l'anticipaient, et les effets positifs observés ne sont pas toujours aussi importants qu'attendus (Nogry et al., 2013).

Cet écart les amène à faire évoluer la nature des activités pédagogiques proposées (abandon de certaines utilisations), l'objectif visé et/ou les formes pédagogiques mises en place (passage à une pédagogie de projet dans certaines séquences), et à n'utiliser la classe mobile que pour des usages très ciblés. La place de ces objets techniques dans le système d'instruments des enseignants évolue également : d'abord utilisés comme substitution aux artefacts et ressources usuels (feuilles d'exercice, instruments de géométrie, etc.) ; ils deviennent ensuite complémentaires des instruments existants. Par ailleurs, suivant l'exemple de l'enseignant le plus expérimenté, les enseignants se sont mis à accompagner davantage la découverte des logiciels par un guidage collectif (projection de l'écran d'un ordinateur/accompagnement des groupes d'élèves à la prise en main des applications) : une forme d'orchestration instrumentale s'est progressivement mise en place.

Trajectoire 2 : des usages qui s'inscrivent dans la durée, associés à des genèses instrumentales professionnelles stabilisées

L'un des enseignants suit une trajectoire d'appropriation bien différente. Pour cet enseignant utilisant régulièrement le TNI et la salle informatique dans ces enseignements, l'attracteur principal motivant l'utilisation de la classe mobile et le choix d'une application est sa maîtrise effective de l'application en situation pédagogique. L'utilité perçue pour les élèves est prise en considération, mais il tient aussi compte de l'utilité pour sa propre pratique pédagogique.

Les usages de la classe mobile proposés en classe sont limités à un petit nombre de domaines ciblées. Ces séquences pédagogiques sont fortement inspirées d'usages des TIC observés ou mis en place dans d'autres contextes, notamment lors de collaborations avec des enseignants référents ou pour soutenir des élèves en difficulté. L'utilisation de la classe mobile permet d'étendre ces pratiques à tous les élèves au sein de la classe. Elle vise à « *prendre en charge* » certaines dimensions de l'activité de l'enseignant (individualisation du travail, préparation, consignes, feedback sur le travail réalisé) et à faciliter une individualisation de l'apprentissage, ceci grâce au nombre d'ordinateurs à disposition. Ainsi, dans sa classe, deux applications très ciblées ont été utilisées tout au long de l'année ou sur certaines périodes d'apprentissage pour favoriser une différenciation pédagogique.

Nous avons par ailleurs étudié les genèses instrumentales professionnelles à l'œuvre pour cet enseignant. Dans une séquence d'entraînement au calcul mental. L'instrumentalisation a consisté d'une part en une réduction de l'application à quelques fonctionnalités ciblées, choisies en fonction du niveau des élève, tandis que l'instrumentation a consisté à articuler plusieurs schèmes

professionnels existants afin de réguler l'activité instrumentée des élèves tout en suivant leur progression. Ce schème est resté très stable pendant un an et demi puis a évolué pour prendre davantage en charge les élèves en difficulté (Sort et Nogry, 2015). Dans d'autres séquences, plus ponctuelles, l'utilisation de la classe mobile s'est accompagnée d'une découverte de l'application et régulation de l'activité des élèves en utilisant le TNI qui s'apparente à une orchestration instrumentale.

Il est à noter que des genèses instrumentales professionnelles aboutissant à la mise en place de schèmes de régulation analogues ont également été mises en évidence lors de l'utilisation des tablettes en classe pour résoudre des exercices (Villemonteix & Nogry, 2016 ; Gelis & Villemonteix, 2015). Elles étaient le fait d'enseignants ayant une expérience de l'usage des TIC en classe et une bonne maîtrise des compétences technico-pédagogiques.

Les genèses instrumentales professionnelles observées dans cette étude sont pour partie comparables à celles mises en évidence par Haspekian (2014) à différentes étapes du processus d'appropriation des tableurs comme instrument didactique d'enseignement des mathématiques. Si nous n'avons pas observé d'ajustement progressif du degré de nouveauté des contenus enseignés en fonction de la complexité de l'outil, nous avons en revanche constaté que, tout comme dans le second degré, les enseignants en viennent progressivement à envisager le dispositif technique non comme un substitut aux artefacts existant, mais comme un instrument complémentaire trouvant sa place au sein d'un système d'instruments plus large. L'utilisation de ces technologies est associée à une réorganisation des schèmes professionnels mobilisés pour réguler l'activité des élèves, et au développement d'une orchestration instrumentale de l'activité des élèves. Cette réorganisation prend des formes différentes selon les trajectoires des enseignants. Pour les moins familiers de l'usage des TIC en classe, elle n'est pas anticipée ; elle occasionne alors une déstabilisation des schèmes existants, et une exploration d'autres manières de faire, donnant lieu à différentes genèses instrumentales locales et éphémères. Dans la seconde trajectoire, elle est anticipée lors du choix de l'application utilisé et de la planification de l'organisation de la séance, et s'accompagne parfois de l'utilisation d'outils complémentaires.

Il est à noter que l'analyse des trajectoires d'appropriation des tablettes tactiles fait apparaître deux trajectoires similaires à celles que nous avons décrites ici (Villemonteix & Nogry, 2016).

Une évolution des facteurs qui influent sur l'appropriation au cours du temps

Quels sont les facteurs qui influent positivement ou négativement l'appropriation de cet artefact et comment ces facteurs évoluent-ils au cours du temps ? Si les facteurs influençant l'adoption de la classe mobile diffèrent suivant le profil des enseignants et les trajectoires d'appropriation adoptées, ensuite un ensemble de facteurs ont influencé positivement ou négativement les explorations réalisées par l'ensemble des enseignants (Tableau 8). La formation proposée aux enseignants et la conception collaborative de séquences sont perçues comme facilitatrices, elles permettent la découverte d'applications et la conception de scénarios pédagogiques en collaboration. L'attitude très positive des élèves face à la classe mobile (motivation, engagement, émulation, fierté devant le résultat produit) ainsi que les progrès observés sont également des facteurs qui influencent positivement l'appropriation.

Tableau 8. Evolution des facilitateurs et freins à l'appropriation au cours du temps

| | Influences positives (facilitateurs) | Influences négatives (freins) |
|-----------------|--|---|
| Adoption | Formation préalable Utilité perçue pour les élèves / pour l'activité de l'enseignant | Sentiment de compétence faible vis-à-vis des TIC Contraintes logistiques Problèmes techniques |
| Phase 1 | Motivation, engagement des élèves Ludicité Différenciation, individualisation Réduction des difficultés dues à la maîtrise des instruments classiques (scription, instruments géométriques) | Contraintes logistiques Perturbation des schèmes professionnels usuels Gestion disciplinaire plus importante Perte des traces d'activité |
| Phase 2 | Formation, partage d'expériences Ludicité Différenciation, individualisation Attitude positive des élèves Effets positifs sur l'apprentissage Gain de temps pour l'enseignant | Contraintes logistiques Problèmes techniques, manque de fiabilité Temps de préparation Tensions temporelles Contenu d'application limité Difficulté de maîtrise de certaines applications par les élèves Difficulté à faire évoluer des pratiques efficaces |
| Phase 3 | Caractère ludique Un ordinateur par enfant Application simple à utiliser, en adéquation avec le curriculum Différenciation, individualisation | Contenu de l'application limité Absence de serveur permettant une gestion collective Méconnaissance des logiciels et de leur intérêt pédagogique Manque de motivation à modifier des séquences maîtrisées Absence de dynamique collective |

Néanmoins, durant les premiers mois, un ensemble de difficultés matérielles et de facteurs organisationnels ont freiné l'enthousiasme des enseignants dans leurs explorations. Ils ont ensuite trouvé des solutions aux contraintes logistiques mais d'autres freins sont apparus. Il s'agit notamment de la fiabilité des applications utilisées. Comme le souligne Bétrancourt (2007), ce manque de fiabilité peut créer une situation dans laquelle l'enseignant perd le contrôle de la situation, « perd la face » devant ses élèves, situation associée à une expérience émotionnelle négative. Le manque de compétences techniques et de culture informatique accentue cette sensibilité aux aléas (Baron et Bruillard, 2004) et la motivation à les dépasser. Les difficultés rencontrées par les élèves pour utiliser certaines applications (telles que les logiciels de géométrie dynamique) ont également constitué un frein. Dans un troisième temps, un ensemble de contraintes techniques (connexion wifi intermittente, absence de serveur) et un manque de dynamique collective ont limité le développement de pratiques plus ambitieuses. Des contraintes temporelles ont par ailleurs été exprimées.

Des contraintes temporelles de plus en plus présentes

Au cours de l'étude conduite à Saint-Denis, le poids des facteurs temporels a été de plus en plus important dans le discours des enseignants (Nogry & Sort, 2016). A l'école primaire, le temps de travail est fortement prescrit et structuré par l'institution, ce qui n'est pas toujours en adéquation avec un temps vécu rythmé par les préoccupations, projets et occupations des enseignants. Par ailleurs, en classe, les enseignants ont à orchestrer différentes temporalités (progression des apprentissages, durée des projets, rythmes des apprentissages etc.). Au cours de l'étude, la perception d'une tension

entre les contraintes temporelles propres au métier d'enseignant et le temps nécessaire à l'usage pédagogique des ordinateurs portables s'est amplifiée.

Des tensions apparaissant à différentes échelles temporelles ont été exprimées :

- A l'échelle de la journée de travail, les contraintes logistiques (déplacement, etc.) demandent un ajustement de l'organisation de leur activité durant les temps interstitiels.
- A l'échelle de la séance, les enseignants ont souligné des tensions entre un temps limité pour mener la séance, et le temps nécessaire aux élèves pour prendre en main le logiciel, résoudre les problèmes techniques, réaliser la tâche demandée ; ce qui peut être source de difficulté pour orchestrer la séance. Ceci les a parfois conduits à rallonger la séquence d'apprentissage dédiée à un objet d'apprentissage afin d'intégrer ses contraintes.
- A l'échelle de l'année, ce rallongement de certaines séquences a des conséquences sur la progression (organisation des contenus enseignés) mise en place et peut entrer en conflit avec d'autres objectifs (projets, périodes d'évaluation, etc.).

Ces contraintes ont conduit les enseignants à privilégier l'utilisation de la classe mobile dans quelques séances ciblées, sur des thèmes qu'ils investissent plus particulièrement et pour lesquelles l'utilisation de l'ordinateur apporte une valeur ajoutée significative (telles qu'une motivation accrue des élèves, une réduction des contraintes imposées par d'autres outils, la création d'une œuvre « soignée » montrable et partageable, la différenciation pédagogique facilitée ou encore une facilitation de l'orchestration de l'activité d'apprentissage des élèves).

Des facteurs propres à l'utilisation des tablettes

Une étude réalisée dans le cadre du projet EXTATE (Villemonteix et al., 2014) montre qu'il existe par ailleurs des contraintes imposées spécifiquement par les tablettes tactiles lorsqu'elles sont utilisées en classe (Villemonteix & Nogry, 2016).

Il s'agit en premier lieu de contraintes éco-systémiques imposées par ces objets techniques initialement conçus pour un usage individuel utilisés au sein d'un collectif. La dispersion des données, la délocalisation du stockage des productions d'élèves sur cloud, la servicialisation des applications contraignent le choix des applications et les usages pédagogiques. Par ailleurs, pour articuler activité individuelle et collective au sein de la classe une interopérabilité entre différentes technologies utilisées en classe (tablettes, TNI³⁷, ENT³⁸) est nécessaire, et n'est pas toujours effective pour l'ensemble des applications utilisées (voir Villemonteix et Nogry, 2016, pour une présentation plus exhaustive des contraintes mises en évidence). Ces contraintes éco-systémiques conduisent les enseignants à mettre en place différentes stratégies de contournement, voire à abandonner certains usages.

Par ailleurs, sur le plan pédagogique, l'enseignant doit très rapidement être en capacité d'intégrer les tablettes tactiles au sein d'un système d'instruments plus large comprenant le TNI, l'ENT mais aussi les ressources traditionnellement utilisées en classe (cahier, livre, affichages, etc.), ce qui nécessite de multiples genèses instrumentales.

³⁷ Tableau numérique interactif

³⁸ Environnement numérique de travail

Vers une évolution des pratiques ?

Comme nous l'avons souligné précédemment, chaque nouvelle technologie introduite est envisagée comme une innovation technique source d'innovations pédagogiques (Cros, 2009). Cette conception, véhiculée dans de nombreux discours marchands ou politiques, a notamment accompagné l'introduction des tablettes dans les écoles et sous-tendu la mise en place de politiques publiques d'équipements en classe mobiles dans les écoles.

Les analyses réalisées dans le cadre des projets PICRI UOPO, ExtATE montrent pourtant que dans ces écoles équipées d'une classe mobile partagée entre plusieurs classes, si différentes explorations ont lieu, les genèses instrumentales professionnelles sont souvent locales et éphémères, et peu d'usages se stabilisent. Néanmoins, il nous a paru important d'approfondir l'étude de l'influence de l'introduction des classes mobiles sur les pratiques enseignantes. Dans ce but, nous avons choisi de travailler sur les pratiques d'écriture sur tablette (projet EcriTab financé par la fondation UCP). Ces pratiques, régulièrement observées dans les classes dans le cadre du projet EXTATE, tiennent une place importante dans les programmes scolaires ; les dispositifs numériques y sont explicitement considérés comme des outils d'écriture que les élèves doivent apprendre à utiliser.

Dans ce but, nous avons d'abord réalisé une enquête (Nogry & Villemonteix, 2016) complétée par une étude de cas a été réalisée à Elancourt (78) - commune où tous les élèves sont équipés de tablettes - auprès de cinq enseignants expérimentés et reconnus comme ayant une expertise dans l'usage pédagogique des tablettes en classe (Nogry & Girault, soumis). Cette enquête, réalisée sous la forme d'un questionnaire en ligne largement diffusé et d'entretiens complémentaires, a été principalement remplie par des enseignants expérimentés ayant à disposition un équipement diversifié (TNI, tablettes, ordinateur de fond de classe, etc.). Les pratiques d'écriture sur tablette qu'elle recense sont diversifiées (Nogry & Girault, soumis). Les fonctions assurées par la tablette varient selon les conceptions et des pratiques d'écriture ordinaires privilégiées par les enseignants mais aussi suivant la fréquence d'utilisation de la tablette en classe. Lorsque celle-ci est faible, la tablette est le plus souvent utilisée pour écrire des textes courts ou recopier un texte rédigé auparavant sur papier-crayon ; lorsque la fréquence d'utilisation est élevée (au moins une fois par semaine), la tablette est le plus souvent utilisée pour rédiger le premier jet d'un texte puis le réviser, produire un document enrichi (images, sons, vidéos) et diffuser les productions via un ENT ou un blog. Quelle que soit la fréquence d'utilisation, la tablette ne remplace pas l'écriture sur papier-crayon ou l'écriture sur ordinateur, elle vient plutôt compléter les instruments utilisés pour écrire. La tablette et l'ordinateur (le plus souvent l'ordinateur de fond de classe) remplissent alors des fonctions distinctes (tableau 2) suivant les avantages et limites perçus par chaque enseignant.

Pour certains enseignants, la tablette offre la possibilité de produire des formes d'écrits différentes telles que les cartes mentales, les présentations multimodales incluant son et vidéos ce qui en fait un outil adapté pour produire des écrits réflexifs ou supports aux apprentissages disciplinaires ; sa taille et sa malléabilité en font un instrument adapté pour collecter des traces qui pourront ensuite être utilisées durant la production d'un document multimodal. La qualité des documents ainsi produits et les possibilités de partage permettent ainsi d'adresser ces écrits à des destinataires réels et d'amener les élèves à percevoir le prestige social de l'écrit.

Mobilisant ces différentes possibilités, certains enseignants s'approprient ces tablettes pour mettre en place de nouvelles organisations pédagogiques telles que des formes d'écriture collaborative ou de pédagogie inversée.

Ainsi si la tablette elle-même n'induit pas de changements de pédagogie dans toutes les classes, elle offre en revanche de nouvelles possibilités pour des enseignants qui souhaitent mettre en place des formes pédagogiques différentes.

Cette étude, réalisée auprès d'enseignants expérimentés ayant des pratiques d'écriture sur tablette mériterait d'être approfondie, notamment en analysant non seulement les usages de ces artefacts, mais aussi la nature des productions réalisées. Elle pourrait également être prolongée dans une visée de formation : quelles sont les conceptions et les pratiques d'écriture des enseignants néo-titulaires ? Comment s'approprient-ils les instruments numériques à leur disposition pour soutenir ces pratiques ?

2. Usages et appropriation de la classe mobile par les enseignants dans les programmes suivis en Afrique francophone

En parallèle des études menées en France, nous avons également étudié les usages et l'appropriation de ces objets technique dans deux pays d'Afrique francophone. En effet, suite à l'impulsion lancée par Négroponté en 2005 et à la production des XO (Encart 6), ordinateurs conçus pour améliorer la qualité de l'éducation dans les pays *du sud*, le projet *One Laptop Per Child* a donné lieu à de nombreux déploiements à travers le monde (Nogry & Decortis, 2015 pour une synthèse), certains à l'échelle locale portés par des collectivités ou des associations, d'autres à l'échelle nationale. En Afrique francophone, le Rwanda ou le Cameroun ont ainsi doté de nombreux élèves allant à l'école primaire de XO avec le soutien de banques de développement en vue de réduire la fracture numérique et d'améliorer la qualité de l'éducation (Klein, Hallow, Poveda, 2014).

Dans cette section, nous présentons les études réalisées dans deux programmes éducatifs inspirés par le projet OLPC : le déploiement porté par l'association OLPC France, consistant à équiper les enfants de 6 à 12 ans à l'échelle d'un village à Madagascar (Nogry, 2014 ; Nogry & Varly, 2018) et le projet PAQUEB au Cameroun consistant à doter les écoles de XO en vue d'améliorer la qualité de l'éducation (Ella Ondua & Nogry, 2015 ; Ella Ondua, 2019). Ces études au Cameroun ont été réalisées par Thomas Ella Ondua, dont j'ai encadré le mémoire de master puis la thèse à l'Université Cergy-Pontoise.

Usages et appropriation des XO dans un déploiement à l'échelle d'un village à Madagascar

Contexte de l'étude

Le projet *One Laptop Per Child* (OLPC) est un projet éducatif visant le développement de l'autonomie, de la collaboration et de la créativité des enfants. Sa philosophie est la suivante :

« For children at this age, the computer can be both a toy to play with and a tool to learn with, blurring the lines in the child's mind between play and learning and reinforcing the rewards of "hard fun." As children grow, they should transition from the tools of expression to the tools of production. But first, the children need to learn about how to take intellectual risks, to be expressive with technology, to build confidence in their abilities as problem solvers. » (Urrea & Bender, 2012)

Le projet repose sur la diffusion d'un ordinateur adapté aux enfants, le XO (Encart 6), mais aussi sur un ensemble de principes :

- (1) L'ordinateur est destiné aux enfants de 6 à 12 ans.
- (2) « Propriété » : chaque enfant est propriétaire de son ordinateur ; il doit pouvoir l'emmener chez lui de façon à l'utiliser de façon libre en dehors de la classe.
- (3) « Saturation » : lorsqu'une communauté est équipée, l'ensemble des enfants et des enseignants doit recevoir un ordinateur. L'ensemble de la communauté est ainsi impliqué et responsable du matériel.
- (4) « Connectivité » : le XO est équipé d'antennes wifi destinées à favoriser la collaboration.
- (5) « Gratuité » : le système d'exploitation et les logiciels utilisés doivent être des logiciels libres et gratuits.

Ainsi, le projet OLPC porte une vision émancipatrice de l'éducation.

Les XO, est un ordinateur ultraportable adapté aux enfants de 6 à 12 ans. Conçu au MIT par Nicholas Negroponte en collaboration avec Seymour Papert, et Alan Kay, il vise à favoriser *la communication, la collaboration et la créativité*. Précurseur des notebooks, cet ordinateur repose sur deux

caractéristiques essentielles : la mobilité et la connectivité. Conçu pour les enfants, cet ordinateur à bas coût est résistant et maniable.

Le système d'exploitation linux est accessible via une interface graphique (Sugar) conçue pour les enfants. Sur une autre partition, Gnome, un environnement bureautique graphique interactif pour plates-formes GNU /Linux, est déployé. Différentes applications éducatives sont disponibles par défaut ; d'autres peuvent être installées.



Encart 6. Le XO, un ordinateur conçu pour les enfants

C'est dans cet esprit qu'un projet éducatif a été mis en place dans le village d'Antitourne à Madagascar (Encart 7), dans lequel l'ONG italienne « *We work, its works* » est porteuse du projet de développement au cœur duquel les enfants et l'éducation tiennent une place centrale. Elle a notamment construit l'école et le collège du village et recruté une partie des enseignants.

Madagascar est un pays en développement qui a de nombreuses ressources mais dans lequel 75% de la population vit en-dessous du seuil de pauvreté³⁹. Le pays se caractérise par une population jeune, Environ 50% de la population a moins de 18 ans⁴⁰. L'éducation y est un enjeu prioritaire (Unesco, 2010). L'usage des technologies en éducation est encore peu présent. Dans ce pays où les classes accueillent des effectifs pléthoriques et où le matériel ainsi que les documents font souvent défaut, différentes initiatives locales pour recruter des enseignants, équiper et connecter des écoles sont portées par des regroupements de famille, des associations ou des fondations.

Encart 7. Les enjeux éducatifs à Madagascar

Au sein de ce projet global, le déploiement, initié en 2009 était porté par l'association OLPC-France⁴¹ qui a fourni les ordinateurs puis assuré la maintenance. L'objectif était d'équiper chaque enfant du village en âge d'aller à l'école primaire d'un ordinateur portable de type XO. Cet équipement s'est fait progressivement sur plusieurs années ; quatre ans après le début du projet, 75% des enfants de l'école étaient équipés. Conformément aux principes du projet, chaque enfant était « *propriétaire* » de son ordinateur et pouvait l'emporter chez lui de façon à l'utiliser de façon libre en dehors de la classe⁴².

³⁹ <http://donnees.banquemondiale.org/pays/madagascar>

⁴⁰ http://www.insee.fr/fr/insee_regions/reunion/themes/revue/revue128/revue128_mada.pdf

⁴¹ Projet de développement porté par OLPC-France en partenariat avec Gducoeur olpc-france.org/

⁴² Dans les faits il s'agissait d'un prêt annuel

Il était initialement prévu que les enfants, propriétaires de leur XO, les utilisent régulièrement en classe pour apprendre puis à la maison, mais ce projet s'est heurté à de nombreux freins : des *résistances* des enseignants, qui pour la plupart n'avaient jamais utilisé d'ordinateur, un blocage de l'inspection en charge de l'école, et des difficultés éprouvées par les enfants pour découvrir par eux-mêmes, sans accompagnement, les applications disponibles. Ces difficultés ont conduit à initier les enseignants à l'utilisation de ces ordinateurs puis organiser des séances dédiées à l'utilisation des ordinateurs portables dans un cadre extra-scolaire, d'abord par des étudiants volontaires sur place un mois par an, puis sous la forme d'une séance chaque semaine dans l'après-midi animée par l'enseignant de la classe.

Ces difficultés ont également suscité un questionnement sur l'accompagnement à proposer aux enfants et à leur entourage pour qu'ils utilisent ces ordinateurs dans une visée éducative. C'est dans ce contexte qu'une collaboration avec l'association OLPC-France a été mise en place en 2011 qui a abouti au projet de PICRI UOPO. Celui-ci a pris la forme d'une recherche-intervention visant à produire des connaissances sur les usages et l'appropriation de ces dispositifs par les différents acteurs sur place utiles aux acteurs du projet (OLPC-France, ONG porteuse du projet de développement, enseignants, enfants) pour faire évoluer le dispositif, et d'apporter une contribution dans le champ de l'ergonomie et des sciences de l'éducation.

En adoptant une approche anthropocentrée propre à l'ergonomie, nous avons mené une étude sur place visant à documenter l'activité instrumentée des enfants et de leur entourage dans différents contextes dans une perspective systémique (Nogry, 2014 ; Nogry & Varly, 2018). Durant trois ans, nous avons passé plusieurs semaines sur place, durant lesquelles nous avons réalisé des observations en classe et dans le village, ainsi que des entretiens avec les enfants, les enseignants puis les parents. Nous présentons ici les analyses portant sur les usages et l'appropriation des XO par les enseignants. Nous reviendrons sur l'usage qui en est fait par les enfants dans le prochain chapitre.

Usages des XO proposés par les enseignants dans le cadre péri-scolaire

Lors de ma venue sur place, les XO étaient utilisés dans un cadre extra-scolaire. Chaque enseignant était invité à proposer aux élèves volontaires de sa classe, une séance par semaine dédiée à l'utilisation des XO. Celle-ci se déroulait l'après-midi, après les cours obligatoires (ces heures étaient rémunérées par l'association). Ce choix offrait aux enseignants une certaine liberté pédagogique, la possibilité de choisir l'objectif d'apprentissage indépendamment des prescriptions imposées par les programmes et levait certaines contraintes temporelles pouvant porter sur l'utilisation. Néanmoins, les conditions matérielles imposaient des contraintes fortes sur l'utilisation des ordinateurs portables. Dans un premier temps, nous avons donc analysé les facteurs influençant les usages du XO lors de ces temps de travail (Nogry, 2014).

Nous avons ensuite procédé à une analyse des séances proposées. Celle-ci a mis en exergue plusieurs objectifs d'apprentissage visés et a permis d'établir une typologie des usages (Nogry, 2014) :

- Le XO, objet d'apprentissage : Certaines séances sont consacrées à l'apprentissage de l'utilisation de l'ordinateur lui-même et de ses différentes applications,
- Le XO substitut au cahier pour recopier une leçon, réaliser un exercice ou répondre à des questions de compréhension,
- Le XO comme support à des séances d'entraînement et de révision à l'aide des applications ludo-éducatives disponibles,

- L'ordinateur portable comme ressource à disposition des élèves (cartes, photos ou articles sur l'histoire, la géographie, la faune, la flore du pays, livres pour enfants, horloge, chronomètre, etc.),
- L'ordinateur portable comme instrument favorisant des activités d'expression (dessin, photos, roman-photo, enregistrements vidéos et audio).

Quelle appropriation de ces ordinateurs par les enseignants ?

Une analyse de l'activité fondée sur des observations ainsi que des entretiens auprès des enseignants présents dans l'école depuis le début du projet ou nouvellement arrivés a permis d'éclairer certaines dimensions du processus d'appropriation à l'œuvre pour eux.

Tout d'abord, il est à noter que du fait du faible taux d'équipement dans le pays, aucun des enseignants de l'école primaire n'avait eu l'opportunité d'utiliser régulièrement un ordinateur avant le lancement du projet. L'appropriation des XO a donc commencé pour eux par une découverte de l'utilisation du XO, et de quelques applications les plus simples. Celle-ci a été guidée par les étudiants volontaires. Les genèses instrumentales personnelles à l'œuvre durant cette première étape ont été diverses suivant le rapport de chacun à cet objet technique, et probablement limitées par le fait qu'aucun n'avait un usage de cet ordinateur dans ses activités quotidiennes.

Les premières années, les enseignants ont proposé aux élèves d'utiliser les applications présentées par les volontaires en suivant les prescriptions qui leur avaient été faites ; le XO était objet d'apprentissage, puis substitut au cahier et support à la réalisation d'exercices ; usages compatibles avec la forme scolaire pratiquée à Madagascar.

Puis, avec la diversification des applications présentées et des ressources mises à leur disposition, chaque enseignant a progressivement adopté préférentiellement certains usages en fonction des objectifs d'apprentissages prioritaires pour lui, de l'âge des enfants, et de leur maîtrise de l'ordinateur. Deux enseignants de l'école primaire, après avoir procédé à de multiples explorations en s'appuyant sur des manuels à disposition, ont progressivement identifié les potentialités offertes par les multiples ressources disponibles, et proposé des usages plus créatifs, en laissant plus d'autonomie aux élèves.

Le faible nombre de séances animées par chaque enseignant durant mes séjours sur place n'a pas permis de mettre en évidence des invariants, nécessaire pour documenter les genèses instrumentales professionnelles à l'œuvre. Il a néanmoins été possible de mettre en évidence la manière dont les enseignants régulaient l'activité (Nogry, 2014) - fortement ritualisée suivant les mêmes étapes que les séances « ordinaires » - ainsi que différentes tensions ressenties par les enseignants lors de ces séances :

- Une tension entre les règles à imposer pour garantir une discipline propice aux apprentissages (calme, niveau sonore acceptable dans un espace réduit accueillant un grand effectif), et l'autonomie prise par les élèves lors des situations d'apprentissage proposées,
- Une tension entre la difficulté à répondre aux besoins d'aide opératoire des élèves - du fait d'un manque de maîtrise (réel ou ressenti) de la technologie et du nombre d'élèves présents - et le besoin d'affirmer son rôle de détenteur d'un savoir.
- Une tension entre le respect du curriculum, la préparation au concours d'entrée en 6ème, et l'usage de l'ordinateur pour travailler différentes compétences telles que l'autonomie, l'initiative, la créativité.

Ces multiples tensions ont pu constituer des freins à une pédagogie laissant plus d'autonomie aux élèves.

A la suite des premières observations sur place, nous avons proposé un accompagnement des enseignants. En se fondant sur une analyse de leurs besoins et des besoins des élèves (centrés sur la maîtrise des langues enseignées, différentes de la langue parlée dans cette région), j'ai animé une réflexion collective sur les utilisations possibles des applications disponibles en fonction des objectifs d'apprentissage définis ensemble, puis sur les adaptations des pratiques existantes à mettre en œuvre pour faire de ces applications des instruments complémentaires à ceux utilisés en classe.

L'analyse des besoins a également alimenté une réflexion sur les ressources installées sur les ordinateurs ce qui a conduit à la sélection de ressources complémentaires dans la langue malgache officielle. L'année suivante, sous l'impulsion d'enseignants du collège, également présents, ces réflexions ont également porté sur la conception de situations d'apprentissage laissant davantage place et à la créativité et à l'initiative des élèves. Ces échanges ont contribué à conduire les enseignants à envisager le XO comme un ensemble d'instruments complémentaires aux pratiques mises en œuvre en classe et à en percevoir la valeur ajoutée.

Toutefois, de nouvelles contraintes matérielles et des changements organisationnels au sein de l'équipe enseignante ont été des freins à l'implication des enseignants dans ce temps péri-scolaire ; les scénarios pédagogiques et usages envisagés collectivement ont été peu expérimentés l'année suivante.

Le XO : un objet technique amplificateur du pouvoir d'agir des enseignants ?

Comme le soulignait De Certeau (1990), les technologies ne sont pas neutres, elles sont le produit d'une culture et d'une histoire. La représentation de l'enfant qui sous-tend le projet OLPC est celle du « *digital native* » (« indigène numérique »). Conçu selon une vision techno-centrée, ce projet porte un projet d'émancipation fondée sur une individualisation de l'apprentissage. Or, cette conception mettant en avant l'émancipation, l'indépendance de l'individu vis-à-vis du groupe, sans prendre en considération l'environnement social et culturel dans lequel il s'inscrit n'est pas universellement partagée ou valorisée. Comme le souligne Rogoff (2003), dans d'autres cultures, l'éducation donnée aux enfants met en avant *l'interdépendance*, consistant à agir en autonomie et à faire des choix librement tout en se coordonnant avec les autres.

Introduit à l'initiative du responsable l'ONG et d'OLPC France, sans véritable discussion préalable au sein du village, ce projet a d'abord provoqué des résistances de la part des enseignants et des interrogations de la part des familles, avant de susciter un intérêt croissant, suite aux incitations de différentes natures mises en avant par le projet de développement et à l'enthousiasme des enfants à son égard.

Une fois que les besoins des enseignants ont été pris en compte, notamment en mettant à leur disposition des ressources plus adaptées au curriculum local, certains d'entre eux se sont saisis de cet objet technique pour instrumenter l'apprentissage des élèves, adapter certains apprentissages aux besoins des élèves, et proposer des situations d'apprentissage plus créatives. Néanmoins, la valorisation de cet artefact par le projet de développement dans une équipe aux compétences techniques si hétérogènes a également cristallisé des tensions et suscité des jeux de pouvoir au sein de l'équipe enseignante. Ceux-ci ont contribué à entraver la collaboration nécessaire à l'appropriation de ce dispositif et au bon déroulement du projet. Ces observations invitent à mener une réflexion sur les modes de gouvernance adaptés à la mise en œuvre d'un tel projet porteur d'une visée émancipatrice.

Ainsi, l'analyse de l'activité que nous avons réalisée en adoptant un point de vue systémique a contribué à ouvrir une réflexion au sein de l'association sur les limites de la vision techno-centrée portée par le projet OLPC. Elle a notamment mis en évidence le rôle de l'environnement social et culturel dans lequel l'innovation est introduite (Kraemer, Dedrick et Sharma, 2009 ; Zucker & Light, 2009 ; Nogry & Decortis, 2015) et la nécessité de prendre en compte les besoins des enfants mais aussi de leur entourage pour concevoir et accompagner la mise en œuvre d'un dispositif adapté. Ainsi, même avec une technologie adaptée aux besoins des enfants, une écologie sociale globale est nécessaire pour que les enfants apprennent, développent leur autonomie et s'émancipent. Nous y reviendrons dans le chapitre suivant.

Quelle appropriation du XO dans le cadre du Projet PAQUEB au Cameroun ?

En parallèle de l'étude réalisée à Madagascar, j'ai eu l'opportunité d'encadrer les recherches de Thomas Ella Ondua, formateur rattaché au ministère de l'éducation camerounais, engagé dans le suivi d'un déploiement de XO dans 51 écoles au Cameroun. Ses recherches sur les solutions que les enseignants mettent en œuvre pour faire face aux dilemmes auxquels ils sont confrontés (Ella Ondua & Nogry, 2015 ; Ella Ondua, 2019), sont éclairantes pour rendre compte de certains aspects du processus d'appropriation de ces dispositifs dans un contexte où les contraintes institutionnelles sont beaucoup plus importantes.

Présentation du projet

Suite au programme ROCARE, le ministère de l'éducation de base du Cameroun (MINEDUB) a élaboré un projet éducatif dont l'objectif est d'améliorer la qualité des enseignements et des apprentissages grâce à l'utilisation des TICE (projet PAQUEB⁴³). Un projet pilote a été mis en place : 51 écoles pilotes ont été choisies pour expérimenter l'utilisation des TIC dans toutes les activités d'enseignement et d'apprentissage avec les ordinateurs de type XO en vue de préparer la généralisation de l'utilisation des TIC à l'école primaire camerounaise. La réussite de cette expérimentation est un enjeu important pour le MINEDUB et ses partenaires⁴⁴.

Dans ce contexte, les XO, conçus par le projet OLPC, ont été choisis pour ce déploiement, néanmoins, les principes du projet OLPC n'ont pas été adoptés. La dotation ne consistait pas à distribuer un ordinateur par enfant comme cela a été fait en Uruguay ou au Pérou (cf. Nogry & Decortis, 2015 pour une synthèse), mais à mettre à disposition des *classes nomades* - 50 à 80 XO disponibles dans chaque école - utilisables en classe ou dans une salle dédiée. Cette dotation est accompagnée d'un cahier des charges selon lequel chaque élève doit pouvoir travailler seul quotidiennement sur un XO pendant un temps déterminé. Ce plan a constitué une importante avancée dans un pays où les établissements publics sont peu équipés en TIC.

Des prescriptions confrontant les enseignants à des dilemmes

Dans les écoles pilotes, ces prescriptions semblent provoquer un bouleversement des pratiques des enseignants (Ella Ondua & Nogry, 2015 ; Nyebe, à paraître). Les enseignants doivent d'une part utiliser quotidiennement les XO comme le leur prescrit le projet PAQUEB, et sont d'autre part soumis à l'obligation de couvrir les programmes d'enseignement officiel sur une période de 25 semaines telle

⁴³ Projet Pilote pour l'Amélioration de la Qualité de l'Éducation de Base

⁴⁴ Projet soutenu par l'UNESCO et financé par la Banque Islamique de Développement

que l'imposent les instructions ministérielles. Celles-ci précisent la progression des apprentissages dans chaque discipline ainsi qu'un emploi du temps hebdomadaire à respecter (indépendamment de l'utilisation du XO).

Cette double prescription est source de tensions et de difficultés auxquelles doivent faire face les enseignants. (1) Ils sont d'abord confrontés à des contraintes temporelles fortes qui pèsent sur l'organisation quotidienne des enseignements. (2) certains ont des difficultés à utiliser le XO pour enseigner différentes disciplines. (3) les applications fournies par défaut sur les XO n'ont pas été conçues pour être en adéquation avec le programme à enseigner.

L'analyse de l'activité des enseignants a permis de mettre en évidence différentes stratégies mises en œuvre pour dépasser ces difficultés. La première consiste en un réaménagement collectif et individuel des temps d'enseignement en adaptant les prescriptions ; le second est la production de ressources complémentaires au sein d'un collectif.

Une réorganisation du temps d'enseignement

Dans l'étude réalisée en France, des contraintes temporelles pèsent sur les usages des ordinateurs portables dans les classes (Nogry & Sort, 2016). Il en est de même au Cameroun, où ces contraintes sont renforcées par une répartition des différentes disciplines à enseigner prescrite par l'institution que les enseignants sont tenus de respecter. Une étude, conduite en 2014 dans cinq écoles sur la base de questionnaires, d'observations et d'entretiens visait à analyser les stratégies mises en œuvre par les enseignants pour composer avec ces multiples prescriptions (Ella Ondua & Nogry, 2015).

Celle-ci a mis en évidence une réorganisation collective et individuelle des temps d'enseignement afin de concilier la durée et la fréquence d'utilisation des XO prescrite et le suivi des programmes. Dans chaque école, une adaptation collective de l'emploi du temps officiel a lieu au sein des équipes d'enseignement pour tenir compte des contraintes matérielles et logistiques imposées par l'utilisation du XO en opérant notamment une diminution du temps alloué à certaines disciplines. Par ailleurs, il a été observé un réajustement individuel de l'emploi du temps opéré par chaque enseignant pour tenir compte des contraintes spécifiques (niveau enseignant, discipline travaillée avec le XO, etc.). Cet emploi du temps modifié n'est néanmoins pas exactement respecté au quotidien dans la classe. En effet, durant les séances d'enseignement, l'organisation de l'activité des enseignants est modifiée par l'utilisation du XO, un suivi plus individualisé est également privilégié ; de ce fait, les enseignants observés ont dépassé le temps prévu pour la discipline enseignée.

Faire sien ce dispositif technique en créant des ressources adaptées à son enseignement

Par ailleurs, le manque d'application en adéquation avec les programmes scolaires disponibles sur les XO constitue un frein à l'utilisation des XO au quotidien en classe comme outil pour apprendre les contenus définis dans les programmes. Pour dépasser cette difficulté, une plateforme moodle a été installée sur un serveur dans chaque école, et les enseignants ont été invités à l'utiliser pour produire leurs propres ressources.

La création de ressources documentaires demande des compétences techniques et pédagogiques que tous les enseignants ne maîtrisent pas. La thèse de Thomas Ella Ondua (Ella Ondua, 2019) a notamment porté sur les pratiques de constitution de ressources par les enseignants dans les écoles pilotes du projet PAQUEB. Une première enquête a montré que pour réaliser ce travail, dans certaines écoles les enseignants se sont regroupés au sein de collectifs qui s'apparentent à des communautés de pratique

(Lave et Wenger, 1991 ; Soenen, 2006). Une étude de l'activité des enseignants au sein d'un tel collectif a été réalisée dans l'école d'application d'Angalé. Il s'agissait de comprendre comment ces enseignants aux compétences hétérogènes passent du rôle d'utilisateurs de ressources numériques mis à leur disposition à celui de concepteurs de leurs propres ressources documentaires, et de mettre en évidence les différentes genèses instrumentales et documentaires à l'œuvre au sein de ce collectif.

Cette analyse a notamment porté sur l'organisation du travail au sein de ce collectif en mettant en évidence le rôle assuré par certains enseignants « leaders », et la nature des médiations structurant ce travail documentaire. Elle a également mis en exergue l'évolution des préoccupations des enseignants au cours du temps, d'abord centrés sur l'utilisation de l'ordinateur lui-même, puis évoluant vers des échanges centrés sur le contenu et la structuration des ressources mobilisant des compétences relevant de la didactique et de la pédagogie.

Ainsi, cette organisation en communauté de pratiques a d'abord soutenu des genèses instrumentales personnelles notamment à travers la transmission de schèmes d'usages (liés à l'utilisation de l'artefact lui-même), avant de donner lieu à des genèses documentaires individuelles (Gueudet et Trouche, 2008) soutenues par le collectif. Au cours de ce processus, une amélioration de la qualité des ressources produites - au regard des normes partagées par les enseignants - a été constatée. De notre point de vue, en supportant la mise en œuvre de genèses instrumentales et documentaires, cette communauté de pratiques a contribué à l'appropriation des XO par les enseignants

Ces différentes études réalisées au Cameroun mettent en lumière différentes adaptations nécessaires à l'appropriation de ce dispositif qui s'opèrent en amont de l'utilisation de ces ordinateurs en classe. Elles soulignent également la dimension collective de cette redéfinition des prescriptions et de cette production de ressources complémentaires, nécessaire notamment pour soutenir les enseignants ayant une maîtrise faible de l'utilisation des ordinateurs, ainsi que l'articulation entre activité collective et individuelle. Une étude complémentaire serait nécessaire pour documenter l'évolution des usages en classe concomitants à ce travail. Une thèse actuellement en cours sur le même terrain (Nyebe, en préparation) pourra apporter des éléments de réponse à cette question.

Plus globalement, au sein de ce collectif les enseignants en sont également venus à inventer collectivement des solutions locales aux problèmes qu'ils rencontrent dans leurs pratiques professionnelles. Cette organisation en communauté de pratiques, en contribuant à développer de nouvelles ressources mais aussi des compétences et connaissances didactiques et pédagogiques, tout en renforçant les relations au sein du collectif a contribué au développement professionnel des enseignants.

3. Discussion

Les études que nous avons conduites dans différents pays et contextes institutionnels mettent en évidence de multiples facettes de l'activité des enseignants constitutives du processus d'appropriation des classes mobiles à l'école primaire. En nous fondant sur l'approche instrumentale, nous avons notamment analysé :

- les situations / familles d'activités dans lesquelles ce dispositif est mobilisé,
- les genèses instrumentales à l'œuvre,
- le développement des connaissances, habiletés, et ressources au cours de l'activité instrumentée
- ainsi que les évolutions du collectif au cours de ce processus

Si la singularité de ces contextes ne permet pas de réaliser des contrastes systématiques sur chacune de ces dimensions, ces analyses offrent en revanche différentes *clés* pour appréhender ce processus dans sa complexité. Notons tout d'abord que ce processus débute en amont de l'utilisation de ces dispositifs techniques : les conditions dans lesquelles ces objets techniques sont introduits auprès des enseignants, la façon dont leur utilisation leur est proposée, voire imposée, contribuent à façonner les significations qu'ils projettent sur ces objets techniques et leur engagement dans ce processus.

Ensuite, quel que soit le contexte institutionnel, les professeurs des écoles sont amenés à faire des choix : quand utiliser ces dispositifs techniques ? dans quelles finalités ? De par la polyvalence de leurs enseignements, les activités finalisées auxquelles peuvent être associées ces artefacts sont nombreuses. Ceci les conduit à utiliser les applications déjà connues ou découvertes en formation dans différentes situations d'apprentissage afin d'en explorer leur potentialité. Ils sont alors confrontés à de multiples contraintes, notamment temporelles, sources de tensions avec lesquelles ils sont amenés à composer. Selon les contextes institutionnels différentes stratégies sont adoptées :

- utiliser ces technologies pendant les temps périscolaires, pour ne pas perturber les pratiques pédagogiques déjà instituées,
- Adapter les différentes prescriptions pour dégager du temps pour les utiliser en classe, puis générer de ressources numériques en adéquation avec les pratiques pédagogiques usuelles,
- sélectionner quelques séquences d'apprentissage ciblées dans lesquelles ces technologies complètent les instruments usuellement utilisés et offrent une « valeur ajoutée » importante.

Nous avons ainsi distingué trois types d'usages : usages ponctuels pour travailler un contenu disciplinaire spécifique, usages réguliers dans une discipline pour s'exercer durant l'année, usage dans le cadre de projet.

Pour mettre en place la troisième stratégie, les enseignants sont amenés à préciser la finalité de l'utilisation de la classe mobile, à l'intégrer dans les systèmes d'instruments existants et à l'associer à des schèmes d'usage professionnel adaptés. Au cours de ce processus différentes genèses instrumentales personnelles et professionnelles sont à l'œuvre. Les genèses instrumentales personnelles dépendent des possibilités d'accès à ces technologies et des usages que les enseignants peuvent en faire au quotidien (variable selon les contextes). Les genèses instrumentales professionnelles sont de nature différente, il s'agit de faire de ce système d'artefacts un ensemble d'instruments facilitant l'activité d'apprentissage des élèves et la régulation de l'activité d'apprentissage des élèves (un instrument d'accompagnement, de supervision, d'évaluation). Dans les

situations étudiées en France, ces genèses, souvent locales et éphémères, consistent principalement en une sélection de quelques fonctionnalités d'une application (instrumentalisation) et en une adaptation de schèmes professionnels existants (instrumentation). Les enseignants en viennent également à intégrer l'ordinateur portable pour compléter le système d'instruments existant et à mettre en place une orchestration instrumentale (Trouche, 2004).

En France, ces genèses instrumentales professionnelles comportent une dimension sociale : les réflexions et échanges qui ont lieu en formation contribuent au choix des finalités associées à l'utilisation de cet artefact ; l'accompagnement par des enseignants référents facilite une diffusion de schèmes spécifiques ; les différentes adaptations de schèmes existants sont discutés entre pairs, participant ainsi à leur diffusion. Cette dimension collective est plus marquée dans la situation étudiée au Cameroun où les enseignants se sont organisés en communauté de pratique. Les échanges qui y ont lieu participent à la diffusion de schèmes d'usages et à l'élaboration de schèmes d'activité instrumentées associées aux applications utilisées, ainsi qu'à des genèses documentaires. Ces collaborations semblent faire évoluer les places de chacun au sein du collectif, on peut alors s'interroger sur les genèses identitaires à l'œuvre durant ce processus d'appropriation.

Suite à ces recherches, plusieurs perspectives s'ouvrent. Au sein de la classe, différentes formes d'orchestration (Trouche, 2004 ; Drjivers et al. 2010) consistant à accompagner les genèses instrumentales des élèves, variables suivant les enseignants et les contextes, ont été mises en œuvre par les enseignants. De telles orchestrations instrumentales ont fait l'objet d'investigation dans l'enseignement primaire dans le cadre de la thèse de Pauline Gourlet (2018) ; celle-ci a mis en évidence différentes formes de co-activité entre enseignant et élèves. Les formes de co-activité émergeant dans la classe lors de l'utilisation de ces artefacts mobiles mériteraient d'être davantage investiguées. Une étude des genèses professionnelles à l'œuvre chez des enseignants débutants lorsqu'ils cherchent à mettre en place une telle orchestration serait notamment nécessaire dans une visée de formation.

Des études complémentaires sont également à mener dans le champ de la formation et de l'accompagnement des enseignants à l'usage de ces technologies en classe. Suite aux études réalisées en France sur l'usage des tablettes, il est apparu que les genèses instrumentales professionnelles étaient souvent individuelles (Villemonteix et al., 2014 ; Villemonteix & Nogry, 2016). Un accompagnement des enseignants au sein d'un collectif partageant les mêmes questionnements nous paraît indispensable pour accompagner ces genèses instrumentales et plus globalement ce processus d'appropriation. Différentes recommandations ont été proposées en ce sens (Villemonteix & Nogry, 2016). L'influence d'un tel dispositif d'accompagnement demanderait à être évalué. La thèse de Thomas Ella Ondua a par ailleurs montré qu'une formation par les pairs au sein d'une communauté de pratique a soutenu l'émergence de genèses de différentes natures : des genèses instrumentales personnelles, des genèses documentaires ayant conduit à la production de ressources adaptées aux objectifs d'enseignement, et probablement des genèses conceptuelles, puisque la constitution de ces ressources a suscité des discussions sur les savoirs à enseigner (Ella Ondua, 2019). Ainsi cette organisation en communauté de pratique, en contribuant à développer de nouvelles ressources mais aussi des compétences et connaissances didactiques et pédagogiques a contribué au développement professionnel des enseignants tout en renforçant les relations au sein du collectif. Une telle formation par les pairs au sein d'une communauté de pratique semble être une solution à promouvoir pour soutenir l'appropriation des TIC à l'école primaire et le développement professionnel des enseignants. Il est dès lors important d'étudier les conditions nécessaires pour qu'une équipe enseignante

s'organise en communauté de pratiques en fonction du contexte professionnel, social et culturel qui lui est propre, ainsi qu'une réflexion sur l'accompagnement à proposer pour susciter, au-delà des jeux de pouvoirs existants, ces formes de collaboration.

Chapitre 4. Usages et appropriation des ordinateurs portables en classe par les enfants

Si l'étude de l'appropriation des TIC en classe nous a conduit à documenter l'appropriation de ces technologies par les enseignants, le projet PICRI UOPO⁴⁵ (*Usages et Appropriation d'ordinateurs Portables à l'école*) (Decortis & Nogry, 2016), fondé sur les principes de *l'ergonomie orientée enfants* (Decortis, 2015), visait avant tout à étudier *l'articulation entre appropriation de ces technologies par les enfants, apprentissage, et développement* dans une perspective systémique.

Le programme de recherche « ergonomie orientée enfants » porté par Françoise Decortis (Decortis, 2015a) mobilise les cadres théoriques et les méthodologies de l'ergonomie en vue de construire un savoir sur l'enfant en activité *in situ*, ceci afin de concevoir des technologies pour soutenir son développement.

Ce programme de recherche propose une approche holistique du développement de l'enfant, considérant l'enfant en tant que personne se développant au cours de l'activité à laquelle il prend part dans de multiples situations (Figure 43).

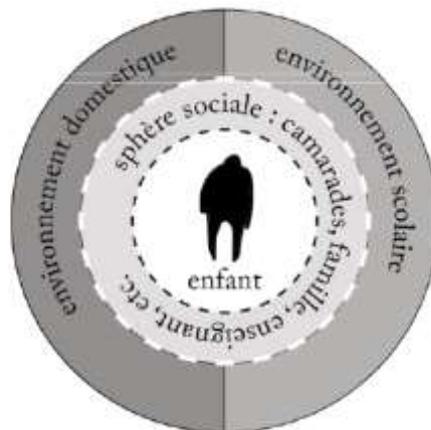


Figure 43. *L'enfant, un sujet socio-culturellement situé* (Forcisi & Decortis, 2018)

L'unité d'analyse adoptée par cette approche est la *situation d'activité instrumentée* (Bationo-Tillon & Rabardel, 2015). Etudier l'appropriation d'une technologie consiste alors à étudier quels artefacts sont mobilisés au cours de l'activité par l'enfant, quelles genèses instrumentales ont lieu durant l'activité, et quelles fonctions ces instruments assurent dans la situation, mais aussi comment ils sont modifiés au cours du développement de l'enfant. L'analyse passe tout d'abord par une caractérisation des situations dans lesquelles les enfants évoluent, puis par une analyse intrinsèque de l'activité, consistant à prendre en compte le point de vue du sujet sur sa propre activité (Decortis, 2015b). L'analyse doit également rendre compte de l'évolution progressive de l'activité et de l'usage du dispositif au cours du développement, ce qui suppose de réaliser des études diachroniques articulant des analyses à différents emfans temporels.

⁴⁵ Projet financé par la région île de France

Ces principes ont notamment guidé les différentes études réalisées dans le cadre du projet PICRI. Une première question qui s'est régulièrement posée a été le choix des situations à étudier. En effet, au cours du projet, nous avons pu travailler sur trois terrains dans lesquels une même technologie - les XO - utilisée dans des environnements et des conditions fort différentes. Dans la première école où nous avons travaillé, à Saint-Denis, les XO constituaient une classe mobile à disposition de plusieurs enseignants, qui s'organisaient pour en partager l'accès. Dans la seconde école, située en Seine Saint-Denis, la classe mobile n'était utilisée que dans une seule classe, les élèves y avaient librement accès au quotidien. Le troisième terrain était un déploiement à l'échelle d'un village à Madagascar, où suivant les principes du projet « *one laptop per child* », les ordinateurs étaient prêtés aux enfants pour l'année ; ils pouvaient en disposer chez eux comme à l'école dans les cadres dédiés. Dans ces différents contextes les XO étaient utilisés pour de nombreuses finalités.

Parmi les différentes situations observées, nous avons choisi d'étudier celles qui visent le développement de l'autonomie et de la créativité des enfants, objectif du projet OLPC, en adéquation avec la conception holistique du développement qui sous-tend ce programme de recherche « *ergonomie pour l'enfant* ». Nous présentons ici trois études de cas :

- une étude réalisée à l'école de Saint-Denis en classe de CE2, portant sur l'élaboration par différents groupes d'élèves d'une planche de manga (Bellanger, 2014 ; Nogry, Bellanger, Prévot-Carpentier & Decortis, 2019)
- une étude réalisée dans l'école de Saint-Ouen visant à permettre aux élèves d'apprendre de façon autonome dans une classe pratiquant la pédagogie inversée (Prevot-Carpentier, 2017)
- une étude des usages des XO dans le cadre extra-scolaire et familial par les enfants du village d'Antitourne dans le cadre du projet porté par OLPC-France (Nogry & Varly, 2018)

A travers ces études de cas, différentes modalités d'appropriation des technologies mobiles seront mises en évidence. La troisième étude nous conduira à interroger les articulations entre usages en classe et usages au quotidien en dehors de l'école ainsi que leurs contributions respectives à l'appropriation de ces technologies par les enfants.

1. Usages et appropriation des XO en classe par les enfants, source de développement ?

Etudier l'appropriation des ordinateurs portables de type XO par les enfants à l'école primaire, et la façon dont ils soutiennent le développement de l'autonomie et de la créativité étaient des objectifs centraux du projet PICRI ; mais il s'est rapidement révélé difficile d'étudier ce processus d'appropriation dans la durée. En effet, les usages observés dans l'école de Saint-Denis étaient le plus souvent ponctuels (introduction ponctuelle dans une séquence d'apprentissage ou un projet) et très espacés dans le temps ; lorsqu'ils étaient plus réguliers, il s'agissait le plus souvent de l'utilisation de l'application de type exerciceur pour réaliser des exercices d'entraînement. Dans ce contexte, notre attention s'est portée sur une activité narrative mettant en jeu la créativité des élèves : une séquence d'élaboration de manga (Bellanger, 2013 ; Nogry, et al., 2019).

Par la suite, nous avons eu l'opportunité de mener une étude auprès d'une classe équipée d'un ordinateur par enfant. Dans cette classe, l'enseignante s'est saisie de la possibilité d'utiliser ces ordinateurs portables pour mettre en place une pédagogie inversée. Dans ce contexte, une analyse de

l'activité instrumentée a été réalisée pendant plusieurs mois par Muriel Prévot-Carpentier, alors post-doctorante au sein du laboratoire Paragraphe (Prévot-Carpentier, 2017).

Dans ces deux études, ont été articulées analyse extrinsèque de l'activité à partir d'observation et d'enregistrements vidéo, et analyse intrinsèque de l'activité. Cette dernière consiste à prendre en considération le point de vue du sujet sur sa propre activité et sur les instruments qu'il mobilise en réalisant des d'entretiens d'explicitation ou des auto-confrontations avec les élèves à la suite des séances observées.

La création d'un manga : une activité narrative multi-instrumentée

La première étude de cas présentée ici porte sur l'élaboration d'une planche de manga à l'aide des XO par les élèves eux-mêmes (Bellanger, 2013 ; Nogry, et al., 2019). Du point de vue de l'enseignante, ce projet a été motivé par la découverte d'un logiciel de création de roman-photo durant un temps de formation. Travaillant par ailleurs chaque année sur les mangas pour faire découvrir ce genre littéraire, l'enseignante a perçu-là la possibilité de produire des planches de mangas « soignées », dont les enfants pourraient être fiers et qui pourraient être diffusables auprès des familles. A l'interface entre production d'écrit et démarche artistique, il s'agissait de créer une œuvre à montrer et à partager.

Nous avons appréhendé cette séquence d'élaboration de mangas comme une activité narrative (Decortis, 2013) : *un processus créatif complexe dans lequel les enfants construisent collectivement un monde imaginaire en puisant dans leurs expériences et dans les ressources de leur environnement*. Il s'agissait notamment d'étudier en quoi l'ordinateur portable et le logiciel utilisé contribuaient à soutenir l'activité narrative : quelles fonctions de médiation assurent-ils au cours de l'activité ? Quelles ressources ou quelles contraintes imposent-ils ?

L'environnement numérique, un composant au sein d'un système d'instruments plus large

Dans cette séquence, l'analyse de l'activité a d'abord consisté à mettre en évidence -à partir d'entretiens et de vidéos - les différents plans d'organisation de l'activité du point de vue des élèves. Au cours des premières séances les élèves alternaient entre des phases d'élaboration de l'intrigue (« *trouver/partager des idées* ») et des phases de production d'une trace écrite sur papier entrecoupées par moment d'organisation du travail du groupe et de négociation visant à « *se mettre d'accord* ». Dans un second temps, des photos ont été prises pour donner corps à l'intrigue. Puis dans un troisième temps, les élèves ont procédé à la mise en forme de la version finale de la planche à l'aide de l'ordinateur.

Dans chacune de ces phases, le caractère multi-instrumenté de l'activité narrative a été plus particulièrement investigué. En se fondant sur l'approche instrumentale, il s'agissait de mettre en évidence la diversité des instruments en jeu au cours de l'activité narrative et leurs fonctions de médiation. Ainsi, lors de l'élaboration de l'intrigue, le langage tout comme la communication non verbale ont joué un rôle central : la co-construction de l'intrigue prenait place dans l'interaction via un entrelacement de locutions verbales, de gestes, de mimiques, et de postures. Les gestes iconiques, métaphoriques enrichissaient et précisaient les propositions faites oralement.

Le XO n'a été utilisé que dans la production de la version finale de la planche. Associés à d'autres artefacts et à différents schèmes, il est devenu instrument pour *organiser le travail du groupe, co-élaborer la planche à partir de l'esquisse déjà produite* (Figure 44), *évaluer l'effet qu'elle produit et la montrer* à d'autres élèves. Néanmoins, la taille du XO, prévu pour un usage individuel, a constitué une contrainte sur l'organisation du travail et a suscité des tensions dans le groupe. Le XO et le logiciel utilisé ont donc été les composantes d'un système d'instrument plus large⁴⁶.



Figure 44. *L'ordinateur portable : instrument support à une révision collaborative de la planche élaborée*

Bien que les ordinateurs aient été utilisés par les élèves pendant une durée limitée, l'analyse des genèses instrumentales associées à l'utilisation de l'ordinateur fait apparaître leur dimension sociale. L'enseignante faisait une démonstration à chaque groupe de l'utilisation de l'application, limitée à quelques fonctionnalités centrales pour la tâche et transmettait ainsi des schèmes d'usages élémentaires. En cas de difficulté, les élèves faisaient appel à d'autres élèves, qui agissaient en personne ressource. Ces genèses instrumentales ont toutefois eu un caractère local et éphémère, l'ordinateur et l'application n'a pas été réutilisée ensuite par ces élèves.

Un artefact soutien au développement de la créativité ?

Dans cette situation, la présence de l'ordinateur a motivé ce projet collaboratif et a donné l'opportunité aux enfants de s'impliquer dans une activité narrative (Decortis, 2013). Au cours de cette activité, ils ont pu mobiliser leur imagination pour construire l'intrigue en établissant des liens entre leurs expériences vécues dans différentes sphères sociales, les mangas étudiés en classe et d'autres fictions qui nourrissent leur imaginaire afin de créer une planche de manga originale (Nogry et al., 2019). Selon, Vygotski (1930/1983), cette ré-élaboration de l'expérience passée est le propre *du cycle de l'imagination créative*. Ce cycle se fonde sur la richesse et la variété de ces expériences vécues ; ces impressions, perçues comme un tout, sont ensuite dissociées puis les éléments sélectionnés sont modifiés et associés pour produire une œuvre nouvelle. Dans la séquence étudiée, les enfants ont eu l'opportunité de mettre en œuvre collectivement ce *cycle de l'imagination créative*, néanmoins cette activité de dissociation-association a été peu étayée par l'enseignante ou par les artefacts mis à disposition (peu utilisés dans cette phase). Différentes recommandations ont par ailleurs été

⁴⁶ un constat similaire a par ailleurs été fait dans d'autres situations visant à élaborer un récit en utilisant des technologies numériques à l'école primaire (Forcisi & Decortis, 2018).

proposées pour concevoir des technologies susceptibles soutenir le développement de l'imagination créative (Decortis, 2013 ; 2015b ; Forcisi & Decortis, 2018).

L'ordinateur portable support à la mise en place d'une pédagogie inversée

Les collaborations établies avec les enseignants s'étant investis dans le projet PICRI nous ont par ailleurs donné l'opportunité d'analyser l'activité d'une classe dans laquelle chaque élève disposait de son ordinateur pour l'année.

Suite à l'étude réalisée à St-Denis pendant trois ans, l'association OLPC-France a équipé une autre école dans la ville voisine à l'initiative de la référente TIC, enseignante ayant participé à la première étude. L'une des enseignantes de l'école s'est saisie de l'opportunité offerte par la présence de ce matériel pour mettre en place une pédagogie inversée (Taurisson & Herviou, 2015). Pensée d'abord pour l'enseignement secondaire et supérieure, cette pédagogie consiste à inverser le lieu de délivrance du savoir : la transmission de connaissance a lieu au domicile familial, les exercices sont faits à l'école. Ceci ouvre ainsi la possibilité d'une inversion du rapport enseignant-élève. En pratique, dans cette classe, transmission de savoir et exercices avaient lieu pendant le temps scolaire, mais les cours habituellement proposés par l'enseignante étaient remplacés par le visionnage de capsules vidéo proposées par CANOPE⁴⁷ et par la rédaction d'une trace écrite par les élèves eux-mêmes laissant plus d'autonomie aux élèves.

L'enseignante a accepté d'ouvrir ses portes à notre équipe de recherche. L'étude menée dans cette classe a été réalisée par Muriel Prévot-Carpentier - alors post-doctorante au sein du projet - suivant une démarche ergologique. Cette étude avait pour but de créer les conditions d'un dialogue entre les enseignants, la référente TIC et l'association OLPC, et chercheuse, afin de rendre la mise en œuvre de cette pédagogie inversée possible.

Tout d'abord, soulignons que dans cette classe, une grande liberté était laissée aux élèves. L'enseignante précisait les tâches à réaliser, mettait différents outils à disposition des élèves pour le faire, puis les laissait travailler en autonomie. Les ordinateurs portables à disposition (un par élève) faisaient partie des outils disponibles.

Les analyses ont mis en évidence différentes genèses instrumentales prenant place dans cette classe, et en particulier la constitution de schèmes associés à l'utilisation de l'ordinateur et de ces applications ainsi que différents facteurs rendant possible la mise en œuvre de cette pédagogie inversée.

Dans cette classe, au cours de l'année, les ordinateurs portables ont été utilisés pour de multiples finalités : prendre connaissance d'un cours en visionnant une capsule, construire la trace écrite du cours, faire des exercices, réviser, jouer, créer leurs propres ressources, etc.

Les élèves ont eu à découvrir par eux-mêmes les moyens de l'utiliser. Des schèmes d'usage (organisation invariante de l'action associées à l'utilisation des applications) ont ainsi été élaborés par les élèves et socialement partagés, notamment pendant les temps occupationnels⁴⁸. Durant ces moments, les élèves avaient un usage autonome et récréatif de l'ordinateur portable ; ils découvraient librement de nouvelles applications, observaient ce que les autres faisaient avec l'ordinateur,

⁴⁷ proposées par Canopé

⁴⁸ périodes entre deux tâches permettant de gérer les différences de rythme, durant lesquels les élèves étaient libres de choisir leur occupation

découvraient des schèmes d'usage par exploration, imitation, ou en demandant l'aide d'un élève plus avancé. L'enseignante les invitait ensuite à l'instruire sur leurs schèmes d'usage. Les élèves ont également eu la possibilité d'adapter l'ordinateur à leur disposition comme ils le souhaitaient. Cette instrumentalisation est rendue visible notamment par la personnalisation du bureau.

Par ailleurs, des schèmes d'action instrumentée - organisations invariantes de l'action orientées vers l'objet de l'activité - ont été élaborés plus collectivement sur plusieurs mois, notamment grâce aux médiations proposées par l'enseignante, comme le montre l'analyse de l'activité de rédaction de traces écrites sous forme de carte heuristique.

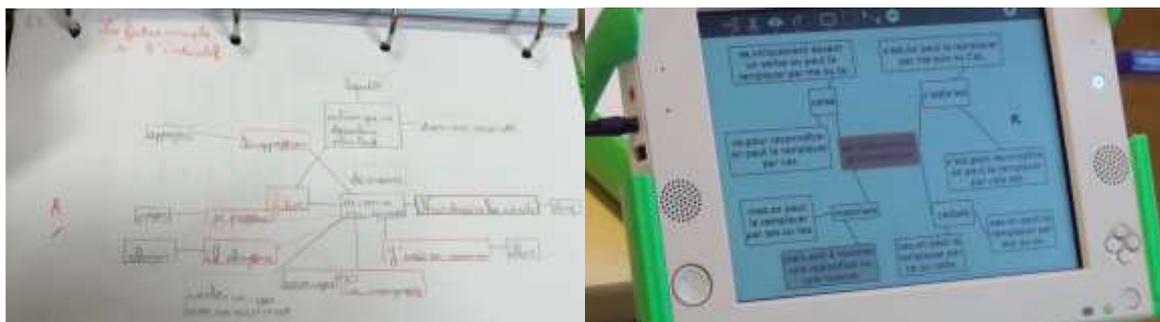


Figure 45. Cartes conceptuelles successivement produites au cours de l'année (Prévo-Carpentier, 2017)

La mise en place d'une pédagogie inversée nécessite que les élèves soient capables de travailler en autonomie, à la fois pour découvrir les cours (capsules vidéo ou audio) et pour en garder une trace (par exemple un résumé ou une carte heuristique) qu'ils pourront ensuite remobiliser dans d'autres tâches proposées en classe. Dans cette perspective, la trace écrite est d'abord un produit de l'activité qui fait suite à la découverte du cours, avant de devenir un instrument pour réaliser d'autres tâches, ainsi qu'un instrument utile au suivi des élèves pour l'enseignante.

Cette construction de la trace écrite sous forme de carte conceptuelle a été travaillée par l'enseignante au cours du premier trimestre de l'année. La première carte a été réalisée collectivement avec des images en vue d'indiquer ce que les élèves avaient retenu d'une visite au Louvre. Un travail individuel consistant à compléter cette carte les a conduits à constater la nécessité d'informations complémentaires aux images, et à analyser les différences entre les cartes produites par chacun. Les élèves ont ensuite pris l'habitude de faire des cartes heuristiques sur papier dans différentes disciplines scolaires avant de découvrir qu'il était possible d'en faire avec l'ordinateur. Celui-ci est alors venu instrumenter cette activité précédemment introduite en classe. Les possibilités de manipulation qu'offre cet outil numérique facilitent la réorganisation des idées.

Par la suite, de telles cartes conceptuelles ont régulièrement été construites collaborativement suite au visionnage d'une capsule présentant un cours. L'analyse de cette activité collaborative à partir d'auto-confrontations montre que l'application supporte les négociations sur les liens à établir entre concepts, qui varient en fonction des critères de chacun et de la finalité pour laquelle ils souhaitent utiliser cette carte (apprendre la leçon, réutiliser la carte pour résoudre des exercices, etc.).

Par ailleurs, les élèves étant libres de choisir les outils qu'ils souhaitaient utiliser pour réaliser la tâche demandée, chacun a pu constituer son propre système d'instruments en fonction des finalités de son activité, dans lequel l'ordinateur et ses applications venait (ou pas) s'insérer (Figure 46).



Figure 46. Système d'instrument utilisé par un élève pour faire un exercice

Soutenir le développement de l'autonomie des enfants était l'un des objectifs du projet OLPC. Si la mise à disposition d'un ordinateur portable par enfant a contribué au développement de l'autonomie des enfants dans cette classe, d'autres facteurs ont joué un rôle important. Cette autonomie dans les apprentissages s'est développée tout au long de l'année grâce aux artefacts mis à disposition par l'enseignante (ordinateurs portables, ressources complémentaires accessibles sur un serveur, des fiches guidant le travail individuel, etc.) mais aussi par la constitution d'un ensemble de règles explicites ou tacites (Tableau 9) structurant les interactions entre l'enseignante et les élèves en vue de responsabiliser les élèves (Prévot-Carpentier, 2017).

Tableau 9. Règles organisant la coopération dans la classe mises en évidence par l'analyse de l'activité (Prévot-Carpentier, 2017, p. 18)

| | Règles explicites | Règles implicites |
|--|------------------------------|---|
| Communiquer avec un autre élève | Autorisé pour travailler | Interdit « pour se raconter sa vie » |
| Poser une question | Autorisé si l'on a réfléchi | 1. je cherche d'abord dans ma tête 2. puis avec un camarade 3. puis « je dérange la maîtresse » si les deux premiers niveaux n'ont pas fonctionné |
| Se déplacer dans la classe | Autorisé sans faire de bruit | Interdit s'il s'agit de demander du matériel que l'on a oublié Autorisé pour coopérer sur le contenu du travail d'apprentissage Autorisé pendant les temps occupationnels |
| Sortir travailler dans le couloir | Interdit | Autorisé pour les groupes les plus autonomes en demandant à la maîtresse |

L'enseignante a ainsi su instaurer un éco-système au sein de la classe invitant à la responsabilisation et favorisant la confiance en soi dans lequel l'élève est reconnu en tant que sujet. Cet éco-système a soutenu le développement du pouvoir d'agir des élèves dans une visée émancipatrice (Prévot-Carpentier, 2017), lui conférant une autonomie à la fois *cognitive* et politique (Lahire, 2001).

Contrairement à des situations observées dans l'enseignement secondaire ou supérieur (voir Amadiou & Tricot, 2014 pour une synthèse), les compétences nécessaires à un apprentissage en autonomie ne pré-existent pas nécessairement à l'utilisation de la classe inversée. Le processus d'appropriation des technologies mobiles est concomitant à la constitution d'un écosystème, qui de notre point de vue s'apparente à une micro-culture de classe constituée par des pratiques, des répertoires d'actions, des artefacts, des normes socialement partagées. Ces normes contribuent à la régulation de la participation des élèves au sein du collectif ainsi qu'au développement de capacités d'auto-régulation ; elles participent à structurer les genèses instrumentales à l'œuvre tout au long de l'année, et, réciproquement, on peut faire l'hypothèse que les difficultés rencontrées pour s'approprier ces technologies, participent au développement d'interactions collaboratives entre élèves. A la suite des recherches de Cobb & Bowers (1999) et Mottier-Lopez (2008), nous faisons l'hypothèse que cette micro-culture s'est co-construite au cours de l'année à travers les formes d'interactions qui se sont progressivement instituées au sein de la classe. L'analyse de la participation des élèves eux-mêmes à la constitution d'une micro-culture de classe favorisant l'autonomie mériterait d'être davantage investiguée.

Au-delà de cette situation d'enseignement, on peut s'interroger sur l'articulation entre appropriation de ces artefacts et développement de l'autonomie dans d'autres contextes sociaux et culturels.

2. Appropriation des TIC par les enfants équipés de XO dans un village insulaire à Madagascar

La troisième étude de cas présentée ici porte sur les usages des ordinateurs portables par les enfants dans le cadre du déploiement de XO initié par OLPC France⁴⁹ dans un village insulaire Madagascar. Dans ce déploiement (cf. chapitre 3), les principes du projet OLPC ont été systématiquement appliqués. Le projet visait à équiper l'ensemble des enfants et des enseignants du village. Chaque enfant était considéré comme « propriétaire » de son XO (il lui est prêté pour un an) et pouvait l'emmener chez lui de façon à l'utiliser librement en dehors de la classe⁵⁰.

Dans cet environnement où 75% de la population vit en dessous du seuil de pauvreté, où l'accès à un ordinateur, à internet, à l'électricité ou même à du matériel scolaire font souvent défaut, il est a priori difficile d'imaginer le sens que peut avoir pour un enfant la possession d'un ordinateur portable et les usages qu'il peut en faire.

La démarche proposée par l'*ergonomie orientée enfant* (Decortis, 2015), visant à étudier l'activité instrumentée des enfants en situation dans ces dimensions productives et constructives peut apporter un éclairage sur ces questions. Par ailleurs, le fait que les enfants aient la possibilité d'utiliser le même objet technique au quotidien, ou dans un cadre périscolaire (cf. chapitre 3) ouvre la possibilité d'étudier les continuités et ruptures relatives aux usages des XO dans ces sphères sociales ainsi que leur contribution à l'appropriation de ces dispositifs.

Après une petite synthèse des études existantes sur les usages des TIC par les enfants, nous introduirons nos contributions à ce champ.

⁴⁹ En collaboration avec l'association étudiante Gducoeur et l'ONG « *We work it works* »

⁵⁰ Ce principe a été appliqué de 2009 à 2015, notre étude a été réalisée entre 2013 et 2015

Quels usages des TIC par les enfants dans l'environnement quotidien ?

Le projet *One Laptop Per Child* repose notamment sur l'idée selon laquelle les nouvelles générations sont des « digital natives », des *indigènes numériques* (Prenski, 2001) ; le fait d'être imprégnés par les technologies numériques dès le plus jeune âge leur conférerait un rapport aux technologies plus immédiat et une culture différente des générations précédentes. Les recherches qui ont eu lieu ensuite remettent en question cette conception (Bennett & Matton, 2010 ; Baron & Bruillard, 2008 ; Amadiou & Tricot, 2014 pour un résumé des principaux arguments avancés) ; les usages par les jeunes appartenant à une même génération sont très hétérogènes

Les recherches conduites sur les usages du numérique par les enfants⁵¹ montrent d'abord que la culture numérique des enfants et adolescents se constitue principalement hors de l'école, à travers les multiples usages des TIC dans les sphères familiales et amicales dès le plus jeune âge (Holloway, Green & Livingstone, 2013).

Au sein de la famille, l'utilisation des technologies numériques est souvent perçue positivement du fait de la facilité d'accès aux connaissances et les possibilités d'auto-formation qu'elles offrent (Stevenson, 2011), mais l'usage des ordinateurs à la maison est loin de se limiter à un usage éducatif. Les enfants développent des usages, des pratiques et des valeurs propres aux cultures enfantine et juvénile (voir par exemple So-har Wong, 2015). Ils utilisent principalement ces technologies pour se divertir (regarder des clips, des vidéos, écouter de la musique), jouer, communiquer avec les membres de leur famille et entretenir leurs relations avec les pairs (Salaway & Caruso, 2008 ; Bennett & Maton, 2010 ; Flier, 2011 ; Livingstone et al., 2011 ; Holloway, Green & Livingstone, 2013 ; Livingstone et al. 2013 ; Bond, 2014). Ces environnements offrent par ailleurs de nouvelles opportunités d'expérimenter différentes images de soi et formes d'expressions de soi (Fluckiger, 2008 ; 2010), notamment via les réseaux sociaux. Ces usages sont accompagnés par différentes médiations proposées par les parents ou les frères et sœurs aînés (Holloway et al., 2013 ; Plowman, 2015 ; Zaman et al., 2016). Il est à noter que suivant l'environnement socio-économique et culturel des familles, les formes de contrôle, de régulation et de médiation proposées varient ; celles-ci dépendent notamment des valeurs et des styles d'éducation parentaux, ainsi que du temps dont ils disposent, de leurs ressources, de leurs connaissances et de leurs compétences (Livingstone et al., 2015). Certains parents transmettent par exemple des usages plus académiques, plus proches de la culture de l'écrit (Fluckiger, 2008). Le soutien (confiance, encouragements) apporté par l'environnement social et en particulier par les parents semble être un prédicteur de la nature des usages à la maison (Vekiri & Chronaki, 2008).

Les usages des TIC par les enfants semblent être différenciés en fonction de l'âge, du genre (Vekiri & Chronaki, 2008), des centres d'intérêt ou des besoins des enfants et adolescents (Bennett & Maton 2010), mais aussi de leur environnement social et culturel (Warchauer & Matuchniak, 2011 ; Brown & Czerniewicz, 2010). Même si l'accès aux technologies numériques s'est démocratisé, les opportunités d'accès différent ; les usages sont stratifiés. Ainsi, suivant l'environnement dans lequel ils évoluent et les médiations proposées par leur entourage, les enfants semblent privilégier soit des activités plus orientées vers la consommation de musiques, de clips, de vidéos, soit des activités de création ou certains jeux de stratégies (Warchauer & Matuchniak, 2011). Dans les pays *du sud*, la stratification sociale et les inégalités d'accès aux technologies numériques sont plus marquées (Brown &

⁵¹ Recherches conduites principalement dans des pays caractérisés par une économie à haut revenu par habitant (Europe, Etats-Unis, Australie)

Czerniewicz,2010). Les usages sont également stratifiés y compris dans des pays (tels que le Pérou ou l'Uruguay) où les enfants sont massivement équipés par le projet OLPC (Nogry & Decortis, 2015 pour une synthèse). Les études existantes sont néanmoins très peu nombreuses et reposent le plus souvent sur des questionnaires.

Usages et appropriation des XO par les enfants dans un déploiement OLPC à Madagascar

Quels sont les usages des XO par les enfants dans le cadre du déploiement que nous avons suivi ? Comment les différentes sphères sociales dans lesquelles ils l'utilisent contribuent-elle à l'appropriation de ces objets techniques ?

Pour investiguer ces questions nous avons effectué une étude sur place trois années consécutives à la même période de l'année (Nogry, 2014 ; Nogry & Varly, 2019). Nous avons alors procédé à des observations en classe durant le temps périscolaire, ainsi que dans différents espaces occupés par les enfants au quotidien (cour de l'école, concession familiale, etc.). Ceux-ci ont été complétés par des focus-groups avec les enfants, des entretiens avec différentes familles et avec les enseignants. Il est à noter que les conditions dans lesquelles se sont déroulées cette étude (durée de notre présence sur place, non maîtrise de la langue parlée dans le village) nous a confronté à des difficultés méthodologiques qui n'ont pas toujours été simples à résoudre.

Quels usages ?

Les usages qui en étaient faits par les enfants variaient selon le cadre dans lequel ils l'utilisaient (Nogry & Varly, 2018)⁵². Dans le cadre périscolaire, lors de séances guidées par l'enseignant, plusieurs types d'usages ont été caractérisés : Le XO substitut au cahier, le XO comme support à des séances d'entraînement, le XO pour consulter des ressources documentaires, le XO comme un instrument favorisant des activités d'expression (dessin, roman-photo) (cf. chapitre 3). Dans ce contexte où une pédagogie « traditionnelle »⁵³ est usuellement pratiquée, le fait de pouvoir consulter différentes ressources, d'avoir accès à différentes représentations d'une même information (texte, image, carte, diagramme, etc.), d'agir sur ces représentations, voire de produire par eux-mêmes certains contenus permettait aux élèves d'être plus actifs dans leurs apprentissages (Nogry, 2014). Dans le cadre extrascolaire, lors de séances animées par les volontaires français envoyés par l'association, les usages proposés étaient plutôt ludiques et créatifs (découverte de jeu, roman-photo, film, etc.).

En dehors de l'école, l'ordinateur a trouvé sa place dans la continuité des pratiques quotidiennes. Tout comme dans les pays du nord, il était utilisé comme média de masse pour écouter de la musique ou regarder des vidéos, pour jouer ou pour échanger des contenus. Le XO remplissait également différentes fonctions pratiques au quotidien : la caméra permet de l'utiliser comme miroir pour se coiffer le matin, l'écran rétro-éclairé illumine la maison ou devient lampe torche dans la nuit noire, etc.

A la maison Le XO était également utilisé pour apprendre. Dans la continuité des usages en classe, les enfants scolarisés en CP l'utilisaient pour écrire, tandis que les enfants scolarisés en CM l'utilisaient pour lire, découvrir l'histoire de leur pays, réviser des leçons ou s'entraîner à calculer grâce aux jeux proposés, etc. Il était par ailleurs utilisé durant des moments partagés entre pairs, pour jouer, se

⁵² Les enfants ont pu utiliser ces ordinateurs à la maison de 2009 à 2015

⁵³ Par pédagogie traditionnelle, nous entendons une communication autoréférentielle, et une structure de participation caractérisée par une sollicitation des élèves par l'enseignant, une réponse (individuelle ou collective), une évaluation par l'enseignant (Mottier-Lopez, 2008 en référence aux travaux de Cobb & al., 1994)

photographier, se filmer en train de danser, de chanter ou dans d'autres activités. Quelques-uns, seuls ou à plusieurs ont créé des fictions (BD, roman-photo, films, etc.).

L'analyse des traces d'utilisation (Nogry & Varly, 2018) montre néanmoins que la fréquence d'usage des applications est très variable d'un ordinateur à l'autre. Des contraintes matérielles (état des ordinateurs, accès à l'électricité) en limitaient l'utilisation. Des différences d'usages existent également en fonction de l'âge, du genre, et d'autres facteurs, qu'il n'a toutefois pas été possible d'analyser systématiquement.

Quelle appropriation par les enfants ?

Outre l'identification des principaux usages, les analyses conduites sur place ont permis de caractériser différentes dimensions du processus d'appropriation par les enfants.

Découverte de nouvelles possibilités d'action / de nouvelles ressources

D'après les différents entretiens, l'appropriation des XO par les enfants a débuté par la découverte de nouvelles possibilités d'action et ressources qui ont progressivement enrichi les activités de jeu ou d'apprentissage dans lesquelles étaient engagées les enfants.

Avant le déploiement des XO dans le village, aucun enfant n'avait utilisé d'ordinateur. La découverte et la prise en main des XO a été guidée par les étudiants volontaires du projet OLPC. Chaque année, avec l'introduction de nouvelles applications et ressources, les enfants ont découvert de nouvelles possibilités d'action offertes par le XO. Les plus jeunes ont découverts de nouveaux jeux ; les enfants maîtrisant mieux la lecture ont pu avoir à disposition de nouvelles ressources (les livres étant rares dans les familles, et les bibliothèques peu accessibles). Tous ont découvert la possibilité de produire leurs propres photos, vidéos ou enregistrements audio (par exemples des chants et danses urbaines appréciées) puis de se réécouter ou de se revoir. L'analyse des traces montre que le XO a été très fréquemment utilisé pour faire des photographies d'eux-mêmes, de leur quotidien, de leur famille, de leurs amis et de leur lieu de vie. Les observations montrent que celles-ci sont principalement visionnées et partagées dans le moment présent.

Personnalisation de l'ordinateur portable

Certains enfants ont par ailleurs « fait leur » le XO en personnalisant la coque de l'ordinateur par des inscriptions, dessins ou des autocollants permettant facilement de le reconnaître. Les enfants maîtrisant le mieux le XO ont également personnalisé le fond d'écran, et les contenus en copiant et partageant entre amis des contenus correspondant à leurs passions (images de foot, de voitures, vidéos de danse, etc.). Dans un environnement culturel où la propriété ne fait pas sens pour les enfants, le XO a ainsi été source d'un réel changement, en permettant aux enfants de consulter à tout moment des contenus de leur choix (photos, vidéos, musiques) sans dépendre d'un aîné.

Quelles genèses instrumentales ?

L'apprentissage de l'utilisation de l'ordinateur a été fortement guidé par les volontaires puis par certains enseignants qui ont transmis aux enfants différents schèmes d'usage associés à l'ordinateur et à certaines applications. Ces genèses instrumentales ont pour certains été locales et éphémères, les applications n'étant pas réutilisées après la séance, quand, pour d'autres, elles se sont poursuivies lors de moments de jeux partagés ou d'exploration des potentialités offertes par l'ordinateur. Un petit nombre d'enfants ont ainsi découvert par eux-mêmes certaines fonctionnalités plus complexes (double boot, utilisation d'ubuntu), puis élaboré et partagé des schèmes associés.

N'étant sur place que pour une durée limitée, il a été plus difficile de mettre en évidence la constitution de schèmes d'activité instrumentée. L'analyse d'une séance de création de roman-photo en classe animée par une enseignante a permis de mettre en évidence plusieurs dynamiques : une exploration de l'application par certains élèves donnant lieu à une constitution et un partage de schèmes entre pairs, et/ou un guidage pas à pas par l'enseignante (Nogry, 2014). Les observations n'ont pas permis de mettre en évidence les formes d'instrumentalisation associées à ce système d'artefacts. De fait, l'ordinateur comme les applications offrent peu de possibilités de reconfiguration à moins d'avoir des compétences en programmation.

Comment ces objets techniques orientent-ils l'activité individuelle et collective ?

Du point de vue des parents, le XO est perçu comme un « *high status object* », il a à la fois une valeur marchande importante - aucun des parents du village n'a les moyens d'en acheter un - et une valeur symbolique élevée. L'ordinateur est perçu comme un vecteur de connaissances, sa maîtrise est perçue comme un facteur de développement de l'intelligence de leurs enfants, comme une opportunité de se former à des compétences professionnelles ou encore une ouverture sur le monde, « *bien manipuler l'ordinateur, c'est le monde nouveau* » dit un père de famille. Mais il est également vécu comme une source de risques (casse, perte, vol) dont ils ont la responsabilité.

Au quotidien, les témoignages des familles indiquent que l'ordinateur avait sa place au sein des relations sociales existantes avec la fratrie, la famille ou les pairs. Comme dans d'autres environnements culturels (Stevenson, 2011), l'usage au sein de la famille était une pratique négociée, les parents instituant des règles structurant la place de l'ordinateur dans le foyer.

Si le XO est pensé pour un usage individuel, le plus souvent, il était utilisé collectivement. Les enfants sont rarement seuls (fratries nombreuses, jeux collectifs dans le village), et sont très jeunes éduqués à adopter une attitude pro-sociale et à collaborer (Martins, Haun, Wilfing, 2015). De plus tous n'avaient pas un ordinateur chargé et en état de marche, ils s'organisaient donc pour gérer ces contraintes. Ainsi, réunis autour du même ordinateur, des enfants de tous âges jouaient ensemble, se donnaient des conseils, s'entraidaient. Cet artefact semblait contribuer à renforcer ces liens, notamment à travers des dons réciproques d'images ou de vidéos, témoignage d'intérêts communs.

A la maison, d'après les entretiens, les différentes activités étaient souvent réalisées avec les frères et sœurs ou même avec toute la famille : « *Je joue avec eux* », « *On écoute de la musique* », « *On fait du calcul* » disent certains parents. Les photos prises par les enfants étaient montrées à leurs parents, et le visionnage de vidéos sur ordinateur pouvait avoir lieu en famille ; l'ordinateur remplissait alors une fonction d'album de famille source de cohésion.

Un développement de l'autonomie et de la créativité ?

Le projet OLPC vise explicitement à soutenir le développement de l'autonomie, de la créativité et de la collaboration. Certaines applications sont ainsi conçues pour soutenir la mise en œuvre de compétences créatives telles que l'organisation des idées, l'expression artistique, la pensée informatique, la narration, ceci afin de favoriser l'expression personnelle et la production de projets originaux qui font sens pour l'apprenant (Urrea & Bender, 2012). Néanmoins les analyses des productions montrent un écart entre les usages envisagés par les concepteurs et la réalité des usages. Si certaines applications destinées à favoriser la créativité étaient effectivement utilisées (éditeur de texte, roman-photo, turtle art), la production de projets ou artefacts originaux était très limitée (Nogry & Varly, 2018). Etant peu habitués à pratiquer des activités créatives fondées sur la manipulation

d'inscriptions à l'aide d'instruments numériques, la réalisation de telles productions a été rendue possible lorsqu'une structuration forte de la tâche était proposée par des adultes (enseignants volontaires) pour les encourager à générer des idées nouvelles, les accompagner dans la mise en forme leurs idées grâce à l'environnement numérique.

Ces constats sont en adéquation avec les recherches portant sur les activités narratives et créatives dans le champ de l'ergonomie orientée enfant. Si l'activité créative a pour finalité la production d'un objet tangible, c'est avant tout une activité dynamique et située qui articule des phases d'exploration, d'inspiration, de production et de partage au cours desquelles l'imagination et le réel s'enchevêtrent (Decortis, 2013 ; 2015 ; Lahoual, 2017). Or le XO instrumente uniquement la production. L'activité créative demande par ailleurs à être soutenue par de multiples médiations invitant les enfants à une exploration sensible de leur environnement, les autorisant à « *laisser parler leur imagination* », ou les invitant à se distancier et entrer dans une démarche réflexive sur la production en cours (Lahoual, 2017).

Il est par ailleurs difficile d'évaluer l'influence de l'utilisation des XO sur le développement de leur autonomie et de leur habileté à collaborer dans ce contexte. En effet, dans ce village, les enfants évoluent entre deux formes de structuration des apprentissages différents⁵⁴. Dans le cadre scolaire, les élèves sont organisés par groupe d'âge, apprennent les savoirs et savoir-faire transmis par les enseignants suivant une pédagogie « traditionnelle ». Les enfants disposent alors d'une très faible autonomie, ils sont soumis à l'autorité de l'enseignant et sont tenus de se conformer à ses demandes et à ses attentes. En revanche, en dehors du temps scolaire, les opportunités d'apprentissage sont organisées sur le modèle des communautés de pratique, ils sont invités à participer aux pratiques de leurs aînés. En dehors des tâches qui leur sont imparties, la plupart bénéficient d'une liberté d'action assez étendue tant dans le choix de leurs occupations que dans les moyens à mettre en œuvre pour atteindre leur objectif. Si nos observations montrent que durant les temps périscolaires, les enfants avaient davantage de possibilité de prendre des initiatives et d'être actifs dans leurs apprentissages⁵⁵ (Nogry, 2014), nos données ne sont pas suffisantes pour évaluer l'évolution de l'autonomie des élèves dans leurs apprentissages ou sur le plan politique. Une étude comparative réalisée pour évaluer l'attitude pro-sociale des enfants du village ne permet pas davantage de tirer de conclusion sur ce point (Martins, 2015).

L'appropriation des XO a par ailleurs provoqué d'autres changements : Il semble que, dans cet espace où la plupart des familles n'ont pas la télévision, l'utilisation de ces ordinateurs ait changé le rapport des enfants aux médias, en les initiant à de nouvelles littéracies où l'image tient une place centrale. Ces médias ont été régulièrement utilisés dans une perspective de présentation et d'expression créative de soi, offrant alors une médiation réflexive qui permet à l'enfant de mieux se connaître, et à la famille de constituer des traces par exemple à travers la constitution d'album photo familial, participant ainsi à une forme d'individuation personnelle et collective. Partant de ces constats, on pourra notamment s'interroger sur les genèses identitaires, ou sur les genèses *des mondes* des enfants

⁵⁴ Ces deux structurations de l'apprentissage et les contradictions que cela peut susciter pour les enfants sont décrites avec précision par Rogoff (2003)

⁵⁵ voir Amadiou & Tricot (2014) pour une discussion sur les conditions qui favorisent un apprentissage actif

concomittants à l'appropriation de ces objets techniques⁵⁶. Nous faisons ainsi l'hypothèse que l'appropriation de cet ordinateur a participé à faire évoluer la culture enfantine (Delalande, 2006) dans cet environnement.

Ainsi cette étude a permis de dresser un portrait « à *grand trait* » des usages et de l'appropriation de ces ordinateurs par les enfants à l'échelle d'un village. Actuellement, on assiste à une rapide évolution des environnements numériques disponibles. Des smartphones à bas coût deviennent accessibles l'accès à internet se généralise, des programmes de dotation de tablettes sont mis en place. Il est donc essentiel d'aller plus loin dans l'étude de l'appropriation de ces différentes technologies par les enfants, y compris dans les pays *du sud*, en se concentrant sur les situations d'activité instrumentée les plus significatives pour eux. L'analyse gagnerait à rendre compte des spécificités de ces usages en fonction du genre, de l'âge ou de l'environnement social des enfants, ainsi que de l'activité dans lesquels les enfants sont engagés.

En résumé

En vue d'étudier comment les objets techniques affectent les façons d'apprendre et de se constituer en tant que sujet, nous avons conduit un ensemble d'études portant sur *l'appropriation des technologies numériques - technologies dites « cognitives » - en situation d'apprentissage à l'école primaire*, en mobilisant les concepts et méthodes de l'ergonomie adaptées pour les enfants (Decortis, 2015). Nous avons tout d'abord constaté que, sur différents terrains, les utilisations dans le cadre scolaire étaient ponctuelles, espacées dans le temps, et prenaient place dans une multiplicité de situations et de familles d'activité a priori sans relations entre elles, souvent associées à des genèses instrumentales locales et éphémères. Nous avons également étudié les usages et l'appropriation de ces technologies par les enfants dans différentes situations d'apprentissage. Nous avons ainsi constaté que celles-ci ne se substituent pas aux artefacts existants, mais offrent des potentialités d'action complémentaires que les apprenants sont amenés à découvrir au cours de l'activité ; Ces technologies trouvent ainsi leur place au sein d'un système d'instruments plus étendu propre à chaque élève (Nogry et al., 2019). Au cours du processus d'appropriation, de multiples genèses instrumentales ont lieu ; elles sont caractérisées par l'élaboration de nouveaux schèmes, transmis ou partagés par l'entourage et entre pairs. Ces genèses instrumentales sont le plus souvent locales (restreintes à des situations particulières) et différentes suivant les contextes d'usage et les objectifs visés. Néanmoins, pour certains, ces genèses instrumentales se poursuivent au-delà de la séquence d'apprentissage en classe dans différentes sphères sociales, par exemple lors de jeux entre amis ou pour réaliser une activité en famille (Nogry & Varly, 2018). Nous avons par ailleurs interrogé l'articulation entre appropriation de ces technologies sur développement de l'autonomie/de la créativité des enfants (Nogry & Varly, 2018 ; Nogry et al., 2019). Ces constats conduisent à reconsidérer le choix des situations d'activité instrumentées à étudier. Les perspectives qui s'ouvrent suite à ces différentes recherches sur l'appropriation de ces technologies mobiles par les enfants sont développées dans la partie suivante.

⁵⁶ Nous faisons ici référence au modèle holistique du développement proposé par Bationo-Tillon (2017), introduit Partie 1, chapitre 2, mettant en évidence les genèses à l'œuvre sur différents plans (genèses expérientielles, instrumentales, conceptuelles, identitaires, genèse des mondes du sujet)

Perspectives

Selon Hofstadter & Sander (2013), la cognition humaine est doublement ancrée, d'une part dans le passé et d'autre part dans le concret à travers le corps éprouvé. L'analogie est alors considérée comme le mécanisme au cœur de la pensée, qui, à travers l'évocation d'expériences passées inscrites corporellement, permet de comprendre et de s'adapter à des situations nouvelles. De notre point de vue, il est important de prendre en considération la matérialisation de ce double ancrage par les objets techniques historiquement, culturellement et socialement constitués. Ces objets techniques constituent pour l'homme une prothèse - une extension de ses capacités de perception et d'action - mais aussi des inscriptions, des traces supports à la conservation, l'accumulation et la sédimentation des expériences individuelles, une extériorisation de la mémoire (Stiegler, 1994). Associés à différents modes de couplage, ces artefacts matériels offrent des possibilités d'actions qui peuvent soutenir la construction de connaissances nouvelles et le développement du sujet.

Cette habilitation à diriger des recherches porte sur *les relations de co-constitution entre cognition et technique au cours du développement : comment ces objets techniques affectent-ils nos façons d'apprendre et de se constituer en tant que sujet ?*

Nos recherches portent plus particulièrement sur les multiples genèses à l'œuvre dans différentes situations d'apprentissage en documentant les transformations de l'individu, mais aussi celles de son environnement matériel. En effet, suivant la thèse d'une co-constitution de l'homme de la technique, « *l'intériorité (l'homme), ici, n'est rien hors de son extériorisation techno-logique* », « l'intérieur » et « l'extérieur » se co-constituent, telles deux faces d'un même processus (Steiner, 2010). Dans le prolongement des différentes recherches que nous avons menées sur cette question, plusieurs axes de recherche s'ouvrent à nous.

Ancrage matériel du développement conceptuel

Nous avons conduit un premier ensemble de recherches dans une perspective située *sur le rôle des analogies et des objets techniques dans le développement conceptuel*. Celles-ci ont permis de caractériser les analogies utilisées en classe à l'école primaire dans les cours d'arithmétiques. Elles ont également mis en évidence l'ancrage matériel de certaines de ces analogies (Bastid & Nogry, 2016), et montré comment ces artefacts (à la fois objets matériels et système de signes) constituent le substrat matériel du développement conceptuel. Nous avons également montré comment ces artefacts, devenus instruments, supportent de multiples transformations constitutives du processus d'abstraction, ceci dans plusieurs séquences d'apprentissage de l'arithmétique et de l'informatique à l'école primaire.

Ces recherches sont, de notre point de vue, l'amorce *d'un programme de recherche à développer sur l'inscription matérielle du développement conceptuel*. Au-delà des situations singulières étudiées, ces recherches invitent à prendre en considération de façon plus systématique l'ancrage matériel des analogies et du développement conceptuel dans l'étude des mécanismes d'apprentissage en caractérisant les fonctions des artefacts et inscriptions mobilisées.

Dans le prolongement de notre étude sur l'apprentissage de l'informatique (Nogry & Spach, soumis), l'étude de l'ancrage matériel des multiples transformations à l'œuvre dans des situations d'apprentissage de l'informatique mérite d'être approfondie dans d'autres situations (informatique débranchée ; apprentissage de la programmation avec d'autres objets programmables, etc.). Amorcées dans le cadre du projet IE-CARE, de telles recherches sur le processus d'abstraction dans une perspective située visent à produire des connaissances orientant la conception de scénarios d'apprentissage de l'informatique à l'école primaire adaptés aux besoins des enfants.

Plutôt que d'adopter une démarche applicative, peu compatible avec une conception située de la cognition, nous souhaitons inscrire ces recherches dans un processus de recherche collaborative orientée par la conception (Barab & Squire, 2004 ; Sanchez & Monod-Ansaldi, 2015) afin de prendre en compte la complexité des situations. Celui-ci consiste à participer à une équipe de conception pluridisciplinaire réunissant chercheurs et enseignants afin de concevoir des scénarios et dispositifs adaptés aux besoins des apprenants et aux situations dans lesquelles ils seront utilisés. Les scénarios ainsi conçus seront mis en œuvre en classe, analysés, et retravaillés au cours de cycles de conception itérative. A partir de l'analyse de l'activité lors de la mise en œuvre de tels scénarios, nos recherches peuvent conduire à porter une attention particulière aux analogies et aux artefacts mobilisés au cours du développement conceptuel, peuvent contribuer à la conception d'artefacts adaptés susceptibles de devenir des systèmes d'instruments dans les dispositifs conçus.

Par ailleurs, dans le prolongement des recherches réalisées sur les analogies en classe dans le cadre scolaire (Gamo, Nogry & Sander, 2014 ; Bastid & Nogry, 2016), l'étude de l'ancrage matériel des analogies utilisées en classe et du développement conceptuel est à approfondir dans différents domaines de connaissances. Ces études pourront par exemple porter sur des savoirs mathématiques sources de difficulté, telles que les fractions ou les divisions en arithmétique, pour lesquelles des connaissances naïves font obstacle aux apprentissages (Sander, 2005). Elles pourraient également porter sur des savoirs scientifiques et techniques présentant un enjeu contemporain tels que l'introduction aux systèmes complexes (« *naturels et techniques* »)⁵⁷ visant à la compréhension des impacts de l'activité humaine sur la santé et l'environnement. Si l'étude des analogies relatives à des objets techniques en situation scolaire a été amorcée (Decaudin & Bruno, 2011), ces recherches restent à approfondir.

Pour réaliser de telles études, il s'agira d'abord d'identifier les analogies produites en classe et leur ancrage matériel. Ensuite une analyse de l'activité visant à caractériser les fonctions des artefacts mobilisés pourra être articulée à une analyse micro-génétique du développement conceptuel, visant à comprendre la contribution de ces analogies et artefacts au processus de conceptualisation.

Ces études micro-génétiques du développement conceptuel relatif à différents savoirs enseignés à l'échelle d'une séquence d'apprentissage gagneraient à être articulées à des études ontogénétiques en vue de caractériser l'évolution des artefacts utilisés et des transformations opérées en fonction du niveau scolaire des enfants et de leurs acquisitions antérieures. Il pourrait être pertinent d'envisager de telles études dans différents contextes culturels, les enfants étant susceptibles d'y développer des rapports différents aux artefacts matériels et symboliques disponibles dans leur environnement (Rogoff, 2003 ; Troadec, 2007).

⁵⁷ Référence au domaine 4 des programmes de cycle 3 « les systèmes naturels et les systèmes techniques »

Etude de l'articulation entre appropriation des technologies par les enfants et développement

D'autres perspectives s'ouvrent dans le prolongement de notre second axe de recherche, l'étude de l'appropriation des technologies numériques à l'école primaire.

Avec le développement des usages des technologies de l'information et de la communication, les sciences cognitives ont porté une attention particulière sur les relations entre technique et cognition. Ces études, le plus souvent réalisées avec des adultes, mettent en évidence la façon dont les technologies numériques affectent nos façons de percevoir, de mémoriser, de raisonner, d'apprendre, voire de se constituer en tant que sujet (Steiner, 2010). Ces transformations ne sont cependant pas immédiates, elles se constituent au cours d'un long processus d'appropriation. Qu'en est-il pour les enfants ?

En mobilisant l'approche instrumentale, nous avons choisi d'analyser la dimension constructive des activités instrumentées par les technologies numériques à l'école primaire. Ces questions nous ont conduit(e)s à étudier les usages et l'appropriation des technologies mobiles, qui faisaient alors leur entrée dans les classes à l'école primaire. Nous avons ainsi caractérisé les multiples genèses instrumentales à l'œuvre dans ces situations, et interrogé l'articulation entre appropriation de ces technologies et développement de l'autonomie/de la créativité des enfants. Le caractère souvent local de certaines genèses instrumentales observées en classe d'une part (Nogry et al., 2013), et le fait que d'autres genèses instrumentales se poursuivent dans d'autres sphères sociales d'autre part (Nogry & Varly, 2018) nous ont conduit(e)s à préciser le choix des situations à étudier. Nous avons ainsi choisi d'étudier des activités multi-instrumentées spécifiques, telles que l'activité narrative, d'analyser la mise en place d'une pédagogie fondée sur l'utilisation de technologies numériques, la pédagogie inversée, et d'étudier les usages scolaires et quotidiens des technologies mobiles par les enfants. Ces différentes recherches amorcées ces dernières années méritent d'être prolongées.

Etude des activités instrumentées par les technologies numériques en classe

Dans le prolongement des recherches initiées par Françoise Decortis (Decortis et al., 2001 ; Decortis 2013 ;2015), nous avons étudié les spécificités d'une activité narrative en classe supportée par ces technologies mobiles. Cette étude a mis en évidence le caractère multi-instrumenté de cette activité, les fonctions limitées assurées par l'environnement numérique utilisé, ainsi que la nécessité de médiations complémentaires pour soutenir les phases d'exploration et d'inspiration propres à cette activité narrative (Nogry et al., 2019). Depuis, la thèse de Laura Anastasio-Forcisi (2018 ; Forcisi & Decortis, 2018) a porté sur la conception d'interfaces susceptibles de soutenir le développement des compétences narratives en jeu dans ces activités et ouvre différentes perspectives sur cette question.

Cette étude nous a par ailleurs conduite à porter notre attention sur d'autres pratiques d'écritures instrumentées par les technologies numériques en classe à l'école primaire (Nogry & Girault, soumis). L'étude réalisée par Girault (2017 ; Nogry & Girault, soumis) met notamment en évidence l'existence dans certaines classes de pratiques d'écriture à visée réflexive instrumentées par les tablettes dans différentes disciplines ; mises en avant par les programmes scolaires de cycle 3, ces pratiques visent à favoriser le développement de l'autonomie des élèves dans leurs apprentissages. Peu d'études y sont jusque-là consacrées. Une analyse de l'activité des élèves lors de la mise en œuvre de ces pratiques dans différentes situations permettrait d'en comprendre les spécificités. Cette analyse pourrait consister dans un premier temps à identifier, du point de vue des élèves, les différentes familles

d'activité dans lesquelles ils pratiquent l'écriture à visée réflexive, puis à réaliser une analyse diachronique de ces activités en identifiant les différentes finalités de l'activité des élèves, les instruments mobilisés, et les différentes médiations qui y participent. Il s'agira alors de mettre en évidence les genèses instrumentales à l'œuvre au cours de ces activités à visée réflexive supportée par les technologies numériques, et d'analyser dans quelle mesure elles contribuent à établir de la continuité entre différents fragments d'expériences (genèses expérientielles) et participe à développement conceptuel (genèses conceptuelles), voire à des genèses identitaires. Une telle étude pourra être menée dans des classes prises en charge par des enseignants expérimentés ayant une pratique régulière de l'écriture à visée réflexive. Une analyse diachronique de l'activité des élèves sur une ou plusieurs périodes scolaires permettrait de mettre en évidence les différentes genèses à l'œuvre dans la durée. La mise en évidence des spécificités de ces pratiques, et les multiples genèses à l'œuvre au cours de ces activités à visée réflexive pourrait permettre de concevoir des dispositifs de formation pour les enseignants désireux de se former à ces pratiques.

De telles activités à visée réflexive ont par ailleurs pu être observées dans l'étude portant sur la mise en œuvre d'une pédagogie inversée, (Prevot-Carpentier, 2017). L'analyse de l'activité des enfants en situation de pédagogie inversée, initiée dans cette étude, mériterait d'être approfondie. En effet, dans le contexte actuel, avec l'apparition de pratiques d'enseignement hybride dans l'enseignement primaire et secondaire, les élèves sont amenés à travailler plus souvent en autonomie ; une pédagogie inversée pourrait alors être encouragée. De ce fait, une analyse systémique de l'activité dans d'autres classes pratiquant une pédagogie inversée permettrait de mettre en évidence de façon plus systématique les conditions nécessaires pour qu'une telle pédagogie prenne place et soutienne le développement des apprentissages et de l'autonomie des élèves. Il s'agira alors d'analyser les outils et ressources mis à disposition des enfants, le système d'instrument constitué par chacun, les multiples genèses à l'œuvre dans ce contexte, ainsi que les formes de co-activité entre enseignant et élèves (Bationo-Tillon & Decortis, 2015 ; Gourlet, 2018) soutenant ces genèses.

Par ailleurs, comme l'a montré M. Prévot-Carpentier (2017), les genèses instrumentales faisant des technologies numériques des instruments supports à une pédagogie inversée sont concomitants de la constitution d'une micro-culture de classe constituée par des pratiques, des instruments, des normes qui confère une plus grande autonomie aux élèves. Tout d'abord on peut se demander comment ces normes se constituent au cours de l'année. Une analyse de la participation des élèves eux-mêmes à la constitution de ces normes et de cette micro-culture de classe mériterait d'être réalisée. Par ailleurs, nous faisons l'hypothèse que ces règles et normes instituées au sein de la classe contribuent à la régulation de la participation des élèves au sein du collectif ainsi qu'au développement de capacités d'auto-régulation et « structurent » ainsi les genèses instrumentales. Réciproquement, on peut faire l'hypothèse que la transmission et le partage de schèmes au sein de la classe (Cuvelier, 2016) façonnent les interactions entre élèves. Dans cette perspective une étude plus systématique des interactions sociales au sein de la classe et au cours de genèses instrumentales nous semble nécessaire pour rendre compte de la dialectique entre constitution des normes socialement partagées au sein du groupe et des genèses instrumentales dans leur dimension sociale.

Etude de l'appropriation des technologies numérique par les enfants à l'interface entre différentes sphères sociales

Par ailleurs, à la suite de l'étude réalisée sur les usages des XO par les enfants dans différents contextes (Nogry & Varly, 2018), des recherches complémentaires sont à mener sur l'appropriation des

technologies numérique par les enfants à l'interface entre différentes sphères sociales dans différents environnements culturels. Comme nous l'avons constaté, les usages des technologies par les enfants sont peu fréquents dans le cadre scolaire, alors qu'avec la généralisation des smartphones, tablettes et ordinateurs portables, ils sont devenus quotidiens dans d'autres sphères sociales (voir par exemple les enquêtes Hadopi, 2017⁵⁸ ; Themis, 2018⁵⁹). Dès lors se pose la question des continuités/discontinuités entre ce que les enfants font avec les technologies numériques au quotidien et dans le cadre scolaire.

Les études menées auprès de collégiens, lycéens et étudiants mettent en évidence une pluralité des usages entre les différentes sphères sociales ainsi qu'une discontinuité instrumentale (Fluckiger, 2019). Les mêmes outils font l'objet de processus d'appropriation différents suivant le contexte d'usage ; un même artefact est associé à des schèmes d'action instrumentés différents, et devient ainsi de multiples instruments locaux spécifiques à chaque classe de situation. Ces études montrent également les obstacles à la continuité entre sphère familiale et usages scolaires ; les tâches proposées en classe avec les technologies numériques demandent notamment d'autres compétences que celles développées à la maison (Ng, 2012 cité par Amadiou & Tricot, 2014 ; Fluckiger, 2019). Néanmoins, comme le soulignent Amadiou & Tricot (2014) « *les compétences acquises par la pratique domestique pourraient être prises en compte dans la conception de situations d'enseignement, soit comme point de départ pour aller plus loin, soit comme obstacle à dépasser. Elles ne peuvent pas être ignorées* » (p. 86). En outre, dans l'étude que nous avons réalisée (Nogry & Varly, 2018), nous avons observé que des genèses instrumentales initiées dans le cadre (péri)scolaire semblent se poursuivre dans d'autres sphères sociales.

Aussi, si la plupart des études se sont attachées à mettre en évidence les discontinuités, les continuités existant entre les usages du numérique dans différentes sphères sociales restent à investiguer. Quels sont les transferts d'un univers à l'autre, d'un contexte à l'autre ? Qu'est-ce qui circule d'une sphère à l'autre ? Quelles sont les genèses à l'œuvre dans chacune de ces sphères, comment les capacités, ressources, instruments, compétences construit(e)s dans une situation sont-ils remobilisé(e)s dans une autre sphère sociale ? Si les recherches sur le transfert dans une perspective située sont nombreuses (Lobato, 2006, 2012 ; Renkle, 2012)⁶⁰, cette question y est jusque-là peu abordée.

L'étude de ces questions ne va pas sans poser des difficultés d'ordre théorique et méthodologique. Une première question porte sur le choix des situations à étudier. Les enfants sont amenés à utiliser les technologies dans l'environnement familial, scolaire, ainsi que dans des tiers lieux pour réaliser de multiples activités. Les études réalisées jusque-là portent le plus souvent sur des pratiques mobilisant les technologies numériques dans l'environnement familial. On trouve notamment des études sur les pratiques communicationnelles (Bond, 2014), les pratiques informationnelles (Cordier, 2017), ou les pratiques d'écriture (Penloup & Reuter, 2001 ; Schneider, 2011).

Dans l'approche à laquelle nous nous référons (Decortis, 2015), l'unité d'analyse est l'activité, et le point de vue du sujet sur sa propre activité tient une place centrale. Dès lors, il s'agit dans un premier temps d'identifier les différentes familles d'activités dans lesquelles les enfants utilisent des technologies numériques en analysant comment ils caractérisent eux-mêmes les activités

⁵⁸ https://hadopi.fr/sites/default/files/2019-04/Hadopi_Etude_Quanti_Pratiques_Culturelles_en_ligne_des_8-14_ans-Avril_2019.pdf

⁵⁹ <https://www.themis.asso.fr/internet-et-les-reseaux-sociaux-lutilisation-des-8-10-ans-en-chiffres/>

⁶⁰ Voir partie 2, chapitre 3

instrumentées dans lesquels ils sont engagés dans différents espaces. Dans le prolongement de nos précédentes études, nous privilégions l'études d'activités créatives.

Il nous semble également essentiel de prendre en considération l'environnement social dans lequel grandissent les enfants. En effet, selon Warschauer & Matuchniak (2011), les usages des technologies numériques par les enfants sont socialement stratifiés ; les activités créatives seraient notamment plus présentes dans certains environnements sociaux que dans d'autres. Plus généralement, selon Lahire (2019) *les enfants vivent au même moment dans la même société, mais pas dans le même monde*. En mettant en exergue les inégalités matérielles, sociales et culturelles auxquelles ils sont confrontés, cette recherche montre que les enfants ont des accès différenciés aux formes d'*extension de soi* nécessaires au développement de leur pouvoir d'agir. Pour prendre en compte cet environnement social, nous pourrions nous inspirer de la démarche de recherche adoptée par Lahire et collaborateurs (2019), consistant à mener différentes études de cas suivant un même protocole auprès d'enfants grandissant dans des milieux sociaux différents.

Par ailleurs, l'étude de l'appropriation des technologies numériques par les enfants dans différentes sphères sociales ne peut éluder la question de la constitution d'une/de culture(s) numérique(s) par les enfants (Fluckiger, 2019). Ainsi, une étude exploratoire (Le Foulgoc, 2018)⁶¹ portant sur l'activité instrumentée des enfants dans des tiers-lieux montre que dans les ateliers proposés, les enfants s'initient à des techniques nouvelles, mais aussi à des cultures numériques spécifiques. Celles-ci sont caractérisées par des pratiques et sous-tendues par des normes, de valeurs propres à chaque communauté, à chaque tiers-lieu étudié (fablab, centre culturel). En fonction des tâches, des artefacts, des ressources mises à disposition et des médiations proposées, des micro-cultures distinctes semblent se constituer. Celles-ci mériteraient une attention particulière. La question des continuités et ruptures entre les pratiques, normes, valeurs relatives aux usages des technologies numériques constituées dans les différents environnements dans lesquels évoluent l'enfant se pose. Les études conduites par Fluckiger (2008) et Le Foulgoc (2018) soulèvent plus largement la *question de l'adéquation entre la/les culture(s) numérique(s) auxquelles sont acculturés les enfants en dehors de l'école et les usages des TIC dans le cadre scolaire*. Cette question constitue un enjeu important actuellement, notamment depuis l'introduction de l'enseignement de l'informatique à l'école primaire.

Nous avons débuté une collaboration avec Cédric Fluckiger sur cette question dans le cadre du projet ANR IE-CARE, et encadrons actuellement la thèse en sciences de l'éducation d'Isabelle Vandeveld (Université de Lille). Celle-ci vise à étudier en quoi la/les culture(s) numérique(s) des enfants constituée(s) en dehors de l'école peu(ven)t être une ressource pour l'apprentissage de l'informatique à l'école primaire : elle étudie notamment les questions suivantes : quelles sont les connaissances naïves des enfants sur l'informatique ? Quelles sont les connaissances et compétences techniques acquises en dehors de l'école ? Quelles sont les familles d'activité dans lesquelles les enfants construisent / mobilisent de telles connaissances techniques ? Quelles continuités / ruptures perçoivent-ils entre les usages quotidiens / scolaires des technologies numériques ? En quoi les connaissances et compétences techniques développées dans le cadre domestique contribuent-elles ou font-elles obstacle à l'apprentissage de l'informatique dans le cadre scolaire ?

⁶¹ Mémoire de master que nous avons encadré

L'étude de ces questions ne va pas sans soulever des difficultés méthodologiques ; ainsi comme le souligne Fluckiger (2019), étudier ce que les élèves « ramènent » de leur expérience dans une situation d'apprentissage disciplinaire n'est pas simple. De notre point de vue, dépasser ces difficultés suppose de se référer à des cadres théoriques et méthodologiques permettant de conceptualiser ce qu'est l'expérience vécue et comment elle contribue à la construction de connaissances et au développement du sujet (Dieumegard et al., 2019). Une approche de l'apprentissage et du développement fondée sur l'expérience vécue suppose de rendre compte du flux de l'expérience vécue, toujours mouvant, de la construction de significations par l'individu à partir de cette expérience, mais aussi des régularités, des stabilisations, des invariants qui se constituent au cours de l'expérience et organisent l'action du sujet à différentes échelles temporelles.

Bationo-Tillon (2017) propose d'étudier ce qui prend forme durant des épisodes *d'individuation de l'expérience*⁶². Cette *approche transitionnelle* du développement (Bationo-Tillon, 2017) caractérise les transformations qui s'opèrent dans le flux de l'expérience sur différents plans : elle distingue les genèses expérientielles, instrumentales (Rabardel, 1995), identitaires (Pastré, 2011), ainsi que les genèses des mondes du sujet (« *arrières plans axiologiques, conceptuels qui forment système* »). Si chacune de ces genèses aboutit à des transformations de nature différente, elles ont lieu simultanément. Documenter ce qui se développe au cours de l'expérience nécessite donc d'articuler différentes unités d'analyse - l'expérience, l'activité située, ainsi qu'une analyse diachronique de l'activité sur un empan temporel plus large - pour rendre compte de ces différentes transformations.

Etude des micro-genèses expérientielles

Dans le prolongement du projet micro-sparkle, nous souhaitons approfondir en premier lieu l'étude des genèses expérientielles à l'œuvre dans les situations d'apprentissage instrumentées, en prenant l'expérience vécue comme unité d'analyse (Dieumegard et al., 2019).

Cette approche « en première personne » vise à rendre compte du monde-propre du sujet ; elle permet notamment de rendre compte de la façon dont il perçoit une situation donnée, de l'évolution de ses préoccupations, de ce à quoi il accorde une attention particulière, ou encore de la signification qu'il construit en situation. Dans cette perspective, comprendre comment un sujet construit des connaissances sur le monde nécessite une description de la dynamique de l'expérience vécue.

Avant d'aller plus loin, il nous semble nécessaire de préciser ce que l'on entend par expérience, ce terme ayant de multiples acceptions (voir Thievenaz, 2019 pour une revue). Nous nous référons ici à ce concept tel qu'il a été défini par les phénoménologues dans le prolongement des travaux de Husserl (cf. Von Glasersfeld & Ackermann, 2011) : l'expérience est à la fois l'expérience intérieure, vécue dans l'instant, associée à la conscience de quelque-chose (en allemand *Erlebnis*) et ce qui se cristallise au cours du temps, l'accumulation de connaissances ou de compétences qui résultent de la participation à une activité (en allemand *Erfahrung*) (voir aussi Perrin & Vanini De Carlo, 2016 pour une analyse de ces concepts). En tant que processus continu connu depuis l'intérieur «*from within*» (Depraz, Varela, & Vermersch, 2011), l'expérience (*Erlebnis*) renvoie à la nature immédiate et incarnée de l'action. Phénoménologiquement, un sujet vivant une expérience est à la fois un sujet agissant, et un être affecté par le monde. Le sujet est ainsi plongé dans un double mouvement actif / passif (Depraz et al., 2011). Cette expérience présente par ailleurs un caractère holistique. Chaque expérience est faite de

⁶² Modèle présenté plus en détail partie 1, chapitre 2

différentes couches de vécus (Vermersch, 2012), de dimensions cognitive, émotionnelle, motrice, sensibles qui s'enchevêtrent tels des « fils expérientiels » Mc Carthy & Wright (2007). La nature holistique de l'expérience inclut son enracinement dans le temps. D'un point de vue phénoménologique, il s'agit d'étudier les choses telles qu'elles apparaissent ou se présentent à la conscience dans le moment présent (Keiros)⁶³. Ce temps vécu n'est pas un instant, un point sur continuum objectif mesurable par des instruments, mais une durée dont les fins disparaissent progressivement (Stern, 2004 en référence à Husserl). Ceci renvoie au sentiment le moment présent déborde l'instant, intègre des échos des expériences passées et des anticipations du futur ; il a ainsi une certaine épaisseur. Ainsi, toutes ces expériences émergent, subjectivement, comme une expérience globale, cohérente, unifiée et unique, se déroulant dans un « *maintenant* » subjectif.

Envisagée dans son caractère holistique comme un processus incarné à la fois passif et actif, l'expérience vécue se distingue fondamentalement du concept de représentation mentale au fondement de l'approche cognitive (Varela et al., 1993). Par conséquent, considérer l'expérience comme unité d'analyse ouvre la voie à une approche socioculturelle de la cognition centrée sur le vécu de l'individu.

Ceci invite à envisager l'étude de l'analogie dans une autre perspective : comment une expérience vécue, inscrite corporellement, en devient-elle une autre ?

Comme le souligne Dewey, *“Every expérience both takes up something from those which have gone before and modifies in some way the quality of those which come after”* (Dewey, 1938, p. 34). Dès lors, l'étude du rôle de l'analogie dans l'apprentissage consiste à *étudier comment, à travers l'émergence d'une expérience passée dans le moment présent, l'expérience vécue en devient une autre*. Ce caractère transformatif propre à l'expérience, est par ailleurs introduite par Romano, qui décrit l'expérience *comme une épreuve nécessairement unique, irrépétable, dont « je » ressors, à chaque fois changé* (Romano, 1998, pp. 194-195). Il s'agit alors de caractériser des formes de présentification (Vermersch, 2011) de ces expériences passées dans le moment présent et des modifications qu'elles induisent sur la perception de la situation présente, des hybridations éventuelles entre différents fragments d'expériences (Hofstadter & Sander, 2013 ; Bationo-Tillon, 2017), et des émergences qui ont lieu.

De notre point de vue, cela constitue en soi un nouvel programme de recherche⁶⁴. La réflexion conduite dans le cadre du projet micro-sparkle a permis de dégager ce qui *caractérise* l'expérience, de mettre en perspective différentes méthodologies afin de documenter rigoureusement l'expérience de l'apprenant en seconde personne (Dieumegard et al., 2019) et de discuter des analyses possibles pour rendre compte de la dynamique de l'expérience vécue en situation d'apprentissage. Une première étude exploratoire réalisée à l'école primaire nous a conduit à interroger les conditions à mettre en œuvre pour utiliser de telles techniques avec des enfants dans une visée de recherche. Ces différentes

⁶³ Les approches introspectives portant sur l'étude de ce qui apparaît à la conscience du sujet « en première personne » ont longtemps fait l'objet de critiques vives en psychologie. Cette étude demande des méthodes rigoureuses. Des méthodes « en seconde personne » telles que l'entretien d'explicitation ou l'auto-confrontation permettent d'accompagner les sujets dans la verbalisation de leur expérience vécue de documenter l'expérience pré-réfléchie (Piaget, 1974 ; Vermersch, 2000 ; 2012), la part de notre expérience ordinairement oblitérée par l'absorption de notre attention sur l'objet de l'activité. A chaque étape, la collecte et l'analyse des données impliquent la construction de catégories qui peuvent être partagées entre le sujet et le chercheur.

⁶⁴ Celui-ci est pour parti inspiré du programme de recherche technologique en formation des adultes (Durand, 2009), et en partage certains fondements théoriques et méthodologiques tout en s'en distinguant par d'autres fondements théoriques issus de la psycho/micro-phénoménologie, ainsi que les situations étudiées

recherches nous ont ainsi permis de forger des ancrages théoriques et méthodologiques nécessaires à l'étude de rôle de l'analogie dans l'apprentissage du point de vue du sujet.

Pour approfondir cette question, en premier lieu, il nous apparaît essentiel de porter une attention renouvelée à la dimension sensible de l'expérience vécue (the *sensual thread* selon Mc Carthy & Whith, 2007), jusque-là peu étudiée en situation d'apprentissage formelle⁶⁵ : comment le sujet est-il affecté au cours de la situation d'apprentissage ? comment cela participe-t-il à l'évocation d'expériences passées et à l'élaboration de connaissances nouvelles ? Comme le met en exergue Nemirovsky (2011)⁶⁶, la modification des états corporels associé à un sentiment épisodique (*episodic feelings*) semble contribuer au transfert analogique. Selon cet auteur, bien souvent, le seul aspect dont nous nous souvenons d'une situation passée est le sentiment qu'elle nous a laissé. Ce sentiment épisodique est caractérisé par une modification de l'état corporel associé à l'apparition d'une émotion, d'un sentiment qui constitue une ancre, une évocation réexpérimentée corporellement d'une situation vécue passée. Une étude de cas réalisée dans une situation d'apprentissage (investigation en physique) met en évidence l'apparition d'un tel sentiment épisodique chez une élève engendrant une modification des conduites perceptivo-motrices, puis la prise de conscience d'une analogie entre la situation vécue comme nouvelle et une situation passée. De notre point de vue, cette description d'un sentiment épisodique fait échos aux recherches sur le développement conceptuel dans une perspective incarnée (Versace, Padovan & Nevers, 2002 ; Brunel et al., 2016) : les connaissances en mémoire étant « enracinées » dans les états sensori-moteurs qui se constituent au cours de l'action, les tâches conceptuelles impliquent un « *re-enactment* » des états sensori-moteurs vécus dans des situations passées.

Dans le prolongement de ces recherches, les dimensions émotionnelles et sensibles de l'expérience vécue en situation d'apprentissage et leur rôle dans l'analogie mériteraient une étude plus approfondie. Cette voie nous paraît féconde pour mettre en lumière d'autres formes d'émergence des analogies, non étudiées jusque-là, ainsi que pour rendre compte des modifications des qualités de l'expérience sensible qu'elles engendrent et de l'influence de ces modifications sur les conduites sensori-motrices et la construction de signification par le sujet en situation. Pour investiguer ces questions, il nous paraît nécessaire d'articuler des approches en seconde et troisième personnes tels que des entretiens micro-phénoménologiques (Petitmangin, 2006) et une micro-analyse multimodale, (une analyse fine des mouvements, gestes, et expressions verbales du sujet en situation - à partir de vidéos). Néanmoins, une analyse d'épisodes isolés ne suffit pas à mettre en évidence le développement conceptuel. Suivant une approche micro-génétique de l'apprentissage, une analyse de la dynamique de l'expérience sur un empan temporel plus large est nécessaire pour mettre en évidence les micro-génèses qui se succèdent et qui contribuent au développement conceptuel.

A ce stade de nos recherches, cette attention particulière à l'expérience sensible est une étape en vue d'approfondir l'analyse des multiples génèses (expérientielles, instrumentales, conceptuelles, identitaires) à l'œuvre durant les épisodes d'individuation de l'expérience dans différentes situations d'apprentissage.

⁶⁵ ou restreintes à certaines disciplines telles que l'éducation physique et sportive, les arts plastiques ou « explorer le monde » en maternelle

Par ailleurs, si l'expérience est une unité d'analyse qui permet de rendre compte de l'activité du point de vue du sujet, une articulation avec une analyse extrinsèque de l'activité est de notre point de vue nécessaire afin d'étudier de la co-constitution de l'homme et de son environnement matériel. Cette articulation entre analyses intrinsèques et extrinsèques de l'activité sur différents empans temporels vise à caractériser ce qui se cristallise au cours de ce flux d'expérience. Il s'agit notamment de mettre en évidence *la matérialité* des transformations à l'œuvre au cours de ces genèses sur différents plans : les modifications des gestes et du répertoire d'action du sujet, des artefacts (instrumentalisation), l'élaborations d'inscriptions, etc.

En synthèse, nos recherches visent à rendre compte du caractère anthropologiquement constitutif de la technique en étudiant la dialectique entre appropriation et développement en situation d'apprentissage. Elles ouvrent de nombreuses perspectives telles que l'étude de l'ancrage matériel du développement conceptuel dans différents domaines, ou l'analyse des différentes genèses - expérimentelles, instrumentales, conceptuelles, identitaires - associées à l'activité instrumentée par les technologies numériques dans différentes situations d'apprentissage et sphères sociales.

Plus fondamentalement, ces recherches invitent à adopter un autre point de vue sur les situations d'apprentissage à l'école primaire, en étudiant les mécanismes d'apprentissage dans leur matérialité. Elles invitent également à adopter une approche holistique du développement afin d'analyser les dynamiques à l'œuvre en situation d'apprentissage, et de concevoir des dispositifs qui soutiennent le développement du sujet sur différents plans.

Bibliographie

- Ackermann, E. K. (2013). Microgenetic learning analysis: A methodology for studying knowledge in transition. *Human Development, 56*(1), 38.
- Ahn, W., Brewer, W. F., & Mooney, R. J. (1992). Schema acquisition from a single example. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 18*, 391-412.
- Ainsworth, S. & Loizou, A. T. (2003). The effects of selfexplaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science, 27*, 669-681.
- Akrich, M. (1998). Les utilisateurs, acteurs de l'innovation. *Éducation Permanente, 134*, 79-89.
- Aldunate, R., & Nussbaum, M. (2013). Teacher adoption of technology. *Computers in Human Behavior, 29*(3), 519-524.
- Amadiou, F., & Tricot, A. (2014). *Apprendre avec le numérique : mythes et réalités*. Paris :Retz.
- Aleven, V., & Koedinger, K. R. (2002). An Effective Meta-cognitive Strategy: Learning by Doing and Explaining with a Computer-Based Cognitive Tutor. *Cognitive Science, 26* (2), 147-179.
- Anderson, J.R., Boyle, C.F., Corbett, A.T., & Lewis, M.W. (1990). Cognitive modeling and intelligent tutoring. *Artificial Intelligence, 42*, 7-49.
- Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K., & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *The Journal of the Learning Sciences, 4*, 167–207.
- Anderson, J. R., Reder, L. M., & Simon, H. A. (1997). Situative versus cognitive perspectives: Form versus substance. *Educational researcher, 26*(1), 18-21.
- Audo, S. (2007). *Les sources de difficultés lors de la résolution de problèmes de division*. Mémoire de Master 2. Université Paris 8, Saint-Denis.
- Bakhtine, M. (1981). The dialogic imagination (M. Holquist, ed.). *Austin: University of Texas Press. (Original work published 1975)*.
- Bara, F., & Tricot, A. (2017). Le rôle du corps dans les apprentissages symboliques : apports des théories de la cognition incarnée et de la charge cognitive. *Recherches sur la philosophie et le langage, 33*, 219-249.
- Bassok, M. (2001). Semantic alignments in mathematical word problems. In D. Gentner, K. J. Holyoak, & B.N. Kokinov (Eds.) *The analogical mind: Perspectives from cognitive science* (pp. 401-433). Cambridge, MA: MIT Press.
- Bassok, M. (1990). Transfert of domain-specific problem-solving procedures. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 16*, 522-533.
- Bassok, M., Chase V.M., & Martin S.A (1998). Adding and Oranges: Alignment of Semantic and Formal Knowledge. *Cognitive Psychology 35*, 99-134.
- Bassok, M. & Holyoak, K.J. (1989). Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition. 15*, 153-166.

- Bassok, M., Wu, L.L., & Olseth, K.L. (1995). Judging a book by its cover: Interpretative effects of content on problem-solving transfer. *Memory and Cognition* (23), 354-367.
- Bastid, F., & Nogry, S. (2017). Élaboration des analogies en cours de mathématiques à l'école élémentaire. *Psychologie Française*, 62(4), 335-350.
- Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *The journal of the learning sciences*, 13(1), 1-14.
- Barcenilla, J., & Bastien, J. M. C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? *Le travail humain*, 72(4), 311-331.
- Baron, G.-L. (2014). Elèves, apprentissages et « numérique » : regard rétrospectif et perspectives. *Recherches En Éducation*, 18, 91–103.
- Baron, G.-L. & Bruillard, É. (2008). Technologies de l'information et de la communication et indigènes numériques : quelle situation ? *STICEF*, 15.
- Baron, G. L., & Bruillard, É. (2004). Quelques réflexions autour des phénomènes de scolarisation des technologies. In Pochon, L.-O. and Maréchal, A. *Entre technique et pédagogie. La création de contenus multimédia pour l'enseignement et la formation*, (pp.154-161), Neuchâtel : IRDP.
- Baron, G. L., & Boulc'h, L. (2012). Les technologies de l'information et de la communication à l'école primaire. État de question en 2011. *Revue de l'EPI*.
- Baron, G. L., & Drot-Delange, B. (2016). L'informatique comme objet d'enseignement à l'école primaire française? Mise en perspective historique. *Revue française de pédagogie*, 195(2), 51-62.
- Bationo-Tillon A. (2017). Chemin transitionnel – ouverture pluridisciplinaire pour une ergonomie développementale. *Habilitation à diriger des recherches*, Université Paris 8.
- Bationo-Tillon, A., & Decortis, F. (2016). Understanding museum activity to contribute to the design of tools for cultural mediation: new dimensions of activity? *Le travail humain*, 79(1), 53-70.
- Bationo-Tillon & Decortis, 2015. Point de vue systémique sur l'activité. In F. Decortis (Ed.) *L'ergonomie orientée enfants, concevoir pour le développement* (p. 187-214). Paris : PUF.
- Bationo-Tillon, A., & Rabardel, P. (2015). L'approche instrumentale : conceptualiser et concevoir pour le développement. In F. Decortis (Ed.) *L'ergonomie orientée enfants, concevoir pour le développement*, (pp. 111-146), Paris : PUF.
- Bationo-Tillon, A., Folcher, V., & Rabardel, P. (2010). Les instruments transitionnels: une proposition pour étudier la diachronie des activités narratives. *Activités*, 7(7-2).
- Baudrillard J. (1968). *Le système des objets*. Paris : Gallimard.
- Bautier E., & Goigoux R. (2004). Difficultés d'apprentissage, processus de secondarisation et pratiques enseignantes: une hypothèse relationnelle. *Revue française de pédagogie*, 148, 89-100.
- Becta (2005). E-safety: Developing whole school policies to support effective practice. Retrieved 30 December 2009 from www.becta.org.nz
- Bellanger M. (2013). L'utilisation d'ordinateurs portables en classe lors de la création d'un manga par des élèves de CE2 : étude de l'activité narrative au cours de cette activité pédagogique. *Mémoire de Master 1 en ergonomie*, Université Paris 8.

- Bennett, S., & Maton, K. (2010). Beyond the 'Digital Natives' Debate: Towards a More Nuanced Understanding of Students' Technology Experiences. *Journal of Computer Assisted Learning, 26*, 321–331.
- Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education, 58*(3), 978-988
- Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education, 72*, 145-157.
- Bereiter, C. (1995). A dispositional view of transfer. In A. McKeough, J. Lupart, & A. Marini (Eds.), *Teaching for transfer: Fostering generalization in learning* (pp. 21–34). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bétrancourt, M. (2007). L'ergonomie des TICE: quelles recherches pour quels usages sur le terrain. *Transformation des regards sur la recherche en technologie de l'éducation, 77-89*.
- Beveridge, M., & Parkins, E. (1987). Visual representation in analogical problem solving. *Memory & Cognition, 15*(3), 230-237.
- Béziat, J. (2003). Technologies informatiques à l'école primaire : de la modernité réformatrice à l'intégration pédagogique innovante : contribution à l'étude des modes d'inflexion, de soutien, d'accompagnement de l'innovation. *Thèse de doctorat, Paris 5*.
- Bielaczyc, K., Pirolli, P. & Brown, A.L. (1995). Training in self explanation and self-regulation strategies: investigating the effect of knowledge acquisition activities on problem solving. *Journal of Educational Psychology, 86*, 122-133.
- Boaler, J. (1998). Open and closed mathematics: Student experiences and understandings. *Journal for research in mathematics education, 41-62*.
- Bobillier-Chaumon, M. E., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? *Le travail humain, 72*(4), 355-382.
- Bond, E. (2014). *Childhood, mobile technologies and everyday experiences*. Basingstoke, UK: Palgrave MacmillanUK.
- Bonnéry S. (2007). *Comprendre l'échec scolaire. Élèves en difficultés et dispositifs pédagogiques*. Paris : La Dispute.
- Bransford, J., Brown, A. L., & Cocking, R. (Eds.). (1999). Learning and transfer. In National Research Council (Ed.) *How people learn: Brain, mind, experience, and school* (pp. 39–66). Washington, DC: National Academy Press.
- Brassac, C. (2006). Avant-Propos: Enaction, externalisme et internalisme, les modalités d'un débat. *Intellectica, 43*, 7-9.
- Brassac, C., Fixmer, P., Mondada, L., & Vinck, D. (2008). Interweaving objects, gestures, and talk in context. *Mind, Culture, and Activity, 15*(3), 208-233.
- Brissiaud, R. (1994). Teaching and development: solving "missing addend" problems using subtraction. *European Journal of Psychology of Education, 4*, 343-365.

- Brissiaud, R., & Sander, E. (2010). Arithmetic word problem solving: a Situation Strategy First framework. *Developmental Science*, 13(1), 92-107.
- Brown, A. L., & Campione, J. C. (1995). Concevoir une communauté de jeunes élèves. Leçons théoriques et pratiques. *Revue française de pédagogie*, 111(1), 11-33.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 32–42.
- Brown, C., & Czerniewicz, L. (2010). Debunking the ‘digital native’: beyond digital apartheid, towards digital democracy. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(5), 357-369.
- Brown, A.L., & Kane, M.J. (1988). Preschool children can learn to transfer: Learning to learn and learning from example. *Cognitive Psychology*, 20, 493-523.
- Bruillard, E. (1997). *Les machines à enseigner* Paris, Hermès.
- Bruillard, É., & Baron, G. L. (2006). Usages en milieu scolaire : caractérisation, observation et évaluation. In M. Grandbastien & J.M. LABAT (eds.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (p. 269-284). Paris : Lavoisier.
- Bruillard, E., & Villemonteix, F. (2013). Artefacts tactiles et mobiles en éducation. Introduction. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 20(1), 403-411.
- Brunel, L., Vallet, G.T., Riou, B.A., Rey, A., & Versace, R. (2015). Grounded conceptual knowledge: Emergence from sensorimotor interactions. In Y. Coello & M. Fischer (Eds.) *Foundations of Embodied Cognition*. Hove: Psychology Press.
- Bruno, S. (2009) Meaningful Learning and Analogizing : Some Cases in Physics. In B. Kokinov, K. Holyoak, D. Gentner (Eds.) *New Frontiers in Analogy Research* (p. 54-62). Sofia, New Bulgarian University Press.
- Bullinger, A. (2013). *Le développement sensori-moteur de l'enfant et ses avatars*. Paris : Erès.
- Cahour, B. (2010). Emotions, affects et confort comme nouveaux déterminants de l'activité et de l'usage. *Ergonomie, conception de produits et services médiatisés*, 273-305.
- Carbonell, J. G. (1983). Learning by analogy: Formulating and generalizing plans from past experience. In R. Michalsky, J. G. Carbonell, & T. M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An artificial intelligence approach*, Palo Alto, CA: Tioga Press.
- Carraher, D. W. (2008). Beyond “blaming the victim” and “standing in awe of noble savages” A response to “Revisiting Lave’s ‘Cognition in Practice.’” *Educational Studies in Mathematics*, 69, 23–32.
- Carraher, D., & Schliemann, A. D. (2002). The transfer dilemma. *The Journal of the Learning Sciences*, 11, 1–24.
- Carroll, J., Howard, S., Peck, J., et Murphy, J. (2002). A field study of perceptions and use of mobile telephones by 16 to 22 year olds. *Journal of Information Technology Theory and Application*, 4(2), 49-62.
- Cassier, J.L. (2006). Elaboration des tests d'évaluation du logiciel AMBRE-ADD. *Mémoire de master 1 en sciences cognitives*, Université Lyon 2.

- Catrambone, R. (1995). Aiding subgoal learning: Effect on transfers. *Journal of Educational Psychology*, 87, 5-17.
- Catrambone, R. (1996). Generalizing solution procedures learned from examples. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1020-1031.
- Catrambone, R., & Holyoak, K. J. (1989). Overcoming contextual limitation on problem-solving transfer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1147-1156.
- Cauzinille-Marmèche, E. & Didierjean, A. (1999). Raisonement par analogie et généralisation des connaissances, In G. Netchine-Grynberg (Ed.), *Développement et fonctionnement cognitif : vers une intégration*, Paris, Presses Universitaires de France, 125-152.
- Certeau, M. D. (1990). *L'invention du quotidien. 1. Arts de faire. Paris : Gallimard.*
- Chandler, P., & Tricot, A. (2015). Mind your body: The essential role of body movements in children's learning. *Educational Psychology Review*, 27,365–370.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive. A. Colin.*
- Chen, Z. (1999). Schema induction in children's analogical problem solving. *Journal of Educational Psychology*. 91(4), 703-715.
- Chen, Z., & Daehler, M. W. (1989). Positive and negative transfer in analogical problem solving by 6-year-old children. *Cognitive Development*, 4, 327-344.
- Chen, Z. & Mo, L. (2004). Schema induction in problem solving: A multidimensional analysis, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 583-600
- Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, R., Reimann, P.& Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems, *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M.T.H., De Leeuw, N., Chiu, M.H. & La Vancher, C. (1994). Eliciting Self-Explanations Improves Understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Clark, A. (1996). *Being there*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Clot, Y. (1999). De Vygotski à Léontiev via Bakhtine. Dans Y.Clot & J.P. Bronckart (eds.), *Avec Vygotski*, (pp.191-211) Paris : La dispute.
- Cobb, P., Boufi, A., McClain, K., & Whitenack, J. (1997). Reflective discourse and collective reflection. *Journal for research in mathematics education*, 258-277.
- Cobb, P., & Bowers, J. (1999). Cognitive and situated learning perspectives in theory and practice. *Educational researcher*, 28(2), 4-15.
- Conati C. & VanLehn K. (2000). Toward Computer-Based Support of Meta-Cognitive Skills: a Computational Framework to Coach Self-Explanation. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 389-415.
- Cook, S. W., & Goldin-Meadow, S. (2006). The role of gesture in learning: Do children use their hands to change their minds? *Journal of cognition and development*, 7(2), 211-232.
- Coquin-Viennot, D., & Moreau, S. (2003). Highlighting the role of the episodic situation model in the solving of arithmetical problems. *European Journal of Psychology of Education*, 18(3), 267-279.

- Crahay, M. (1987). Logo, un environnement propice à la pensée procédurale. *Revue française de pédagogie*, 80(1), 37-56.
- Craipeau, S., & Metzger, J. L. (2009). Distribution d'ordinateurs portables et réduction des inégalités numériques au collège. Dans F. Granjeon, B. Lelong & J.L. Metzger (eds.) *Inégalités numériques : clivages sociaux et modes d'appropriation des TIC*, (pp.193-221), Paris : Hermes Science – Lavoisier.
- Cros, F. (2009). Accompagner les enseignants innovateurs : une injonction ? *Recherche et formation*, 62, 39-50.
- Cuban, L. (1986). *Teachers and machines: The classroom use of technology since 1920*. Teachers College Press.
- Cuban, L. (2001). *Oversold and underused: Reforming schools through technology, 1980-2000*. Cambridge, MA: Harvard University.
- Cummins, D. (1992). Role of analogical reasoning in the induction of problem categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 5, 1103-1124.
- Cuvelier, L. (2016). Les dimensions collectives de l'appropriation : questionnement sur les liens entre développement des collectifs de métiers et développement des instruments. *TransFormations*, (12).
- Cuvelier, L. & Caroly, S. (2009). Appropriation d'une stratégie opératoire : un enjeu du collectif de travail, *Activités* 6(2), 57-74.
- Daguet & Wallet, Daguet, H., & Wallet, J. (2012). Du bon usage du «non-usage» des TICE. *Recherches & éducations*, 6, 35-53.
- Davis, F.D., Bagozzi, R.P., & Warshaw, P.R. (1989) User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982-1003.
- Decortis, F. (2013). L'activité narrative dans ses dimensions multi-instrumentée et créative en situation pédagogique. *Activités*, 10(1), 3-30.
- Decortis (Ed.) (2015a). *L'ergonomie orientée enfants, concevoir pour le développement*. Paris : PUF.
- Decortis, F. (2015b). Comprendre et conceptualiser l'activité narrative pour concevoir pour les enfants. In Decortis (Ed.) *L'ergonomie orientée enfants, concevoir pour le développement* (p.147-176). Paris : PUF.
- Decortis, F., Daele, L., Polazzi, L., Rizzo, A., & Saudelli, B. (2001). Nouveaux instruments actifs et activités narratives. *Revue d'interactions hommes-machines*, 2(2), 1-30.
- Decortis, F., Rizzo, A., & Saudelli, B. (2003). Mediating effects of active and distributed instruments on narrative activities. *Interacting with Computers*, 15(6), 801-830.
- Decortis F. & Nogry S., (2016). Projet PICRI UOPO – Usages et appropriation d'ordinateurs portables à l'école. Transfert de technologies et classes mobiles. *Rapport d'activité*, Université Paris 8.
- De Croock, M.B.M., van Merriënboer, J.J.G., & Paas, F.G.W.C. (1998). High vs. low contextual interference in simulation-based training of troubleshooting skills: Effects on transfer performance and invested mental effort. *Computers in Human Behaviour*, 14, 249–267.
- Delalande, J. (2006). Le concept heuristique de culture enfantine. In R. Sirota (Ed.), *Eléments pour une sociologie de l'enfance* (pp. 267-274). Rennes: PUR.

- Depover C., & Strebelle A. (1997). Un modèle et une stratégie d'intervention en matière d'intégration des TIC dans le processus éducatif, In L-O.Pochon, A. Blanchet (Eds.), *L'ordinateur à l'école : De l'introduction à l'intégration* (p. 73-98), Neuchâtel : IRDP.
- Depraz, N. (Ed.). (2014). *Première, deuxième, troisième personne*. Zeta books.
- Depraz, N., Varela, F. J., & Vermersch, P. (2011). *L'épreuve de L'expérience*. Paris, France: Zeta Books.
- De Toffoli, S., & Giardino, V. (2015). An inquiry into the practice of proving in low-dimensional topology. In *From Logic to Practice* (pp. 315-336). Springer, Cham.
- Dewey, J. (1934/2005). *L'Art comme expérience*. Paris : Gallimard.
- Dewey, J. (1938). *Education and experience*. New York: Simon and Schuster.
- Dieumegard, G., Nogry, S., Ollagnier-Beldame, M., & Perrin, N. (2019). Lived experience as a unit of analysis for the study of learning. *Learning, Culture and Social Interaction*, 100345.
- Didierjean, A (2001). Apprendre à partir d'exemples: Abstraction de règles et/ou mémoire d'exemplaires ? *L'Année Psychologique*, 101, 325-348.
- Didierjean, A. (2003). Is case-based reasoning a source of knowledge generalization ? *European Journal of Cognitive Psychology*, 15, 435-453.
- Didierjean, A. & Cauzinille-Marmèche, E. (1998). Reasoning by analogy : Is it schema mediated or case-based? *European Journal of Educational Psychology*, 13, 385-398.
- Didierjean, A., Cauzinille-Marmèche, E. & Savina, Y. (1999). Learning from examples: Case-based reasoning in chess for novices. *Current Psychology of Cognition*, 18, 337-361.
- Dillon, A., & Morris, M. G. (1996). *User acceptance of new information technology: theories and models*. Medford, NJ: Information Today.
- diSessa, A. A. (2014). The Construction of Causal Schemes: Learning Mechanisms at the Knowledge Level. *Cognitive Science*, 38(5), 795-850.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Reed, H., & Gravemeijer, K. (2010). The teacher and the tool: Instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom. *Educational Studies in mathematics*, 75(2), 213-234.
- Duclosson N. (2004). Représentation des connaissances dans l'EIAH AMBRE-add. In *Proceedings of international symposium TICE 2004*, Compiègne, 164-171.
- Dupuch, L., & Sander, E.. (2007). Apport pour les apprentissages de l'explicitation des relations d'inclusion de classes, *L'Année Psychologique*, 107 (4), 565–596.
- Dupuch, L., Bosc-Miné, C., & Sander, E. (2015). Évaluer les connaissances à l'école élémentaire à partir d'un réseau d'inclusion de classes. *Psychologie française*, 60(1), 17-34.
- Dupond P. (2001). *Le vocabulaire de Merleau-Ponty*. Paris : ellipses.
- Dupuy, J. P. (1999/2013). *Aux origines des sciences cognitives*. La découverte.
- Durand, M. (2008). Un programme de recherche technologique en formation des adultes. Une approche enactive de l'activité humaine et l'accompagnement de son apprentissage : développement. *Education et Didactique*, 2(2), 69-93.

- Durand M., Ria L., & Veyrunes P. (2010). Analyse du travail et formation : un programme de recherche empirique et technologique portant sur la signification et l'organisation de l'activité des enseignants. In F. Yvon & F. Saussez. *Analyser l'activité enseignante : des outils méthodologiques et théoriques pour l'intervention et la formation* (pp.17-40), Laval : Presses de l'Université de Laval.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine : registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Berne: Peter Lang.
- Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational studies in mathematics*, 61(1-2), 103-131.
- Ella Ondua T. (2019). Déploiement des ordinateurs XO et démarche du travail documentaire au sein d'une communauté d'enseignants de l'école d'Angalé au Cameroun. *Thèse de doctorat en sciences de l'éducation*, Université Cergy-Pontoise.
- Ella Ondoua T. & Nogry S. (2015). Déploiement des ordinateurs XO et dilemme des enseignants face à la gestion du temps scolaire dans les écoles expérimentales au Cameroun. *Frantice.net*, 11.
- Engle, R. A. (2006). Framing interactions to foster generative learning: A situative explanation of transfer in a community of learners classroom. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(4), 451-498.
- Engle R.A. (2012). The Resurgence of Research Into Transfer: An Introduction to the Final Articles of the Transfer Strand. *The journal of learning science*, 21, 347–352.
- Engle, R. A., Lam, D. P., Meyer, X. S., & Nix, S. E. (2012). How does expansive framing promote transfer? Several proposed explanations and a research agenda for investigating them. *Educational Psychologist*, 47(3), 215-231.
- Engle, R. A., Nguyen, P. D., & Mendelson, A. (2011). The influence of framing on transfer: Initial evidence from a tutoring experiment. *Instructional Science*, 39(5), 603-628.
- English, L.D. (1997). The development of fifth grade children's problem posing abilities. *Educational studies in Mathematics*. 34: 183-217.
- Ertmer, P. A. (1999). Addressing first-and second-order barriers to change: Strategies for technology integration. *Educational technology research and development*, 47(4), 47-61
- Ertmer, P. A. (2005). Teacher pedagogical beliefs: The final frontier in our quest for technology integration?. *Educational technology research and development*, 53(4), 25-39.
- Fagard, J., Rat-Fischer, L., Esseily, R., Somogyi, E., & O'Regan, J. K. (2016). What does it take for an infant to learn how to use a tool by observation? *Frontiers in psychology*, 7, 267.
- Fagard, J., & Lockman, J. J. (2010). Change in imitation for object manipulation between 10 and 12 months of age. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 52(1), 90-99.
- Falzon, P. (2013). Pour une ergonomie constructive. *Ergonomie constructive*, 1-15.
- Fischbein, E., (1989). Tacit models and mathematical reasoning, *For the Learning of Mathematics*, 9, 9-14.
- Fischer, M. H., & Coello, Y. E. (2016). *Foundations of embodied cognition: Conceptual and interactive embodiment*. Routledge/Taylor & Francis Group.

- Thievenaz, J. (2019). *Enquêter et apprendre au travail. Approcher l'expérience avec John Dewey*. Dijon : ed. Raison et passions.
- Fleer, M. (2011). Technologically constructed childhoods: Moving beyond a reproductive to a productive and critical view of curriculum development. *Australasian Journal of Early Childhood*, 36(1), 16.
- Fluckiger, C. (2008). L'école à l'épreuve de la culture numérique des élèves. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, 163, 51-61.
- Fluckiger C. (2010). *La culture numérique adolescente*. Les cahiers de l'Orme.
- Fluckiger, C. (2019). *Une approche didactique de l'informatique scolaire*. Presses universitaires de Rennes.
- Fluckiger, C., & Bart, D. (2012). L'introduction du B2i à l'école primaire: évaluer des compétences hors d'une discipline d'enseignement?. *Questions vives. Recherches en éducation*, 7(17), 71-87.
- Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités : perspective instrumentale. In P. Falzon (Ed.) *Ergonomie* (pp. 251-268). Paris : Presses Universitaires de France.
- Forcisi, L. A., & Decortis, F. (2018). Analyse de l'activité des enfants avec une interface tangible et narrative : un instrument au service de la créativité ? *ISTE OpenScience*
- Gallagher, S. (2009). Philosophical antecedents to situated cognition. In P. E., Robbins, & M. E. Aydede, *The Cambridge handbook of situated cognition* (pp. 35-52). New York: Cambridge University Press.
- Glaserfeld, E. V., & Ackermann, E. K. (2011). Reflections on the Concept of Experience and the Role of Consciousness. Unfinished Fragments. *Constructivist Foundations*, 6(2), 193-203.
- Gamo S., (2009). Rôle des effets de contenu dans la catégorisation des problèmes arithmétiques à plusieurs solutions : recodage sémantique et transfert de procédures. *Thèse de Doctorat, Université Paris 8*.
- Gamo, S., Nogry, S., & Sander, E. (2014). Apprendre à résoudre des problèmes en favorisant la construction d'une représentation alternative chez des élèves scolarisés en éducation prioritaire. *Psychologie française*, 59(3), 215-229.
- Gamo, S., Sander, E., & Richard, J. F. (2010). Transfer of strategy use by semantic recoding in arithmetic problem solving. *Learning and Instruction*, 20(5), 400-410.
- Gamo, S., Taabane, L., & Sander, E. (2011). Rôle de la nature des variables dans la résolution de problèmes additifs complexes. *L'année psychologique*, 111(4), 613-640.
- Gapenne O. (2007). Percevoir en acte. *Habilitation à diriger des recherches*, Université de Technologie de Compiègne.
- Gapenne, O. (2010). Kinesthesia and the construction of perceptual objects. In Stewart, J. R., Gapenne, O., & Di Paolo, E. A. (Eds.). (2010). *Enaction: Toward a new paradigm for cognitive science*. MIT Press.
- Gaudiello, I., & Zibetti, E. (2013). La robotique éducative: état des lieux et perspectives. *Psychologie française*, 58(1), 17-40.

- Gélis, J. M., & Villemonteix, F. (2015). Introduction des tablettes et enseignement des mathématiques à l'école primaire : schèmes d'usage professionnels et discours des enseignants. *Recherches en didactiques*, 19(1), 73-83.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning, In Vosniadou S. & Ortony A. (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp.199-241), New York, Cambridge University Press.
- Gentner, D., Holyoak, K. J., & Kokinov, B. N. (Eds.). (2001). *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*. MIT press.
- Gentner, D., Loewenstein, J., & Thompson, L. (2003). Learning and transfer: A general role for analogical encoding. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 393.
- Gentner, D., Toupin, C. (1986). Systematicity and surface similarity in the development of analogy. *Cognitive Science*, 10 (3), 277-300.
- Giardino, V. (2017). L'imagination manipulatoire en mathématique. *Bulletin d'Analyse Phénoménologique*.
- Giardino, V. (2016). Space and Action to Reason: from Gesture to Mathematics. In Veszelszki, Á., & Benedek, A. (Eds) *In the Beginning was the Image - The Omnipresence of Pictures: Time, Truth, Tradition*. (pp. 41-50), Peter Lang.
- Gibson, J. J., & Gibson, E. J. (1955). Perceptual learning: Differentiation or enrichment?. *Psychological review*, 62(1), 32.
- Gibson, J. J. (2014). *The ecological approach to visual perception: classic edition*. Psychology Press.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J.(1983). Schema induction and analogical transfer, *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Gick, M.L., & McGarry, S.J. (1992). Learning from mistakes: Inducing analogous solution failures to a source problem produces later successes in analogical transfer, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 623-639.
- Gick, M.L., & Paterson, K. (1992). Do contrasting examples facilitate schema induction and analogical transfer? *Canadian Journal of Psychology*, 46, 539-550.
- Givvin, K. B., Stigler, J. W., & Thompson, B. J. (2011). What community college developmental mathematics students understand about mathematics, Part II: The interviews. *The MathAMATYC Educator*, 2(3), 4-18.
- Goldstone, R. L., & Day, S. B. (2012). Introduction to new conceptualizations of transfer of learning. *Educational Psychologist*, 47(3), 149-152.
- Goldstone, R. L., & Wilensky, U. (2008). Promoting transfer by grounding complex systems principles. *The Journal of the Learning Sciences*, 17(4), 465-516.
- Goody, J. (1979). *La raison graphique. La domestication de la pensée sauvage*. Paris : éditions de minuit.
- Goody, J. (2007). *Pouvoirs et savoirs de l'écrit*. Paris : La dispute.

- Gourlet, P. (2018). Montrer le faire, construire l'agir. Une approche développementale de la conception mise en œuvre à l'école primaire. *Thèse de doctorat en ergonomie*, Université Paris 8.
- Goswami, U. (1992). *Analogical Reasoning in Children*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Goswami, U., & Brown, A. L. (1990). Melting chocolate and melting snowmen: Analogical reasoning and causal relations. *Cognition*, 35(1), 69-95.
- Granjon, F., Lelong, B., & Metzger, J. L. (2009). *Inégalités numériques. Clivages sociaux et modes d'appropriation des TIC* (pp. 254-). Hermes science, Lavoisier.
- Greeno, J. G. (1974). Hobbits and Orcs: Acquisition of a sequential concept. *Cognitive Psychology*, 6, 270-292.
- Greeno, J.G. & Riley, M.S. (1987). Processes and development of understanding. In Weinert F.E. & Kluwe R.H. (Eds.), *Metacognition, motivation and understanding*, (pp. 289-313). L. Erlbaum Associates.
- Greeno, J. G. (1997). On claims that answer the wrong questions. *Educational researcher*, 26(1), 5-17.
- Greeno, J. G. (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American psychologist*, 53(1), 5.
- Greeno, J. G. (2006). Authoritative, accountable positioning and connected, general knowing: Progressive themes in understanding transfer. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(4), 537-547.
- Greeno, J. G., Moore, J. L., & Smith, D. R. (1993). Transfer of situated learning. In D. K. Detterman & R. J. Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction* (pp. 99-167). Westport, CT, US: Ablex Publishing.
- Greeno, J. G., & van de Sande, C. (2007). Perspectival understanding of conceptions and conceptual growth in interaction. *Educational Psychologist*, 42(1), 9-23.
- Grugier O. & Nogry S. (en révision). Des objets programmables pour apprendre l'informatique à l'école primaire.
- Grugier, O. & Villemonteix, F. (2017). Apprentissage de la programmation à l'école par l'intermédiaire de robots éducatifs. Des environnements technologiques à intégrer. *Atelier : Apprentissage de la pensée informatique à EIAH 2017*, Strasbourg du 6 au 9 juin 2017.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2008). Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. Le cas des mathématiques. *Education et didactique*, 2(3), 7-33.
- Guin D. (1991). La notion d'opérateur dans une modélisation cognitive de la compréhension des problèmes additifs. *Math. Inf. Sci. Hum.* 113, 5-33.
- Guin-Duclosson, N. (1999). Syrclad : une architecture de solveurs de problèmes permettant d'explicitier des connaissances de classification, reformulation et résolution. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 13(2), 225-282.
- Guin-Duclosson N. (2004). Représentation des connaissances dans l'EIAH AMBRE-add. *Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et l'Industrie*, 21 octobre 2004, Compiègne (France), 164-171.

- Guin-Duclosson, N., Jean-Daubias, S. & Nogry, S. (2002). The AMBRE ILE: How to Use Case-Based Reasoning to Teach Methods. In *proceedings of International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'2002)*, Biarritz, France, Springer, 782-791.
- Guin-Duclosson, N., Jean-Daubias, S. & Nogry, S. (2007). Le projet AMBRE : utiliser un paradigme d'apprentissage fondé sur le RÀPC pour faire acquérir à des élèves une méthode de résolution de problèmes ». In , J. Renaud, B. Chebel-Morello, B. Fuchs, J. Lieber (Eds.) *Raisonnement à partir de cas 2 - surveillance, diagnostic et maintenance* (p. 203-226). Hermès-Lavoisier.
- Guir, R. (2002). *Pratiquer les TICE: former les enseignants et les formateurs à de nouveaux usages*. De Boeck Supérieur.
- Harel, I. E., & Papert, S. E. (1991). *Constructionism*. Ablex Publishing.
- Hatano, G., & Greeno, J. G. (1999). Commentary: Alternative Perspectives on Transfer and Transfer Studies. *International Journal of Educational Research*, 31(7), 645-54.
- Haspekian, M. (2014). Teachers' instrumental geneses when integrating spreadsheet software. In *The mathematics teacher in the digital era* (pp. 241-275). Springer, Dordrecht.
- Haute couverture, J.-C., Grégori, N., Brassac, Ch. (2007). Appropriation d'une plate-forme de Coopération par des enfants en cadre scolaire. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 57(1), 1-16.
- Havelange, V. (2010). Action, empathie et motivation dans la phénoménologie husserlienne : implications pour les sciences et technologies cognitives. *Intellectica*, 53-54, 195-232.
- Havelange, V., Lenay, C., & Stewart, J. (2003). Les représentations : mémoire externe et objets techniques. *Intellectica*, 35, 115-131.
- Heurtier S. (2012). Quelle appropriation par les enseignants d'un nouvel instrument, l'ordinateur portable ? *Mémoire de master recherche en éducation (REDEF)*, Université Cergy-Pontoise.
- Holloway, D., Green, L. and Livingstone, S. (2013). *Zero to eight. Young children and their internet use*. LSE, London: EU Kids Online.
- Holyoak, K.J. (1984). Analogical thinking and human intelligence. In R. J. Sternberg (ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*, (2), Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Holyoak, K. J., Junn, E. N., & Billman, D. (1984). Development of analogical problem-solving skill. *Child Development*, 55, 2042-2055.
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction, *Cognitive Science*, 13, 295-355.
- Hofstadter, D., & Sander, E. (2013). *L'Analogie, cœur de la pensée*. Paris : Odile Jacob.
- Hoyles, C., Noss, R., & Pozzi, S. (2001). Proportional reasoning in nursing practice. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(1), 4-27.
- Hummel, J. K., & Holyoak, K. J. (1997). Distributed representations of structure: A theory of analogical access and mapping, *Psychological Review*, 104, 427-466.
- Hutchins, E. (1995a). *Cognition in the Wild*. MIT press.
- Hutchins, E. (1995b). How a cockpit remembers its speeds. *Cognitive science*, 19(3), 265-288.

- Hutchins, E. (2005). Material anchors for conceptual blends. *Journal of pragmatics*, 37(10), 1555-1577.
- Inhelder, B., Cellérier, G., Ackermann, E., Blanchet, A., Boder, A., De Caprona, D., & Karmiloff-Smith, A. (1992). *Le cheminement des découvertes de l'enfant : recherche sur les microgenèses cognitives*. Delachaux et Niestlé SA.
- Jean, S. (2000). Application de recommandations ergonomiques : spécificités des EIAO dédiés à l'évaluation. In *Actes des Rencontres Jeunes Chercheurs en IHM 2000*, 39-42.
- Jean-Daubias, S. (2000). Un système d'assistance au diagnostic de compétences en algèbre élémentaire, *Revue Sciences et techniques éducatives, Hermès*, 9 (1-2), 171-200.
- Jouët, J. (2000). Retour critique sur la sociologie des usages. *Réseaux. Communication-Technologie-Société*, 18, 487-521.
- Julien, M., Rosselin, C., & Warnier, J. (2009). "Subjectivité", "subjectivation", "sujet": dialogue. In Julien M.-P. & Rosselin C. (éds.). *Le sujet contre les objets... tout contre. Ethnographies de cultures matérielles*, (pp. 111-166), Paris, Comité des travaux historiques et scientifiques.
- Julien, M. P., & Rosselin, C. (dir) (2009). *Pour une anthropologie du matériel. Le sujet contre les objets... tout contre: Ethnographies de cultures matérielles*. Paris: CTHS.
- Kaptelinin, V. et Nardi, B. (2006). *Acting with Technology: Activity Theory and Interaction Design*. Cambridge: MIT Press.
- Kahrs, B. A., & Lockman, J. J. (2014). Building tool use from object manipulation: A perception–action perspective. *Ecological Psychology*, 26(1-2), 88-97.
- Kahrs, B. A., Jung, W. P., & Lockman, J. J. (2014). When does tool use become distinctively human? Hammering in young children. *Child development*, 85(3), 1050-1061.
- Kazakoff, E. R., Sullivan, A., & Bers, M. U. (2013). The effect of a classroom-based intensive robotics and programming workshop on sequencing ability in early childhood. *Early Childhood Education Journal*, 41(4), 245-255.
- Keane, M. (1985). On drawing analogies when solving problems: A theory and test of solution generation in an analogical problem-solving task. *British Journal of Psychology*, 76(4), 449-458.
- Khaneboubi, M. (2009). Description de quelques caractéristiques communes aux opérations de dotations massives en ordinateurs portables en France. *STICEF* (16).
- Kirsh, D. (2009). Problem solving and situated cognition. In P.E. Robbins, & M.E. Aydede (Eds), *The Cambridge handbook of situated cognition* (pp. 264-306). New York: Cambridge University Press.
- Kirsh, D. (1995). Complementary strategies: Why we use our hands when we think. In *Proceedings of the seventeenth annual conference of the cognitive science society* (pp. 212-217).
- Kirsh, D., & Maglio, P. (1994). On distinguishing epistemic from pragmatic action. *Cognitive science*, 18(4), 513-549.
- Kleine, D., Hollow, D., & Poveda, S. (2014). *Children, ICT and Development: Capturing the potential, meeting the challenges*. Florence: UNICEF Office of Research-Innocenti.
- Kolodner, J. (1993) *Case-Based Reasoning*, San Mateo, Morgan Kaufman Publishers.

- Komis, V. & Misirli A. (2015). Etude des processus de construction d'algorithmes et de programmes par les petits enfants à l'aide de jouets programmables. In Drot-Delange B., Baron G.-L. & Bruillard E., *Informatique en éducation : perspectives curriculaires et didactiques*. Clermont-Ferrand : Presses Universitaires Blaise-Pascal.
- Kraemer, K. L., Dedrick, J., & Sharma, P. (2009). One laptop per child: vision vs. reality. *Communications of the ACM*, 52(6), 66-73.
- Kurtz, K. J., Miao, C. H., & Gentner, D. (2001). Learning by analogical bootstrapping. *The Journal of the Learning Sciences*, 10(4), 417-446.
- Kurtz, K. J., & Loewenstein, J. (2007). Converging on a new role for analogy in problem solving and retrieval: When two problems are better than one. *Memory & cognition*, 35(2), 334-341.
- Lagrange, Jean-Baptiste (dir.). (2013). Les technologies numériques pour l'enseignement. Usages, dispositifs et genèses. Toulouse : Octares.
- Lahire, B. (2019). *Enfances de classe. De l'inégalité parmi les enfants*. Paris : Seuil.
- Lahire, B. (2001). La construction de l'«autonomie» à l'école primaire: entre savoirs et pouvoirs. *Revue française de pédagogie*, 135(1), 151-161.
- Lahire, B. (1998). *L'homme pluriel*. Paris: Armand collin.
- Lahoual D. (2017). Conceptualiser les activités constructives et le développement du sujet capable. Le cas de la médiation à l'art orientée jeune public. *Thèse de doctorat en ergonomie*. Université Paris 8.
- Lahoual, D., Bationo-Tillon, A., & Decortis, F. (2015). Articuler les logiques intrinsèques du médiateur culturel et du jeune public en situation de visite muséale. Une proposition pour concevoir des offres muséales adaptées aux visiteurs et aux professionnels de la médiation. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (17-2).
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1981/1985). *Les métaphores dans la vie quotidienne*. Paris : Les éditions de minuit.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy In the Flesh: The Embodied Mind And Its Challenge To Western Thought*. New York, NY: Basic Books.
- Lakoff, G., & Nunez, R. (2000). *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. New York: Basic Books.
- Larkin, K. (2012). You Use! I Use! We Use! Questioning the Orthodoxy of One-to-One Computing in Primary Schools. *Journal of Research on Technology in Education*, 44(2), 101-120.
- Larkin, K., et Finger, G. (2011). Netbook Computers as an Appropriate Solution for 1:1 Computer Use in Primary Schools. *Australian Educational Computing*, 26(1), 27-34.
- Latour, B. (1993). *Petites leçons de sociologie des sciences*. Paris : La découverte.
- Lautrey J., Mazoyer B. & van Geert P. (2002). *Invariants et variabilités dans les sciences cognitives*. Paris : Editions de la Maison des sciences de l'homme.
- Lautrey, J., Rémi-Giraud, S., Sander, E., & Tiberghien, A. (2008). *Les connaissances naïves*. Paris : Armand Colin.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice: Mind, mathematics and culture in everyday life*. Cambridge University Press.

- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge university press.
- Le Foulgoc A. (2018). L'éducation des enfants de 6 à 11 ans aux cultures numériques : enquête exploratoire dans deux ateliers de création artistique numérique du secteur socioculturel. *Mémoire de master recherche en éducation (REDEF)*, Université Cergy-Pontoise.
- Lenay, C. (2006). Enaction, externalisme et suppléance perceptive. *Intellectica*, 43, 27-52.
- Lenay C., Stewart J. et Gapenne, O. (2002). Espace d'action technique et geste perceptif, in B. Bril et V. Roux (éds.), *Le geste technique : réflexions méthodologiques et anthropologiques*, *Revue d'Anthropologie des connaissances*, 14, 215-230.
- Leroi-Gourhan, A. (1964). *Le geste et la parole*. Paris : Albin Michel.
- Livingstone, S., Haddon, L., Géorzig, A., & Olafsson, K. (2011). *Risks and safety on the Internet: The perspective of European children: Full findings and policy implications from the EU Kids Online survey of 9–16 year olds and their parents in 25 countries*. EU Kids Online Network Report. Retrieved from <http://eprints.lse.ac.uk/33731>.
- Livingstone, S., Mascheroni, G., Dreier, M., Chaudron, S. and Lagae, K. (2015). *How parents of young children manage digital devices at home: The role of income, education and parental style*. London: EU Kids Online, LSE.
- Lobato, J. (2006). Alternative perspectives on the transfer of learning: History, issues, and challenges for future research. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(4), 431-449.
- Lobato, J., & Ellis, A. B. (2002a). An analysis of the teacher's role in supporting students' connections between realistic situations and conventional symbol systems. *Mathematics Education Research Journal*, 14(2), 99–120.
- Lobato, J., & Ellis, A. B. (2002b). The focusing effect of technology: Implications for teacher education. *Journal of Technology and Teacher Education*, 10(2), 297–314.
- Lobato, J., Ellis, A. B., & Muñoz, R. (2003). How “focusing phenomena” in the instructional environment afford students' generalizations. *Mathematical Thinking and Learning*, 5(1), 1–36.
- Lobato, J., & Siebert, D. (2002). Quantitative reasoning in a reconceived view of transfer. *Journal of Mathematical Behavior*, 21(1), 87–116.
- Lockman, J. J. (2000). A perception–action perspective on tool use development. *Child development*, 71(1), 137-144.
- Loewenstein, J., & Gentner, D. (2001). Spatial mapping in preschoolers: Close comparisons facilitate far mappings. *Journal of Cognition and Development*, 2(2), 189-219.
- Loewenstein, J., Thompson, L., & Gentner, D. (1999). Analogical encoding facilitates knowledge transfer in negotiation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(4), 586-597.
- Long, J. (2000). Psychologie cognitive et ergonomie cognitive, deux approches des systèmes complexes. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 14, 13-34.
- Maglio, P. P., Matlock, T., Raphaely, D., Chernicky, B., & Kirsh, D. (1999). Interactive skill in Scrabble. In *Proceedings of the twenty-first annual conference of the cognitive science society* (pp. 326-330). Routledge.

- Marquet, P. (2012). Les non-usages des TIC: modélisations, explications, remédiations. *Recherches & éducatives*, 6, 11-14.
- Martins, M.D., Haun, D., & Wilfing, H. (2015). Social norm change in the context of a development assistance project in Madagascar. *Joining Forces of Philosophy and the Empirical Sciences to Tackle Social Injustices*, Nottingham, UK, June 29–30.
- Marton, F. (2006). 'Sameness and Difference in Transfer', *Journal of the Learning Sciences*, 15(4), 499 - 535.
- Maturana, H. (2000). The nature of the laws of nature. *Systems Research and Behavioral Science*, 17(5), 459-468.
- Maturana H.R. & Varela F J. (1980). *Autopoiesis and Cognition*, D. Reidel Publishing Company.
- Mauss, M. (1948/2004). Les techniques et la technologie. *Revue du MAUSS*, 23(1), 434-450.
- McCarthy, J., & Wright, P. (2007). *Technology as experience*. MIT press.
- Mendoza, A., Carroll, J. et Stern, L. (2010). Software appropriation over time: from adoption to stabilization and beyond. *Australian Journal of Information Systems*. 16(2), 5-23.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Paris : Gallimard.
- Mead, G. H. (1934). *Mind, self and society from the standpoint of a social behaviorist*. Chicago: University Chicago Press.
- Michalsky, R. S. (1983). Theory and methodology of inductive learning. In R. S. Michalsky, J. G. Carbonell, & T. M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An artificial intelligence approach*. Palo Alto, CA: Tioga Press.
- Millerand, F. (2002). La dimension cognitive de l'appropriation des artefacts communicationnels. Dans Jauréguiberry, F. et Proulx, S. (dir.), *Internet : nouvel espace citoyen* (p.181-203). Paris : L'Harmattan.
- Minsky M. A. (1975). Framework for Representing Knowledge. In P. Winston (ed), *The psychology of computer vision*, (pp. 211–277), New York, McGraw-Hill.
- Mondada, L. (2006). Video recording as the preservation of fundamental features for analysis. In H. Knoblauch, J. Raab, H. -G. Soeffner, & B. Schnettler (Eds.), *Video analysis*. Bern: Peter Lang Publishing.
- Mottier-Lopez, L. M. (2008). *Apprentissage situé : la microculture de classe en mathématiques*. Peter Lang.
- Mouchet, A. (2018). *L'expérience subjective en recherche et en formation*. Presses universitaires du Septentrion.
- de Moura Braga E. (2003), Détection de stratégies d'essai-erreur dans l'EIAH AMBRE-add. *Mémoire de master 1 de Psychologie différentielle*, Université Lyon 2.
- Nemirovsky, R. (2011). Episodic feelings and transfer of learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 20(2), 308-337.
- Neuman, Y., & Schwarz, B.B. (1998). Is self-explanation while solving problems helpful? The case of analogical problem solving. *British Journal of Educational Psychology*, 68, 15–24.

- Nielsen, J., & Landauer, T. K. (1993, May). A mathematical model of the finding of usability problems. In *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems* (pp. 206-213). ACM.
- Nicolas, S. (1996). L'apprentissage implicite : le cas des grammaires artificielles. *L'Année Psychologique*, 96, 459-493.
- Nogry, S. (2005). Faciliter l'apprentissage à partir d'exemples en situation de résolution de problèmes - Application au projet AMBRE. *Thèse de doctorat en Sciences de la cognition*, Université Lyon 2.
- Nogry, S. (2019). Robotique pédagogique à l'école primaire: quelle activité des élèves de Classe Préparatoire (6-7 ans) et quels apprentissages dans une séquence conçue par l'enseignant? *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 13(1), 93-110.
- Nogry S. (en préparation). Faire siennes différentes techniques et devenir auteur de sa danse : entre appropriation et subjectivation expérience vécue par des danseurs en formation. *Mémoire de master Art de la danse*, Université Paris 8.
- Nogry S. & Decortis F. (2015). OLPC, un ordinateur par enfant, mythe et réalités. In Decortis (ed.) *L'ergonomie orientée enfant : concevoir pour le développement*. Paris : PUF.
- Nogry S., Bellanger M., Prévot-Carpentier M. & Decortis F. (2019). Créer un manga en classe à l'aide d'un environnement numérique - Etude de l'activité narrative dans sa dimension multi instrumentée. *Revue enfance*, 2(2), 155-180.
- Nogry, S., Decortis, F., Sort, C. & Heurtier, S. (2013). Apports de la théorie instrumentale à l'étude des usages et de l'appropriation des artefacts mobiles tactiles à l'école. *Sticef.org*, 20.
- Nogry, S., Guin-Duclosson, N. & Jean-Daubias S. (2008). Ambre-add : an ITS using Case-Based Reasoning Cycle to Teach Solving Arithmetic Word Problems. *Technology, Interaction, Cognition and learning*, 6(1), 53-61.
- Nogry, S., Jean-Daubias S. & Duclosson N. (2004). ITS evaluation in classroom : the case of the Ambre ITS. *Intelligent Tutoring Systems, ITS 2004, Springer ed., Maceio, Brasil*, p.511-520.
- Nogry, S., Jean-Daubias S. & Duclosson N. (2006). Leçons tirées de la conception de AMBRE-add : Comment combiner les objectifs et méthodes d'évaluation pour la conception itérative des EIAH ? *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 13.
- Nogry S. & Sort C. (2016). Le temps de l'appropriation d'une classe mobile à l'école primaire. *Distance et Médiation aux savoirs*. 16.
- Nogry S., Sort C., et Decortis F. (2016). Usage et appropriation d'une classe mobile à l'école primaire. L'éclairage de la théorie instrumentale. Dans Béziat J. et Villemonteix F. (dir.) *L'école primaire et les technologies informatisées : des enseignants face aux TICE* (p. 59-96). Lille : Septentrion.
- Nogry S. & Spach M. (soumis). Des objets pour apprendre l'informatique à l'école primaire, une activité multi-instrumentée.
- Nogry S. & Varly P. (2018). Everyday laptop use by children in southern country : a mixed method approach. *Journal of research on technology in education*, 50(1), 18-33.

- Noss, R., & Hoyles, C. (1996). *Windows on mathematical meanings: Learning cultures and computers*. Springer Science & Business Media.
- Novick, L. R. (1988). Analogical transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 14(3), 510-520.
- Novick, L. R., & Bassok, M. (2005). Problem solving. *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*, 137, 320-350.
- Novick, L. R., & Holyoak, K. J. (1991). Mathematical problem solving by analogy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 398-415.
- Nyebe, S. (en préparation). Effets des usages des ordinateurs XO sur les pratiques pédagogiques à l'école primaire au Cameroun : le cas de l'école publique d'application d'Angale. *Thèse de doctorat en sciences de l'éducation*, Université Cergy-Pontoise.
- O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and brain sciences*, 24(5), 939-973.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122-133.
- Palinscar, A. S., & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and instruction*, 1(2), 117-175.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, Inc.
- Parnafes, O. & diSessa (2013). Microgenetic learning analysis: A methodology for studying knowledge in transition. *Human Development*, 56(1), 5-37.
- Pastré, P. (2005). La conception de situations didactiques à la lumière de la théorie de la conceptualisation dans l'action. Dans Pierre Rabardel & Pierre Pastré (dir.). *Modèles du sujet pour la conception : dialectiques, activités, développement* (p. 73-107). Toulouse: Octarès.
- Pastré P. (2011). *La didactique professionnelle. Approche anthropologique du développement chez les adultes*. Paris : PUF.
- Penuel, W. R. (2006). Implementation and effects of one-to-one computing initiatives: A research synthesis. *Journal of research on technology in education*, 38(3), 329-348.
- Perrin N. (2010). Les connaissances d'un point de vue éactif : des distinctions d'ordre différents expérimentées à l'état naissant. *Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Université de Genève, septembre 2010.
- Perrin, N., & Vanini De Carlo, K. (2016). L'événementialisation comme co-construction des connaissances : esquisse d'une multi-méthode issue de l'analyse de l'activité et de l'analyse narrative. *Raisons éducatives*, 251-271.
- Perrin-Glorian, M. J. (1993). Questions didactiques soulevées à partir de l'enseignement des mathématiques dans des classes «faibles». *Recherches en didactique des mathématiques*, 13(1-2), 15-118.
- Petersen, A. L., & Bunting, L. (2012). Pedagogical use of laptops in a one-to-one environment in a Swedish primary school. *Contemporary Educational Technology*, 3(4), 249-264.

- Petitmengin, C. (2017). Enaction as a lived experience: Towards a radical neurophenomenology. *Constructivist Foundations*, 12(2), 139-147.
- Petitmengin, C., Remillieux, A., Cahour, B., & Carter-Thomas, S. (2013). A gap in Nisbett and Wilson's findings? A first-person access to our cognitive processes. *Consciousness and cognition*, 22(2), 654-669.
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- Piaget, J. (1937). *La Construction du réel chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- Piaget J. (1974). *La prise de conscience*. Paris : PUF.
- Plowman, L. (2015). Researching young children's everyday uses of technology in the family home. *Interacting with Computers*, 27(1), 36-46.
- Poizat, G. ; Salini, D. & Durand, M. (2013). Approche enactive de l'activité humaine, simplicité et conception de formations professionnelles. *Education Sciences & Society*, 4, 97-112.
- Polman J.L. (2006) Mastery and Appropriation as Means to Understand the Interplay of History Learning and Identity Trajectories. *The Journal of the Learning Sciences*, 15 (2), 221-259.
- Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants. *On the horizon*, 9(5).
- Prévot-Carpentier, M. (2017). L'activité instrumentée par les outils numériques des élèves d'une classe de CE1-CM2. *Rapport d'activité à destination des acteurs*. Université Paris 8.
- Proffitt, D. R. (2006). Distance perception. *Current Directions in Psychological Science*, 15(3), 131-135.
- Proulx, S. (2015). La sociologie des usages, et après ? *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 6.
- Proulx, S. (2009). Quelle posture critique à l'ère du numérique ? In F. Granjon, B., Lelong, J.L., Metzger, (Eds.), *Inégalités numériques. Clivages sociaux et modes d'appropriation des TIC*. (p. 251-254) Paris : éditions Hermès Science/Lavoisier.
- Proulx, S. (2005). Penser les usages des TIC aujourd'hui : enjeux, modèles, tendances. *Enjeux et usages des TIC : aspects sociaux et culturels*, 1, 7-20.
- Proulx, S. (2002). Trajectoires d'usages des technologies de communication : les formes d'appropriation d'une culture numérique comme enjeu d'une « société du savoir ». *Annales des télécommunications* 57 (3-4), 180-189.
- Proulx, S. (1987). Savoirs et savoir-faire en micro-informatique : vers l'appropriation d'une nouvelle culture ? *Communication. Information Médias Théories*, 8(3), 44-55.
- Quilici, J.L., & Mayer, R.E. (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology*, 88, 144-161.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Rabardel, P. (2005). Instrument subjectif et développement du pouvoir d'agir. Dans Rabardel Pierre & Pastré Pierre (dir.). *Modèles du sujet pour la conception : dialectiques, activités, développement* (p. 11-29). Toulouse : Octarès.
- Rabardel, P., & Bourmaud, G. (2003). From computer to instrument system: a developmental perspective. *Interacting with computers*, 15(5), 665-691.

- Radford, L. (2006). The anthropology of meaning. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1-2), 39-65.
- Radford, L. (2009). Why do gestures matter? Sensuous cognition and the palpability of mathematical meanings. *Educational Studies in Mathematics*, 70(2), 111-126.
- Radford, L. (2011). Vers une théorie socioculturelle de l'enseignement-apprentissage : La théorie de l'objectivation. *Éléments*, 1, 1-27.
- Reed, S. K., Dempster, A., & Ettinger, M. (1985). Usefulness of analogous solutions for solving algebra word problems. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11(1), 106.
- Reed, S. K. (1993). A schema-based theory of transfer. In D. K. Detterman & R. J. Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction* (pp. 39-67). Westport, CT, US: Ablex Publishing.
- Reeves, L.M., & Weisberg, R.W. (1994). The role of content and abstract information in analogical transfer. *Psychological Bulletin*, 115, 381-400.
- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*, 21, 1-29.
- Renkl, A. (2002). Worked-out examples: instructional explanations support learning by self-explanations. *Learning and instruction* 12, 529-556.
- Reuter, Y., & Penloup, M. C. (2001). Les pratiques extrascolaires de lecture et d'écriture des élèves. *Repères-Institut national de recherche pédagogique*, (23).
- Richier A. (2006). Evaluation comparative du logiciel AMBRE-ADD. *Mémoire de master 1 en sciences cognitives*, Université Lyon 2.
- Richland, L.E. (2015). Cross-cultural differences in linking gestures during instructional analogies. *Cognition and Instruction*, 33(4), 295-321.
- Richland, L. E. & Begolli, K.N. (2016). Analogy and higher-order thinking: Learning mathematics as an example. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(2), 160–168.
- Richland, L. E., Holyoak, K. J., & Stigler, J. W. (2004). Analogy use in eighth-grade mathematics classrooms. *Cognition and instruction*, 22(1), 37-60.
- Richland, L. E., & McDonough, I. M. (2010). Learning by analogy: Discriminating between potential analogs. *Contemporary Educational Psychology*, 35(1), 28-43.
- Richland, L. E., Morrison, R. G., & Holyoak, K. J. (2006). Children's development of analogical reasoning: Insights from scene analogy problems. *Journal of experimental child psychology*, 94(3), 249-273.
- Richland, L. E., Seigler, J. W., Holyoak, K. J. (2012). Teaching the conceptual structure of mathematics. *Educational Psychologist*, 47(3), 189-203.
- Richland, L.E., Zur, O., & Holyoak, K. (2007). Cognitive supports for Analogies in the mathematics classroom. *Science*, 316, 1128-1129.
- Rinaudo, J. L., & Delalande, P. (2008). Des adolescents et des ordinateurs portables au collège. *Carrefours de l'éducation*, 25(1), 127-138.
- Rinaudo J.L. (2012). Approche subjective du non-usage. *Recherches & éducations*, 6, 89-103.

- Rittle-Johnson, B., & Star, J. R. (2007). Does comparing solution methods facilitate conceptual and procedural knowledge? An experimental study on learning to solve equations. *Journal of Educational Psychology, 99*(3), 561.
- Rittle-Johnson, B., & Star, J. R. (2009). Compared with what? The effects of different comparisons on conceptual knowledge and procedural flexibility for equation solving. *Journal of Educational Psychology, 101*(3), 529.
- Rittle-Johnson, B., Star, J. R., & Durkin, K. (2009). The importance of prior knowledge when comparing examples: Influences on conceptual and procedural knowledge of equation solving. *Journal of Educational Psychology, 101*(4), 836.
- Rizzo, A. (2015). Les artefacts d'origine humaine. In F. Decortis (Ed.) *L'ergonomie orientée enfants, concevoir pour le développement* (p. 219-245). Paris : PUF.
- Robert, A. & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies, 2*, 505-528.
- Robbins, P. E., & Aydede, M. E. (Eds) (2009). *The Cambridge handbook of situated cognition*. New York: Cambridge University Press.
- Rogalski, J. (2015). Psychologie de la programmation, didactique de l'informatique déjà une histoire... In B. Drot-Delange, G.-L. Baron & E. Bruillard (Eds.), *Informatique en éducation : perspectives curriculaires et didactiques*. Clermont-Ferrand : Presses Universitaires Blaise-Pascal.
- Rogoff, B. (2003). *The cultural nature of human development*. Oxford university press.
- Rogoff, B. (2008). Observing sociocultural activity on three planes: Participatory appropriation, guided participation, and apprenticeship. *Pedagogy and practice: Culture and identities, 58-74*.
- Romano, C. (1998). *L'événement et le monde*. Paris: PUF.
- Ross, B.H. (1984). Reminders and their effects in learning a cognitive skill. *Cognitive Psychology, 16*, 371-416.
- Ross, B.H. (1987). This is like that: The use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 13*, 629-639.
- Ross, B.H., & Kennedy, P.T. (1990). Generalizing from the use of earlier examples in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 16*, 42-55.
- Ross, B. H., & Kilbane, M. C (1997). Effects of principle explanation and superficial similarity on analogical mapping in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 23*, 427-440.
- Saenz-Ludlow, A., & Presmeg, N. (2006). Guest editorial semiotic perspectives on learning mathematics and communicating mathematically. *Educational Studies in Mathematics, 61*(1), 1-10.
- Salaway, G., Caruso, J. B., & Nelson, M. R. (2008). The ECAR study of undergraduate students and information technology. *Boulder, CO: EDUCAUSE Center for Applied Research*. <http://www.csplacement.com/downloads/ECAR-ITSkliisstudy.pdf>
- Samurçay, R., & Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. *Recherches en didactique professionnelle, 163-180*.

- Sanchez, É., & Monod-Ansaldi, R. (2015). Recherche collaborative orientée par la conception. Un paradigme méthodologique pour prendre en compte la complexité des situations d'enseignement-apprentissage. *Éducation et didactique*, 9(2), 73-94.
- Sander, E. (2000). *L'analogie, du naïf au créatif*, Paris, l'Harmattan.
- Sander, E. (2008). De l'analogie aux inférences portées par les connaissances. *Habilitation à diriger des recherches*, Université Paris 8.
- Sander, E. (2008). Les connaissances naïves en mathématiques. In Lautrey, J., Rémi-Giraud, S., Sander, E., & Tiberghien, A. (Eds.). *Les connaissances naïves*. Paris : Armand Colin.
- Sander, E., Levrat, B., Brissiaud, R., Porcheron, P., & Richard, R. (2003). Conceptualisation et propriétés sémantiques des situations dans la résolution de problèmes arithmétiques : *rapport d'étape*. *Ministère de la Recherche ; appel d'offre 2002 Ecole et Sciences Cognitives : les apprentissages et leurs dysfonctionnements*.
- Schank, R.C., & Abelson R.P. (1977). *Scripts, plans, goals, and understanding: An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum.
- Schenke, K., & Richland, L. E. (2017). Preservice teachers' use of contrasting cases in mathematics instruction. *Instructional Science*, 45(3), 311-329.
- Schneider, É. (2011). L'écriture des adolescents : une démarche ethnographique pour rendre compte de la spatialisation des pratiques. *Carnets de géographes*, (3).
- Schneuwly, B. (1987). Les capacités humaines sont des constructions sociales. Essai sur la théorie de Vygotsky. *European Journal of Psychology of Education*, 1(4), 5.
- Selwyn, N. (2003). Apart from technology : understanding people's non-use of information and communication technologies in everyday life. *Technology in society*, 25, 99-116.
- Shapiro, L. (Ed.). (2014). *The Routledge handbook of embodied cognition*. Routledge.
- Sheya, A., & Smith, L. B. (2010). Development through sensorimotor coordination. In Stewart, J. R., Gapenne, O., & Di Paolo, E. A. (Eds.). (2010). *Enaction: Toward a new paradigm for cognitive science*. (pp. 123-144) MIT Press.
- Siegler, R. S. (2006). Microgenetic analyses of learning. In D. Kuhn, & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child Psychology Handbook of child psychology*. Wiley Online Library.
- Simondon, G. (2005). *L'individuation psychique et collective à la lumière des notions de forme, information, potentiel et métastabilité*. Paris: Editions Aubier.
- Simondon, G. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris: Editions Aubier.
- Smith, L. B., & Sheya, A. (2010). Is cognition enough to explain cognitive development? *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 725-735.
- Spach M. (2018). Activités robotiques à l'école primaire et apprentissage de concepts informatiques : quelle place du scénario pédagogique ? Les limites du co-apprentissage. *Thèse de doctorat. Université Paris-Sorbonne*.

- Sort C. et Nogry S. (2015). Appropriation d'une classe mobile par un enseignant à l'école primaire : étude diachronique d'une genèse instrumentale en cours d'arithmétique durant 2 ans et demi. *Actes du colloque eTIC, Université de Cergy-Pontoise*, 14-16 octobre 2015.
- Stark, R., Mandl, H., Gruber, H., & Renkl A. (2002). Conditions and effects of example elaboration. *Learning and Instruction*, 12, 39–60.
- Stern, D. N. (2004). Le moment présent en psychothérapie. Un monde dans un grain de sable. *Paris: Odile Jacob*.
- Stern, D. N. (2010). *Les formes de vitalité: psychologie, arts, psychothérapie et développement de l'enfant*. Odile Jacob.
- Stiegler, B. (1994). *La technique et le temps. T1. La faute d'Epiméthée*. Paris: Galilée.
- Stiegler, B. (1996). *La technique et le temps, vol. 2. La désorientation*. Paris: Galilée.
- Steiner, P. (2010). Philosophie, technologie et cognition. État des lieux et perspectives. *Intellectica*, 53(54), 7-40.
- Stigler, J. W., Givvin, K. B., & Thompson, B. J. (2010). What community college developmental mathematics students understand about mathematics. *MathAMATYC Educator*, 1(3), 4-16.
- Stoyanova E., & Ellerton, N. (1996). A Framework for Research into Student's Problem Posing in School Mathematics. In P. C. Clarkson (Ed), *Technology in Mathematics Education*. (p. 518-524). Melbourne: Mathematics Education Research Group of Australasia.
- Suchman L. (1987). *Plans and situated actions : the problem of human-machine communication*, Cambridge New York : University Press.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory. New York : Springer.
- Sweller, J., & Cooper, G.A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instructions*, 2, 59-89.
- Szokolszky, Á. (2016). Object use in pretend play: symbolic or functional? In Costall, A, Dreier, O. (eds). *Doing Things with Things. The Design and Use of Ordinary Objects* (pp. 77-96). Routledge.
- Taabane L. (2011). L'analogie comme processus commun : le cas des situations scientifiques. *Thèse de doctorat, Université Paris 8*.
- Thabuy A. & Maurel M. (2016). Entretiens d'explicitation auprès de jeunes enfants. Dossier thématique du groupe de recherche sur l'explicitation. Accessible online at <http://www.grex2.com/lentretien-dexplicitation-avec-les-petits.html>
- Taurisson, A., & Herviou, C. (2016). *Pédagogie de l'activité: pour une nouvelle classe inversée: Théorie et pratique du travail d'apprendre*. ESF Sciences Humaines.
- Themis (2018). Internet et les réseaux sociaux : l'utilisation des 8-10 ans en chiffres. *Rapport d'enquête, association THEMIS*.
- Theureau, J. (2011). Appropriations 1, 2 & 3. *Communication présentée au Séminaire ErgoIDF*, juin 2011, CNAM, Paris, France.
- Theureau, J. (2006). *Le cours d'action. Méthode développée*. Toulouse, France : Octarès.
- Theureau, J. (2004). *Le cours d'action : la méthode élémentaire*. Toulouse, France : Octarès.

- Theureau J. & Jeffroy F. (1994). *Ergonomie des situations informatisées*. Toulouse : Octares.
- Tomasello, M., Savage-Rumbaugh, S., & Kruger, A. C. (1993). Imitative learning of actions on objects by children, chimpanzees, and enculturated chimpanzees. *Child development*, 64(6), 1688-1705.
- Torres C. (2014). Le rôle des métaphores dans la formulation des problèmes mathématiques. *Mémoire de master en psychologie du développement*, Université Paris 8.
- Tort F. & Aoudé P. (2012) Tablettes tactiles en classe de 6e : Analyse des dynamiques d'utilisation dans le cadre du projet TEN. *Première Journée scientifique ATaMÉ-2012 : Artefacts Tactiles et Mobiles en Éducation*. Université Cergy-Pontoise.
- Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J. F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité: interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In P. Marquet (Eds.) *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2003* (pp. 391-402). ATIEF; INRP.
- Troadec, B. (2007). *Psychologie culturelle: le développement cognitif est-il culturel ?* Paris : Belin.
- Trouche, L. (2002). Une approche instrumentale de l'apprentissage des mathématiques dans des environnements de calculatrice symbolique. Dans D. Guin, L. Trouche (dir.), *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique* (p.187-199). Grenoble : la pensée sauvage édition.
- Trouche, L. (2003). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques: nécessité des orchestrations. *Document d'habilitation à diriger des recherches*, Université Paris VII.
- Trouche, L. (2004). Environnements Informatisés et Mathématiques: quels usages pour quels apprentissages? *Educational Studies in Mathematics*, 55(1-3), 181-197.
- Versace, R. Brouillet, D., & Vallet, G. (2018). *Cognition Incarnée: une cognition située et projetée*, Mardaga, Bruxelles.
- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Marseille,, France: Solal.
- UNESCO (2002). – *Information and communication technology in education. A curriculum for schools and programme of teacher development*. Paris : UNESCO.
- <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129538e.pdf>.
- Unwin, P. T. H., & Unwin, T. (Eds.). (2009). *ICT4D: Information and communication technology for development*. Cambridge University Press.
- Urrea, C., & Bender, W. (2012). Making learning visible. *Mind, Brain, and Education*, 6(4), 227-241.
- Varela F. (1989). – *Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant*, Paris, Seuil.
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit*. Paris : Seuil.
- Vandeveldel, I., Nogry S. & Fluckiger, C. (2020). L'informatique prescrite à l'école primaire. Analyse de programmes, ouvrages d'enseignement et discours institutionnels. *Colloque Didapro-Didastic 8*, février 2020, Lille, France.
- Vandeveldel I., Fluckiger C., Nogry S. (soumis). Quelle informatique à l'école primaire ? analyse des prescriptions et recommandations

- Vekiri, I., & Chronaki, A. (2008). Gender issues in technology use: Perceived social support, computer self-efficacy and value beliefs, and computer use beyond school. *Computers & education*, 51(3), 1392-1404.
- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of the thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter P.T., Moser, J.M., & Romberg, T.A. (eds.), *Addition and subtraction: A cognitive perspective*, (p. 39-58), Hillsdale, Erlbaum.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 10(2,3), 133-170.
- Vermersch, P. (1994). *L'entretien d'explicitation en formation continue et initiale*. Paris : ESF.
- Vermersch, P. (2000). Conscience directe, conscience réfléchie. *Intellectica*, 31(2), 269-311.
- Vermersch, P. (2012). *Explicitation et phénoménologie : vers une psychophénoménologie*. Paris : PUF.
- Vilette, B., Fischer, J., Sander, E., Sensevy, G., Quilio, S. & Richard, J. (2017). Peut-on améliorer l'enseignement et l'apprentissage de l'arithmétique au CP ? Le dispositif ACE. *Revue française de pédagogie*, 201(4), 105-120.
- Villemonteix, F., & Béziat, J. (2014, May). Culture technique et formation—Faire la classe avec le TNI. In *2e colloque international sur les technologies en éducation*. CRIFPE.
- Villemonteix, F. & Khaneboubi, M. (2013). Etude exploratoire sur l'utilisation d'iPads en milieu scolaire : entre séduction ergonomique et nécessités pédagogiques. *STICEF*, 20, 1-22.
- Villemonteix, F., & Nogry, S. (2016). Usages de tablettes à l'école primaire: quelles contraintes sur l'activité pédagogique ? *Recherche formation*, (1), 79-92.
- Villemonteix, F., Hamon, D., Nogry, S., Séjourné, A., Hubert, B., & Gélis, J. M. (2015). *Expérience tablettes tactiles à l'école primaire-ExTaTE*.
- Vinck, D. (2009). De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière : Vers la prise en compte du travail d'équipement. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 3(1), 51-72.
- Vygotski L., S. (1985). *Pensée et langage*. Paris : Éditions Sève.
- Vygotski, L.S. (1930/1983). *Immaginazione e creatività nell'età infantile*. Paideia, Italy : Editori Riuniti.
- Wagner, J. F.(2010). A Transfer-in-Pieces Consideration of the Perception of Structure in the Transfer of Learning, *Journal of the Learning Sciences*, 19 (4), 443 – 479.
- Wagner C., (2014). Comprendre l'activité de l'enseignant à l'école primaire avec et sans TIC dans le but de concevoir des situations d'apprentissages les plus adaptées à l'enseignant et aux élèves. *Rapport de recherche*, Université Paris 8.
- Want, S. C., & Harris, P. L. (2001). Learning from other people's mistakes: Causal understanding in learning to use a tool. *Child development*, 72(2), 431-443.
- Warnier, J.P. (1999). *Construire la culture matérielle*. Paris : PUF.
- Warschauer, M., & Matuchniak, T. (2010). New technology and digital worlds: Analyzing evidence of equity in access, use, and outcomes. *Review of Research in Education*, 34(1), 179–225.
- Wertsch J. (1998). *Mind as action*. New York : Oxford University Press.

- Witt, J. K., Proffitt, D. R., & Epstein, W. (2005). Tool use affects perceived distance, but only when you intend to use it. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 31(5), 880.
- Wong, S. S. H. (2015). Mobile digital devices and preschoolers' home multiliteracy practices. *Language and Literacy*, 17(2), 75-90.
- Wong, R.M.F., Lawson, M.J. & Keeves, J. (2002). The effects of self-explanation training on students' problem solving in high-school mathematics. *Learning and Instruction*, 12(2), 233-262.
- Yackel, E., & Cobb, P. (1996). Sociomathematical norms, argumentation, and autonomy in mathematics. *Journal for research in mathematics education*, 458-477.
- Yackel, E., Gravemeijer, K., & Sfard, A. (2011). *A journey in mathematics education research*. Dordrecht: Springer.
- Zaman, B., Nouwen, M., Vanattenhoven, J., De Ferrerre, E., & Looy, J. V. (2016). A qualitative inquiry into the contextualized parental mediation practices of young children's digital media use at home. *Journal of Broadcasting & Electronic Media*, 60(1), 1-22.
- Zheng, B., Warschauer, M., Lin, C. H., & Chang, C. (2016). Learning in one-to-one laptop environments: A meta-analysis and research synthesis. *Review of Educational Research*, 86(4), 1052–1084.
- Zucker, A. A., & Light, D. (2009). Laptop programs for students. *Science*, 323(5910), 82-85.